

# 目 次

引言	1
第一章 淬火合金結構鋼的机械性能	4
1. 合金鋼的分类	4
2. 結構合金鋼	6
3. 合金元素对于高溫回火状态結構鋼机械性能的影响	13
4. 合金元素对于低溫回火(淬火)状态結構鋼机械性能的影响	15
5. 关于淬火鋼机械性能的近代概念	19
第二章 硬质合金和陶瓷刀具材料	22
6. 一般知識	22
7. 苏联的硬质合金	23
8. 其他各国的硬质合金	50
9. 陶瓷刀片	59
第三章 淬火鋼的車削	67
10. 作者进行研究条件的特征	67
11. 切屑形成	70
12. 車刀的磨鈍准則	77
13. 硬质合金的选择	85
14. 各种因素对于切削力的影响	90
15. 車刀切削部分的几何参数	106
16. 各种因素对于車刀耐用度和切削速度的影响	131
17. 表面质量和加工精度	156
18. 橫向特形車削	177
19. 用陶瓷車刀車削	182
20. 車削淬火鋼的若干实际問題	186
21. 在向切削区域輸入电流时进行淬火鋼的加工	196
第四章 淬火鋼的端銑	202
22. 銑刀的結構	202
23. 銑刀的磨鈍准則和耐用度	215

24. 銑刀切削部分的几何参数	217
25. 各种因素对于銑刀耐用度和切削速度的影响	231
26. 切削力和有效功率	240
27. 已加工表面的光洁度	243
第五章 淬火鋼的钻削	246
第六章 淬火鋼的鉸削	254
28. 鉸刀結構和工艺装备	254
29. 鉸刀切削部分的几何参数和装备鉸刀所用硬质合金的牌号	266
30. 鉸刀磨損及其磨鈍准則	269
31. 耐用度关系	272
32. 各种因素对于鉸削后的尺寸精度和表面光洁度的影响	280
第七章 淬火鋼的鏨削	287
第八章 在淬火鋼上切制螺紋	294
33. 車刀的磨鈍准則	296
34. 最佳走刀次数的确定	299
35. 橫向走刀量对于車刀耐用度的影响	306
36. 刀尖圓角半徑和前角对于車刀耐用度的影响	308
37. 硬质合金的选择	310
38. 車刀切削要素的研磨对于車刀耐用度的影响	310
39. 切削速度与車刀耐用度、螺距、橫向走刀量的关系	311
40. 总结	317
第九章 关于淬火鋼机械加工时的物理現象的某些見解	319
41. 淬火鋼的高速切削	319
42. 淬火鋼机械加工的表面质量	320
43. 車削淬火鋼时的切屑特征和刀瘤	325
44. 关于車削淬火鋼时車刀前角和后角的討論	327
45. 車削淬火鋼时切削力的理論研究	329
46. 淬火鋼加工的热高速假說	339
47. 被加工材料与刀具材料的硬度的相互关系	352
附录 淬火合金結構鋼的車削、端銑、钻削、鉸削、鏨削 和切制螺紋的切削用量	355
参考文献	402

## 引 言

近代机械制造的特征是力图扩大机器和机构中高硬度淬火鋼零件的品种。然而，这类零件的比重迄今还是不大的，并且使淬火鋼机械性能的巨大潜在可能性未能利用。

現在已經根本地改变了关于淬火鋼机械性能的原 有概念。Я.Б. 佛利德曼<sup>[4]</sup>証明，高硬度淬火鋼在抗拉試驗时显得很脆，而在其他試驗，例如抗扭試驗时就有塑性。B.Д. 格罗靜<sup>[5]</sup>的研究工作表明，淬火鋼在从各方面受到不均匀压縮时会产生塑性变形。

研究表面质量的結果，也証实了在机械制造中进一步扩大淬火鋼应用范围的必要性。表面质量的研究結果表明，淬火鋼零件机械加工所得表面微觀几何形状和表面层物理机械性能，使得这些零件具有极高的使用性能。

在淬火过程中零件发生变形，致使零件几何形状的歪曲。这就不得不在热处理以后給完工工序留下較大的余量，沿直徑达3~4毫米以上。

不久以前，大家知道磨削是一种高硬度鋼的机械加工法。这正是在机器和机构中扩大淬火鋼零件应用范围的严重障碍。

嗣后，研究工作和生产經驗表明，淬火至任何硬度的鋼都可以用硬质合金刀具成功地予以加工。設計师們現在有可能更广泛地在他們設計的机器和机构中采用淬火零件，而不用担心它們的加工有关的困难。

在最后热处理以前，这些零件的制造工艺应当考虑到淬火过程中零件的变形而預先留下余量。应用硬质合金刀具来加工，可以显著降低磨削余量，甚至完全取消磨削工序。在这两种情况下，都能获得良好的經濟效果。

用硬质合金刀具加工淬火鋼，保証能获得高光洁度的表面。

在中等的走刀量数值下車削淬火鋼所得表面光洁度与粗磨表面相当，而在較小的走刀量数值下所得表面光洁度則与精磨表面相当。

端銑淬火鋼时所得表面光洁度也不逊于精磨表面。

研究查明，用硬质合金刀具加工淬火鋼比磨削所得金属表面层质量要高得多。这是很有意义的。

不久以前有关淬火鋼切削加工的文献还是限于杂志和文集中的一些文章。現在情况改变了。除了К.Ф.羅馬諾夫关于鉸孔和鉋孔的著书<sup>[48]</sup>、П.А.馬尔凱洛夫关于端銑的著书<sup>[49]</sup>①、以及作者关于車削和切制螺紋的著书<sup>[53、54]</sup>之外，在前机床制造工业部的金属高速切削用量定額标准中也具有关于淬火鋼加工的各种方法的簡要知識<sup>[37、38]</sup>。

И.С.洛噶克关于精車<sup>[21]</sup>、И.И.卓列夫关于車削力<sup>[37、74]</sup>、М.И.拉林关于把电流引入切削区域而車削淬火鋼<sup>[50]</sup>的有意义的著作，已經发表了。此外，还出版了В.С.馬馬叶夫、А.А.馬斯洛夫、А.Д.馬卡罗夫和В.А.別洛烏索娃关于車削淬火鋼方面的、应考技术科学副博士学位論文的自写提要<sup>[18、24、29、30]</sup>。А.В.西兰季叶夫关于特形車削<sup>[50]</sup>以及В.И.齐哈列夫关于用陶瓷車刀車削淬火鋼<sup>[51]</sup>的著作，都已經刊印出来了。

应当指出，淬火鋼的車削在文献中已經闡述得足够詳尽了。在这方面所做研究工作的結果以及所积累到的生产經驗，使得可以有把握地推荐出适宜的刀具几何参数和切削用量。

关于淬火鋼的其他切削加工方式所做研究工作还不多。虽然上述К.Ф.羅馬諾夫和П.А.馬尔凱洛夫的著作的价值很大，但是其中包含的資料还不能作为拟定完全可靠的推荐的基础。

关于淬火鋼的钻削方面的知識，只有В.Г.列文<sup>[65]</sup>和В.А.伊格納托夫<sup>[67]</sup>的著作。

上述情况闡明了，为什么在技术定額标准科学研究所

① 在П.А.馬尔凱洛夫关于用硬质合金刀具高速端銑鋼料的著书中，有一定的篇幅是闡述淬火鋼的加工。

(НИБТН)的定額标准中，关于端銑、鉸削、鏨削、尤其是钻削方面的資料要比車削的少得多。繼續进行这方面的研究工作，乃是进一步发展淬火鋼切削加工的重要任务。

显然必需有系統地整理一下历来所积累的关于淬火鋼的各种切削加工法的理論数据和實踐数据，并且把它們統一在独立的指南之中。本书就是致力于这个目的。

第一章包含合金鋼的数据，叙述了关于淬火鋼机械性能的近代概念。

第二章包含硬质合金和陶瓷刀具材料的知識。为了理解淬火鋼的切削过程，需要知道硬质合金的全部特性。作者在这一章内力求詳尽地叙述了新近的数据，使讀者不必另找參考資料。其中也叙述了外国硬质合金的牌号。

第三~八章闡述了淬火鋼的切削加工方面科学知識和實踐知識的最新情况，并且給生产上选择刀具結構和刀具切削部分几何参数作出了推荐。

第九章根据本书所述資料作出了一些总的結論，并且根据淬火鋼加工过程的分析而提出了金属高速切削物理本质問題的一些見解。E. I. 卓列夫关于淬火鋼車削力的研究結果具有很大的理論意义。

对于一切对本书缺点的任何指正和建議，作者在此表示感謝。

# 第一章 淬火合金結構鋼的机械性能

## 1. 合金鋼的分类

合金鋼通常是按下列特征之一来分类:

- a) 按速冷时所得正火状态的組織来分类;
- b) 按緩冷时所得退火状态的組織来分类;
- c) 按用途来分类。

按第一种特征可把合金鋼分为五类: 奥氏体鋼、馬丁体鋼、珠光体鋼(以上是基本的三类)、碳化物鋼、鉄素体鋼。

决定某一种鋼究竟归属于那一基本类别的方法, 是将厚15~20毫米的样品加热至奥氏体状态, 随后在空气中冷却。这时, 如果受試驗的鋼具有奥氏体組織或馬丁体組織, 那末它就相应地属于奥氏体类鋼或馬丁体类鋼。具有珠光体組織以及淬火索氏体或托氏体組織的鋼, 都算做属于珠光体类鋼。

归属于碳化物类鋼的特征已經不是冷却样品的基本組織, 而是存在着多量的合金碳化物。只有在鋼中所含碳化物形成元素和碳足够多的时候, 才会生成多量的合金碳化物。

含有多量使 $\gamma$ 固溶体区域封闭的元素的合金鋼, 属于鉄素体类鋼。当使 $\gamma$ 区域扩大的碳的含量降低时, 在这些鋼中就没有同素异形转变, 并且在熔化前的任何温度下它們都处在 $\alpha$ 固溶体状态, 即为合金鉄素体。

按第二种特征可把合金鋼分为亚共析鋼、过共析鋼和萊氏体鋼。在亚共析鋼的組織中含有过剩的(亚共析的)鉄素体, 在过共析鋼的組織中含有过剩的(由奥氏体析出的二次的)碳化物, 在萊氏体鋼的組織中則含有初次的碳化物(鑄态时为萊氏体型的共晶体, 而鍛态和軋态时则为特殊的夹杂物)。

根据“鉄-碳”平衡图, 碳鋼在含碳量低于0.83%时属于亚共析鋼, 在含碳量高于0.83%时(实际上是1.0~1.7%C)是属于过

共析鋼，而在含碳量高于 1.7% 时則属于萊氏体鋼。大多数合金元素都能移动点  $S$  (相应于 0.83% C) 和点  $E$  (相应于 1.7% C)，因而向左朝着比碳鋼中含碳量較少的方向移动上述鋼类間的边界。

在能使  $\gamma$  区域縮小的合金元素 (Cr、Mo、Si、W、Ti 等) 的含量較高而含碳量則較低的鋼中，当加热(或冷却)时，不会发生或者仅仅局部地发生  $\alpha \rightleftharpoons \gamma$  轉变。具有稳定  $\gamma$  相的鋼，在所有温度下，直到熔化温度下，都叫做鉄素体鋼，而在  $\alpha \rightleftharpoons \gamma$  局部轉变时則叫做半鉄素体鋼。

这样一来，对于含有縮小  $\gamma$  区域的元素的合金鋼来說，可以有下列五类：亚共析鋼、过共析鋼、萊氏体鋼、鉄素体鋼、半鉄素体鋼。

在含有多量扩大  $\gamma$  区域的合金元素 (Ni、Mn) 的鋼中，当存在固态合金的所有温度下，也可能不发生  $\alpha \rightleftharpoons \gamma$  轉变。在这些鋼中， $\gamma$  相是稳定的。这些鋼叫做奥氏体鋼，而在  $\alpha \rightleftharpoons \gamma$  局部轉变时則叫做半奥氏体鋼。

因此，对于含有扩大  $\gamma$  区域的元素的合金鋼来說，可以有下列五类：亚共析鋼、过共析鋼、萊氏体鋼、奥氏体鋼、半奥氏体鋼。

图 1 所示是“鉄-碳-某种縮小  $\gamma$  区域的合金元素”的三元系的不同鋼类存在范围的一般簡图。图 2 所示則是“鉄-碳-某种扩大  $\gamma$  区域的合金元素”的三元系的不同鋼类存在范围的一般簡图。

合金鋼按用途可分为三类：

- 1) 結構鋼(机器鋼)，用来制造机器和机构的零件；
- 2) 工具鋼，用来制造各种类别的工具；
- 3) 特殊性能鋼，如不銹鋼、耐酸鋼、耐热鋼等。

結構鋼多半是属于珠光体类鋼，工具鋼多半是属于碳化物类鋼，而特殊性能鋼則多半是属于奥氏体类鋼或鉄素体类鋼。

結構合金鋼按下列方式分类：

- 1) 低合金鋼，其中各合金元素的总含量不超过 2%；

- 2) 中合金鋼，其中各合金元素的总含量为2~5%；
- 3) 高合金鋼，其中各合金元素的总含量大于5%。

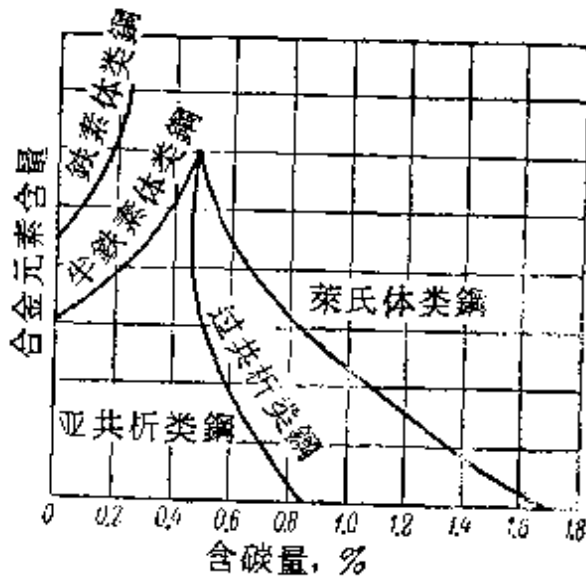


图1 “铁-碳-某种缩小 $\gamma$ 区域的合金元素”的三元系的不同鋼类的存在范围

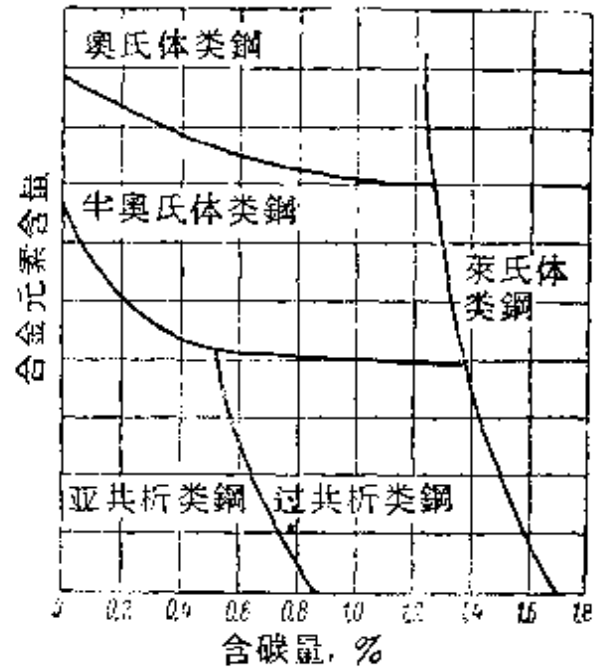


图2 “铁-碳-某种扩大 $\gamma$ 区域的合金元素”的三元系的不同鋼类的存在范围

## 2. 结构合金鋼

### 一般知識

结构鋼通常是接受抗拉試驗和冲击弯曲試驗（在沙比冲击試驗机上用切口样品进行）。这些試驗的結果能給出該种鋼的机械性能的一般概念，并且可以評定鋼的质量和热处理的功效。但是，这些試驗的結果不足以用来判定該种鋼在实际使用条件下的作用，因为鋼零件在实际工作时比普通抗拉試驗和冲击試驗具有复杂得多的載荷条件。

同时，載荷特性和鋼中产生应力状态的情况对于鋼的机械性能会发生强烈的影响。例如，鋼的变形抗力指标（ $\sigma_{0.2}$ 、 $\sigma_r$ ）、塑性指标（ $\delta$ 、 $\psi$ ）、特别是冲击韧性指标（ $a_k$ ），就会依温度、試驗样品上有没有切口、載荷速度、样品尺寸等而在寬闊的范围内变化。

为了能够更全面地判定结构鋼在不同条件下的性能，除开普



通的抗拉試驗和冲击試驗之外，还进行疲劳試驗、磨損試驗、偏斜抗拉試驗或有切口的抗拉等試驗。这样的特殊机械性能試驗已經广泛地应用于研究实践之中。

脆裂傾向是鋼的一項很重要的性能。这项性能是按 H.H. 达維堅柯夫用一組冲击試驗的方法确定出来。当温度降低时，普通結構鋼的冲击韌性就降低。因此，室温下的韌性鋼在冷却到 $0^{\circ}\text{C}$ 以下时可能轉变成脆性状态。接受冲击試驗的鋼，如果逐漸降低温度，就可以确定出这种鋼在什么温度下开始过渡或完全过渡到了脆性状态。这种温度值可以作为鋼向脆性状态过渡傾向的准則。对于鋼的工作温度(通常大气中)來說，这种温度值乃是鋼的韌性儲备量的指标。

#### 添加合金元素的目的

結構鋼添加合金元素的基本目的，是提高它們的机械性能。給鋼选定适当的热处理方式，可以得到各項机械性能的最佳相互关系。表 1 中列举机械制造中应用很广的 40X 号鋼的机械性能指标与热处理方式的关系，作为一个例子。

表 1 40X号鋼的机械性能与热处理方式的关系

热 处 理 方 式	$\sigma_T$ (公斤/毫米 <sup>2</sup> )	$\sigma_{0.2}$ (公斤/毫米 <sup>2</sup> )	$\delta$ (%)	$\psi$ (%)	$a_c$ (公斤·米/厘米 <sup>2</sup> )	冲击試驗 时过渡到 脆性状态 的 温 度 ( $^{\circ}\text{C}$ )
850~860°退火	29.5	58.5	22.0	53.4	6.2	-60
850~860°正火 (試棒直徑15毫米)	39.6	69.2	19.3	57.3	8.7	-75
850~860°淬火, 180~200°回火	162.3	189.4	8.3	33.7	5.6	-90
850~860°淬火, 600~610°回火	78.2	95.2	21.2	63.1	14.3	-125

由表可知，在施用联合热处理，即淬火而后低温或高温回火时，得到了最好的机械性能指标。

低温回火的特征是变形抗力指标 $\sigma_r$ 和 $\sigma_{sp}$ 特别高，而韧性也还满意；高温回火的特征是具有中等的 $\sigma_r$ 和 $\sigma_{sp}$ 值，但有较高的冲击韧性 $a_k$ 和较小的脆裂倾向。

在一次热处理(退火或正火)后，钢的综合机械性能是处在较低的水平上。

热处理方式对于其他结构钢机械性能变化的影响，一般说来，与对于40X号钢的影响的特征是一样的。因此，结构合金钢多半是接受淬火而后高温或低温回火。

结构钢添加合金元素的主要目的是为了<sup>①</sup>提高其可硬性至某种程度，以便保证在热处理后能够获得最佳的机械性能。

结构钢添加合金元素的另一目的是为了减小其脆裂倾向。表2的数据说明，结构钢的脆裂倾向与其中合金元素的含量有关。两种钢的 $\sigma_r$ 、 $\sigma_{sp}$ 、 $\delta$ 、 $\psi$ 和 $a_k$ ，在室温下差别很小。可是，在温度降低时，第一种钢(中合金钢)比第二种钢(高合金钢)更快地过渡到脆性状态。在实际使用条件下，第一种钢比第二种钢具有小得多的韧性储备量和大得多的脆裂倾向。

表2 调质铬锰钼钢和铬镍钼钢的机械性能

钢的化学成分 (%)	热处理方式	$\sigma_r$ (公斤/厘米 <sup>2</sup> )	$\sigma_{sp}$ (公斤/厘米 <sup>2</sup> )	$\delta$ (%)	$\psi$ (%)	下列温度时的 $a_k$ (公斤·米/厘米 <sup>2</sup> )				
						+20°	-75°	-125°	-150°	-180°
0.28C; 1.45Mn; 1.40Cr; 0.30Mo	淬火而后 640~660°	70.8	86.3	17.9	63.8	15.6	8.1	1.8	0.4	0.4
0.26C; 1.58Cr; 4.01Ni; 0.39Mo	回火	73.2	93.4	16.3	58.4	13.6	12.6	10.5	8.6	7.0

① 钢的可硬性 (прокаливаемость) 表示从接受热处理的零件外表面向内把钢淬硬成马氏体时可能达到的深度。

不同合金元素对于结构钢的韧性储备量发生不一样的影响。在这方面，镍的作用是最好的，铜和硅也有点好处（在低温回火钢中）。铬、钨和钼的作用也是好的，但是影响很微弱，而大量的锰则影响不好。

### 合金钢的回火脆性和机械性能

与碳素结构钢不同，合金结构钢在回火时会出现两种脆性。

**第一种回火脆性** 图3所示是合金结构钢机械性能变化与回火温度关系的典型图解。由图可知：大约从200°开始，随着于回火过程马氏体的急剧分解，这种钢的 $\sigma_{sp}$ 和 $\sigma_T$ 便逐渐下降，同时 $\delta$ 和 $\psi$ 则升高。在550~600°的回火温度下，这种钢还保持着相当的强度。

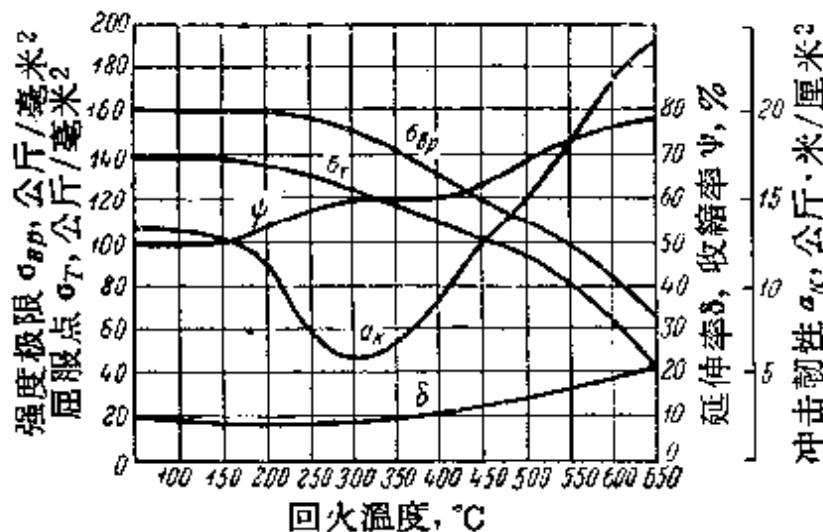


图3 合金钢(0.26% C、1.25% Cr、0.24% Mo)回火时机械性能的变化

冲击韧性则按照另外的规律性而变化。与碳素结构钢不同（碳素结构钢的冲击韧性是随着温度的上升而不断增大的），在合金结构钢的韧性曲线上出现了“凹陷部分”，即在一定温度范围内（在这里所述情况下是250~400°）回火后 $\alpha_K$ 值就急剧下降，钢就发脆。

这种专门取决于回火温度的脆性，当回火温度正好处在 $\alpha_K$ 曲线上的“凹陷部分”的时候，就不变地保留在钢中。因此，这种脆

性称为不可消除的回火脆性。

根据合金结构钢的成分，不可消除的回火脆性可能表现为不同的程度。有时在某些钢中出现两个脆性区域：一个在  $250 \sim 400^\circ$ ，另一个在  $500 \sim 550^\circ$ 。在前一个区域出现脆性时并不伴随着明显的增大硬度，在后一个区域出现脆性时则经常出现硬度的某种升高。

发生不可消除的回火脆性就预示着，合金结构钢不应当在  $250 \sim 400^\circ$  温度范围内回火。如果钢在  $500 \sim 550^\circ$  范围内也发生回火脆性，那末也不应当在这个温度范围内进行回火。

**第二种回火脆性** 有许多结构合金钢出现另一种回火脆性，但是必定是在高温（高于  $450^\circ$ ）时出现。这种脆性与回火加热后的冷却速度有关（图4）：如果冷却缓慢，冲击韧性就下降，显出脆性；如果冷却迅速，冲击韧性则保持在较高的水平上。

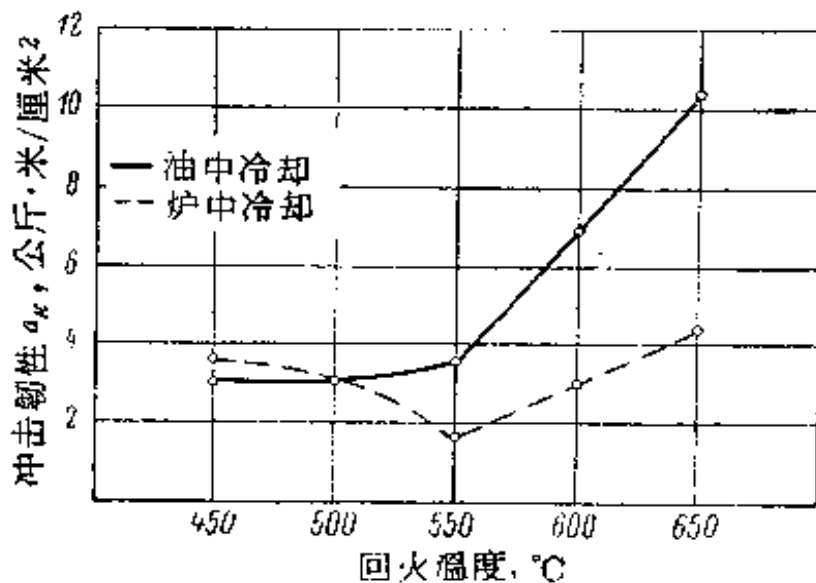


图4 高温回火后的冷却速度对于钢(0.43% C、1.48% Cr、3.10% Ni)的冲击韧性的影响

这种脆性的特征是它的可逆性或可消除性。钢在缓慢冷却过程中发展起来的脆性，可以在下一次回火时借迅速冷却的办法予以消除。在重新加热而后又缓慢冷却时，这类钢中又可能重新产生脆性。

正火钢甚至回火钢在加热到  $500 \sim 700^\circ$  后缓慢冷却时，有时

也出現这种脆性。但是一般說来，这种脆性是在淬火鋼回火时出現。因此，这种脆性称为回火时的可逆脆性或回火脆性。

各种合金元素对于鋼的回火脆性傾向起着不同的影响。錳和鉻使鋼对这种脆性的敏感性急剧地提高。其他元素的作用也有与此相同的趋向，但是作用比較弱。只有鉬和鎢是显著地削弱鋼对回火脆性的敏感性，甚至完全消除这个敏感性。

在生产实践中，应用着两种对产生回火脆性作斗争的方法：

- 1) 向鋼中添加0.25~0.45%鉬或0.6~1.2%鎢；
- 2) 当残余应力不是限制因素时，就让鋼在高温回火后迅速冷却于水或油中。

同时应用上述两种方法，可以完全消除正規合金鋼的回火脆性。

#### 合金元素对于鋼的可硬性的影响

所有合金元素，除鈷以外，都能降低鋼的临界淬火速度并提高鋼的可硬性。一些最主要合金元素，按照它們对于鋼的可硬性的影响程度的渐减順序，可以排列如下：Mo、Mn、Cr、Ni、Cu、Si。

碳化物形成元素，只有当它們溶解在奥氏体内时，才能提高鋼的可硬性。当这些元素包含在碳化物内时，它們就不能提高鋼的可硬性，并且反而会在鋼的冷却过程中加速奥氏体的分解。

如果鋼中含有几种合金元素，那末每种元素对于鋼的可硬性的定量的影响就会增大。

借合金化的方法，在各种元素的总含量比較不大的情况下，就有可能获得鋼在水中的良好的可硬性（测得临界直徑达几百毫米）。而碳钢的临界直徑約为25毫米。

#### 結構合金鋼的ГОСТ标准

苏联出产的結構合金鋼的分类及其技术条件，在ГОСТ4543-48中作出了規定。其中包含19类鋼，列举在表3中。

表3 合金結構鋼的分類(ГОСТ4543-48)

类号	鋼的类别	含碳量和合金元素含量的范围(在不同鋼号中)
1	铬鋼	0.12~0.55% C; 0.7~1.1% Cr
2	铬钒鋼	0.12~0.54% C; 0.8~1.1% Cr; 0.10~0.20% V
3	鉬鋼	0.10~0.34% C; 0.40~0.55% Mo
4	铬鉬鋼	0.1~0.4% C; 0.8~1.9% Cr; 0.15~0.55% Mo
5	铬硅鋼	0.29~0.45% C; 1.3~1.6% Cr; 1.0~1.6% Si
6	铬錳鋼	0.12~0.45% C; 0.4~1.2% Cr; 0.9~1.9% Mn
7	铬錳鈦鋼	0.16~0.24% C; 1.0~1.3% Cr; 0.8~1.1% Mn; 0.08~0.15% Ti
8	铬錳鉬鋼	0.16~0.45% C; 0.9~1.2% Cr; 0.9~1.2% Mn; 0.2~0.3% Mo
9	硅錳鋼	0.22~0.40% C; 1.1~1.4% Si; 1.1~1.4% Mn
10	铬硅錳鋼	0.15~0.40% C; 0.8~1.4% Cr; 0.9~1.4% Si; 0.8~1.1% Mn
11	铬鋁鋼和铬鉬鋁鋼	0.31~0.42% C; 1.35~1.65% Cr; 0.15~0.25% Mo; 0.7~1.2% Al
12	铬鉬钒鋼	0.22~0.38% C; 1.0~1.8% Cr; 0.2~0.3% Mo; 0.1~0.3% V
13	鎳鋼	0.20~0.35% C; 0.5~1.2% Ni
14	鎳鉬鋼	0.10~0.45% C; 1.5~2.0% Ni; 0.2~0.3% Mo
15	铬鎳鋼	0.11~0.45% C; 0.45~1.75% Cr; 1.00~3.75% Ni
16	铬鎳钒鋼	0.16~0.24% C; 0.7~1.1% Cr; 3.75~4.25% Ni; 0.15~0.30% V
17	铬鎳錳鋼	0.14~0.28% C; 1.35~1.65% Cr; 4.0~4.5% Ni; 0.8~1.2% W
18	铬鎳鉬鋼	0.10~0.44% C; 0.60~1.75% Cr; 1.25~3.75% Ni; 0.15~0.30% Mo
19	铬鎳鉬钒鋼	0.26~0.50% C; 0.6~1.1% Cr; 1.3~2.5% Ni; 0.2~0.3% Mo; 0.1~0.3% V

苏联国家标准中所采用的结构合金钢标号系统，使人们很容易确定出钢的化学成分。在这个标号系统中，钢中所含各种合金元素是用元素名称的第一个俄文字母来表示：X——铬(Cr)，H——镍(Ni)，M——钼(Mo)，T——钛(Ti)，K——钴(Co)，B——钨(W)。

下列几种元素所采用的符号为例外：Г——锰(Mn)，С——硅(Si)，Ф——钒(V)，Ю——铝(Al)，Д——铜(Cu)。

合金元素和碳的含量，用数字来表示。钢号中的头两个数字表示平均含碳量的万分数。俄文字母后边的数字表示相关元素的百分含量的整数(如果这个百分含量超过1.5%)。如果该元素的含量小于1.5%，那末就不写出数字来。

在钢号末尾加上一个字母A，就表示是高质量钢，即在硫和磷方面的纯度较高并且机械性能也较高。

### 3. 合金元素对于高温回火状态结构钢机械性能的影响

热处理调质(即淬火成马氏体，然后再作高温回火)后钢的索氏体状态的特征，是使钢在大多数应用场合里具有机械性能的最佳组合：高强度极限( $\sigma_{\sigma p} = 75 \sim 110$  公斤/毫米<sup>2</sup>)和大韧性( $a_k = 14 \sim 7$  公斤·米/厘米<sup>2</sup>)。因此，结构钢广泛地施用着热处理调质。

为了使索氏体状态钢获得所需的机械性能，必须生成所需数量的、分散度最佳的碳化物，同时保持铁素体基底的一定性质。钢的强度主要是与碳化物的数量和分散度有关，而钢的韧性则还与铁素体基底有关。

合金钢中碳化物的相对数量主要是取决于含碳量。从理论上说来，碳化物的相对数量也与钢中合金元素含量有关，但是这个因素具有从属的意义。实践证明，合金结构钢在高温回火中，最大允许碳化物数量是受到碳的浓度(约为0.45~0.50%)的限制。继续增大碳化物相的数量以及含碳量超过0.45~0.50%时，冲击韧性就下降到结构钢所不能容许的水平( $a_k \approx 3$  公斤·米/厘米<sup>2</sup>)。可是，钢中含碳量若过分下降(低于0.2%)，就会招致钢的强度

的急剧下降。因此，索氏体状态的结构合金钢的含碳量范围多半是在0.25~0.45%。

为了防止碳化物凝聚到急剧降低 $\sigma_{ep}$ 和 $\sigma_T$ 的尺度，向钢中引入一些合金元素，借以生成在550~650°回火时难于凝聚的碳化物。作为主要的合金元素，多半是利用铬，引入量为0.8~1.7%。铬钢(15X、20X……50X)已在机械制造中得到了广泛的应用。

然而铬钢没有高的可硬性和大的韧性储备量。为了提高这类钢的可硬性，可向其中补加合金元素钼和锰。为了得到细晶粒的组织，有时在钢的成分中引入一些钒。在ГОСТ4543-48中列举了这些钢的标号：30XM、40XГ、40XΦA等。

铬镍钼钢和铬镍钨钢是现代的优等结构钢。在含镍量较高时，这些钢的可硬性很高，200毫米以上的截面可以淬硬。此外，这些钢还具有很小的脆裂倾向，因而用它们制成的零件能够很好地在冲击条件下工作。

表4 索氏体(高温回火)状态的结构合金钢

钢号	化学成分(%)					保证机械性能(ГОСТ)				
	C	Cr	Ni	Mo	其他元素	$\sigma_T$ (公斤/毫米 <sup>2</sup> )	$\sigma_{ep}$ (公斤/毫米 <sup>2</sup> )	$\delta$ (%)	$\psi$ (%)	$a_K$ (公斤·米/厘米 <sup>2</sup> )
40X	0.35~ 0.45	0.8~1.1	≤0.4	—	0.5~0.8Mn	80	100	9	45	6
40XHMA	0.36~ 0.44	0.6~0.9	1.25~ 1.75	0.15~ 0.25	0.5~0.8Mn	85	100	12	55	10
37XH3A	0.33~ 0.41	1.2~1.6	3.0~3.5	—	0.25~0.55 Mn	100	115	10	50	6
40XГM	0.37~ 0.45	0.9~1.2	≤0.4	0.2~0.3	0.9~1.2Mn	80	100	10	45	9
38XНЮA (氮化)	0.35~ 0.42	1.35~ 1.65	≤0.4	0.15~ 0.25	0.7~1.1Al	85	100	15	50	9



因为这些鋼中含有鎳、鉬和錳而使其价格昂貴，所以引起了代用品的出現。在个别情况下，若干数量的鎳被銅或錳来代替了。依靠向鋼中引入鈮，以及提高含鎳量(至2.8%)，有时就可降低鉬和錳的含量。这时，在高温回火鋼的强度方面，能够得到相同的結果。

表4中列举接受热处理調质的几种現代結構合金鋼的典型鋼号。表中列举的机械性能是ГОСТ标准中規定的。这里，40X1M号鋼就是鎳鎳鉬鋼的代用品的例子。

由表可知，所有鋼号都具有高的强度和相当的韌性。虽然这些鋼的化学成分很不相同，尤其是在含鎳量方面，但是它們之間的机械性能的差別却是很小的。由此得出結論，鎳对于高温回火鋼的机械性能沒有剧烈的影响，鎳的作用主要是在于保証給定截面厚度的鋼所需要的可硬性。

#### 4. 合金元素对于低温回火(淬火) 状态結構鋼机械性能的影响

馬丁体状态結構鋼的特点是硬度很高，抗拉强度也很高( $\sigma_{sp} = 120 \sim 210$ 公斤/毫米<sup>2</sup>)，但是冲击韌性較低( $a_k = 8 \sim 3$ 公斤·米/厘米<sup>2</sup>)。

合金鋼施行馬丁体热处理所追求的目的，是使它具有高硬度和抗拉强度。实际上这种鋼是要接受随后的低温回火的。低温回火的結果不会明显地改变鋼的硬度和抗拉强度，但能稍微提高鋼的韌性并降低在淬火过程中所形成的殘余应力。这种鋼称为淬火状态鋼。实际上这是接受了淬火以及随后的低温回火的鋼。

鋼中的合金元素含量应当保証使鋼具有完全的馬丁体可硬性。然而过分的合金化甚至可能显示出消极的影响，因为这时产生的多量的殘余奥氏体会招致淬火鋼硬度下降。淬火合金鋼的机械性能首先取决于鋼中的含碳量。

### 碳的影响

表 5 中列举的平均合金淬火钢的数据，肯定了含碳量对于钢的机械性能的剧烈影响。当含碳量约为 0.45% 时，几乎是达到了钢的最大抗拉强度极限。继续提高含碳量时，钢的强度提高微小，但是钢的冲击韧性却降低得很厉害。当含碳量低于 0.18% 时，淬火钢就不再具有高的抗拉强度和硬度了。

表 5 含碳量对于淬火结构钢机械性能的影响

钢的含碳量 (%)	抗拉强度极限 (公斤/毫米 <sup>2</sup> )	冲击韧性 (公斤·米/厘米 <sup>2</sup> )
0.18	170	8.0
0.35	175	5.0
0.45	200	3.0
0.60	210	1.5

用于淬火状态的结构合金钢中，含碳量一般为 0.2~0.4%。在接受渗碳处理的钢中，即在零件需要有韧性的内心时，含碳量应当减小到 0.12~0.25%。

### 影响合金元素的一般性质

合金元素对于淬火钢的抗拉强度极限和屈服点没有显著的影响。强度极限和屈服点主要是取决于钢的含碳量，而不是取决于钢中合金元素的含量。合金元素的含量对于钢的冲击韧性和韧性储备量起着剧烈的影响。

表 6 中列举了含碳量相同而合金成分不同的淬火钢的机械性能。可以看出，虽然在合金元素含量上存在着显著的定量差别和定性差别，这些钢的抗拉强度极限和屈服点还是近似地处在同一的水平上。合金元素对于相对伸长率的影响也没有很大差别。只是在冲击韧性方面，锰钢和其他钢之间有较大差别。

表6 合金成分不同的淬火結構鋼的机械性能

鋼	合金 元素的 总含量 (%)	化学成分(%)							$\sigma_T$ (公斤/毫米 <sup>2</sup> )	$\sigma_{sp}$ (公斤/毫米 <sup>2</sup> )	$\delta$ (%)	$a_K$ (公斤·米/厘米 <sup>2</sup> )
		C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Cu				
Mn	2.40	0.34	0.30	2.10	—	—	—	—	140	169	12.0	2.5
Cr—Mo	2.54	0.32	0.40	0.42	1.42	—	0.30	—	144	172	12.5	5.2
Si—Cr—Mo	3.70	0.34	1.42	0.33	1.60	—	0.35	—	152	180	15.2	6.0
Mn—Cr—Ni— —Mo—Cu	7.17	0.34	0.32	1.84	1.41	2.43	0.28	0.29	146	178	16.4	5.5

各別合金元素影响淬火鋼机械性能的性质，在某种程度上，在含有多組元的鋼中也保持着。合金元素对于淬火鋼的强度和硬度的影响是微小的。某些元素对于鋼的冲击韧性和韧性儲备量发生明显的影响。

碳对于淬火結構鋼的机械性能起着决定性的影响。虽然含碳量0.2~0.4%的碳素結構鋼是不应用于淬火状态的、这是因为合金結構鋼比上述碳素結構鋼优越的緣故。

主要优点在于合金鋼具有較小的临界淬火速度，因而具有較高的可淬性和較深的可硬性。非合金低碳鋼，特別在厚截面时，不可能淬火成馬丁体。此外，合金鋼比非合金鋼的晶粒长大傾向較小，即过热傾向較小。

淬火(低温回火)状态的合金鋼可以达到优良的韧性，也是合金鋼比碳素淬火鋼优越得多的地方。碳素淬火鋼的特点是脆性高。

下面論述淬火結構鋼中所用的各种合金元素。

**硅** 引入鋼中硅的用量为1.0~1.8%。硅对于鋼的冲击韧性和韧性儲备量起着良好的影响，硅能降低鋼的过热敏感性并能显著地提高馬丁体向托氏体轉变的温度(在鋼回火时)。这就可以提

高低溫回火的溫度，減小淬火殘余應力。

然而硅對於鋼的可硬性的影響微小。硅鋼的可硬性與普通碳鋼的差別很小。因此，結構鋼中除硅外還加入其他合金元素。

**鉻** 合金元素鉻的用量多半是1.0~1.8%。鉻硅鋼具有高的機械性能，小的過熱傾向，但其可硬性是不夠的。

**錳** 為了提高可硬性，向鉻硅鋼中引入錳的用量為0.8~1.4%。鋼中含錳會使鋼的沖擊韌性和韌性儲備量稍微下降，但能保持在比較高的機械性能水平下急劇地提高鋼的可硬性。

大致含有相同數量的鉻、硅和錳(1.0~1.5%)的鋼，稱為鉻錳硅鋼。這種鋼作為馬丁體淬火結構合金鋼，已經得到了最廣泛的應用。

有時為了提高鋼的可硬性和減小鋼在加熱時的晶粒長大傾向，向鉻硅鋼和鉻錳硅鋼中引入鉬量0.15~0.40%。

**鎳** 引入鎳，可以急劇地提高鉻硅鋼和鉻錳硅鋼的可硬性。這樣合成的鋼，廣泛地應用於大截面的零件。為了同樣目的，也可應用鉻鎳鉬鋼。但是它們的應用範圍由於含硅鋼而縮小了。滲碳零件用的鋼是例外。這裡最廣泛使用的是鉻鋼、鎳鋼、鉻鎳鋼和鉻鎳鉬鋼。

我們提出一下在淬火(馬丁體)狀態應用的 IIIX15<sup>①</sup> 號高碳鉻鋼(0.95~1.0%C, 1.3~1.5%Cr)。用這種鋼製造滾珠和滾柱軸承零件，根據工作條件的要求，這些零件應當具有高的耐磨性。由於含碳量很高(這是工具鋼的特徵而不是結構鋼的特徵)，III X15號鋼在淬火和低溫回火後具有硬度  $H_{Rc} \geq 62$ 。

表7中列舉的是在低溫回火(馬丁體)狀態應用的滲碳合金鋼和非滲碳合金鋼。可以看出，滲碳鋼的特點是淬火狀態下的沖擊韌性足夠地高。這是因為其中的含碳量較低的緣故。

30X1CA 號非滲碳鋼得到了廣泛的應用。由於機械性能高並且不含貴重合金元素，這種鋼已經逐漸代替了早先在淬火狀態應

<sup>①</sup> 這個鋼號的標法不符合ГОСТ標準，是工廠採用的鋼號。在實踐中，這個鋼號已經牢固地確定下來了。

用的、比較貴重的鉻鎳鋼和鉻鎳鉬鋼。由于可硬性不太高（在水中淬火時的臨界直徑為 60~80 毫米），這種鋼不用于厚截面的零件。在這種情況下，在鋼的成分中通常是引入增補的鎳量。

表 7 在淬火狀態應用的典型結構合金鋼

鋼	化 學 成 分 (%)					大 致 的 機 械 性 能 指 標					
	C	Mn	Pi	Cr	Ni	$\sigma_T$ (公斤/毫米 <sup>2</sup> )	$\sigma_{\sigma P}$ (公斤/毫米 <sup>2</sup> )	$\delta$ (%)	$\psi$ (%)	$\alpha_K$ (公斤·米/厘米 <sup>2</sup> )	$H_{R0}$
15XA 号 渗碳鋼	0.12~0.18	0.3~0.6	—	0.7~1.0	≤0.4	50	70	11	50	8	—
12XH2A 号 渗碳鋼	0.11~0.17	0.3~0.6	—	0.6~0.9	1.5~2.0	60	80	12	50	9	—
30XTCA 号 非渗碳鋼	0.28~0.35	0.8~1.1	0.9~1.2	0.8~1.1	≤0.4	130	155	7	40	4	—
ШХ15 号 滾珠軸承鋼	0.95~1.0	—	—	1.3~1.5	—	—	—	—	—	—	≥62

### 5. 关于淬火鋼机械性能的近代概念

最近以前，淬火鋼的机械性能是用硬度  $H_E$  ( $H_{R0}$ ) 和抗拉强度极限  $\sigma_{\sigma P}$  (变形抗力指标)、相对延伸率  $\delta$  或收缩率  $\psi$  (塑性指标)、弯曲冲击韧性  $\alpha_K$  (韧性指标) 来表达的。高硬度淬火鋼的上述塑性特征和韧性特征具有那样低的数值(接近于零)，以致通常把这种鋼看成是完全脆性的材料。

Я.Б. 佛利德曼<sup>[4]</sup> 持有这样的见解：淬火鋼只是在一定的应力状态下(拉伸、弯曲)才具有脆性，这时拉伸应力部分足够地大。然而，几乎不被采用的抗扭試驗却能显示出淬火鋼的一些新性能，这在抗拉試驗时是不能显示出来的或是不能给出定量结果来的。

根据 Я.Б. 佛利德曼的意见，测量布氏硬度的可能性本身就

已經證明，這和某些更脆的材料（例如，許多玻璃和硅酸鹽）不同，淬火鋼在一定的應力狀態下有能力產生足夠顯著的塑性變形。

扭轉時最大拉伸應力對最大切向應力的比值，比拉伸時小一半。許多淬火鋼，在拉伸時幾乎是完全脆性的，但在扭轉時卻顯示出顯著的塑性變形。

Я. Б. 佛利德曼提出鉻錳硅鋼 (0.38% C、1.06% Cr、0.89% Mn、1.06% Si) 作為例子，這鋼是在 880° 淬火於油中，隨後不再回火。這鋼雖然在拉伸時是完全脆性的（延伸率實際上等於零），但是在扭轉時卻表現出顯著的塑性（真實延伸率  $\epsilon = 20\%$ ）。

Я. Б. 佛利德曼認為，在拉伸時表現為完全脆性的高硬度淬火鋼的塑性，可以容易而又足夠可靠地在扭轉試驗中確定下來。

根據淬火鋼機械性能的研究結果，Б. Д. 格羅靜<sup>[5]</sup>查明，高硬度淬火鋼以及一般脆性材料在從各方面受到不均勻壓縮時會產生塑性變形。

淬火鋼機械性能的特征主要是硬度。將壓痕體（圓球體、圓錐體、角錐體）壓入受試驗材料，借以確定材料的硬度。這時，相當範圍內的金屬就發生塑性變形。變形的金屬是處在從各方面受到不均勻壓縮的應力狀態。

Б. Д. 格羅靜擬定了一種試驗淬火鋼機械性能的方法。其法以這樣的觀念為基礎：使受試驗樣品的變形部分處在一種容積應力狀態，就象在硬度試驗中將壓痕體壓入金屬時所處的狀態一樣。

將受試驗的圓筒樣品，以不大的緊度壓入由塑性材料（20號鋼）製成的圓筒套圈中。圓筒套圈直徑的大小是樣品直徑的 3.6 倍。壓入以後，樣品和套圈的端面接受磨削。

組合圓筒樣品接受軸向壓縮，達到不同程度的塑性變形：從很小一直到很大。這時，受試驗鋼樣品處在從各方面受到不均勻壓縮的條件之下。

經驗證明，在軸向壓縮應力為 500 ~ 700 公斤/毫米<sup>2</sup> 的情況

下，淬火鋼的塑性变形为8~12%。脆性(也就是在微小变形下破裂的性质)在側面压力約为1000大气压时已經消失。

研究淬火鋼从各方面受到不均匀压缩时所得的图解，使得人們可以确定出这些鋼的机械性能的主要指标。

Б. П. 格罗靜认为，对于受施加載荷和容积应力条件下工作的零件來說，按照他所拟定的方法进行試驗所得，用淬火鋼制造零件的机械性能指标，比之在平面应力状态下所得任何其他指标或者硬度的条件指标，都更加符合零件的实际工作情况。

上述数据肯定了机械制造中利用高硬度淬火鋼机械性能的巨大潛在可能性。

## 第二章 硬质合金和陶瓷刀具材料

### 6. 一般知識

装备切削刀具所用的硬质合金的出現和不断改善，結合其他一些因素，促进了金属切削加工领域中近代成就的获得。

硬质合金的切削性能比其他刀具材料优越得多。这就使得金属的高速切削能够出現并广泛发展，使得高硬度淬火鋼和其他难加工鋼的机械加工(車削、切制螺紋、銑削、钻削、鏢削和鉸削)能够实现。

本章叙述苏联和其他国家生产的硬质合金的基本知識。同时也列述了新刀具材料——陶瓷的数据，陶瓷刀具有广泛的工业应用的前景。陶瓷刀具已經开始应用于淬火鋼的加工上。

切削刀具的生产率在很大程度上是取决于刀具材料長時間保持本身切削性能的能力。刀具材料的切削性能，主要是取决于其硬度和耐磨性，同时也取决于其韌性、热傳导系数、冲击强度和抗弯强度。

为了能够实现切削过程，切削刀具应当比被加工材料有更高的硬度。在切削过程中，刀具的工作刃面发生磨損。在所有实际可能的金属切下层厚度、切削速度、刀具材料和被加工材料的物理机械性能条件下，在整个切削过程进行中，刀具磨損是不断地进行着。刀具材料的切削性能愈高，它的耐磨性也就愈高。

在切削过程中会析出热量，因而在切削区域内就使金属切下层(轉变成切屑)和刀具发热。在采用現代机械加工中典型的高速切削时，刀具的切削刃被加热到 $800^{\circ}$ 以上。

刀具材料在高温下保持本身切削性能(主要是硬度和耐磨性)的能力，称为耐热性。

刀具切削部分材料的硬度、耐磨性、耐热性、韌性、机械强度、热傳导系数愈高則脆性愈低，使刀具的生产率愈高。



硬质合金的高切削性能，主要是由于其中含有高熔点金属的碳化物，其特征是高硬度、高耐磨性和高熔点。硬质合金中采用着比较不多的几种金属。在工业中应用的苏联硬质合金牌号里，只采用着三种金属：钨、钛和钴。表 8 中列举硬质合金生产中所用金属和碳化物的某些性能数据。高熔点金属碳化物的高硬度和高熔点可以清晰地显示出来，当把它们和碳化铁（渗碳体  $Fe_3C$ ）对比的时候。碳化铁的摩斯硬度为 7，熔点为  $1560^{\circ}$ 。

表 8 硬质合金中所含某些高熔点金属和碳化物的性能

金 属					碳 化 物					
名 称	化学符号	比 重 $\gamma$ (克/厘米 <sup>3</sup> )	熔点 ( $^{\circ}C$ )	摩斯 硬度	名 称	化学式	比 重 $\gamma$ (克/厘米 <sup>3</sup> )	含碳量 (%)	熔点 ( $^{\circ}C$ )	摩斯 硬度
高熔点金属					碳化钨	WC	15.7	6.12	2870	9
钨	W	19.5	3360	7	碳化钨	W <sub>2</sub> C	17.2	3.16	2790	>9
钛	Ti	4.5	1730	4	碳化钛	TiC	4.5	20.00	3140	8~9
钽	Ta	16.6	3030	7	碳化钽	TaC	14.0	6.21	3880	9
铌	Nb	7.4	2500	—	碳化铌	NbC	7.5	11.42	3500	9
钒	V	5.8	1720	—	碳化钒	VC	5.3	19.05	2830	>9
锆	Zr	6.5	1860	6.5	碳化锆	ZrC	7.9	11.65	3530	8~9
钼	Mo	10.3	2620	6	碳化钼	Mo <sub>2</sub> C	8.9	5.88	2690	7~9
铬	Cr	6.7	1920	9	碳化铬	Cr <sub>4</sub> C	7.2	5.45	1780	7
铁族金属					碳化铬	Cr <sub>7</sub> C <sub>3</sub>	6.5	9.00	1700	7
钴	Co	8.7	1480	5						
镍	Ni	8.9	1450	5						

已经指明，高熔点金属碳化物就是使硬质合金具有高硬度、高耐磨性和高耐热性的成分。然而完全用碳化物来制造硬质合金是不行的，因为碳化物太脆而且强度太低。为了使硬质合金具有必要的强度，向碳化物中加入辅助金属，把碳化物微粒粘合成坚固的整体。实践中主要是采用钴作为粘金属。

## 7. 苏联的硬质合金

### 硬质合金的分类

根据化学成分，目前苏联出产的硬质合金基本分为两大类：

1) 单碳化物的錳类硬质合金，由碳化錳 (WC) 晶粒、借鈷 (Co) 粘結而組成；

2) 双碳化物的鈦錳类硬质合金，由碳化錳在碳化鈦 (TiC) 中固溶体的晶粒和过剩的碳化錳晶粒、借鈷粘結而組成，或仅由碳化錳在碳化鈦中固溶体的晶粒、借鈷粘結而組成。

苏联硬质合金的牌号、刀片的形状和品种以及硬质合金的技术条件，都已经标准化。ГОСТ3882-53，代替旧有的ГОСТ3882-47 和 2209-45、以及 ОСТ ИМ-201-39，规定了十三种标准的硬质合金牌号(表9)。ГОСТ2209-55 中规定了硬质合金刀片形状和尺寸的标准。表10中列举了刀片形状的分类。

如表9中所示，从前ОСТ ИМ-201-39 是用 «PЭ» 来表示錳类硬质合金，用 «α» 来表示鈦錳类硬质合金的。现行的符号系统则是按下列基础来构成的：

1) BK 表示錳鈷类硬质合金；K 右側的数字表示鈷的百分含量。譬如，BK3就表示这是含鈷 3% 的錳类硬质合金；

2) TK 表示鈦錳鈷类硬质合金；T 后面的数字表示碳化鈦 (TiC) 的百分含量；K 后面的数字则表示鈷的百分含量。譬如，T15K6就表示这是含 TiC15% 和鈷 6% 的鈦錳类硬质合金；其余百分含量为碳化錳。

ГОСТ4872-52 定出了硬质合金刀片的技术条件，刀片的驗收规范和試驗方法，以及刀片的标号、包装和技术文件。

硬质合金刀片应做抗弯强度試驗和硬度試驗，也应做切削試驗。此外，应当檢查刀片的比重(檢查精度达0.05)、宏观組織以及綫性尺寸和角度。

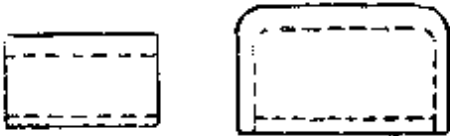


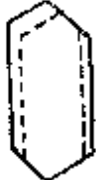




用与給定批号刀片相同的原料混合物，制成尺寸为  $5 \times 5 \times 35$  毫米的正方形截面的样品。将样品装在特殊的杠杆仪器上，来确定刀片的抗弯强度极限。

用綠色碳化硅砂輪(陶瓷粘結的、粒度80、硬度CM2)，修光刀片的寬面至深度为 0.2 毫米，然后在其上檢驗刀片的洛氏硬度  $H_{RA}$ 。应当沿刀片的对角綫上，选择三点(彼此距离以及至角頂



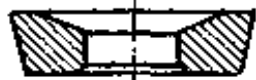

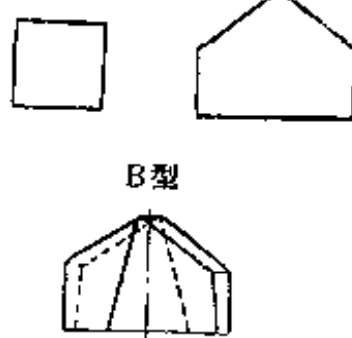

表9 苏联硬质合金的成分和主要性能






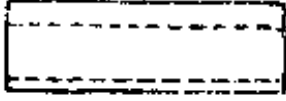


硬质合金 类别	牌 号		大致的化学成分(%)				物 理 机 械 性 能			热传导系数 ( $\frac{\text{卡}}{\text{厘米} \cdot \text{秒} \cdot \text{°C}}$ )	
	OCT	牌	YOCT	YOCT	碳化钨 WC	碳化钨 化钴 TiC	钴 Co	抗弯强度极限 $\sigma_{0.2}$ (公斤/毫米 <sup>2</sup> ) 不低于	比重 $\gamma$ (克/厘米 <sup>3</sup> ) 不低于		洛氏 硬度 $H_{RA}$ 不低于
单碳化物	HM-201-39	2209-45	3881-47	3882-53							
钴钨类硬	—	—	—	BK2	98	—	2	100	15.0~15.4	90.0	—
	P33	BK3	BK3	BK3	97	—	3	100	14.9~15.8	89.0	0.169
	—	—	BK3a	—	97	—	3	100	14.9	89.0	—
	P36	BR6	BK5	BK6	94	—	6	120	14.6~15.0	88.0	0.145
	—	—	BK6a	—	94	—	6	110	14.6	88.5	—
	P38	BK8	BK8	BK8	92	—	8	130	14.4~14.8	87.5	0.141
钨合金	—	—	—	BK10	92	—	8	130	14.35	87.5	—
	—	—	BK8a	—	90	—	10	135	14.2~14.6	87.0	—
	—	—	BK10	—	90	—	10	135	14.2	87.0	—
	—	—	BK10a	—	89	—	11	150	14.0~14.4	86.0	—
	—	BR17	—	BK11	88	—	12	150	14.1	87.5	—
	P312	—	BK15	BK15	85	—	15	160	13.9~14.1	86.0	0.168
双碳化物	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
的钛钨类	—	—	—	T5K10	89	5	6	80	12.4	88.0	—
	—	—	T5K10	T5K10	85	6	9	115	12.3~13.2	88.5	0.373
	—	—	—	T14K8	78	14	8	115	11.2~12.0	89.5	—
	—	—	T15K6	T15K6	79	15	6	110	11.0~11.7	90.0	0.065
硬质合金	—	—	—	T15K6T	79	15	6	110	11.0~11.7	91.0	—
	—	—	—	—	71	21	8	100	10.0	88.0	—
	—	—	T30K4	T30K4	66	30	4	90	9.5~9.8	92.0	—
—	—	—	T60K6	34	60	6	75	6.5~7.0	90.0	—	

表 10 硬质合金刀片形状的分类 (ГОСТ 2209-55)



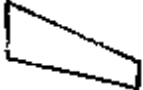
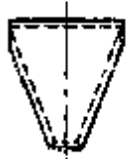

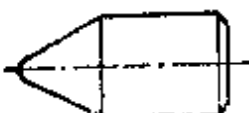

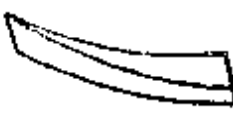
刀片形状代号	简 图	用 途 举 例
01	<p style="text-align: center;">A 型                      B 型</p> 	用于外圆车刀(直头的和弯头的)、光宽车刀、镗刀和车槽刀
02	<p style="text-align: center;">A 型                      B 型</p> 	用于沿后隙面出现最大磨损的外圆车刀(直头的和弯头的)、光宽车刀、镗刀和车槽刀
03		用于受沉重载荷的弯头外圆车刀
04		用于直头外圆车刀
06		用于盲孔镗刀和偏刀
07		用于偏刀和外圆车刀
08		用于 $\varphi = 60^\circ$ 的镗刀和外圆车刀, 也用做铣切头的刀片
09		用于自动机床车刀



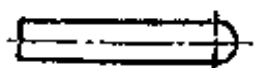

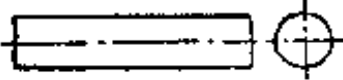
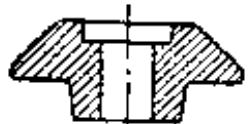

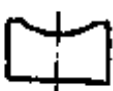
續表

刀片形状代号	简 图	用 途 举 例
10		用于外圆车刀和镗刀，也用做端铣刀的刀片和偏刀的刀片
11		用于光车刀和螺紋車刀
12		用于碗形車刀(圓根車刀和輪环車刀)
13	<p style="text-align: center;">A型                  B型</p> 	用于切断刀和車槽刀
14	<p style="text-align: center;">A型                  B型</p> 	用于直槽麻花钻头
15		用于样板刀和加工燕尾槽时的切刀

刀片形状代号	简 图	用 途 举 例
16		用于圆根车刀和輪环车刀
17		用于加工非金属材料的钻头
18		用于圆弧倒角车刀
20		用于端铣刀和端镗钻
21		用于立铣刀和键槽铣刀，用于加工盲孔时的镗钻，用于端镗钻
24		用于圆盘铣刀、立铣刀和T形槽铣刀，也用于组合机床的柱形端铣刀
25		用于加工通孔时的镗钻
26		用于铰刀

續表

刀片形 狀代號	簡 圖	用 途 舉 例
27		用于平面銑銑
30		用于螺旋銑刀
31		用于角銑刀
32		用于三角皮帶輪的車槽刀
33		用于多刀機床上的機械夾固式的外圓車刀
34		用做車床和外圓磨床的頂針
35		用于螺旋齒套柄端銑刀，直徑從10至22毫米
36		用于螺旋齒套柄端銑刀和立銑刀，直徑從10至120毫米

刀片形状代号	简 图	用 途 举 例
37		用于大走刀量时的外圆车刀
38	<p style="text-align: center;">A型          B型</p> 	用于深孔钻头
39		用做深孔钻头的导杆
40		用于端铣刀
41		用于切下薄层的镗刀
42		用做第12种形状产品的卷屑器
43		用做滚道(轴承的)车刀
44		用于样板刀



的距离都相等的三点)来测定刀片的硬度。

制造工厂必需把硬质合金的牌号，借戳印法或滚印法，打在每个刀片的上方表面(或刀片的任何其他表面，但支承面为例外)。也可以涂复一条宽度不大于5毫米的色带在刀片上，作为刀片标号。不同牌号硬质合金已用下列色彩表示：

BK3a .....	黑色
BK 6 .....	藍色
BK6a .....	紫色
BK 8 .....	紅色
T5K10 .....	黄色
T15K 6 .....	綠色
T30K 4 .....	淡藍色

面积小于0.5厘米<sup>2</sup>的刀片，不采取单片标号法。对于这样小尺寸的刀片，标号是打在刀片盒上。

硬质合金刀片的标号，具有重大的实际意义。应当指出，有些制造工厂并没有完全执行这个重要规则。因此，使用工厂往往把不同牌号的刀片搞混了，造成不正确地使用硬质合金刀具的情况。

### 硬质合金生产工艺的简要知识

就合金这个词的一般涵义来说，硬质合金不能叫做合金。硬质合金的生产工艺与碳钢、合金钢、高速钢的制造工艺有原则上的区别。碳钢、合金钢、高速钢是在熔炉内熔炼，随后轧制出来。硬质合金的生产则属于粉末冶金过程。硬质合金是用烧结方法来获得，因为用熔炼方法不能制成合用的硬质合金产品(由于碳化钨要分解)。

图5和6简略地表示出了硬质合金制品的制造过程，从原料开始一直到制成产品为止。制造硬质合金用的最主要的原料是钨酐(或钨酸、对钨酸铵)、钨粉、二氧化钛、氧化钴(或钴粉)和煤烟。

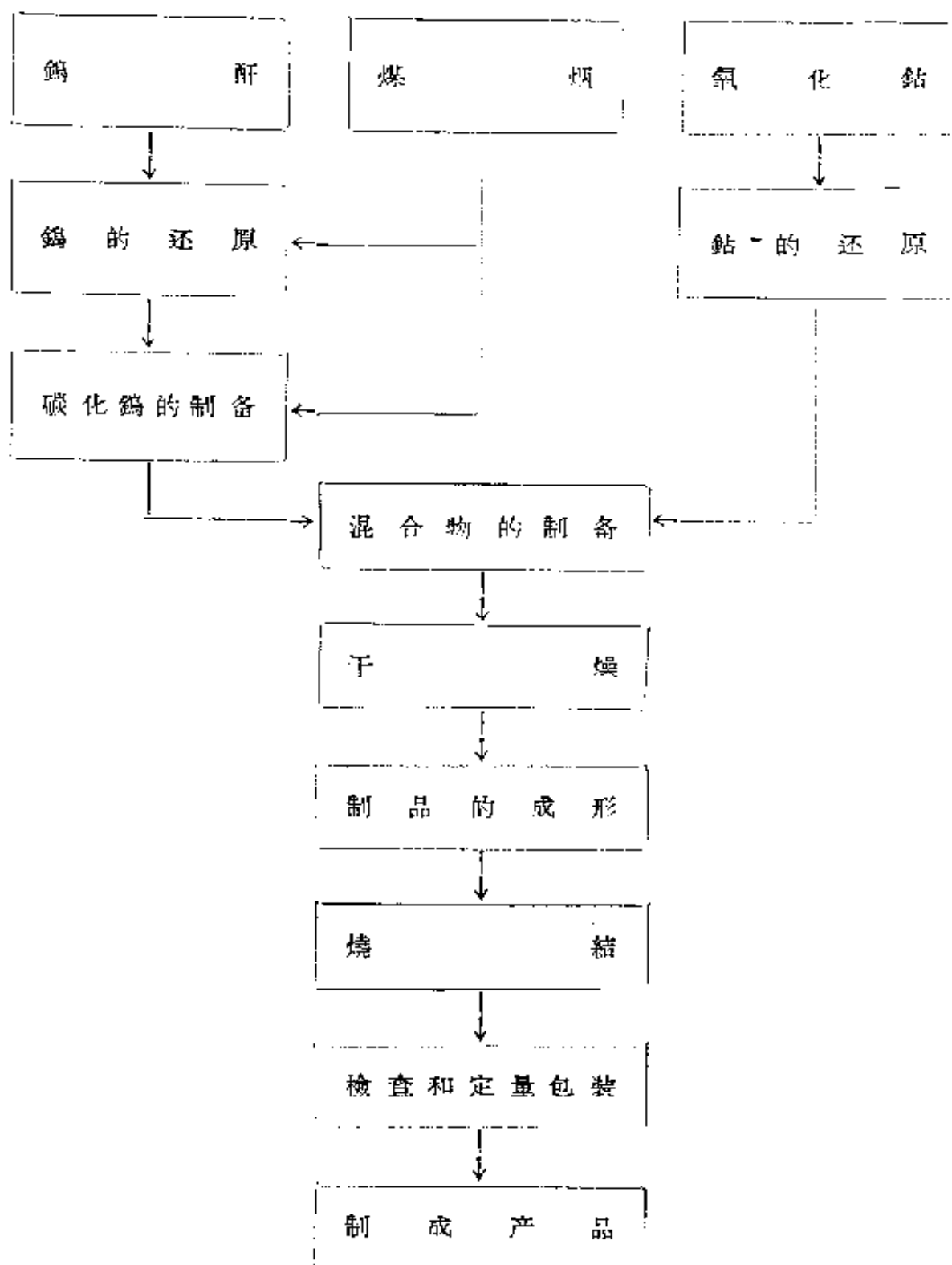


图5 錳类硬质合金制造工艺过程的简图

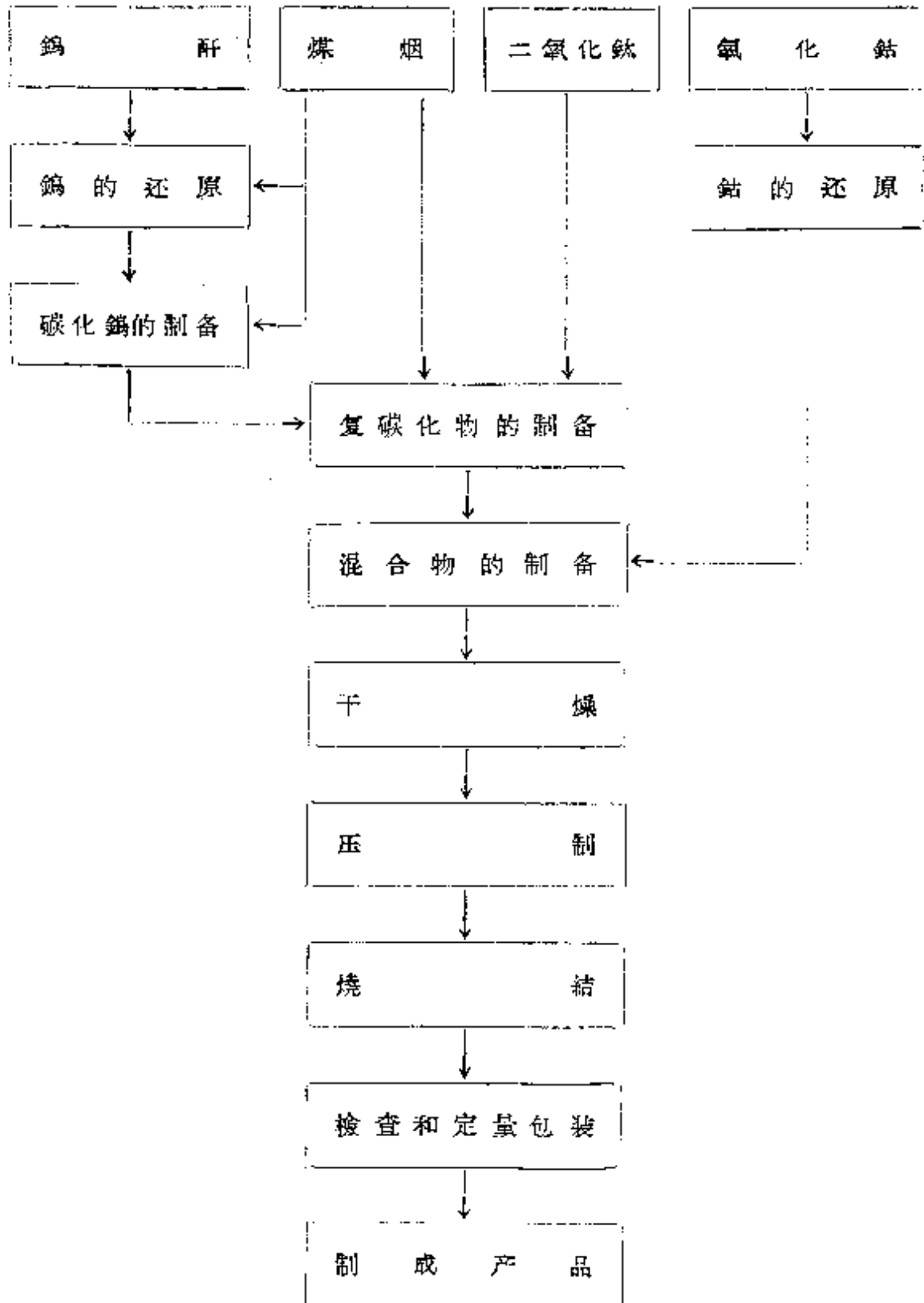


图 6 鈷鎢类硬质合金制造工艺过程的简图

各种碳化物或是直接由金属氧化物来制成，或是由作为中间产品的金属粉末来制成。将个别碳化物或制成的复碳化物与钴粉混合，用湿法磨碎到成为完全均匀的细微碳化物混合物为止。将潮湿混合物烘干，必要时进行一次还原处理，然后压制成刀片素坯或规定形状的制品的素坯。

某些制品是按下述方式制备：

预先在 $800 \sim 1000^\circ$ 烧结成粗坯刀片，然后修切成应有尺寸的细坯。

将用各种方法所得规定形状的细坯，放在有保护介质的电炉中烧结成成品。

硬质合金不需要再接受热处理，如淬火、回火等。

### 硬质合金的主要性能

**硬度** 硬质合金的最宝贵的特性在于它自然硬度高，这是由于其中含有大量高熔点金属碳化物来决定的。硬质合金的化学成分、结晶的粒度和组织，影响到硬质合金的硬度值。硬质合金中的碳化物总含量愈高、结晶的分散度愈高、固溶体中的碳化物含量愈高，那末，硬质合金的硬度也就愈高。钛钨类硬质合金的硬度照例是比钨类硬质合金高，这是由于在钛钨类硬质合金中形成了比较坚固的碳化物骨骼、以及复碳化物具有较高的硬度（与碳化钨的硬度相比）所致。

用做切削刀具的现代硬质合金的硬度达到了  $H_{RA} = 93$ （指硬质合金 T30K4 而言）。表 9 中列举了现在出产的硬质合金的硬度的下限。这些硬质合金的真实硬度通常比表中所示下限高出 1.0 ~ 1.5 个单位。

在室温下，硬质合金的硬度比高速钢高出 10 个单位（按  $H_{RC}$ ）。显然，高硬度钢（淬火钢）的切削加工，只有在采用硬质合金刀具（和陶瓷刀具）的情况下才有可能实现。

在同样条件下制成的各种钨类硬质合金的含钴量和硬度  $H_{RA}$  之间存在着紧密的关系。硬度随着含钴量的增大而下降。譬

如，硬质合金BK2(含钴2%)的硬度是 $H_{RA}=90$ ，而硬质合金BK15(含钴15%)的硬度则是 $H_{RA}=86$ 。

钛钨类硬质合金的硬度随着其中碳化钛含量的增大而升高。和钨类硬质合金一样，钛钨类硬质合金的硬度也随着含钴量的增大而下降。

**抗弯强度** 抗弯强度极限 $\sigma_{su}$ 是硬质合金的机械强度主要特性之一。根据这项特性，可以判定硬质合金的韧性。钨类硬质合金的抗弯强度极限随着含钴量的增大而增大，钛钨类硬质合金的抗弯强度极限则随着碳化钛含量的增大而下降。由表9可知，当钨类硬质合金的含钴量从2%(BK2)增加到15%(BK15)时，抗弯强度极限 $\sigma_{su}$ 增大了60%(从100增大到160公斤/毫米<sup>2</sup>)。对于钛钨类硬质合金来说，由于碳化钛含量从5%(T5K10)增大到60%(T60K6)，就使得抗弯强度极限 $\sigma_{su}$ 从115下降到75公斤/毫米<sup>2</sup>。

钛钨类硬质合金的强度和韧性比钨类硬质合金低。 $\sigma_{su}$ 的实际平均值，比表9中所示的数值高出10~15%。一般说来，硬质合金在抗弯强度方面是远逊于高速钢的。高速钢的 $\sigma_{su}=370$ 公斤/毫米<sup>2</sup>。

已经证实<sup>[6]</sup>，含钴量低于10%的硬质合金在承受弯曲一直到破裂时为止，其中没有出现永久变形。只有在含钴量高于20%时，这种永久变形才成为可以觉察出来的。

**抗压强度** 钨类硬质合金的含钴量为3~5%时具有最大的抗压强度极限 $\sigma_{sc}$ 值。随着含钴量的继续增大，抗压强度极限 $\sigma_{sc}$ 就急剧地下降。钛钨类硬质合金的碳化钛含量增大时 $\sigma_{sc}$ 也下降。

现代硬质合金的特点是抗压强度很高。硬质合金T15K6的 $\sigma_{sc} \approx 440$ 公斤/毫米<sup>2</sup>，而高速钢P18的 $\sigma_{sc} \approx 380$ 公斤/毫米<sup>2</sup>。

**抗拉强度和相对延伸率** 由于硬质合金的脆性，使得很难确定其抗拉强度。实验<sup>[6]</sup>证明，含钴量小于10%的钨类硬质合金，在不显著的弹性变形后就被拉断，而没有塑性变形。抗弯强

度极限 $\sigma_{su} = 144 \sim 165$  公斤/毫米<sup>2</sup> 的錳类硬质合金，其抗拉强度极限仅为 $36 \sim 62$  公斤/毫米<sup>2</sup>。

錳类硬质合金的 $\sigma_{sp}$ 对 $\sigma_{sc}$ 的比值約为0.3 (高速鋼的这个比值为0.7)，而 $\sigma_{sp}$ 对 $\sigma_{su}$ 的比值約为0.5。工业用各种牌号硬质合金的相对延伸率(拉伸时) $\delta \approx 0$ 。

**冲击韧性** 硬质合金的脆性决定着自已对于切削过程中的冲击载荷和振动的抵抗能力較低。这就会招致硬质合金刀片的崩刃和切削刀具的提前报废。

带切口的硬质合金样品的单位冲击韧性 $a_k$  (简称冲击韧性)，可以作为自已对于冲击载荷的抵抗特性。

在进行硬质合金的机械性能試驗时，通常是不測定 $a_k$ 的。但是И.С. 勃罗兴<sup>[7]</sup>的研究結果具有很大的意义。他証明，錳类硬质合金的冲击韧性比鈦錳类硬质合金的高：硬质合金BK9的 $a_k = 0.3 \sim 0.4$  公斤·米/厘米<sup>2</sup>，而硬质合金T21K8的 $a_k = 0.20 \sim 0.25$  公斤·米/厘米<sup>2</sup>。当錳类硬质合金加热到 $300^\circ$ ，而鈦錳类硬质合金加热到 $400^\circ$ 时，发现 $a_k$ 急剧地增高：前者增高一倍，后者增高两倍以上。繼續升高温度到 $500^\circ$ 时，两类硬质合金的冲击韧性都回降到相当于室温时的水平。錳类硬质合金的冲击韧性保持在这个水平，一直到 $800^\circ$ 为止；鈦錳类硬质合金的 $a_k$ ，在 $600 \sim 800^\circ$ 温度范围内，重新出現某些升高。

为了比較起見，我們指出，碳鋼和高速鋼的冲击韧性比硬质合金高，碳鋼和高速鋼的 $a_k = 0.89$  公斤·米/厘米<sup>2</sup>。

**塑性** 硬质合金的特征是塑性極低。这由表11可以看出。表中列举了硬质合金和高速鋼的比較数据。

**耐磨性** 硬质合金耐磨性的問題虽然很重要，但仍研究得很少。Г.И. 格藍諾沃斯基<sup>[8]</sup>对于各种刀具材料耐磨性的詳細研究，具有很大的意义。下面叙述他这项工作的一些主要結論。

利用了特殊的装置来做实验，可以在接近切削过程中摩擦磨损真实条件的情况下，来确定沿不同被加工材料摩擦的各种刀具材料样品的耐磨性。

表 11 載荷为1000公斤/厘米<sup>2</sup>时，硬质合金的鍛縮程度

硬质合金的牌号	不同温度(°C)下的鍛縮程度(%)			
	600°	900°	1000°	1100°
BK 6	0	0	0.3	1.5
BK15	0	0.12	0.65	2.5~3.0
T15K 6	0	0	0.1	0.8
高速鋼, $\sigma_{sp} = 60$ (公斤/毫米 <sup>2</sup> )	7	50	60	80

耐磨性  $B$ ，由每磨損 1 毫克材料所需消耗的功来表达：

$$B = \frac{TL}{\Delta M} \text{ 公斤} \cdot \text{米} / \text{毫克},$$

式中  $T$ ——摩擦力(公斤)；

$L$ ——摩擦路徑的长度(米)；

$\Delta M$ ——磨損材料的质量(毫克)。

研究証明，耐磨性并不是刀具材料的什么恆定不变的性能。对于同一材料來說，随其摩擦磨損条件的改变，其耐磨性  $B$  与摩擦速度  $v$  有关。图 7 所示是实验所得各种牌号硬质合金和高速鋼 P18 的耐磨性与摩擦速度的关系。样品的摩擦磨損是沿 45 号碳鋼进行的。在所有摩擦速度下，所有样品的摩擦总路徑都是  $L = 2000$  米。

由图 7 可以看出，所有被研究刀具材料的耐磨性  $B$  随摩擦速度  $v$  变化而变化的情况是有其共同規律性的。在低摩擦速度区域内(低于 10 米/分)，所有材料的耐磨性  $B$  都随着  $v$  的增大而稍微减小。 $B$  的最小值相应于摩擦速度  $v = 10 \sim 20$  米/分。随着  $v$  增大到超过 20 米/分以后，耐磨性就增大，并且各种刀具材料都在各自一定的摩擦速度下，达到本身耐磨性的最大值。当  $v$  继续增大时，耐磨性就重新下降，并且在所有情况下，这些曲线都显示出向横坐标軸趋近的傾向。

各种受試驗刀具材料虽然有其共同規律性，但是耐磨性  $B$  的

最大值、出現最大耐磨性的摩擦速度值、以及这些曲綫往后的样式的特点，却是有很大分歧的。

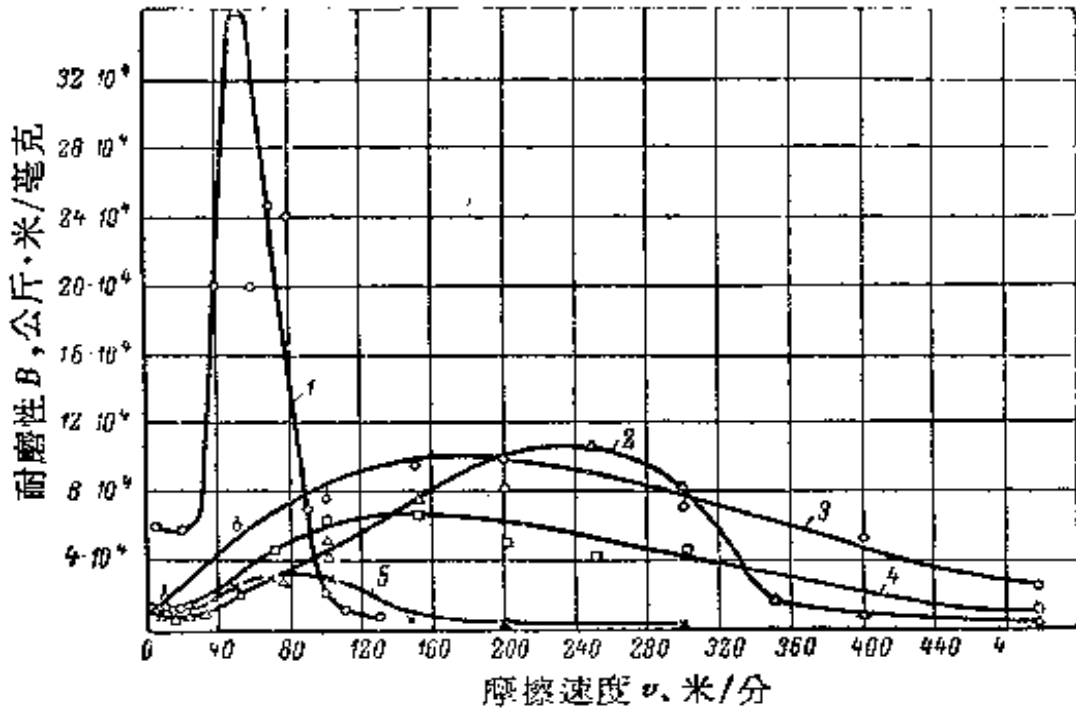


图7 沿45号鋼进行干摩擦磨損时，刀具材料的耐磨性 $B$ 与摩擦速度 $v$ 的关系。正压力 $p=10$ 公斤/毫米<sup>2</sup>。摩擦面积从0.75到3.0毫米<sup>2</sup>

1—高速鋼P18；2—硬质合金T15K6；3—T60K6；4—T30K4；5—BK8

高速鋼的耐磨性曲綫与硬质合金的耐磨性曲綫差別非常大。当摩擦速度低于90米/分时，高速鋼的耐磨性比所有被研究牌号硬质合金的耐磨性高；当 $v > 100$ 米/分时，这个关系就变成对后者有利。高速鋼的耐磨性的最大值比硬质合金的耐磨性高几倍。

在这几种受試驗的硬质合金牌号中，以T15K6在摩擦速度約为250米/分时的耐磨性为最大。其他牌号硬质合金，按其耐磨性最大值漸減的次序，可以排列如下：T60K6（在 $v \approx 180$ 米/分），T30K4（在 $v \approx 150$ 米/分），BK8（在 $v \approx 80$ 米/分）。在摩擦速度 $v$ 从190將近到310米/分的範圍內，硬质合金T15K6比T30K4和T60K6具有更大的耐磨性。

当摩擦速度超过350米/分时，鈦鎢类硬质合金表现出另一种景象。在这个摩擦速度範圍內，最耐磨的乃是硬质合金T60K6。硬质合金T15K6的耐磨性这时是逊于T30K4的。只有在 $v > 500$



米/分吋，它們的耐磨性实际上才成为相近的。

根据所得实验数据(图7)，Г.И. 格兰諾夫斯基得出結論：刀具切削部分材料的耐磨性乃是刀具耐用度的主要原始物理特征。他把图7中的曲綫和图8中的曲綫进行对照，借以說明自己的結論。因为图8中的曲綫反映出(由許多研究者所已証明了的)硬质合金車刀耐用度变化与切削速度变化的关系的共同規律性。

可以看出，耐磨性 $B$ 随摩擦速度而变化的特性和車刀耐用度 $T$ 随切削速度而变化的特性是完全同样的。反映出車刀切削部分磨損增长速度的耐用度 $T$ ，間接地表示出刀具材料(制造車刀切削部分的材料)的耐磨性。遭受磨損的車刀切削部分接触面积上摩擦速度的变化，就相应于切削

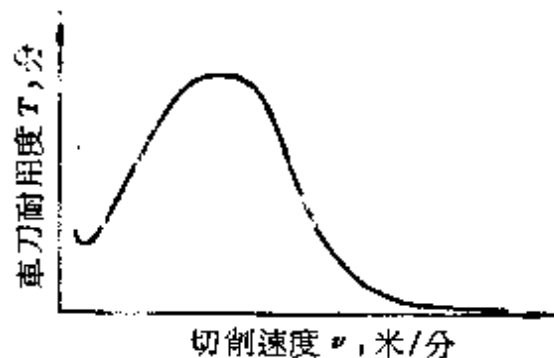


图8 硬质合金車刀耐用度与切削速度的依变关系

速度的变化。由此可知，图8所示車刀耐用度随切削速度变化而变化的共同規律性，与車刀切削部分材料耐磨性随摩擦速度变化而变化的規律性之間，应当存在着直接的联系。

Г.И. 格兰諾夫斯基的工作从理論上肯定了使用硬质合金刀具的实践經驗，肯定了对于硬质合金刀具耐用度关系的个别研究結果。大家知道，錳类硬质合金BK8不能有效地应用于低硬度和中等硬度鋼的加工，而高速鋼刀具則可以在切削速度 $v=30\sim 80$ 米/分下成功地应用于鋼的加工。只有在采用一定范围的切削速度时，才能保証有效地利用鈦錳类硬质合金来加工鋼料：对于硬质合金T15K6—— $v=150\sim 350$ 米/分，T30K4—— $v=300\sim 600$ 米/分，T60K6—— $v=300\sim 1200$ 米/分。在加工 $\sigma_{sp}<100$ 公斤/毫米<sup>2</sup>的鋼料时，鈦錳类硬质合金在 $v<50$ 米/分的情况下不能得到应有的效果，因为这时鈦錳类硬质合金磨損剧烈。

由实验数据〔8〕得知，刀具材料耐磨性数值还与配偶鋼料(和刀具材料相配而进行摩擦磨損过程的鋼料)的强度有关。当磨

損条件相同时，刀具材料的耐磨性随着配偶鋼料强度的降低而提高。

我們再来談一談 Г.И. 格蘭諾夫斯基<sup>[8]</sup> 研究过的摩擦系数的問題。图 9 表示的是高速鋼 P18、硬质合金 BK8、T15K6、T30K4、T60K6 沿 45 号碳鋼摩擦时，所得摩擦系数  $\mu$  ( $\mu = \frac{T}{P}$ ，这里  $P$ ——正压力) 与摩擦速度的关系曲綫。可以看出，高速鋼 P18 和硬质合金 BK8 的摩擦系数几乎是同样大小的。所有被研究的鈦錳类硬质合金的摩擦系数具有同样的大小，但比硬质合金 BK8 的小得多。

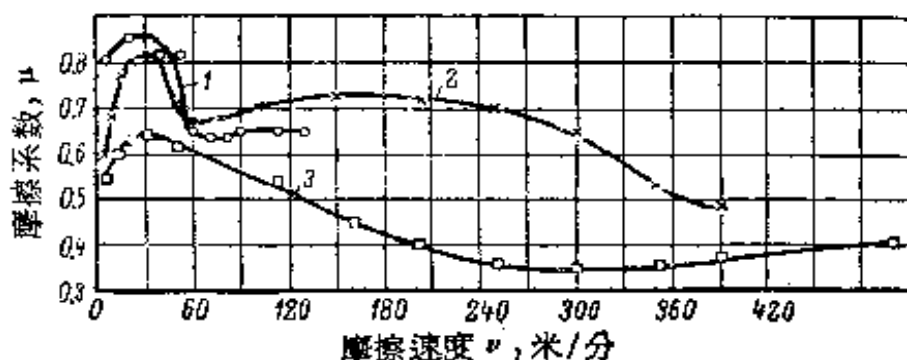


图 9 在沿 45 号鋼干摩擦时，摩擦速度  $v$  对摩擦系数  $\mu$  的影响。正压力  $p = 10$  公斤/毫米<sup>2</sup>。摩擦面积从 0.75 到 3.0 毫米<sup>2</sup>

1—高速鋼 P18；2—硬质合金 BK8；3—硬质合金 T15K6、T30K4、T60K6

如果說摩擦系数  $\mu$  随着摩擦速度的增大而增大、再减小、随后又重新增大(图 9)，那末，象实验数据<sup>[8]</sup> 所証实的那样，摩擦系数  $\mu$  与正压力  $p$  变化的关系却是比較简单的：在其他条件相同时，摩擦系数  $\mu$  随着正压力  $p$  从 5 增大到 40 公斤/毫米<sup>2</sup> 而不断地减小。

图 10 是表达耐磨性  $B$ 、摩擦系数  $\mu$ 、温度  $\theta$  对摩擦速度  $v$  的关系的变化規律性曲綫。这些曲綫是根据实验<sup>[8]</sup> 的数据描繪出来的。实验<sup>[8]</sup> 是对硬质合金 T15K6、T30K4 样品，在同样摩擦磨損条件下完成的。

这里，在耐磨性  $B$  和摩擦系数  $\mu$  之間是不存在直接的单值函

数关系，并且，一方面在耐磨性  $B$  和被磨損样品温度之間，另一方面在摩擦系数  $\mu$  和温度  $\theta$  之間，也是不存在直接的单值函数关系。

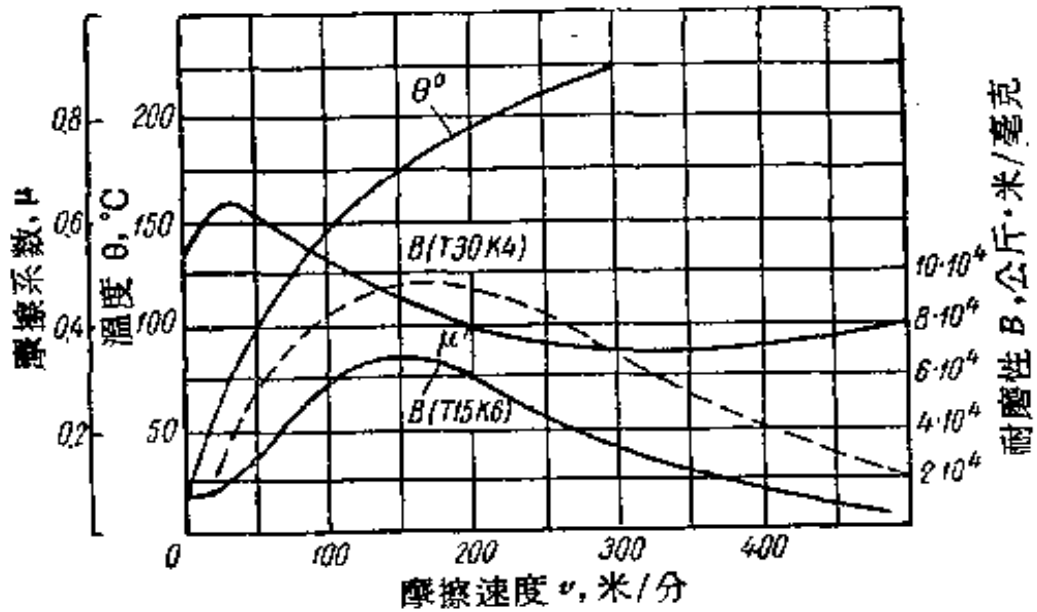


图 10 摩擦速度  $v$  对摩擦系数  $\mu$ 、温度  $\theta$ 、耐磨性  $B$  的影响

**耐热性** 耐热性是刀具材料的最重要特性之一。在现代的高速切削过程中，切削区域的温度达到  $800^{\circ}$  以上。因此，刀具材料的耐热性就具有决定性的意义。硬质合金的耐热性比高速钢的高得多，这是在金属加工中保证如此广泛使用硬质合金刀具材料的基本因素之一。

关于加热温度对于硬质合金硬度的影响问题，已经做了许多研究工作。

В. Я. 利斯金<sup>[9]</sup> 确定了加热温度和硬质合金硬度之间的关系，他的结论是，甚至在  $900 \sim 1200^{\circ}$  的温度下，硬质合金的硬度仍旧保持不变。详细研究了这个问题 А. И. 别坦聶李<sup>[10]</sup> 和 Н. Ф. 卡扎柯夫<sup>[11]</sup> 却得出了另外一样的结论。他们的工作结果列举在表 12 和图 11 中。

А. И. 别坦聶李在特殊的装置上进行了自己的试验。在电炉中将被研究样品加热到所需的温度，而电炉则是安装在布氏硬度机的升降螺钉头上。为了防止在加热时发生氧化，硬质合金样品

接受了保护性化学热处理。硬质合金制成的触头具有 $136^\circ$ 角四面角锥体的形状。因为触头所具有的温度比样品的低，所以在测量压痕时就会发生某种温度下降而歪曲了试验结果。这种歪曲由修正系数来估算。俟被试验样品冷却后，测量遗留在其上的压痕的面积，将载荷375公斤除以这个压痕面积，确定出硬度 $H_{136}$ 。

表 12 硬质合金和陶瓷刀片在不同加热温度下的硬度

(A. И. 别坦聶李的数据)

刀 具 材 料		加 热 温 度 ( $^{\circ}\text{C}$ )					
		20	200	400	600	800	1000
		硬 度 $H_{136}$					
硬质合金	BK2	1370	1210	1050	900	700	500
	BK6	1160	1010	860	700	500	300
	BK8	1130	1000	820	650	460	260
	T5K10	1200	1030	830	640	420	250
	T14K8	1250	1080	880	680	500	300
	T15K6	1280	1120	910	720	540	370
	T30K4	1370	1200	1000	800	620	440
	T60K6	1300	1230	1050	820	570	380
陶瓷刀片UM-332		1370	1250	1130	1010	900	790

陶瓷刀片的硬度是借助于同样材料制成的触头，在载荷为250公斤的情况下进行试验的。

H. Ф. 卡扎柯夫的试验是在一种特殊仪器上进行的。这仪器可以把各种硬质合金在真空中加热到 $1100^\circ$ 温度来测量它们的硬度。所用金刚石触头具有 $136^\circ$ 角四面角锥体的形状。根据载荷为1公斤的普通公式，来确定角锥法硬度 $H_n$ 的数值。

表12和图11说明，在室温下( $20^\circ$ )，各种牌号硬质合金的排列顺序，由H. Ф. 卡扎柯夫和由A. И. 别坦聶李所得到的乃是一样的。然而，这从表13是更加显而易见的，钛钨类硬质合金的这些数据，特别是在高温下，在加热温度对于硬质合金硬度下降的影响程度方面，彼此之间是有显著差别的。

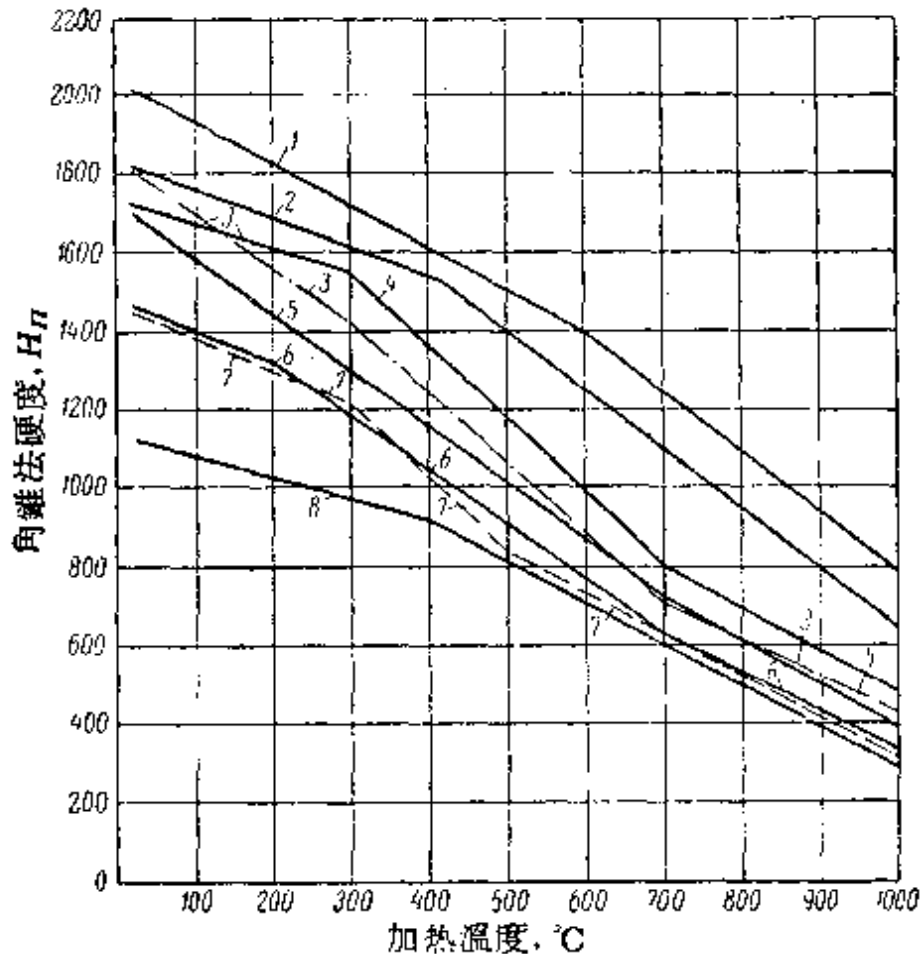


图 11 硬质合金和陶瓷刀片样品在真空中加热时硬度的变化

1—陶瓷刀片UM-332; 2—硬质合金BK2; 3—T60K6; 4—T30K4; 5—T15K6; 6—BK8; 7—T5K10; 8—BK15

从所观察的数据可知，硬质合金的硬度随着加热温度的升高而急剧地下降；硬质合金的含钴量愈低，在给定温度下其硬度就愈高，反之亦然。在低于 $300^{\circ}$ 的温度下，钛钨类硬质合金T60K6的硬度比T15K6的高；但在高于 $900^{\circ}$ 的温度下，这两种硬质合金的硬度就大致是一样的了。A. И. 别坦聶李对此作出了解释，他认为，在低于 $900^{\circ}$ 的温度下，碳化钛的含量对于硬质合金的硬度发生影响，但在更高的温度下，当起粘結作用的钴已经变软了的时候，硬质合金的硬度便只取决于其中的含钴量了，而这两种硬质合金的含钴量是一样的，并且都等于6%。

硬质合金BK8和T5K10的特征是在加热状态下几乎具有同样的硬度。钛钨类硬质合金T15K6和T30K4在所有温度下都具有比钨类硬质合金BK6和BK8更高的硬度。但是，含钴量较少(2%)

表 13 硬质合金和陶瓷刀片在不同加热温度下硬度的比较数据

刀具材料的牌号	A. И. 别坦聶季的数据										H. Ф. 卡扎柯夫的数据										P. 塞弗尔和И. 施瓦尔茨柯夫(1)的数据																			
	加										热										温										度									
	20	200	400	600	800	1000	20	200	400	600	800	1000	20	200	400	600	800	1000	20	200	400	600	800	1000																
BK2	100	88	77	66	51	37	100	93	85	66	52	35	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—																
BK6	100	87	74	60	43	26	—	—	—	—	—	—	100	97	88	75	64	55	—	—	—	—	—	—																
BK8	100	88	73	58	41	23	100	92	72	54	39	26	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—																
BK15	—	—	—	—	—	—	100	91	85	63	45	27	100	97	90	78	62	50	—	—	—	—	—	—																
T5K10	100	86	69	53	35	21	100	86	66	47	34	20	100	95	86	71	60	55	—	—	—	—	—	—																
T14K8	100	87	70	54	39	24	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—																
T15K6	100	88	71	56	42	29	100	85	66	48	33	21	100	98	91	75	62	51	—	—	—	—	—	—																
T30K4	100	88	73	58	45	32	100	91	71	54	37	26	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—																
T60K6	100	94	81	63	44	29	100	86	69	50	34	24	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—																
UM-332	100	91	82	74	66	58	100	91	80	70	55	40	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—																

相对硬度(%)——材料在20°温度下的硬度取做100%

(1) 化学成分严格符合于苏联牌号硬质合金的数据。含16%TiC的硬质合金是例外，它在含15%TiC的硬质合金 T15K6 项下。

的錳类硬质合金BK2在所有温度下都具有比鈦錳类硬质合金 T30 K4和T15K6更高的硬度。陶瓷刀片IM-332則具有还要更高的硬度。

图12所示是P.基弗尔和II.施瓦尔茨柯夫<sup>(6)</sup>的数据。他們与A.И.別坦聶李和H.Φ.卡扎柯夫的数据不一致。P.基弗尔和II.施瓦尔茨柯夫的数据表明,不論是錳类硬质合金或是鈦錳类硬质合金,随着加热温度的上升,它們的硬度都下降得比較緩和些。表13說明,如果把在室温下硬质合金的硬度取做100%,那末,以硬质合金BK6为例,它在1000°温度下的硬度,由P.基弗尔和II.施瓦尔茨柯夫得出的是55%,而由A.И.別坦聶李得出的仅为26%。同样,对于硬质合金T15K6來說,由P.基弗尔和II.施瓦尔茨柯夫得出的是51%,由A.И.別坦聶李得出的是29%,而由H.Φ.卡扎柯夫得出的則是21%。

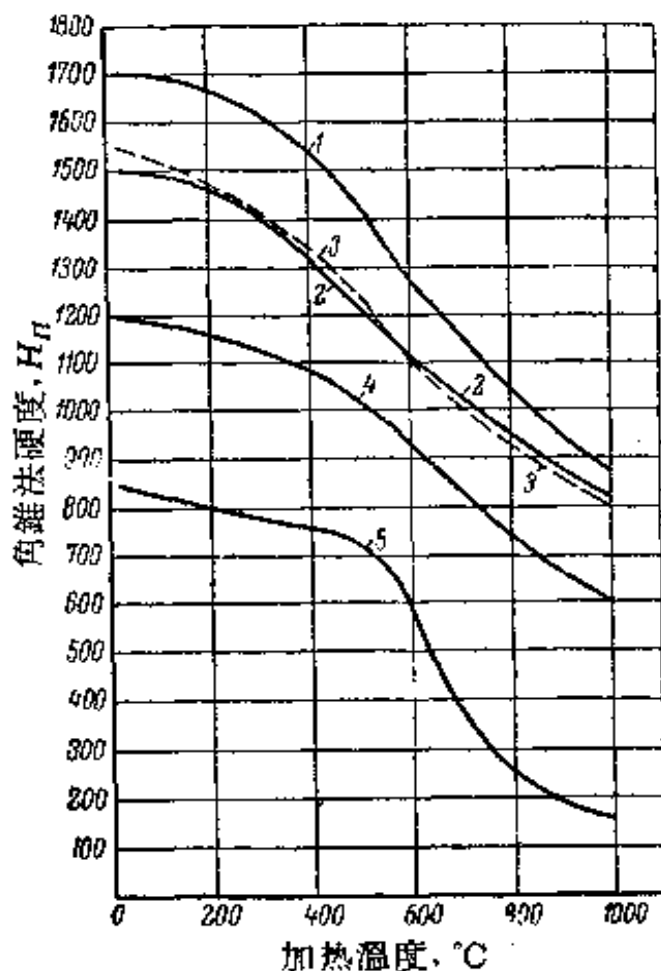


图 12 硬质合金在加热时的硬度变化  
1—硬质合金T15K6; 2—BK6; 3—T5K10;  
4—BK15; 5—高速鋼

上面研討过的数据証明,迄今还没有根据来认为加热温度对于硬质合金硬度影响的問題已經解决了。为了精确地解决这个极为重要的問題,必需进一步改善在高温下确定硬质合金和陶瓷刀片硬度的方法。

**热傳导系数** 硬质合金的热傳导系数較高,这对于切削过程是一个有利因素。随着热傳导系数的下降,就会使从切屑和刀具切削部分散热的情况恶化,于是硬质合金刀片中的热应力就会增

大，以致經常在刀片上引起裂紋的形成。

表 9 中的数据說明，鎢类硬质合金的热傳导系数与其中的含鈷量无关。鈦鎢类硬质合金的热傳导系数比鎢类硬质合金的低得多；并且鈦鎢类硬质合金的热傳导系数随着其中TiC含量的增大而减小。

因为固溶体TiC + WC的热傳导系数比 WC 的低，所以使得鈦鎢类硬质合金的热傳导系数比鎢类硬质合金的低。

鈦鎢类硬质合金的热傳导系数与高速鋼P18相接近。后者的热傳导系数为0.06卡/厘米·秒·°C。

**粘合性** 粘合性所指的是在切削过程中刀具材料与被加工材料(切屑)互相粘合(焊合)的能力。对粘合的抗力較高(即粘合性較低)，这是硬质合金的一项优点。在这方面，高速鋼是遜逊于硬质合金的。

\* 硬质合金的耐磨性在很大程度上是取决于它与被加工材料开始发生粘合时的温度的高低。这个温度愈高，硬质合金的耐磨性就愈高。

鎢类硬质合金的含鈷量愈高，这个开始发生粘合时的温度就愈低：

含鈷量(%)	0	1	5	20
粘合溫度(°C)	1000	775	685	625

高熔点金属碳化物本身的粘合温度比以它們为基础所制成硬质合金的粘合温度較高：

碳化鎢(WC)	1000°C
碳化鈦(TiC)	1125°C
碳化鉭(TaC)	1200°C
碳化鈮(NbC)	1250°C

鈦鎢类硬质合金的重要优点是其粘合抗力比鎢类硬质合金的較高。在加工鋼料时，鈦鎢类硬质合金的耐用度比鎢类硬质合金的高，其原因就在于此。可以认为，在切削过程中加热时，在刀具切削部分表面上生成了氧化物薄层，防止了刀具前倾面与切



屑直接接触。这时，氧化钛具有和碳化钛本身或固溶体  $TiC + WC$  同样的晶格，因此，这种氧化物就能坚固地留住在刀具上，防止刀具与切屑接触。但是，在单碳化物的钨类硬质合金上生成的氧化钨则很容易脱落，因为氧化钨的晶格与碳化钨的晶格不相同。

**比重** 比重或密度乃是硬质合金质量的一项重要特性。硬质合金的密度与它本身的化学成分和烧结质量有关。硬质合金的实际密度总是低于理论计算的密度，因为其中永远有些松孔。松孔占据硬质合金的总体积的3%以下。随着含钴量的增大和疏松度的增大，硬质合金的密度就下降。表9中所列各种牌号硬质合金的比重数值，乃是这个特性指标的下限。真实比重一般都比所列举的下限高出0.1~0.2。硬质合金的比重愈高，则它抵抗冲击载荷的能力就愈佳。

### 新牌号的硬质合金

全苏硬质合金科学研究所已经研究出了一些新牌号的硬质合金，它们的切削性能比现存牌号的各種硬质合金的更好。钨类硬质合金BK4就是新牌号中的一种，它成功地应用于代替硬质合金BK8，来承担沉重荒切铸铁的工作<sup>[13]</sup>。新牌号硬质合金BH3K3用在半精车铸铁时显得比硬质合金BK6更为优越<sup>[13]</sup>。以较大的切削截面来加工钢料用的某些试验性牌号的钛钨类硬质合金，已经通过了切削试验<sup>[14]</sup>。

### 加工淬火钢用硬质合金的比较使用性能和推荐牌号

实践中，钛钨类硬质合金是用来加工钢料，而钨类硬质合金则用来加工铸铁、有色金属和非金属材料。钛钨类硬质合金的基本缺点是脆性较高，这就相当地限制了高生产率牌号的这类硬质合金的应用范围，甚至在加工钢料时也受到一些限制。在有冲击的粗加工中，很少应用硬质合金T15K6。在这种情况下，是要优先应用生产率较低的硬质合金T5K10(硬质合金T5K10的切削性

表 14 硬质合金的比较使用性能

硬质合金牌号	使用性能	比较切削性能 (按切削速度)
钨类硬质合金		
BK2和BK3	硬度和耐磨性高。切削时的强度不高。对冲击和振动敏感。与其他牌号的钨类硬质合金相比时，允许采用较高的切削速度并能保证获得较高的生产率	1.7~1.3
BK6	硬度和耐磨性足够地高，但比硬质合金BK2和BK3的低。切削时的强度则比上两种硬质合金的高。对冲击和振动的敏感性比上两种硬质合金的低。允许的切削速度比硬质合金BK2和BK3的低，但比硬质合金BK8的高	1.08~1.12
BK8	硬度和耐磨性比硬质合金BK6的低，但比硬质合金BK11的高。切削金属时的强度高。承受冲击载荷的能力良好。对于振动的抗力比硬质合金BK2、BK3和BK6的高。 允许的切削速度比硬质合金BK2、BK3和BK6的低。硬质合金BK8的韧性好，故可用于钢料的沉重粗加工，这时若用钨类硬质合金则刀具的切削刃会发生崩刃	1.0
BK11	硬度和耐磨性比硬质合金BK8的低。切削时的强度非常高——比所有钨类硬质合金的都更高。对于冲击和振动的抗力高。允许的切削速度比硬质合金BK8的低	0.75~0.80
钛钨类硬质合金		
T5K10	与其他牌号的钛钨类硬质合金相比，在切削金属时的强度较高，对于冲击、振动和崩刃的抗力最高，但硬度和耐磨性较低。允许的切削速度比硬质合金BK8的高15~20%	0.6~0.7
T14K8	硬度和耐磨性比硬质合金T5K10的高。切削金属时的强度高，对于冲击和振动的抗力高，但都比硬质合金T5K10的低。比硬质合金T5K10允许更高的切削速度	0.7~0.8
T15K6	硬度和耐磨性比硬质合金T5K10和T14K8的高。对于冲击和振动的抗力适中。切削时的强度比硬质合金T30K4和T60K6的高。在机床-零件-刀具系统的刚度较大时，对于崩刃的抗力良好。比硬质合金T14K8允许更高的切削速度	1.0
T15K6T	由于改变了碳化物晶粒的尺寸，使得与硬质合金T15K6相比时，硬度和耐磨性较高，而切削时的强度则稍微低些。对于冲击和振动的抗力适中。切削金属时的强度比硬质合金T30K4和T60K6的高。允许的切削速度比硬质合金T15K6的高	1.15~1.20
T30K4	硬度和耐磨性高。比硬质合金T15K6和T15K6T对于冲击和振动更敏感。切削金属时的强度不高，但比硬质合金T60K6的高些。比硬质合金T15K6和T15K6T允许更高的切削速度	1.4~1.5
T60K6	与所有钛钨类硬质合金相比，具有最高的耐磨性。对于冲击和振动特别敏感。 切削时的强度比硬质合金T30K4的低。允许的切削速度比硬质合金T30K4的高得多	1.7~1.8

表 15 加工淬火鋼用硬质合金的推荐牌号

加工条件和特点	机床-零件-刀具系统的刚度	硬质合金生产率 的比较评价	硬质合金的 推荐牌号
断續切削的半精車和精車	高 正 常 不 足	最 高 中 等 低	T14K8 T5K10 BK8
連續切削的半精車和精車	高 正 常 不 足	最 高 中 等 低	T15K6、BK2、BK3 T14K8 T5K10
細 車	高 正 常 不 足	最 高 中 等 低	T30K4 T15K6T T15K6
精 銑	高 正 常 不 足	最 高 中 等 低	T30K4 T15K6 T14K8
实心钻削	高 正 常 不 足	最 高 中 等 低	BK6 BK8 BK8
扩 孔	高 正 常 不 足	最 高 中 等 低	BK2、BK3 BK6 BK8
精 鏜 削	高 正 常 不 足	最 高 中 等 低	T15K6 T14K8 T14K8
鉸 削	高 正 常 不 足	最 高 中 等 低	T30K4 T15K6T T15K6

能比硬质合金T15K6的低)。

表 9 中所有牌号的鈦鎢类硬质合金，是专供装备加工鋼料的切削刀具用的。硬质合金BK3、BK6和BK8，除了用来装备金属切削刀具之外，还用来制造拉絲模、各种矿层的掘钻、迅速磨損的机器零件等。硬质合金BK10和BK15不应用于金属切削刀具。

硬质合金BK11可用來切削特別難加工的鋼料。硬质合金 BK2 只用于裝备切削刀具。

表14中列举了裝备切削刀具用的各种牌号硬质合金的使用性能方面的数据。表15中列举的是，在用各种不同方式加工淬火鋼时，对于選擇硬质合金牌号的建議。

## 8. 其他各国的硬质合金

西德、奥地利和美国是大規模生产切削加工用硬质合金的国家。就象在战前时一样，在欧洲，埃森市的克魯普公司乃是生产錳类硬质合金的最主要专利权的业主，而克列弗里德市的杰依切·埃杰里施塔里薇尔凱 (ДЭВ) 公司乃是生产鈦錳类硬质合金的最主要专利权的业主。奥地利的表列尔公司持有以其他組合为基础的硬质合金生产的稍微次要的专利权。所有其余的生产硬质合金的西德公司和奥地利公司，都是在克魯普公司和 ДЭВ 公司給予許可的基础上进行工作的。

所有生产硬质合金的德国工厂，在1936年联合成为一个硬质合金康采恩。奥地利的公司也加入了这个康采恩。康采恩給各种牌号硬质合金的成分定出了規格，因此，所有牌号的硬质合金与制造它們的公司无关，而保有同样的质量。这个等同性还取决于：所有小公司都利用了克魯普公司和 ДЭВ 公司制成的原始粉末混合物。这样一来，那些小公司就成为硬质合金的成形和燒結工作的企业了。燒結过程已經标准化，不同的只是燒結用装置的大小和系統而已。

現在的組織，大体上还是这个样子。例如，奥地利的各个工厂，特别是大規模生产工厂，象季罗里市的普兰捷叶薇尔凱工厂，就是按照德国的技术条件生产德国硬质合金。

西德和奥地利出产的金属加工用的硬质合金，除了标准符号之外，还有其公司自己的符号，例如：埃森市的克魯普股份公司采用了《維第阿》(Видна)；ДЭВ 公司及其在罗依杰·普兰捷叶薇尔凱的实际上的分公司則采用了《季坦尼特》(Титанит)。

### 欧洲的硬质合金

表16中列举了西德、奥地利和瑞典出产的硬质合金的特性。让我们把这些数据和表9中的数据作一对比。表9中的数据是属于苏联现在出产的硬质合金的。首先应当指出，西德、奥地利和瑞典的硬质合金，与苏联的一样，都是以单碳化物硬质合金(WC-Co)和双碳化物硬质合金(WC-TiC-Co)的形式来出产。苏联硬质合金的品种，特别是钨类硬质合金的品种，要比西德（我们所指的同样也包括奥地利）和瑞典硬质合金的品种稍微多些。西德

**表 16 西德、奥地利和瑞典出产的硬质合金**

国 别	硬质合金 牌 号	化学成分(%)			物 理 - 机 械 性 能				
		WC	TiC	Co	角锥法 硬度 $H_n$	洛氏 硬度 $H_{RA}$	比重 $\gamma$ 克 厘米 <sup>3</sup>	抗弯强度 极限 $\sigma_{\text{бк}}$ (公斤) (毫米 <sup>2</sup> )	抗压强度 极限 $\sigma_{\text{сжк}}$ (公斤) (毫米 <sup>2</sup> )
<b>钨 类 硬 质 合 金</b>									
西德和 奥地利	G1	94.3	—	5.7	1500	90.0	14.8	160	580
	G2	89.3	—	10.7	1300	88.5	14.2	210	465
	G3	85.5	—	14.5	1200	87.0	13.7	240	415
	G4	80.0	—	20.0	1100	86.0	13.4	260	370
	G5	75.0	—	25.0	1050	85.0	13.1	270	330
	G6	70.0	—	30.0	950	83.5	12.7	280	—
瑞 典	CeKO-1	94.0	—	6.0	—	91.0	14.5	150	—
	CeKO-3	94.0	—	6.0	—	90.5	14.6	130	—
<b>钨 钨 类 硬 质 合 金</b>									
西德和 奥地利	S3	88.0	5.0	7.0	1550	90.5	13.3	150	500
	S2	77.3	14.7	8.0	1600	91.0	11.3	140	—
	S1	77.2	17.1	5.7	1700	92.0	11.2	110	460
	F1	70.5	24.0	5.5	1750	92.0	9.9	80	—
	F2	34.5	60.0	5.5	1850	93.0	6.8	60	—
瑞 典	CeKO-5	85.0	6.0	9.0	—	89.5	12.6	140	—
	CeKO-6	81.0	8.0	11.0	—	90.0	11.6	135	—
	CeKO-2	79.0	15.0	6.0	—	90.5	14.6	120	—

錳类硬质合金的品种仅有牌号G1、G2和G3，分别接近于苏联牌号BK6、BK11和BK15。硬质合金G4、G5和G6具有特殊的用途，即用来加工石墨电极。瑞典硬质合金Ceko-1和Ceko-3相当于苏联硬质合金BK6。但是在ГОСТ3882-53中还包含了非常流行的硬质合金BK8（它特别是在加工鑄铁时表现得很好）、以及硬质合金BK2和BK3（它們的特点是持有特高的切削性能并在車削淬火鋼时表现出良好的結果）。

西德和苏联出产的鈦錳类硬质合金牌号的数目是一致的。彼此大体上相当的牌号是：S3—T5K10，S2—T14K8，S1—T15K6，F1—T30K4，F2—T60K6。但是，譬如說，硬质合金T30K4中的碳化錳含量为66%，而硬质合金F1中的WC=70.5%。上述其他硬质合金的相当对偶，在化学成分上也有些不尽一致。

瑞典牌号Ceko-2和Ceko-5严格地相当于苏联牌号T15K6和T5K10。瑞典牌号Ceko-6，在西德牌号和苏联牌号中找不到和自己相似的。

讓我們来討論硬质合金的机械性能的一项最重要特性，那就是抗弯强度极限 $\sigma_{su}$ 。預先指出，稳定的抗弯强度試驗方法允許认为苏联硬质合金和西欧硬质合金的 $\sigma_{su}$ 值是可以对比的。

美国硬质合金則是另外一种情况。它們的 $\sigma_{su}$ 值和苏联硬质合金的 $\sigma_{su}$ 值不都是可以进行对比的。

此外，应当考虑到，ГОСТ3882-53中所規定的乃是 $\sigma_{su}$ 的最小值，而其他各国的数据則是平均值。

可以看出，西德錳类硬质合金的抗弯强度极限比相当的苏联硬质合金的高。例如，西德硬质合金G1的抗弯强度极限 $\sigma_{su}=160$ 公斤/毫米<sup>2</sup>，而相当的苏联硬质合金BK6的 $\sigma_{su}=120$ 公斤/毫米<sup>2</sup>。瑞典牌号Ceko-1的 $\sigma_{su}$ 值也超过其相当的苏联牌号BK6的。

在鈦錳类硬质合金中，西德牌号S3和S2、以及瑞典牌号Ceko-5，相当于苏联牌号T5K10和T14K8，也出現与上述相同的情况。

但是，苏联硬质合金T15K6、T30K4和T60K6的特征则是具有与相当的西德硬质合金S1、F1和F2相等或更高的抗弯强度。

西德、奥地利和瑞典的硬质合金，具有与相当的苏联牌号硬质合金同样的应用范围：钨类硬质合金，用于加工铸铁、有色金属和合金、以及非金属材料；钨钽类硬质合金，用于加工钢料。

### 美国的硬质合金

在美国，除了粗加工铸铁用的钨类硬质合金《卡尔鲍洛依》A-55(87%WC和13%Co)之外，所有其余硬质合金在化学成分方面与欧洲的硬质合金根本不同。这些美国硬质合金是以WC-TaC(NbC)-Co为基础，或以WC-TiC-TaC(NbC)-Co为基础而制成的。表17中列举的是这一类硬质合金的特性。

表17 美国的钨钽类硬质合金

化 学 成 分 (%)			物 理 - 机 械 性 能			
WC	TaC(NbC)	Co	硬 度 $H_n$	硬 度 $H_{RA}$	比 重 $\gamma$ (克/厘米 <sup>3</sup> )	抗 弯 强 度 极 限 $\sigma_{av}$ (公斤/毫米 <sup>2</sup> )
93	0.7+(0.3VC)	6	1600~1700	91~91.5	14.6~14.8	140~160
91.5	1+(0.5VC)	7	1650~1750	91.5~92	14.5~14.7	135~150
92	2.5	5.5	1600~1700	91~92	14.8~15.0	140~160
75	5	23	1100~1200	84~86	13.1~13.3	210~240
70	5	25	950~1050	82~84	12.8~13.0	200~230
84	10	6	1500~1600	89~90	14.5~14.7	140~160
81	10	9	1400~1500	88~90	14.3~14.5	160~180
74	20	6	1450~1550	88~89	14.4~14.6	150~170
60	27	13	1200~1300	86~88	13.7~13.9	180~210

与碳化钽相似，把碳化钽加入钨类硬质合金中去，可以提高其耐磨性和粘合力(在加工钢料时)。因为TaC<sup>①</sup>的硬度远逊于TiC(在载荷为50克时，TiC的显微硬度为3200公斤/毫米<sup>2</sup>，而TaC的仅为1800公斤/毫米<sup>2</sup>(6))，所以WC-TaC(NbC)-Co类

① 工业用的碳化钽在大多数情况下都含有相当多量的碳化钨，其硬度比纯粹的碳化钽稍高，其他性能则相同。为了清楚起见，引用符号TaC(NbC)来代替TaC。

表18 美国的钨钛钴类硬质合金

化学成分 (%)			物理性能				机械性能		
WC	TiC	TaC (NbC)	Co	硬度 $H_n$	硬度 $H_{BA}$	比重 $\gamma$ (克/厘米 <sup>3</sup> )	抗弯强度极限 $\sigma_{su}$ (公斤/毫米 <sup>2</sup> )	抗压强度极限 $\sigma_{sc}$ (公斤/毫米 <sup>2</sup> )	热传导系数 $\lambda$ (卡/厘米·秒·°C)
85	4	1	10	1350~1450	89~90	13.2~13.4	170~190	—	0.134
80.5	5	5.5	9	1400~1500	90~91	13.1~13.3	170~200	—	—
77	6.5	9	7.5	1550~1650	91~92	12.5~12.7	140~160	—	0.127
59	7	22	12	1300~1400	89~90	12.3~12.5	160~180	—	—
76	7.5	6.5	10	1350~1450	89~90	12.0~12.2	170~200	450	0.113
73.5	10	8	8.5	1450~1550	90.5~91.5	11.8~12.0	140~160	—	—
72.5	10	8	9.5	1400~1500	90~91	11.7~11.9	150~175	—	—
71.5	10	8	10.5	1350~1450	89~90	11.7~11.8	160~190	—	—
62	12	18	8	1600~1700	91~92	11.7~11.9	120~140	510	—
59	12	18	11	1400~1500	90~91	11.4~11.6	130~150	400	—
69.5	12.5	8	10	1450~1550	90.5~91.5	11.2~11.4	140~170	—	—
70.5	13.5	7.5	8.5	1500~1600	91~92	11.1~11.3	130~150	470	0.068



硬质合金的耐用度低于 WC-TiC-Co 类和 WC-TiC-TaC (NbC)-Co 类硬质合金的耐用度。这就是在美国推广应用叫做《拉密特》的纯钽类硬质合金（加含钴或镍）中遭到了失败的原因。

含 0.75~3.5% TaC 和 0.1~0.8% VC 的钽钨类硬质合金，在加工高硬度铸铁时是十分有效的。在含 5~10% TaC 和 6% Co 时，它们就适于作为万能硬质合金，用来加工铸铁和钢料。但是含 9% Co 的钽钨类硬质合金，或含 20~30% TaC 的这类硬质合金，则只用于加工低硬度和中等硬度的钢料。

钽钨类硬质合金（表 18）在美国得到了广泛的应用，并且已经几乎完全排挤掉了钽钨类硬质合金。应当指出，WC-TiC-TaC (NbC)-Co 类硬质合金，特别是 TaC 含量较高时，则在原料价格方面要比 WC-TiC-Co 类硬质合金贵些。

表 19 中列举的数据可以判定碳化钽（碳化铌）对于钽钨类硬质合金的硬度和抗弯强度的影响。可以看出，当具有大致相近的硬度时，含 TaC 的硬质合金在抗弯强度方面是超过其相应的不含 TaC 的硬质合金。加入 4~6% TaC，可使抗弯强度极限提高 12~18%。

表 19 添加剂 TaC (NbC) 对于钽钨类硬质合金性能的影响

化 学 成 分 (%)				硬 度 $H_{RA}$	抗弯强度极限 $\sigma_{su}$ (公斤/毫米 <sup>2</sup> )
TiC	TaC (NbC)	WC	Co		
40.5	0	53	6.5	92~93	80~90
38	5	50.5	6.5	92	95~105
20.5	0	72	7.5	91.5	115~125
18	5	69.5	7.5	91	130~140
15	0	76.5	8.5	90	130~145
13	4	74.5	8.5	90	155~165
7.5	0	83.5	9	89	150~160
5	5	81	9	89	175~190
7	0	86.5	6.5	91	130~140
4	6	83.5	6.5	91.5	150~170

近来，钽钨类硬质合金已经成功地应用于欧洲各国，排挤着钨类硬质合金。钽钨类硬质合金比钨类硬质合金的脆性小，而且在使用中更可靠。

### 新实验牌号的硬质合金

其他外国在金属切削加工用硬质合金方面的科学研究工作，比较有意义的是探寻用别的粘结金属来代替钴的可能性、以及硬质合金中不必用钨的可能性。

曾经企图采用别的粘结金属和合金：铁、镍、镍-铜合金、镍-铬合金、镍-钼合金、钴-钨合金等，来代替钨类硬质合金中的钴，因为钴是硬质合金成分中最贵的一种。所有这方面的实验，都没有得到积极的結果。例如，用镍和铁来代替钴的研究，使得硬质合金的抗弯强度极限急剧地下降(下降40%)。在众多的专利文件中，指出了各种各样的粘结金属和合金，但是其中没有一种完全够格作为钴的代用品。同时，在许多新实验牌号的硬质合金中，仍旧是用镍、镍-铬合金、铁-镍合金、铁-镍-铬合金来代替钴。

由于钨相当缺乏以及一些经济上的原因，曾经多次企图用别的碳化物或坚硬物质来全部地或部分地代替硬质合金中的碳化钨。这些研究工作是分两个方面来进行的。

1) 用非碳化物的其他坚硬物质来代替 WC，例如，用氮化物、硼化物、硅化物、氧化物(氧化铝)、非金属碳化物(碳化硅、碳化硼)；

2) 用其他高熔点金属的碳化物及其固溶体来代替 WC。

迄今只是第二方面的工作给出了有希望的结果。

表 20 中列举的是以  $Mo_2C-TiC$  为基础的硬质合金的特性。这些硬质合金，在不缺钼的条件下，是目前最有前途和成效的无钨硬质合金。

表 20 指出，所有的硬质合金，除去三种以外，都具有较高的硬度。硬质合金 № 3 ~ 6 的特征是抗弯强度较低，其数值是处在

苏联硬质合金T60K6的强度的水平上，而T60K6乃是现代钛钨类硬质合金中最脆的一种。硬质合金№1和2的强度与硬质合金T30K4的接近，而硬质合金№7~13的则与硬质合金BK2、BK3、T15K6的接近。表20所示所有牌号的硬质合金中，是用镍或镍-钴合金代替了钴。

表20 钛钨类硬质合金

编号 №	化学成分(%)			物理-机械性能		
	碳化钨 Mo <sub>2</sub> C	碳化钛 TiC	粘結金属	比重 $\gamma$ (克/厘米 <sup>3</sup> )	硬度 H <sub>RA</sub>	抗弯强度极限 $\sigma_{su}$ (公斤/毫米 <sup>2</sup> )
1	42.5	42.5	15Ni	5.9	91	90
2	30	55	15Ni	5.4	91.5	85
3	20	65	15Ni	5.2	92	80
4	12	73	15Ni	5.1	92	70
5	8	77	15Ni	5.0	92.5	70
6	3	82	15Ni	5.2	92	70
7	35	35	28Ni+2Cr	7.1	86	110
8	15	58	25Ni+2Cr	5.1	87	100
9	15	63	20Ni+2Cr	5.9	87.5	100
10	17.6	70.4	12Ni	5.8	90.5	98~108
11	17.2	68.8	14Ni	5.9	90	102~112
12	44	44	12Ni	6.9	89.5	98~106
13	43	43	14Ni	7.0	89.5	102~110

表21中列举了以VC-TiC为基础的无钨硬质合金的特征。切削试验证明，在粗加工和精加工钢料时，头前两种硬质合金的

表21 钛钒类硬质合金

化学成分(%)			物理-机械性能		
碳化钒 VC	碳化钛 TiC	镍 Ni	比重 $\gamma$ (克/厘米 <sup>3</sup> )	硬度 H <sub>RA</sub>	抗弯强度极限 $\sigma_{su}$ (公斤/毫米 <sup>2</sup> )
25	65	10	5.05	93.5	90~100
45	45	10	5.15	92.5	90~100
65	25	10	5.25	92	70~80

生产率不逊于硬质合金T15K6。第三种硬质合金在精加工鋼料时也能达到硬质合金T15K6所具有的生产率。

其他双碳化物硬质合金之中，以TiC-ZrC、TiC-NbC、TiC-TaC和TaC-Mo<sub>2</sub>C为基础的一些硬质合金，对于精加工鋼料来说，具有某种实际意义(表22)。

表22 无錳双碳化物硬质合金

化 学 成 分 (%)						物 理-机 械 性 能		
碳化鈦 TiC	碳化鋯 ZrC	碳化鈮 NbC	碳化鉭 TaC	碳化鉬 Mo <sub>2</sub> C	粘結金屬	比 重 $\gamma$ (克/厘米 <sup>3</sup> )	硬 度 $H_{RA}$	抗弯强度 极限 $\sigma_{su}$ (公斤/毫米 <sup>2</sup> )
68.8	17.2	—	—	—	14Co	5.5	92.5	75~80
51.6	34.4	—	—	—	14Co	6.7	88.5	65~70
69.6	—	17.4	—	—	12Ni+1Cr	5.6	89	85~90
72.0	—	18.0	—	—	10Co	5.6	91	70~80
36.0	—	54.0	—	—	10Co	6.1	90	70~80
18.0	—	72.0	—	—	10Co	7.2	90	75~85
42.5	—	—	42.5	—	15Ni	8.7	89	80~90
—	—	—	42.5	42.5	15Ni	10.6	87	60~70

这些无錳硬质合金的强度，一般說来，是相当地逊色于以Mo<sub>2</sub>C-TiC和VC-TiC为基础的硬质合金的。鉬鉬类硬质合金的抗弯强度极限，甚至比硬质合金T60K6的还要低。

表23中列举的是三碳化物硬质合金的特性。这些硬质合金的实际意义已經在实驗中証明过了。由表可知，所有硬质合金的硬度都是非常高的。硬质合金№1、2、4和5的抗弯强度大体上与硬质合金T30K4的相符，而硬质合金№3和6的則与硬质合金T60K6的相符。硬质合金№7的强度比硬质合金T60K6的低。

也研究过了无錳四碳化物硬质合金。以TiC-VC-NbC-Mo<sub>2</sub>C为基础的硬质合金具有实际意义。含53%TiC、20%VC、10%NbC、5%Mo<sub>2</sub>C和12%鉄族粘結金屬的硬质合金的耐磨性与硬质合金T15K6的接近。除硬度較高之外 ( $H_{RA} = 91 \sim 92$ )，这种硬质合金的抗弯强度 ( $\sigma_{su} = 90 \sim 105$ 公斤/毫米<sup>2</sup>) 超过硬质合金T30K4的。

表 23 无錫三碳化物硬质合金

編 号 №	化 学 成 分 (%)				粘 结 金 属	物 理-机 械 性 能		
	碳化鈦 TiC	碳化钒 VC	碳化鈮 NbC	碳化鉭 TaC		比 重 $\gamma$ (克/厘米 <sup>3</sup> )	硬 度 $H_{RA}$	抗弯强度 极限 $\sigma_{su}$ (公斤/毫米 <sup>2</sup> )
1	72	—	6	12	10Co	5.7	91.5	85~100
2	45	—	15	30	10Co	6.6	90.5	80~90
3	18	—	24	48	10Co	7.7	90	75~85
4	61.6	17.6	8.8	—	9Fe+3Ni	6.3	92.5	80~90
5	59.5	17	8.5	—	11Fe+4Ni	6.3	92	80~90
6	61.6	17.6	8.8	—	13Co	6.3	93	70~80
7	60.9	8.7	17.4	—	9Fe+3Ni+1Cr	5.6	90.5	60~70

近来, 某些外国企图創造一些新硬质合金, 希其抗弯强度居于現存硬质合金 ( $\sigma_{su} \leq 160$  公斤/毫米<sup>2</sup>) 和高速鋼 ( $\sigma_{su} = 300$  公斤/毫米<sup>2</sup>) 之間, 同时其硬度和耐磨性又能达到現存硬质合金所固有的水平。

属于这方面的有: 西德的硬质合金 TT4, 奥地利的硬质合金 S4T, 瑞典的硬质合金 S5, 德意志民主共和国的硬质合金 S4H 和 S6HL。

## 9. 陶瓷刀片

### 一 般 知 識

硬质合金是比較好的現代刀具材料。但在高速切削加工的条件下, 当切削区域的温度达到  $800 \sim 900^\circ$  时, 硬质合金的切削性能就可以认为在很大程度上已經耗尽了。

金属切削领域中繼續进展的任务, 就在于必須找到新的刀具材料, 其切削性能要超过硬质合金, 主要是在耐热性方面超过硬质合金, 同时又不含有硬质合金成分中所包含的貴重合金元素, 如錫、鈷等。

苏联的許多机械制造工厂, 在 1951~1952 年, 积极地在生产中着手推广了一种新的刀具材料——陶瓷刀片, 它具有非常高的耐热性, 同时又不含有貴重和缺乏的材料。为此目的, 对于下述

牌号的陶瓷刀片进行了大量的切削生产試驗：

a) 莫斯科硬质合金联合企业出产的陶瓷刀片 ЦМ-332 (微晶石)；

б) 全苏磨料与磨削科学研究所 (ВНИИИИ) 列宁格勒实验磨料工厂出产的陶瓷刀片 ТВ-48 (热刚玉)。

試驗証明，微晶石陶瓷刀片 ЦМ-332 比热刚玉陶瓷刀片 ТВ-48 以及所有其他牌号的熱剛玉陶瓷刀片 [ТВ-13 (ЦВ-13)、ТВ-14 (ЦВ-14)、ЦВ-18 和 ТВ-44] 要优越得多。后面括号内所列的几种热刚玉陶瓷刀片，乃是全苏磨料与磨削科学研究所的磨料工厂早先出产的，并且由于比 ТВ-48 的质量較欠完善而停止生产了。

在試驗室条件下制成的陶瓷刀片，在試驗室的切削試驗中虽然得到了滿意的結果，但是上述的切削生产試驗，在大多数情况下，却得到了否定的結果。結果是：陶瓷刀片的耐用度低，那怕是同一批的刀片其切削性能也不稳定，在切削过程中刀片經常崩角和破裂。因此，生产者們对于这种新的刀具材料发生了怀疑。

1953~1954年采取了一些措施来提高陶瓷刀片的强度，以及改善装备陶瓷刀片的車刀的结构和制造工艺。因此，在随后的几年中，成功地进行了在生产中推广应用装备陶瓷刀片 ЦМ-332 的切削刀具的恢复工作。

陶瓷刀片在其他外国的金属切削工作中也得到了应用。在他們那里，虽然用做刀具的陶瓷是創制得比較早的，但是由于那时所做的实验不成功 (德国和英国在第二次大战时) 而沒有得到实际的应用。

在这方面的新研究終于成功了，并且近来在其他外国的文献中看到了許多关于应用陶瓷刀片切削鋼料和鑄鉄的肯定結果的报导，以及关于陶瓷刀片在允許切削速度和車刀耐用度方面比高速鋼和硬质合金刀具优越得多的报导。

制造陶瓷刀片用的原料是价廉的鋁矾土。将鋁矾土加工后，得到氧化鋁 ( $Al_2O_3$ )。用細粉状的白剛玉 ( $Al_2O_3$  的一种变体) 和非常少量的氧化鉻 ( $Cr_2O_3$ ) 的混合物，制造陶瓷刀片。将粉末状

的混合物，放在一定形状和尺寸的鋼制特殊压模內，在高压下压制和成形。最后在 $1800^{\circ}$ 温度下燒結，于是陶瓷刀片的制造过程至此全部完成。

### 陶瓷刀片的形状

莫斯科硬质合金联合企业出产着大約40种形状和尺寸的用于金属切削加工的陶瓷刀片。其中大部分与用于装备外圓車刀、鏜刀、車槽刀和切斷刀的硬质合金刀片(ГОСТ2209-55)相符。如果定貨人能够供应所需的压模，那末硬质合金联合企业可以按照特殊定貨来制造其他形状的刀片。

### 陶瓷刀片的物理-机械性能

实验証明，陶瓷刀片的比重在 $\gamma = 3.80 \sim 3.91$ 范圍內变化时，对于刀片在連續車削条件下的耐磨性沒有多大影响。随着 $\gamma$ 的增大，刀具材料的耐磨性有不明显的提高。在車刀頻繁地切入和退出的断續車削的条件下，陶瓷刀片的比重对于車刀切削刃的强度起着重大的影响：随着比重的增大，切削刃的强度急剧地提高。

莫斯科硬质合金联合企业的技术条件中規定，陶瓷刀片的比重应当不低于 $\gamma = 3.83$ 克/厘米<sup>3</sup>。

**硬度** 陶瓷刀片的硬度对其切削性能发生影响。实验証明，陶瓷刀片的硬度从 $H_{RA} = 88$ 下降到82时，就会使車刀的耐用度下降成 $\frac{1}{5}$ 。根据硬质合金联合企业的技术条件，用于切削刀具的陶瓷刀片的硬度应当不低于 $H_{RA} = 90$ 。

**抗弯强度** 在抗弯强度方面，陶瓷刀片是远逊于其他刀具材料的。陶瓷刀片的抗弯强度极限 $\sigma_{\text{вн}}$ 仅为硬质合金的 $\frac{1}{3} \sim \frac{1}{5}$ 。不同批的陶瓷刀片，甚至同一批范圍內的陶瓷刀片，其抗弯强度极限 $\sigma_{\text{вн}}$ 也有显著的波动。根据硬质合金联合企业的技术条件，认为采納 $\sigma_{\text{вн}} > 30$ 公斤/毫米<sup>2</sup>的陶瓷刀片是适宜的。

实验証明，在連續車削时，陶瓷刀片的强度在 $\sigma_{\text{вн}} = 19.6 \sim 44.1$ 公斤/毫米<sup>2</sup>范圍內变化，对于刀具的耐磨性沒有明显的影

响。至于在断续车削的条件下，随着陶瓷刀片的抗弯强度极限 $\sigma_{su}$ 的增大，车刀切削刃的强度和耐磨性就显著地提高。

**耐热性** 陶瓷刀片的耐热性很高，比硬质合金的高得多。高的耐热性是陶瓷刀片的一项最宝贵的性能。由表12和图11可知，在室温下，陶瓷刀片的硬度与硬质合金BK2、T60K6、T30K4的硬度没有多大差别。但是，随着温度的上升，硬度的丧失情况就愈来愈显得有利于陶瓷刀片了(表13)。如果说，硬质合金T60K6在800°温度下的硬度是在20°温度下相对硬度的44%，那末，对于陶瓷刀片来说，这个比值是66%(见A.И.别坦聶李的数据)；根据И.Ф.卡扎柯夫的数据，这个比值的比例是34%对55%。

**耐磨性** 为了比较陶瓷刀片ИМ-332和各种牌号硬质合金的耐磨性，按照37~38页所述方法进行了实验<sup>[19]</sup>。试验是用60号钢( $\sigma_{sp}=80$ 公斤/毫米<sup>2</sup>)在恒定比压10公斤/毫米<sup>2</sup>下进行的。试验用陶瓷刀片的比重 $\gamma=3.89$ 克/厘米<sup>3</sup>、硬度 $H_{RA}=91$ 、抗弯强度极限 $\sigma_{su}=35$ 公斤/毫米<sup>2</sup>。摩擦速度在 $v=5\sim 600$ 米/分范围内变化。所有受试验刀具材料的耐磨性 $B$ 与摩擦速度 $v$ 的关系，都具有与图7所示研究结果相同的特征。

实验数据证明，陶瓷刀片耐磨性的最大值大致符合于300米/分的摩擦速度，而钛钨类硬质合金的则大致符合于200米/分的摩擦速度。硬质合金T60K6的最大耐磨性具有最大的数值，其次是硬质合金T30K4、陶瓷刀片ИМ-332、硬质合金T15K6、T14K8和T5K10。钨类硬质合金的最大耐磨性只有钛钨类硬质合金和陶瓷刀片的 $\frac{1}{2}\sim\frac{1}{8}$ 。

当摩擦速度 $v=300\sim 600$ 米/分时，陶瓷刀片ИМ-332的耐磨性比钛钨类硬质合金的高。后者按照耐磨性渐减顺序可排列如下：T60K6、T30K4、T15K6、T14K8、T5K10。

所列举的数据表明，在高切削速度下，陶瓷刀片ИМ-332的耐磨性比钛钨类硬质合金的还要高，而钛钨类硬质合金刀具在加工钢材时的特征是耐磨性已经非常高。



### 陶瓷車刀的磨損

由于陶瓷刀片的脆性大，所以陶瓷車刀磨損的特点是在开始切削时切削刃会发生細微的崩刃(崩落)，因而产生比較大的刀刃圓角，并沿車刀的后隙面产生显著的初期磨損( $\sim 0.1$ 毫米)。因此，不推荐采用陶瓷刀片来作細車。

在加工鋼料时，装备陶瓷刀片的車刀既沿后隙面发生磨損，又沿前傾面发生磨損而形成月牙窩。在車刀磨損的同时，其工作刃面与被加工材料和切屑的接触表面上就出現一些特有的裂紋。

車刀磨損的强烈度随着被加工材料的硬度和走刀量的增大而增大。

还应当指出，装备陶瓷刀片的車刀的磨損特征，研究得还很少。

### 陶瓷車刀的刃磨和研磨

正确的刃磨乃是合理使用陶瓷刀具的基本条件。应当用陶瓷粘結的、粒度46~80、硬度CM1-M1的綠色碳化硅砂輪，来刃磨陶瓷刀具。粒度46的砂輪用于粗磨，而粒度更高的砂輪則用于精磨。刃磨之后，刀具的工作刃面要接受研磨。

关于选择砂輪圓周速度的問題，在實踐中存在着很大的分歧。广泛应用的速度是8~15米/秒。然而某些工厂却在低得多的速度下(2.5~5米/秒)来进行刃磨。对于这个問題的研究<sup>[18]</sup>，肯定了采用較低速度的合理性。已經查明了最佳刃磨规范如下：砂輪的圓周速度——2米/秒，压力——約75公斤/毫米<sup>2</sup>，施用纵向进給和冷却。

在这样的条件下，能够做到完全地自动打砂輪，得到良好的刃磨质量，切削刃不致于崩刃和崩角。用陶瓷粘結的、粒度46~120、硬度M3-CM2的綠色碳化硅砂輪所做的一切研究工作都表明，刃磨所得刃面的表面光洁度为7~8級。与砂輪的特性有关，刃磨的生产率为450~750毫米<sup>3</sup>/分，这比在砂輪速度較高时的刃

磨生产率高30~40倍。

因为在上面給定的刃磨规范下，乃是在完全地自动打砂輪的条件下工作，所以磨料(砂輪)的消耗量很大。这时，磨料的消耗量为陶瓷刀片去除量的900~1500%，依砂輪特性而定。但是磨料消耗量大这一点，由刃磨生产率高和质量好方面得到了补偿。此外，由于砂輪的圓周速度低，并且只有在必需糾正砂輪几何形状的时候才用得着修整砂輪，所以这时砂輪能够得到更完全的利用。

实验証明，研磨陶瓷車刀时鑄鉄磨盘的迴轉方向应当与研磨硬质合金車刀时的相反，即从切削刃朝向刀片底部。否則，陶瓷刀片的切削刃就会发生崩刃。

刃磨之后，精加工用的陶瓷車刀应当用粒度M28(20~28微米)的碳化硼膏来研磨，而特細加工用的陶瓷車刀則用粒度M14和M10(17和7微米)的碳化硼膏来研磨。

### 陶瓷車刀切削部分的几何形状

使用陶瓷車刀的实践經驗証明，对于精車和半精車碳鋼和合金結構鋼來說，可以推荐采用下列刀具几何参数：

- a) 为了减小振动和切削力，采用正前角( $\gamma=5\sim 10^\circ$ )；
- b) 前傾面上倒棱的寬度为0.1~0.3毫米，倒棱的角度为 $-20^\circ$ ；
- c) 主切削刃傾角：在断續切削时 $\lambda=4^\circ$ ，在連續切削时 $\lambda=8^\circ$ ；
- d) 其余参数和用硬质合金T30K4車刀进行精車时所用的一样： $\alpha=\alpha_1=6^\circ$ ， $\varphi_1=10\sim 15^\circ$ ， $r=1$ 毫米。

### 陶瓷車刀和硬质合金車刀耐用度的比較

根据实验数据<sup>[18]</sup>，在車削 $\sigma_{sp}=80$ 公斤/毫米<sup>2</sup>的鋼料和硬度 $H_B=140\sim 160$ 的鑄鉄时，装备陶瓷刀片ИМ-332和硬质合金T30K4的車刀的耐用度的比較結果如下：

a) 在加工鋼料时，当切削速度  $v=100$  米/分，两种車刀的耐用度是同样的；当  $v=200\sim 400$  米/分，陶瓷車刀的耐用度比 T30K4 車刀的耐用度高 75%；当  $v=500\sim 600$  米/分，T30K4 車刀不能提供实际上可以接受的耐用度，而陶瓷車刀的耐用度则为  $T=20\sim 30$  分钟。

b) 在精車鑄鉄时，陶瓷車刀显示出了足够高的耐用度  $T=170\sim 200$  分钟，这时切削速度范围是  $v=100\sim 1000$  米/分（沿車刀后隙面的磨損高度  $h=0.4$  毫米）。而脆性小很多的硬质合金 T30K4 車刀，在  $v=300$  米/分时的耐用度  $T=4$  分钟，在  $v=600$  米/分时的  $T=2$  分钟（ $h=0.7\sim 0.8$  毫米）。

陶瓷刀片 ИМ-332 可以认为是能够用  $v>200\sim 300$  米/分的切削速度来加工鑄鉄的唯一的現代刀具材料。

航空工艺与生产組織科学研究所对于半精車  $\sigma_{sp}=60\sim 90$  公斤/毫米<sup>2</sup> 的鋼料的研究結果証明，陶瓷刀片可以用比硬质合金 T15K6、T60K6 高得多的切削速度来进行工作，并且陶瓷刀片对硬质合金的优越性是随着切削速度的提高而增大的。这是因为陶瓷刀片的耐热性較高而粘性較低的緣故。如果把硬质合金 T15K6 的切削速度当做 1，那末硬质合金 T60K6 的切削速度就可用系数 1.50 来表示，而陶瓷刀片 ИМ-332 的切削速度则可用系数 1.75 来表示。

### 切削力和功率

实验<sup>[18]</sup>証明，用装备陶瓷刀片 ИМ-332 和硬质合金 T15K6 的車刀来車削鋼料时，切削力的数值大体上是一样的。

为了充分利用陶瓷刀片的切削性能，車床应当具有高剛度、高速度（主軸轉速达 3000 轉/分）和大功率（10~50 千瓦）。

### 用陶瓷車刀 ИМ-332 加工所得表面 光洁度和零件表面层的状态

在車刀的工作条件相同时，陶瓷車刀 ИМ-332 能保証比硬质

合金車刀 T15K6 获得稍高一些的加工表面光洁度。

对于 35、45、40X 和 45X 号鋼所做的实验<sup>[19]</sup> 証明，在用陶瓷車刀加工时，金属表面层的冷作硬化是在 20~30 微米的深度内发生。这时可以觉察到表面层的显微硬度比母体金属的提高了 25~30%。在很薄的表面层中，引起残余拉伸应力，在切削速度  $v = 350$  米/分时，这残余拉伸应力达到了比用硬质合金車刀来加工时高得多的数值。

当切削速度从 100 增大到 500 米/分时，残余应力的数值就增大，并且在 0.005~0.006 毫米的深度内增大得比較激烈。当車刀沿后隙面的磨损变化到  $h = 0.6$  毫米时，薄表面层中的残余拉伸应力增大。当  $h = 0.7$  毫米时，残余拉伸应力就过渡成压缩应力。

#### 陶瓷刀片在金属切削加工中的应用范围和前景

陶瓷刀片 ИМ-332 可以推荐在沒有冲击载荷和机床-零件-刀具系統刚度足够的条件下，用来精車和半精車鋼料、鑄鉄、有色金属和合金、非金属材料，以及用来精車淬火鋼。在車削鋼料时，所得已加工表面的光洁度为 6~7 級；而在加工鑄鉄时，則为 7~8 級。加工精度为 4~3 級。

在試驗室和生产条件下，用陶瓷刀具进行鑄鉄和鋼料的端銑，已經得出了肯定的結果。

陶瓷刀片的进一步改善，首先是提高其强度，就会使这种新刀具材料的应用范围显著地扩大。

陶瓷刀片对切削速度提高的敏感性比硬质合金的低。因此，在高切削速度及低耐用期的条件下来应用陶瓷刀具，是合理的。

为了用高切削速度来工作，应当优先采用机械式夹固陶瓷刀片的車刀，因为这样在更换已磨损刀片时只要花費很少的时间。

創造出多次使用式陶瓷刀片的合理形状，再与降低这种新刀具材料的价格相結合起来，就可以应用刀片不予重新刃磨的、机械式夹固新刀片的陶瓷車刀。因此，打开了进一步发展金属高速切削加工法和提高金属切削設備生产率的新可能性。

## 第三章 淬火鋼的車削

### 10. 作者进行研究条件的特征

#### 被加工材料

本章叙述作者关于切削淬火结构合金鋼所做研究工作的結果。研究了三种鋼：中合金鉻鎳鉬鋼、高合金鉻鎳鉬硅鋼、高合金鉻鎳鋼。第一种鋼 (OXH3M) 的化学成分：C 0.29~0.30%，Cr 0.82~0.92%，Ni 2.84~2.94%，Mo 0.34~0.47%，Si 0.17~0.27%，Mn 0.36~0.42%，P 0.023~0.030%，S 0.017~0.019%。第二种鋼与 OXH3M 号鋼不同的地方是提高了硅和鉬的含量。第三种鋼則是提高了碳和鉻的含量。

为了叙述材料方便起見，用字母 A (代表 OXH3M 号鋼)、B 和 C 来代表这三种被研究的鋼。

这些鋼接受了淬火和低温回火。

**鋼料形状和尺寸** 鋼A：空心圓筒料，外徑 $D_{\text{нар}} \approx 270$ 毫米，內徑 $D_{\text{вн}} \approx 150$ 毫米，长度 $L \approx 1700$ 毫米。鋼B：实心圓棒料， $D \approx 250$ 毫米， $L \approx 1600$ 毫米。鋼C：实心圓棒料， $D \approx 200$ 毫米， $L \approx 1150$ 毫米。

預先從鋼料上車去了氧化皮和外表不平的一層材料，保證了在試驗時車刀上受到均勻的載荷而沒有沖擊。

試驗耗用了五根鋼A的棒料，四根鋼B的棒料和一根鋼C的棒料。所有鋼料都做了金相分析。圖13所示是鋼A的微觀組織試片。這試片顯示出了馬丁體組織。鋼B和C的微觀組織試片同樣也顯示出了馬丁體組織。在浸蝕以前，所有樣品中都顯露出了少量非金屬夾雜物。

**硬度** 由于必需不從機床上卸下鋼料而系統性地檢查被研究材料的硬度，又由于鋼料的尺寸較大，限定了要采用波里基型儀器來確定硬度。隨着鋼料的車削，沿鋼料長度的7~10點上進行

了鋼的硬度試驗。表24中列舉了鋼A和B的硬度試驗結果。鋼料的給定直徑上的硬度數值，表達出沿鋼料長度測得的7~10個讀數的算術平均值。將波里基硬度換算成洛氏硬度(C制)，是根據為鋼A和B做出的實驗關係來進行的。

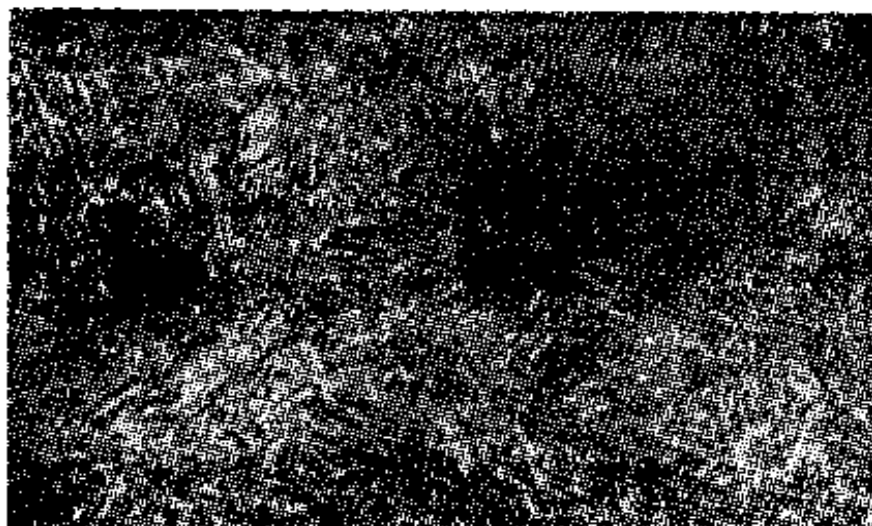


圖 13 鋼A的微觀組織

表 24 鋼A和B的硬度數據

鋼 A				鋼 B			
鋼料編號 №	鋼料直徑 (毫米)	洛氏硬度 $H_{RC}$	平均數據 $H_{RC}$	鋼料編號 №	鋼料直徑 (毫米)	洛氏硬度 $H_{RC}$	平均數據 $H_{RC}$
1	250	41.0	40.0	6	249.6	50.0	49.0
	233	39.0			234.4	49.0	
2	256	45.0	41.0		220.2	49.0	
	229	41.0			205.7	49.0	
	209	38.0			197.4	48.5	
3	255	47.5	47.0		7	175.0	
	236	47.0		236.0		54.5	
	212	47.0		220.4		55.5	
	193	46.5		201.2		56.5	
4	258	40.5	41.0	8	195.9	57.0	
	239	41.5			246.5	58.5	
	232	41.0			232.5	60.0	
	212	41.0			213.2	59.0	
5	255	50.0	49.5	9	157.0	58.0	
	244	49.0			246.2	60.5	
	230	49.0					
	217	50.0					
	186	50.0					

由表24的数据可知:

1) 同样化学成分的鋼料具有了不同的硬度, 虽然热处理规范也是同样的;

2) 鋼料显示出了不同的淬硬程度。在鋼A的№1、2和3棒料中, 硬度随着趋近鋼料軸綫而下降; 但在№4棒料中, 与此相反, 金属外表层的硬度較低。这可以用外表层的脱碳作用来解释。鋼料№5的特点是其横截面中的硬度恆定, 这就說明它已穿透淬硬。

鋼B的棒料, 在其供研究的直徑数值范围内, 一般說来, 表现出了硬度的恆定性。

所有鋼料沿长度測得的硬度, 全无例外地显示出了不恆定性。位于鋼料两端的区域, 受到了最强烈的淬火。在鋼料中部測出的硬度最小。

鋼C的棒料在横截面中显示出了硬度的恆定性。从鋼料上切取了一个厚度为55毫米的圓片。圓片的內側面(朝向鋼料剩余部分的那个側面)的硬度是 $H_{RC} = 65$ , 这是在离圓片中心30、44、79和88毫米的四点上測定的。圓片的直徑等于198毫米。

最后应当指出, 由于采用了波里基型仪器来确定淬火鋼的硬度, 我們得到的远不是精确的数据。波里基硬度数值与洛氏硬度数值是有偏差的, 而且这个偏差随着标准样品和被試驗淬火鋼間硬度差别的增大而增大。发生偏差的原因是, 高硬度的淬火鋼是用圓球(波里基型仪器)而不是用金剛石触头(洛氏仪器)来試驗的。圓球变形, 歪曲了由它遺留在标准样品上和被試驗材料上的压痕。但是, 对于給定的淬火鋼, 利用已經考虑到波里基硬度和洛氏硬度間偏差值的預先列出的公式, 就可以应用波里基型仪器。

从鋼料№3(鋼A)、№6和8(鋼B)制备了噶噶陵式样品, 进行了抗拉試驗。所得抗拉强度极限的数值与文献中关于这些鋼的数据十分符合。

## 机 床

鋼A和B的实驗是在ДМН-400型車床上进行的, 这車床的中心

高 $H=400$ 毫米，頂針間距離 $L=3000$ 毫米。車床裝備了一台功率為9.5馬力的直流電動機、從電動機軸向機床傳動用的列諾里德鏈條、兩個粗調和細調切削速度用的可變電阻。

鋼C的實驗是在ДИИ-300型車床上進行的，這車床的 $H=300$ 毫米， $L=3000$ 毫米。這車床的裝備情況和上述ДИИ-400型車床一樣。

### 切削刀具

研究工作是用外圓直頭和彎頭右偏車刀來進行的，刀杆截面為 $20 \times 30$ 毫米。將尺寸為 $20 \times 20 \times 7$ 毫米的硬質合金刀片釩焊在刀杆上。裝備硬質合金BK3的車刀是例外，其上釩焊刀片的尺寸是 $16 \times 16 \times 5$ 毫米，刀杆截面為 $16 \times 25$ 毫米。用紫銅和黃銅把刀片釩焊在刀杆上。這兩種焊料都給出了滿意的結果。

車刀的刃磨方法是干磨，按兩種方式進行：

- 1) 粗磨，用粒度為36的綠色碳化硅砂輪進行；
- 2) 精磨，用粒度為80的同樣砂輪進行。

車刀的研磨是沿其前傾面、后隙面以及刀尖圓角半徑來進行。採用粒度為28~31(粒度數值表示顆粒大小的微米數)的№3碳化硼所製成的研磨膏，作為研磨材料。

### 11. 切屑形成

金屬切削加工時所得切屑，可以分為下列幾類：

1. 帶狀切屑，這種切屑的不明顯的各個單元(屑瓣)互相推移，但是緊密地連接在一起。切屑的近刀面具有如鏡的光滑表面；切屑的遠刀面，在切削截面較大時，則可看到有不太明顯的鋸齒痕。在用較高的切削速度加工塑性金屬時，形成帶狀切屑。

2. 擠裂切屑(瓣狀切屑)，這種切屑的清晰地表現出來的各個單元(屑瓣)還是保持着連接在一起。切屑的近刀面具有光滑的表面；切屑的遠刀面呢，用肉眼就很容易看到有鋸齒痕。在用不高的切削速度加工塑性金屬時，得到擠裂切屑。



3. 崩碎切屑，这种切屑的个别单元(屑瓣)不连接在一起。与带状切屑、挤裂切屑不同，崩碎切屑的近刀面具有不平的表面。在加工塑性很低的金属时，例如在加工铸铁时，得到崩碎切屑。

在加工本书作者所研究的几种淬火钢时，是形成带状切屑。排出切屑的类别在很大程度上是取决于装备车刀用的硬质合金的牌号。在用装备钨类硬质合金(BK6、BK8等)的车刀加工时，由于在车刀前倾面上生成尺寸较大的月牙窝，所以切屑呈长螺旋状而排出。在开始切削时，当车刀前倾面上还没有形成月牙窝的时候，切屑是呈直带状和圆角半径很大的圆环状。随着钨类硬质合金车刀的逐渐变钝，屑卷的圆角半径就减小；而在车刀急剧变钝时，切屑便呈短螺旋状和个别小块状而排出。

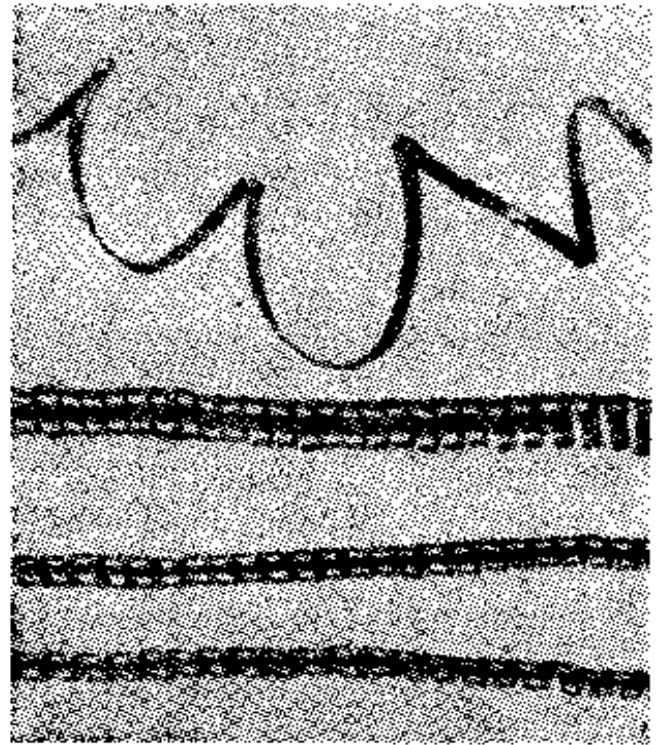


图14所示是在车削硬度为  $H_{RC}=59$  的钢B的过程中，在BK8车刀的不同变钝程度下，得出的四条切屑。最上面的一条切屑符合于车刀切削刃的锋利状态，这时车刀的前倾面上还没有生成月牙窝(在开始切削时)。随着月牙窝的形成，切屑就变成螺旋状；随着切刀的逐渐变钝，屑卷的半径就减小。

图14 钨类硬质合金BK8车刀变钝程度对于排出切屑形式的影响。车削硬度为  $H_{RC}=59$  的钢B，采用  $t=2.4$  毫米， $s=0.155$  毫米/转， $v=20$  米/分

图15所示是符合于BK8车刀在不同变钝程度时的三份切屑。被加工的是硬度为  $H_{RC}=59$  的钢B。最上面的一份切屑是在开始切削时得到的，这时车刀前倾面上还没有生成月牙窝，所以这份切屑呈搞在一起的长带状。到车刀急剧变钝的时刻，切屑就散落成个别小块，即图15最下面的一份切屑。

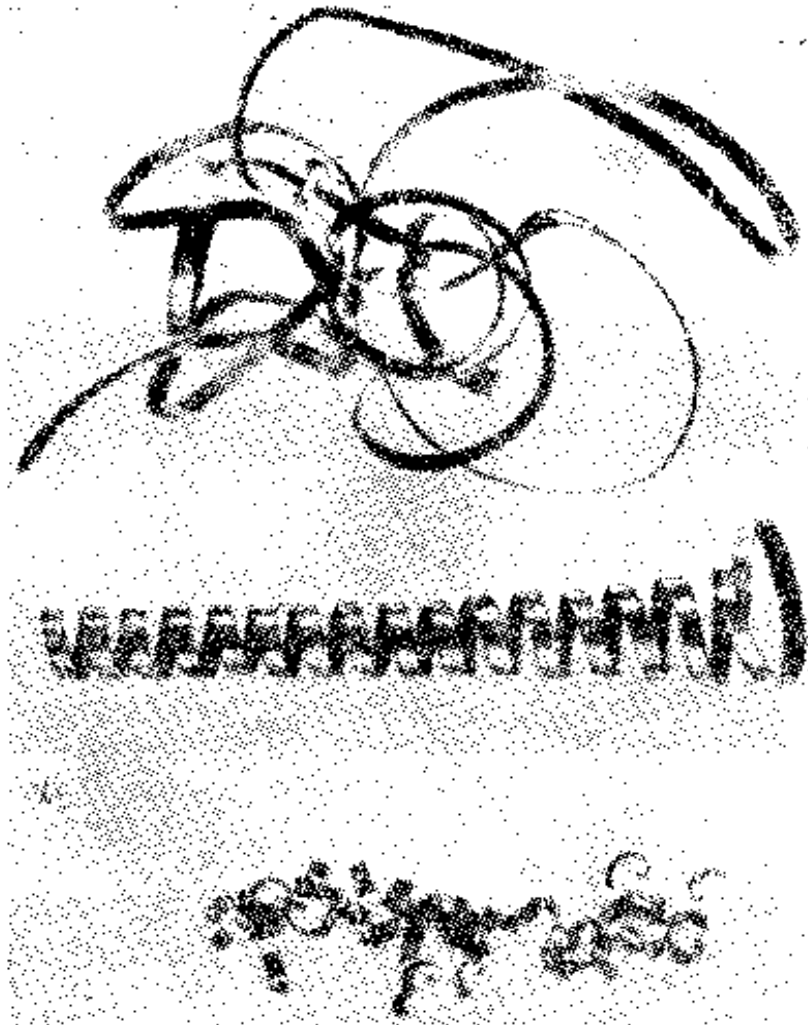


图 15 錳类硬质合金BK 8 車刀变鈍程度对于排出切屑形式的影响。車削硬度为  $H_{RC}=59$  的鋼B，采用  $t=2.4$  毫米， $s=0.395$  毫米/轉， $v=12$  米/分

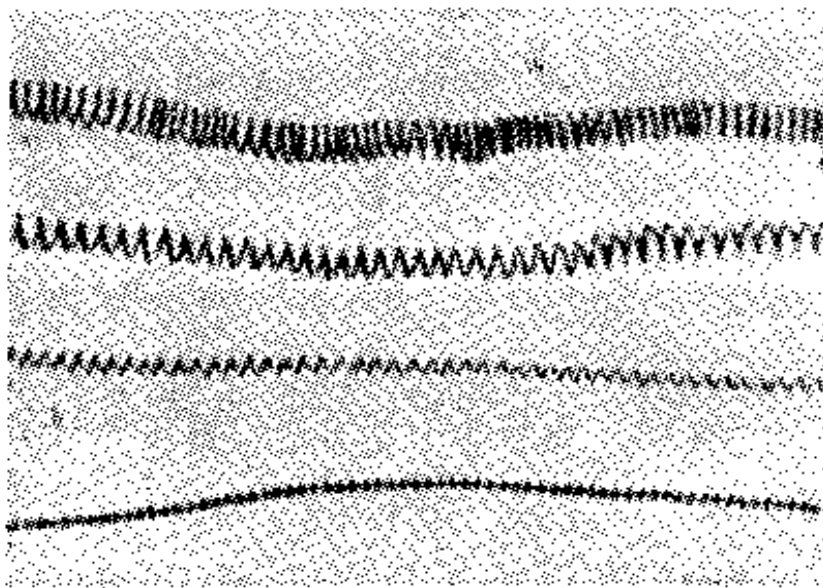


图 16 BK 3 車刀变鈍程度对于排出切屑形式的影响。車削硬度为  $H_{RC}=65$  的鋼C，采用  $t=0.75$  毫米， $s=0.14$  毫米/轉， $v=10$  米/分

图16所示的四条切屑是在用 BK 3 車刀加工硬度为  $H_{Rc}=65$  的鋼 C 时得出的。最上面的一条切屑是在車刀工作 10 分钟后得出的；其后的两条切屑是分別在車刀工作 20 和 30 分钟后得出的；最下面的一条切屑則符合于車刀在正常磨鈍时即在車刀工作 37 分钟后得出的。这張照片表明，硬质合金 BK 3 也具有随着車刀的逐渐变鈍而使屑卷半径减小的特征。

在用鈦錫类硬质合金 (T15K6 等) 車刀加工时，車刀完全磨鈍的特征是得到「皺褶状」的切屑。

图 17 所示是在用鈦錫类硬质合金車刀車削硬度为  $H_{Rc}=59$  的鋼 B 时得到的四份切屑。最下面的一份皺褶状的切屑是在車刀正常磨鈍的时刻得到的。

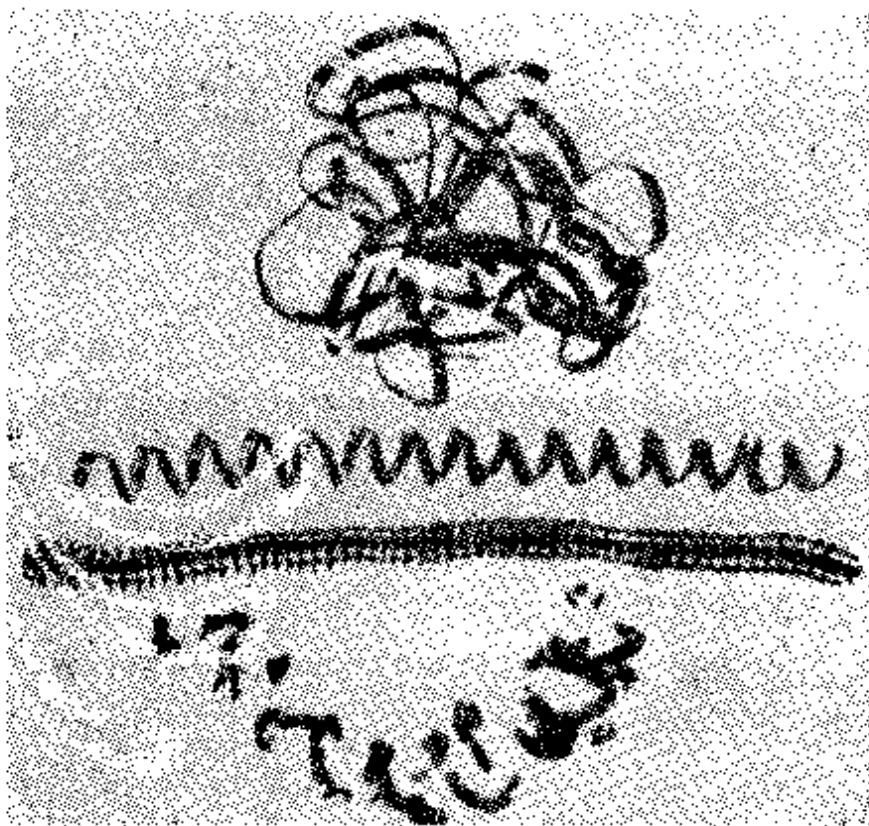


图 17 鈦錫类硬质合金車刀变鈍程度对于排出切屑形式的影响。車削硬度为  $H_{Rc}=59$  的鋼 B，采用  $t=2.4$  毫米， $s=0.155$  毫米/轉， $v=25$  米/分

图18所示的六份切屑，是在用 T15K6 車刀加工硬度为  $H_{Rc}=65$  的鋼 C 时得到的。

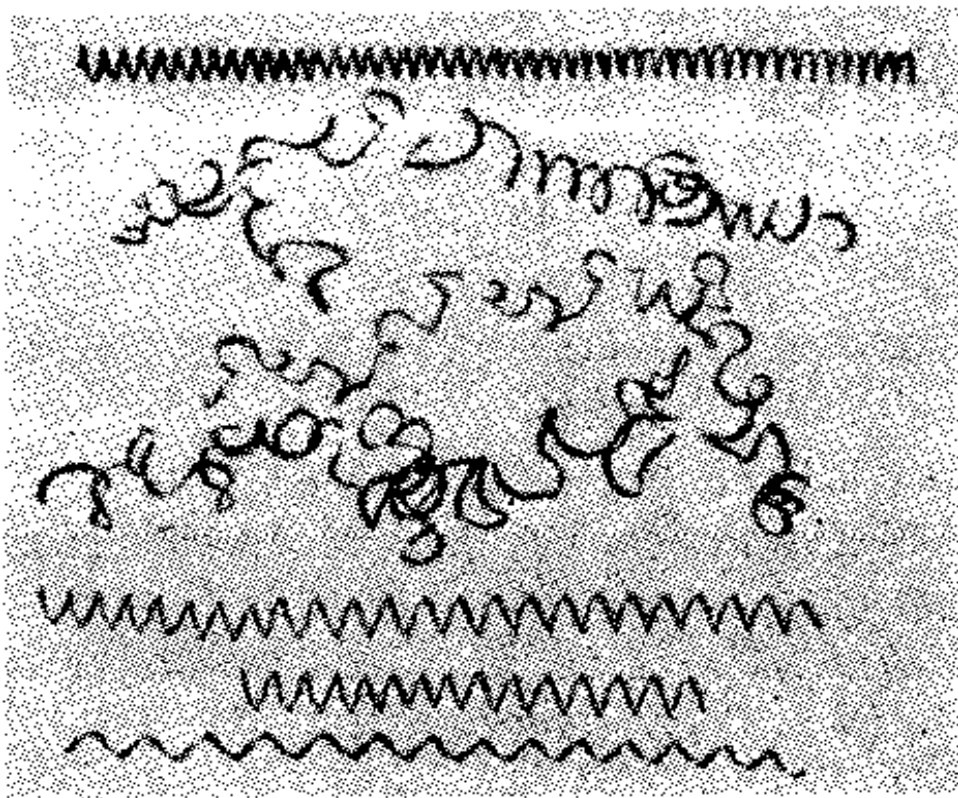


图 18 T15K6 車刀变鈍程度对于排出切屑形式的影响。  
車削硬度为  $H_{R0.05} = 65$  的鋼 C，采用  $t = 0.75$  毫米， $s = 0.14$  毫米/轉， $v = 10$  米/分

由图 18 可知，在用比較大的切削深度和走刀量<sup>①</sup>来車削这种鋼时，車刀的变鈍过程是不伴随着排出切屑形式的有規律变化的。在开始切削时，当車刀还很少变鈍的时候，切屑平稳地呈端正的螺旋带状而排出，而且切屑的近刀面(外表面)十分光滑。然后，随着車刀的逐渐变鈍，切屑就丧失了端正的螺旋的形状。

在用較小的切削深度和走刀量时( $t = 0.25$  毫米， $s = 0.053$  毫米/轉——图 19)，得到了另外一样的图景。

在开始切削时，切屑也是呈端正的螺旋带状而排出，但是几乎在整个切削时期内都不丧失这种切屑形状。只是在車刀磨鈍时刻以前不久，切屑才丧失了螺旋的形状，呈錯乱的小束而排出，并且切屑的近刀面(外表面)得到特有的皺褶状。

①、与图 19 中的数据比較——譯者。

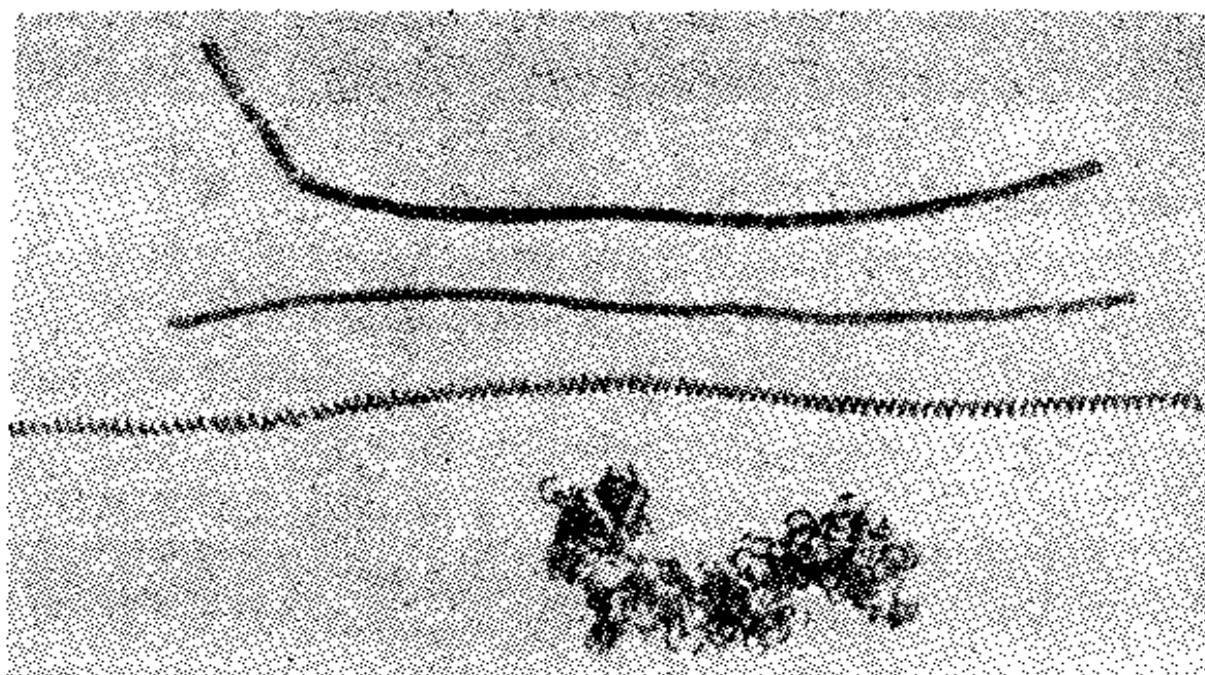


图 19 T15K6車刀变钝程度对于排出切屑形式的影响。  
車削硬度为  $H_{RC}=65$  的鋼 C，采用  $t=0.25$  毫米， $s=$   
 $0.053$  毫米/轉， $v=22$  米/分

这样看来，在所观察的情况下，即在  $t$  和  $s$  值很小时，得到皱褶状的切屑可以作为 T15K6 車刀的磨钝准则。但是，如果认为只有在  $t$  和  $s$  很小的时候用 T15K6 車刀来車削淬火鋼，車刀磨钝才伴随着排出切屑形状的特有变化的話，那就是不正确的了。作者就得到过另外一样的結果：在較大的  $t$  和  $s$  值时切屑呈皱褶状，而在很小的  $t$  和  $s$  值时却不这么样。

車刀磨钝的这个特征(得到皱褶状切屑)是十分明显的，所以在生产条件下是很有用的，然而可惜并不是在所有场合里都能观察到。这个特征可以作为鈦鎢类硬质合金車刀的磨钝准则。

对于鎢类硬质合金 (BK8、BK6 等) 車刀說来，排出切屑形状的变化乃是比較不明显的磨钝准则。但是，对于这些車刀來說，只要注意观察切削过程，也不难看出屑卷圓角半徑的减小。

这些切屑的照片表明，鎢类硬质合金車刀前傾面的磨損是不断地增大的，可是鈦鎢类硬质合金車刀前傾面的磨損則是在开始切削时車刀前傾面上形成不大的月牙窩以后就很少变化的了。这可以說明如下：由于鎢类硬质合金車刀前傾面上月牙窩逐漸加

深，所以排出屑卷半徑就不斷地減小；而鈦鎢類硬質合金車刀呢，在開始切削時，車刀前傾面上也形成月牙窩，因此切屑具有螺旋形狀，但是往後一直到車刀完全磨鈍為止，月牙窩的深度幾乎是不變的，所以屑卷圓角半徑也就不變。

圖20所示是用BK8車刀車削硬度為  $H_{RC} = 41$  的鋼A時得到的五份切屑。切削速度在  $v = 5 \sim 80$  米/分的範圍內變化。由圖可知，在所有切削速度下都是形成帶狀切屑。這樣看來，車削淬火鋼的特徵是在不同切削速度下，包括在低切削速度下，都能形成帶狀切屑。

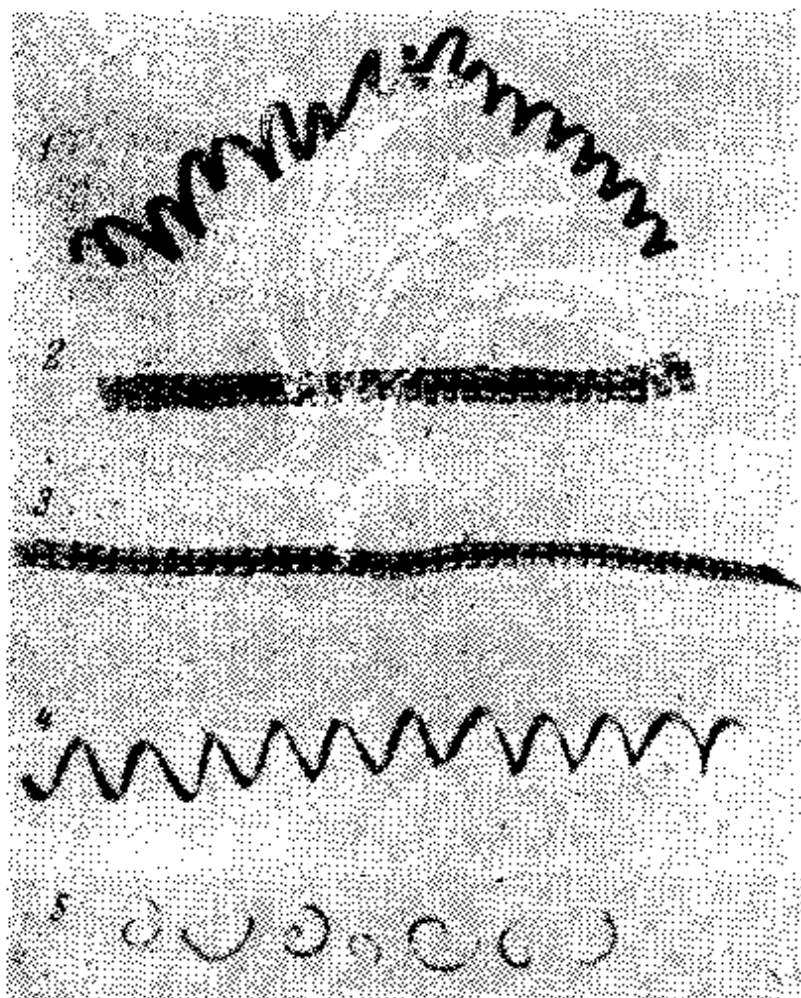


圖20 車削硬度為  $H_{RC} = 41$  的鋼A時切削速度對於排出切屑形式的影響。採用  $t = 1.2$  毫米， $s = 0.225$  毫米/轉。  
 1— $v = 80$  米/分；2— $v = 55$  米/分；3— $v = 30$  米/分；4— $v = 15$  米/分；5— $v = 5$  米/分

大家知道，影響切屑形成特性的因素如下：車刀的前角  $\gamma$ ，

切削速度  $v$ ，切削厚度  $a$ ，和被加工材料的机械性能。

淬火鋼的切削加工是用負前角 ( $\gamma < 0^\circ$ ) 的車刀、在比較不高的切削速度<sup>①</sup>和較小的切削厚度下來進行的，也就是在有利于得到擠裂切屑的條件下來進行的。但是，在作者車削硬度為  $H_{R_c} = 41 \sim 65$  的淬火鋼的所有實驗中，都得到了帶狀切屑。用比較高的切削速度和小的走刀量來加工鋼 A (被研究鋼中的硬度最低的一種鋼) 時，得到了帶狀切屑；用  $v = 12$  米/分、 $t = 2.4$  毫米、 $s = 0.395$  毫米/轉來加工硬度為  $H_{R_c} = 59$  的鋼 B 時，也得到了帶狀切屑 (圖 15)；用  $v = 10$  米/分、 $t = 0.75$  毫米、 $s = 0.14$  毫米/轉來加工硬度為  $H_{R_c} = 65$  的鋼 C 時，同樣也得到了帶狀切屑 (圖 18)。

在加工淬火鋼時，雖然切削條件有利于形成擠裂切屑，但是得到的却是帶狀切屑，這可以由淬火鋼的機械性能來解釋：硬度高、抗拉強度極限高、相對延伸率低。

## 12. 車刀的磨鈍准則

作為車刀磨鈍准則的磨損

現在描述在車削硬度為  $H_{R_c} = 59$  的鋼 B 時鎢類和鈹鎢類硬質合金車刀的試驗情況。在車刀的耐用度時期內，從機床上卸下車刀若干次，確定其前傾面和後隙面的磨損。車刀後隙面磨損值 (磨損面積的高度  $h$ ——見圖 21) 是借工具顯微鏡來測量的。

下面描述鎢類硬質合金車刀逐漸磨損的圖景，這車刀工作時的切削用量 (切削規範) 是  $t = 1.2$  毫米、 $s = 0.225$  毫米/轉、 $v = 35$  米/分。車刀一直工作了 40 分鐘而達到正常磨鈍。車刀的磨損按下述方式進行。

1. 在開始切削時：在切削刃的工作部分，用肉眼看不見、但通過顯微鏡則可清楚地看出有最細微的崩落 (崩刃)；車刀前傾面上顯示出將來的月牙窩的輪廓的標記，呈現出光亮奪目的區域

<sup>①</sup>後面將會證明，本書作者和其他研究人員在切削高硬度的淬火鋼的實驗中所用切削速度，實質上是符合于金屬的《高速切削》的切削速度。但是，與現在加工普通硬度的鋼時所用切削速度相比，這裏的切削速度則是較低的。

(月牙窩本身还没有产生); 在后隙面上, 沿切削刃与被加工材料的接触长度上, 出现不大的磨损; 切屑呈圆角半径很大的错乱带状而排出, 不卷成螺旋, 因为车刀前倾面上没有月牙窩; 切屑加热不大。

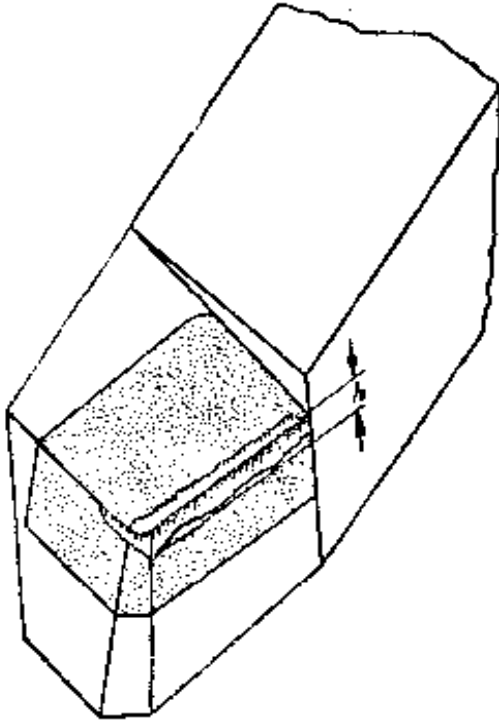


图 21 硬质合金车刀磨损简图  
h——车刀后隙面磨损面积的高度

2. 随着车刀的进一步变钝而观察到: 切削刃工作部分的崩刃现象增大; 前倾面上的月牙窩逐渐加深和加宽; 后隙面的磨损加大; 刀尖圆角半径也加大; 切屑和被加工材料的加热显著提高; 测力仪记录到轴向力  $P_x$  和径向力  $P_y$  的增大; 消耗功率稍有增大; 切屑呈长螺旋状而排出; 已加工表面光洁度开始下降; 出现交变(不同)直径的环带。

3. 在切削終了时观察到: 车刀前倾面上的月牙窩进一步加深和加宽, 以致月牙窩的边缘点与切削刃汇合; 切削刃工作部分上的锯齿痕显著地增大, 用肉眼已能看见; 后隙面磨损尺寸增大到  $h=1.08$  毫米; 车刀剧烈地从被加工零件向外推压出来; 发生特有的声音——嗡嗡声和嘶声; 切屑和已加工表面剧烈地加热(触摸已加工表面时能感到烫手); 排出切屑的形状改变——短螺旋状和细微小块状代替了长螺旋状; 力  $P_x$  和  $P_y$  剧烈地跳跃; 与开始切削时相比, 消耗功率增大  $10\sim 15\%$ ; 已加工表面光洁度急剧地下降——出现粗糙的划伤。

4. 当车刀工作持续时间过长时(车刀工作40分钟后, 即车刀磨钝后, 不从机床上卸下车刀), 观察到了机床的剧烈振动和断续性的走刀——切削进行得不平稳、有振撼, 结果, 硬质合金刀片被折断。

这里所描述的试验用的车刀, 表示在图22上。从这照片上可



以清楚地看到車刀工作40分钟后到达正常磨鈍时刻其后隙面上的磨損面积。

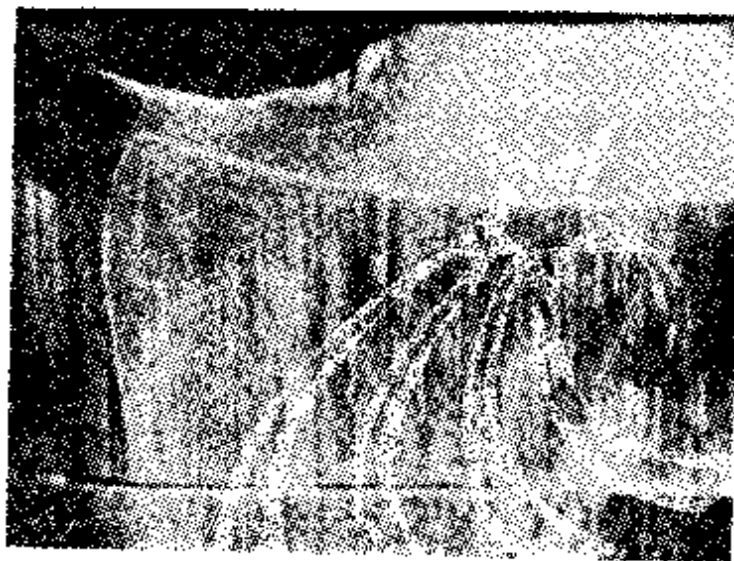


图 22 車削硬度为  $H_{Rc} = 59$  的鋼B时，工作到正常磨鈍的錫类硬质合金車刀。采用  $t = 1.2$  毫米， $s = 0.225$  毫米/轉， $v = 35$  米/分。車刀后隙面的磨損高度  $h = 1.08$  毫米

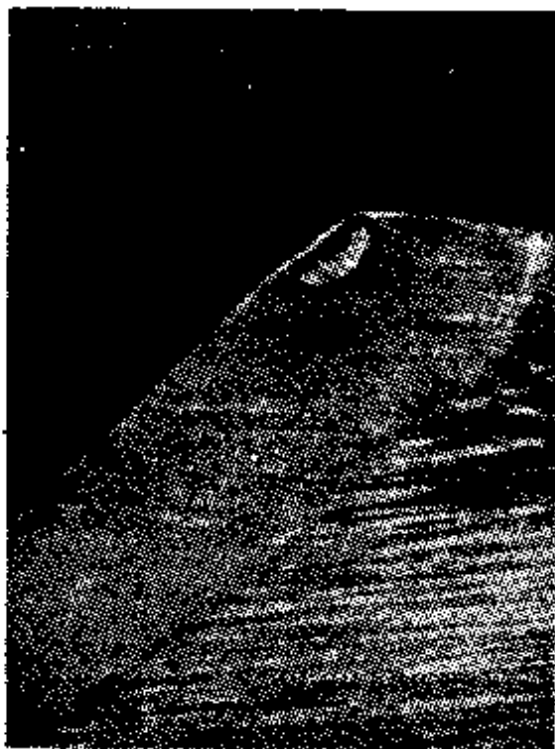


图 23 車削硬度为  $H_{Rc} = 59$  的鋼B时，工作到正常磨鈍的BK8車刀。采用  $t = 0.3$  毫米， $s = 0.112$  毫米/轉， $v = 41$  米/分。車刀后隙面的磨損高度  $h = 0.78$  毫米

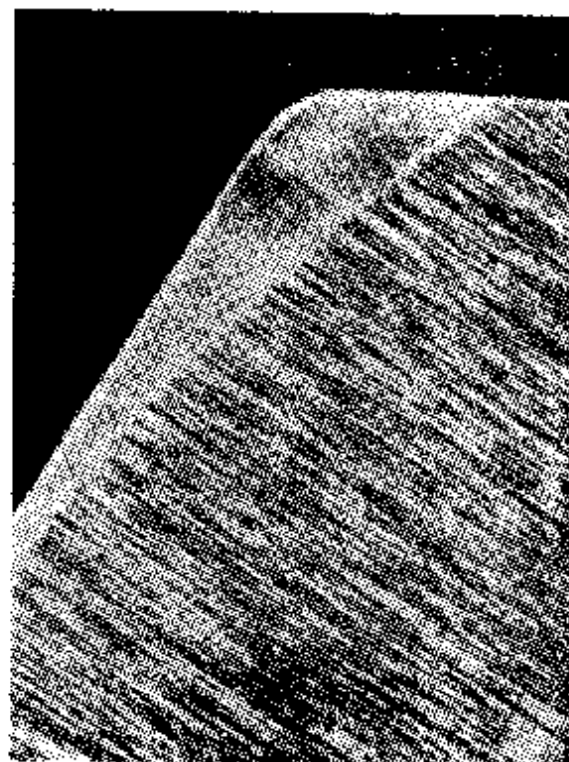


图 24 工作到正常磨鈍的T15K6車刀。車削硬度为  $H_{Rc} = 59$  的鋼B。采用  $t = 0.3$  毫米， $s = 0.112$  毫米/轉， $v = 64$  米/分。俯视图

用硬质合金 BK8 車刀加工硬度为  $H_{RC} = 59$  的同样的鋼 B，但采取了較小的切削深度和走刀量，試驗証明(图 23)，車刀变鈍过程与在上述情况下同样地进行，并且伴随着同样的一些現象，但表现得不那么剧烈。車刀在工作 60 分钟后得到了正常磨鈍；后隙面的磨損为  $h = 0.78$  毫米。車刀前傾面上也得到了同样剧烈的磨損；从照片上可以清楚地看到已形成的月牙窩。

进行了鈦鎢类硬质合金車刀的相似的試驗。車刀变鈍过程基本上与上述情况同样地进行，例外的是在車刀正常磨鈍时刻其前傾面上的月牙窩和后隙面上的磨損都小得多，而切屑則呈皺褶状。图 24 和 25 所示是正常磨鈍时刻的 T15K6 車刀。T15K6 車刀的試驗与 BK8 車刀同样是車削鋼 B，切削深度和走刀量也相同，但是 T15K6 車刀采取的切削速度較高，即  $v = 64$  米/分。这里 T15K6 車刀后隙面的磨損高度  $h = 0.53$  毫米，但是 BK8 車刀的  $h = 0.78$  毫米。

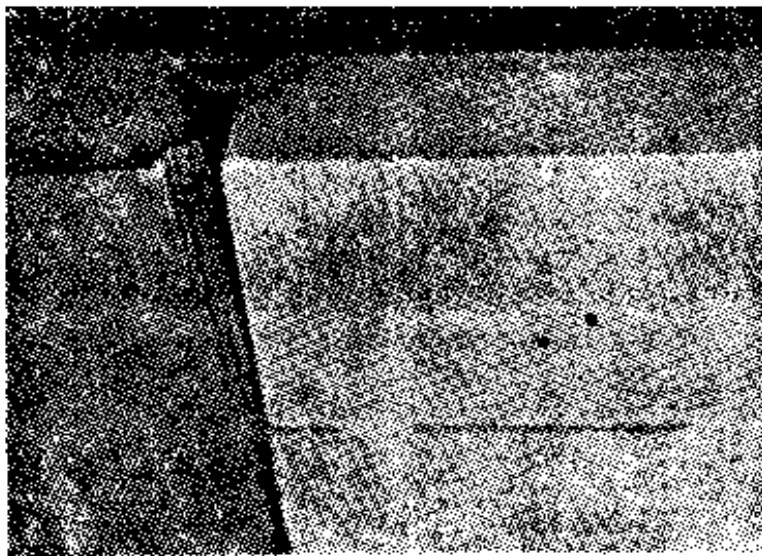


图 25 图 24 所示 T15K6 車刀的側視圖

由上述資料可知，在加工淬火鋼时，硬质合金車刀（不論是鎢类或是鈦鎢类）的前傾面和后隙面都发生磨損，并且是从剛一开始切削时就开始发生磨損，而在整个切削时期內磨損是不断地增大的。

应当指出，确定車刀后隙面的磨損值比前傾面的磨損值要簡便得多。鈦鎢类硬质合金車刀前傾面的磨損是如此地微小，以致

不总是能够测量出来。由于这个关系，下面所有关于車刀磨損的討論和結論，都是指后隙面磨損而言的。

下面列举出車削淬火鋼时表达硬质合金車刀后隙面磨損与車刀工作时间的关系图解。

图26和27所示，是在車削硬度为  $H_{R0} = 59$  的鋼B时，各种牌号硬质合金車刀的磨損曲綫。由图可知，BK8車刀的磨損比T15K6和T21K8車刀的大得多。如果再考虑到，BK8車刀是采用了比T15K6和T21K8車刀低的切削速度来工作的，那末，在車削淬火鋼时鈹鎢类硬质合金車刀比鎢类硬质合金車刀优越的事实就更加清楚了。譬如，T15K6車刀用切削速度  $v = 44$  米/分来工作时，在30分钟后得到的磨損是  $h = 0.55$  毫米(图26)，而BK8車刀在小得多的切削速度下( $v = 35$  米/分)工作同样時間后却得到了較大的磨損( $h = 0.8$  毫米)。

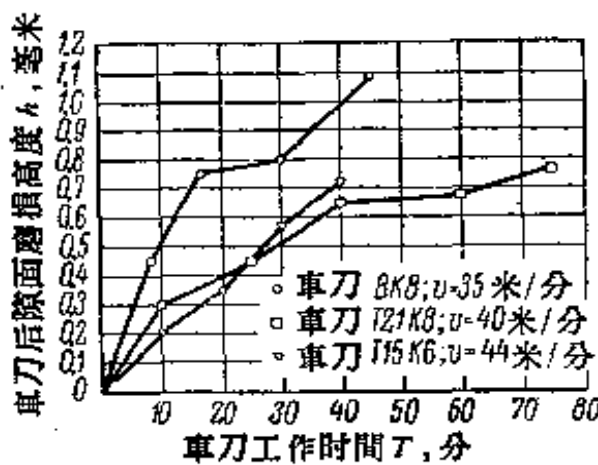


图26 不同牌号硬质合金車刀后隙面磨損与車刀工作时间的关系。車削硬度为  $H_{R0} = 59$  的鋼B。采用  $t = 1.2$  毫米， $s = 0.225$  毫米/轉

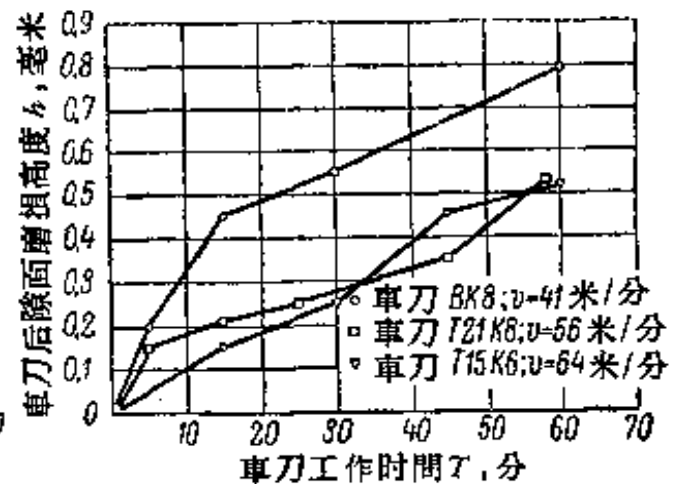


图27 不同牌号硬质合金車刀后隙面磨損与車刀工作时间的关系。車削硬度为  $H_{R0} = 59$  的鋼B。采用  $t = 0.3$  毫米， $s = 0.112$  毫米/轉

T21K8 和 T15K6車刀的磨損曲綫几乎互相重合，但是不可由此作出它們的耐磨性同等的結論。問題是T15K6車刀采用了較高的切削速度。对于T21K8車刀， $v = 56$  米/分；而对于T15K6車刀， $v = 64$  米/分(图27)。如果T15K6車刀(比T21K8車刀)在較高的切削速度下得到了与T21K8車刀同等的磨損值，那末由此應該得出

結論，硬质合金T15K6的耐磨性比硬质合金T21K8的高。

H.C.洛噶克<sup>[21]</sup>研究了某些牌号淬火鋼的精車过程。图28所示是他繪制的硬质合金T30K4車刀的磨損曲綫。

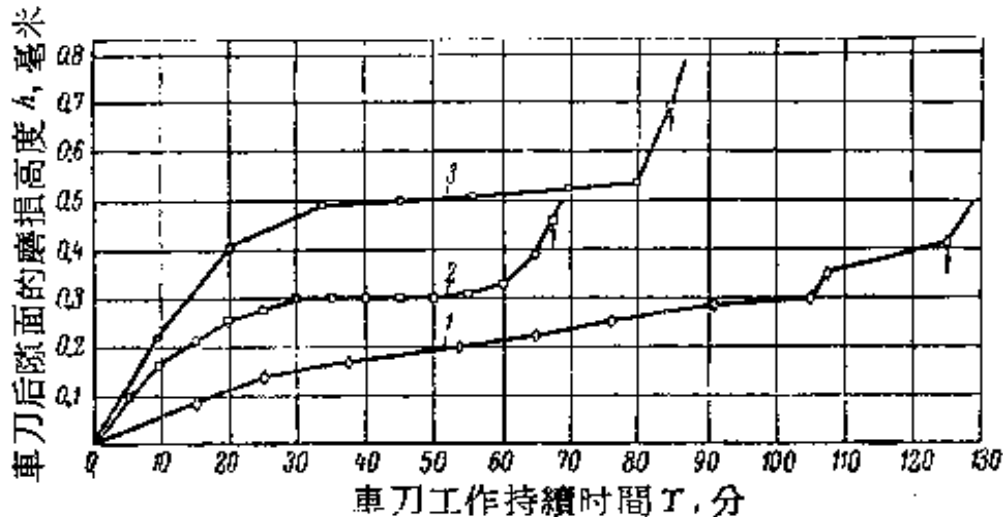


图28 精車淬火鋼时 T30K4 車刀后隙面磨損与車刀工作持續时间的关系，采用 $t=0.2$ 毫米和 $s=0.1$ 毫米/轉。

1—在 $v=80$ 米/分下加工硬度为 $H_{RC}=50\sim 52$ 的40XC号鋼；2—在 $v=100$ 米/分下加工硬度为 $H_{RC}=50\sim 52$ 的40XC号鋼；3—在 $v=37$ 米/分下加工硬度为 $H_{RC}=61\sim 63$ 的III X15号鋼。箭头表示硬质合金刀片开始崩刃

由图可知，車削40XC和III X15号淬火鋼( $H_{RC}=50\sim 63$ )时，T30K4車刀后隙面的正常磨損大約为 $h=0.5$ 毫米。这个正常磨損值也是在采用 $t=0.3$ 毫米、 $s=0.112$ 毫米/轉来加工硬度为 $H_{RC}=59$ 的鋼B时T15K6車刀所特有的(见图27)。

在車削淬火鋼时，应当工作到車刀正常磨鈍为止。当車刀繼續工作时，在大多数情况下車刀的切削刃就会发生崩刃或破裂。这多半是发生在鈦鎢类硬质合金車刀，因为鈦鎢类硬质合金比鎢类硬质合金具有更高的脆性。

車刀工作到其切削刃完全破裂是不允許的，因为这样就会使車刀的重磨(重新刃磨)复杂化，硬质合金刀片的使用期限縮短(刀片允許重磨的次数减少)，此外，在已加工表面上还会形成划伤、裂縫等缺陷。車刀应当使用到由后隙面允許磨損值来决定的正常磨鈍时为止。譬如，对于T15K6車刀來說(图25)，在所給定的工作条件下，应当认为数值 $h=0.53$ 毫米是极限磨損和磨鈍准

則。

車刀的極限磨損值也與加工特性有關。對於粗加工來說，可以採取比對於精加工更大的極限磨損值。在個別工序里，車刀的極限磨損值是取決於對於已加工表面的尺寸精度和光潔度的要求。應當考慮到，淬火鋼的精車聯系到必需保證得到2~3級加工精度和7級已加工表面光潔度。

車刀的磨損乃是車刀磨鈍的極可靠的準則。它在試驗室條件下進行切削過程的研究中得到了應用。但是在生產條件下要利用這個準則是困難的，因為車工不得不為此而停止工作、卸下車刀、並測量其磨損值。因此，希望找出其他更為簡易明了的車刀磨鈍準則，俾在生產條件下應用。

#### 利用排出切屑形狀的變化和已加工表面 光潔度的下降作為車刀磨鈍準則

在第11節中研討了關於排出切屑的形狀隨着車刀逐漸變鈍而變化的問題。在用鈦鎢類硬質合金(T15K6等)車刀工作時，特有的皺褶狀切屑的獲得可以作為車刀磨鈍準則。雖然這個特征並不是在所有情況下都能觀察到，但是在淬火鋼加工的實踐中畢竟是可以採納的辦法。

在用T30K4車刀精車淬火鋼時，切屑排出方向的變化可以作為車刀的磨鈍準則。那就是，在車刀磨鈍的時刻，切屑不再呈螺旋狀而沿車刀前傾面排出，却是突然改變自己的方向，垂直朝上地排出來。

對於鎢類硬質合金(BK8等)車刀來說，屑卷半徑的急劇減小(與起始切削時期相比)、再加上已加工表面光潔度的下降(用肉眼就可以識別出來)，可以作為在生產條件下車刀的明顯的磨鈍準則。

應當指出，對於鈦鎢類硬質合金車刀來說，用表面光潔度作為磨鈍準則是不太合適的。一般說來，隨着車刀的逐漸變鈍，在這裡，已加工表面光潔度固然也是下降，但這很難用肉眼觀察出

来。此外，必需考虑到，随着淬火钢硬度的增大，这里谈论的准则就可以认为是失去了自己的显明性。

车刀磨钝伴随着消耗功率的提高以及轴向力  $P_z$ 、径向力  $P_r$  的增大。人们在试验室条件下可以利用车刀磨钝的这些特征。

### 結 論

1. 用高速钢车刀车削钢料时，在已加工表面上出现光亮带可以作为车刀磨钝准则。在车削淬火钢时，这个特征是用不上的，因为已清除外皮和氧化皮的淬火零件表面的特点是在加工前后都具有强烈的光辉。

2. 在车削淬火钢时，后隙面的磨损值乃是硬质合金车刀的最客观和可靠的磨钝准则。钴类硬质合金车刀比钛钴类硬质合金车刀允许承受较大的磨损值。因此，前者应当比后者采用较大的磨损值作为磨钝准则。此外，车刀的允许磨损值与加工的特性有关。荒车比精车时允许较大的磨损。

表25所示是本书作者推荐的车刀后隙面极限磨损值  $h$ ，作为车削硬度为  $H_{RC} = 41 \sim 65$  的淬火合金钢时车刀的磨钝准则。

表 25 作为车刀磨钝准则的车刀后隙面磨损值

钴类硬质合金(BK8等)车刀			钛钴类硬质合金(T15K6等)车刀		
切削深度 $t$ (毫米)	走刀量 $s$ (毫米/转)	车刀后隙面 磨 损 $h$ (毫米)	切削深度 $t$ (毫米)	走刀量 $s$ (毫米/转)	车刀后隙面 磨 损 $h$ (毫米)
1.0~1.5	0.2~0.5	0.7~1.0	0.1~0.3	0.05~0.15	0.2~0.4
1.5~3.0	0.5~0.8	小于 1.5	0.3~0.7	0.15~0.35	小于 0.6
			0.7~1.5	0.35~0.50	小于 0.8

较小的  $h$  值对应于较小的切削深度  $t$  和走刀量  $s$  值；较大的  $h$  值则对应于较大的  $t$  和  $s$  值。

3. 在生产条件下，排出切屑的形状变化乃是很有用的车刀磨钝准则。在用钛钴类硬质合金车刀工作时，特有的皱褶状切屑的

获得可以作为車刀磨鈍准則。对于錳类硬质合金車刀来說，下列两个特征的总合可以作为明显的磨鈍准則：

- a) 与起始切削时期相比，屑卷的圓角半徑急剧地减小；
- b) 用肉眼可以識別出已加工表面光洁度的下降。

### 13. 硬质合金的选择

某些研究人員持有这样一种見解，即认为高硬度的淬火鋼应当用錳类硬质合金車刀来加工，鈦錳类硬质合金則由于本身的脆性高而不适用于这个目的。

本书作者用各种不同牌号硬质合金車刀，进行了車削极高硬度的淬火鋼的实驗。得出了可以比較这些硬质合金的切削性能的数据。虽然試驗所用的某几种牌号的硬质合金(T21K8和BK12)已經不通用了，但是所得数据的意义迄今并未貶低。

实驗証明，在車削淬火鋼时，鈦錳类硬质合金車刀可以比錳类硬质合金車刀用高得多的切削速度来工作，而且这项优点是随着切削层尺寸的减小和被加工材料硬度的提高而增大的。

图29和30上图解所示，是車削硬度为  $H_{RC} = 56$  的鋼B的实驗結果。加工是在两种切削截面下进行的：a)  $t = 1.2$ 毫米， $s = 0.225$ 毫米/轉；b)  $t = 0.3$ 毫米， $s = 0.112$ 毫米/轉。車刀用碳化硼研磨膏进行了研磨；車刀工作到正常磨鈍为止。

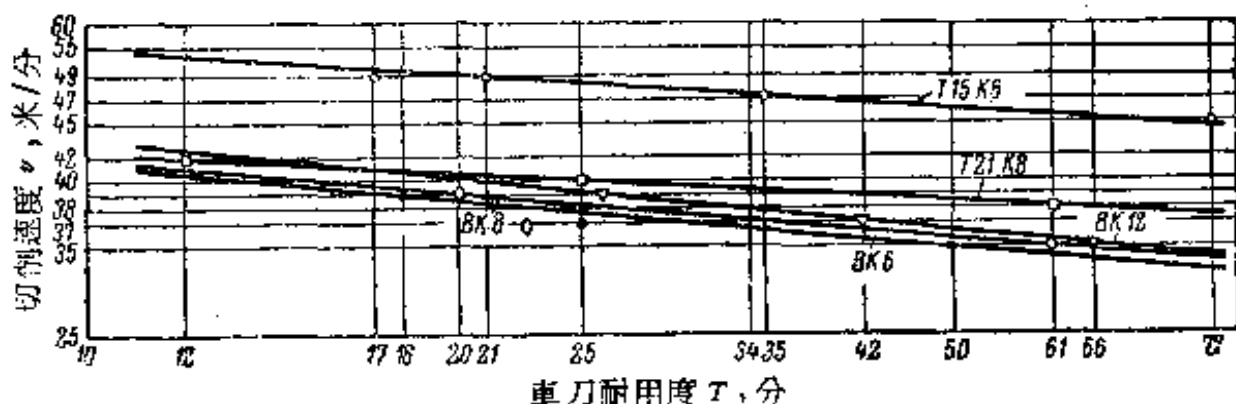


图29 各种不同牌号硬质合金車刀耐用度 $T$ 与切削速度 $v$ 的关系。  
車削硬度为  $H_{RC} = 56$  的鋼B，采用  $t = 1.2$ 毫米和  $s = 0.225$ 毫米/轉

图解証明，鈦錳类硬质合金車刀比錳类硬质合金車刀具有高

得多的切削性能。实际情况是，在  $t=1.2$  毫米、 $s=0.225$  毫米/轉和切削速度  $v=39$  米/分下BK8車刀的耐用度  $T=18$  分钟，但是在同样的  $t$  和  $s$  及高得多的切削速度  $v=49$  米/分下T15K6車刀却仍然具有大致同样的耐用度 ( $T=17$  分钟)。在  $t=0.3$  毫米和  $s=0.112$  毫米/轉的条件下所做的实验具有更高的指标。BK6車刀在  $v=43$  米/分下的耐用度  $T=40$  分钟，但是T15K6車刀在  $v=70$  米/分下保有同样的耐用度。

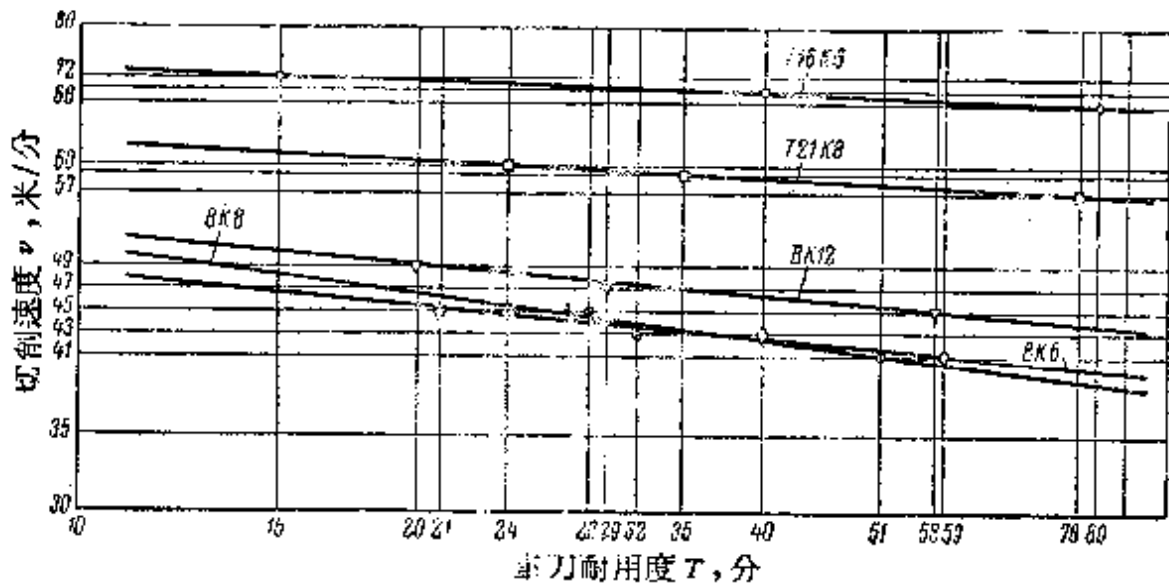


图 30 各种不同牌号硬质合金車刀耐用度  $T$  与切削速度  $v$  的关系。  
車削硬度为  $H_{RC}=56$  的鋼B，采用  $t=0.3$  毫米和  $s=0.112$  毫米/轉

表26所示是符合于車刀耐用度为60分钟的切削速度数据。由表可知，鈦鎢类硬质合金車刀对于鎢类硬质合金車刀的优越性是随着金属切削层尺寸的减小而增大的。如果把  $t=1.2$  毫米和  $s=0.225$  毫米/轉下T15K6硬质合金車刀的切削速度  $v_{60}$  当做1，那末就可以用系数0.74来表示BK8硬质合金車刀的切削速度  $v_{60}$ 。在  $t=0.3$  毫米和  $s=0.112$  毫米/轉下，这两种硬质合金車刀的切削性能的对比变得更加有利于T15K6車刀 (1.0:0.58)。这样看来，在較小的切削截面条件下車削高硬度淬火鋼时，T15K6硬质合金車刀几乎可以比BK8硬质合金車刀采用高上一倍的切削速度来工作。BK12、BK8和BK6硬质合金車刀的切削性能大致是同样的。



表 26 車削硬度为  $H_{RC}=56$  的鋼 B 时各种牌号硬质合金車刀的  $v_{60}$  值和相对耐用度指数  $m$  值

硬质合金 牌 号	$t=1.2$ 毫米, $s=0.225$ 毫米/轉			$t=0.3$ 毫米, $s=0.112$ 毫米/轉		
	$v_{60}$ (米/分)		指数 $m$	$v_{60}$ (米/分)		指数 $m$
	絕 对 值	相 对 值		絕 对 值	相 对 值	
T15K6	45.7	1.00	0.063	69.0	1.00	0.030
T21K8	38.3	0.84	0.069	57.5	0.83	0.045
BK12	35.3	0.77	0.119	44.8	0.65	0.083
BK8	34.0	0.74	0.106	40.0	0.58	0.150
BK6	33.3	0.73	0.103	41.2	0.60	0.097

試驗結果令人信服地証明，必須应用鈹鎢类硬质合金車刀来加工淬火鋼，特別是在采用較小的切削深度和走刀量进行工作的时候。

为了获得各种牌号硬质合金車刀切削性能的完整概念，作者对于硬度为  $H_{RC}=65$  的淬火鋼 C 进行了試驗。这些試驗的結果列举在表 27 中。实验是在切削深度  $t=0.5$  毫米和走刀量  $s=0.14$  毫米/轉下进行的。

表 27 在  $t=0.5$  毫米和  $s=0.14$  毫米/轉下加工硬度为  $H_{RC}=65$  的鋼 C 时各种牌号硬质合金車刀的  $v_{60}$  值和指数  $m$  值

硬质合金牌号	$v_{60}$ (米/分)		指 数 $m$
	絕 对 值	相 对 值	
T21K8	11.7	1.01	0.150
T15K6	11.6	1.00	0.137
BK3	11.3	0.97	0.216
BK12	9.3	0.80	0.175
BK6	8.1	0.70	0.285
BK8	7.4	0.64	0.293

車刀曾用碳化硼研磨膏来研磨过。

表 27 中列举的数据肯定了前面关于鈹鎢类硬质合金車刀的切

削性能比鎢類硬質合金車刀高的結論。

必須指出，屬於鎢類硬質合金的BK3車刀本身的切削性能與硬質合金 T15K6 車刀的接近。硬質合金 BK3 車刀可以成功地應用於淬火鋼的車削。硬質合金 BK2 也屬於新牌號的鎢類硬質合金。

對於精車淬火鋼來說，應當採用鈦鎢類硬質合金 T30K4 車刀〔21〕。這種硬質合金不但比硬質合金 BK8 優越得多，而且也比硬質合金 T15K6 優越很多。在  $t = 0.2$  毫米和  $s = 0.1$  毫米/轉下車削硬度為  $H_{RC} = 50 \sim 52$  的 40XC 號鋼時所得硬質合金 T30K4 和 T15K6 車刀的比較試驗結果，肯定了已經作出的結論(圖31~33)。

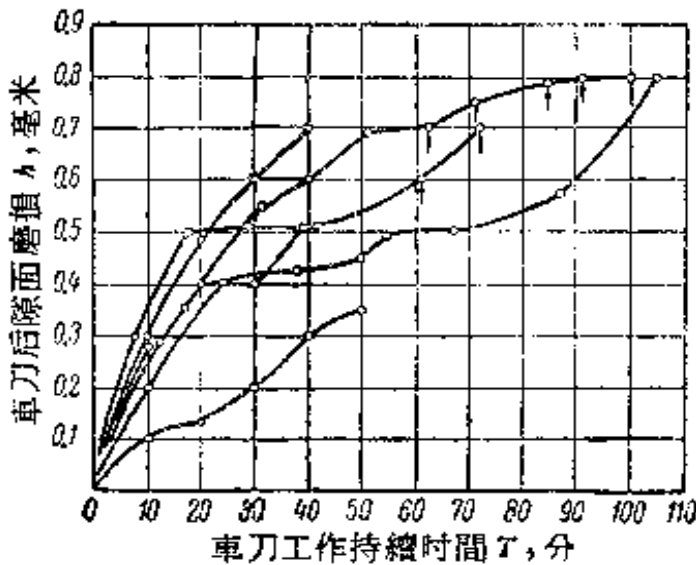


圖 31 T30K4 車刀後隙面磨損與車刀工作持續時間的關係。車削硬度為  $H_{RC} = 50 \sim 52$  的 40XC 號鋼， $v = 40$  米/分， $t = 0.2$  毫米， $s = 0.1$  毫米/轉。車刀的幾何參數： $\alpha = 5^\circ$ ； $\gamma = -5^\circ$ ； $\lambda = 5^\circ$ ； $\varphi = 45^\circ$ ； $\varphi_1 = 10^\circ$ ； $r = 0.5$  毫米。箭頭表示硬質合金刀片崩刃

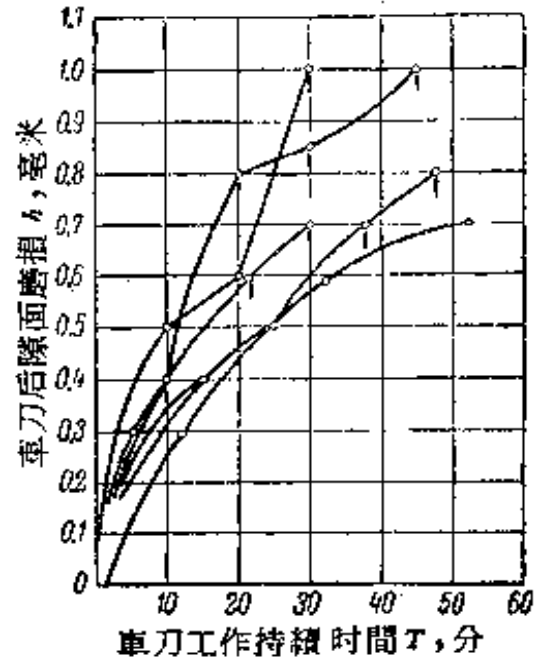


圖 32 T15K6 車刀後隙面磨損與車刀工作持續時間的關係。車削硬度為  $H_{RC} = 50 \sim 52$  的 40XC 號鋼， $v = 40$  米/分， $t = 0.2$  毫米， $s = 0.1$  毫米/轉。車刀的幾何參數： $\alpha = 5^\circ$ ； $\gamma = -5^\circ$ ， $\lambda = 5^\circ$ ； $\varphi = 45^\circ$ ； $\varphi_1 = 10^\circ$ ， $r = 0.5$  毫米。箭頭表示硬質合金刀片崩刃

在工作 40 分鐘以後，T30K4 車刀後隙面磨損範圍是  $h = 0.3 \sim 0.7$  毫米(圖 31)，而 T15K6 車刀則是  $h = 0.65 \sim 0.95$  毫米(圖 32)。

在受試驗的六把 T30K4 車刀中只有兩把發生了硬質合金刀片的崩刃，而在六把 T15K6 車刀中却有五把發生了崩刃，並且在工作 20~30 分鐘以後就開始發生崩刃。

由圖 33 可知，T15K6 車刀在工作 30 分鐘後達到了後隙面磨損  $h=0.35$  毫米並且發生崩刃，而 T30K4 車刀則在工作 90 分鐘後還只達到了小得多的磨損  $h=0.25$  毫米。

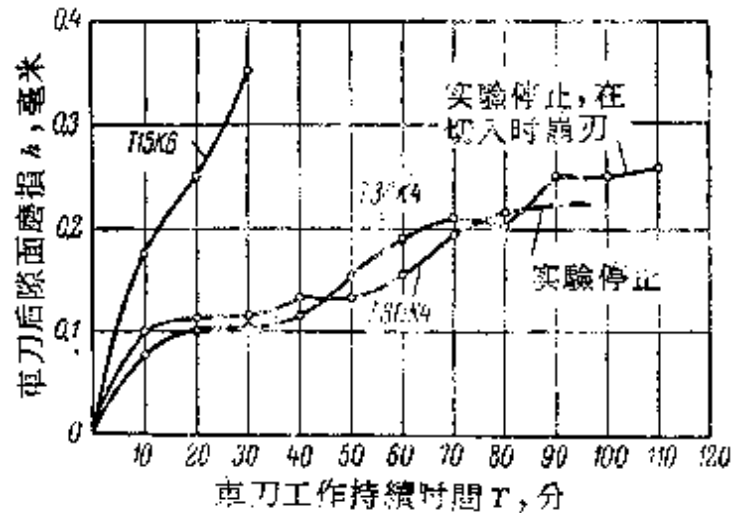


圖 33 切削部分幾何參數相同的硬質合金 T30K4 和 T15K6 車刀的比較試驗結果。車削硬度為  $H_{RC}=50\sim 52$  的 40XC 號鋼， $v=60$  米/分， $t=0.2$  毫米， $s=0.1$  毫米/轉。箭頭表示硬質合金刀片崩刃

這樣看來，為了車削頗大類別的高硬度淬火合金鋼，採用鈦鎢類硬質合金 T15K6 和 T30K4 車刀是較好的，這特別是在較小的切削截面條件下工作時更是如此。所得結果與應用硬質合金的理論和實踐是十分協調的：鎢類硬質合金刀具應用於產生崩碎切屑的鑄鐵和非金屬材料的加工，而鈦鎢類硬質合金刀具則應用於產生帶狀切屑式擠裂切屑的鋼料的加工。在第 11 節中曾經指出，雖然鉻鎳鉬硅鋼 B 和鉻鎳鋼 C 具有極高的硬度 ( $H_{RC}=59$  和  $65$ )，但是在車削它們時還是形成帶狀切屑。

A.И. 馬耳金<sup>[23]</sup>以硬質合金 BK8 的強度比硬質合金 T15K6 的高得多為理由，提出了採用硬質合金 BK8 車刀來車削硬度為  $H_{RC}=62\sim 65$  的淬火鋼的建議。

在切削層較薄和一般精車淬火鋼方面，不能贊同 A.И. 馬耳

金的观点。对这加工过程的基本要求之一，即較高的已加工表面光洁度，只有采用鈦鎢类硬质合金 T15K6、T30K4 車刀才能滿足。如前所述，鎢类硬质合金 BK2 和 BK3 車刀乃是例外。

考虑到硬质合金 T15K6 而特别是 T30K4 的脆性較高，所以在用較大的切削截面进行粗加工时、在零件-机床-車刀系統的剛度不足的情况下，可以认为采用硬质合金 BK8 車刀是合理的。但在这样的情况下，也应当采取措施来增進系統的剛度，爭取使用鈦鎢类硬质合金車刀，以便实現在高得多的切削速度下来工作。

### 結 論

1. 采用所有現存牌号的硬质合金車刀都可以順利地进行淬火鋼的加工，然而鈦鎢类硬质合金車刀的切削性能比鎢类硬质合金車刀的优越得多。在切削深度  $t$  和走刀量  $s$  的数值較小时，鈦鎢类硬质合金对于鎢类硬质合金的优越性就更加明显。

仔細地研磨車刀，乃是对鈦鎢类硬质合金的脆性作斗争的最主要的措施。

2. 鎢类硬质合金 BK8 和 BK6、以及鈦鎢类硬质合金 T5K10 的特征是具有大致同样的切削性能。

3. 鎢类硬质合金 BK2 和 BK3 的特点是切削性能极高，在这点上与硬质合金 T15K6 接近。

4. 在精車淬火鋼时，硬质合金 T30K4 車刀可以用比硬质合金 T15K6 車刀高 20% 的切削速度来工作。

5. 在車削淬火鋼时，若沒有冲击載荷就应当使用硬质合金 T30K4、T15K6、BK2 和 BK3 車刀，若有冲击載荷则应当使用硬质合金 BK8、BK6 和 T5K10 車刀。

### 14. 各种因素对于切削力的影响

本节叙述車削淬火鋼时确定各种因素与切削力的关系的研究結果。

### 切削速度对于切削力的影响

在关于未淬火钢加工方面的文献中，具有这样一种观点；即切削力随着切削速度的提高而减小。

作者研究了车削淬火钢时切削速度对于切削力的影响。所用钢料是硬度为  $H_{RC}=49$  的钢 B。实验是用钛钨类硬质合金车刀来进行的。这些实验的结果如图 34 和 35 所示。图 34 所表示的是采用切削深度  $t=2.41$  毫米、走刀量  $s=0.395$  毫米/转、切削速度变化范围  $v=5\sim 40$  米/分所得实验结果；图 35 所表示的则是采用  $t=1.19$  毫米、 $s=0.225$  毫米/转、切削速度变化范围  $v=5\sim 60$  米/分所得实验结果。

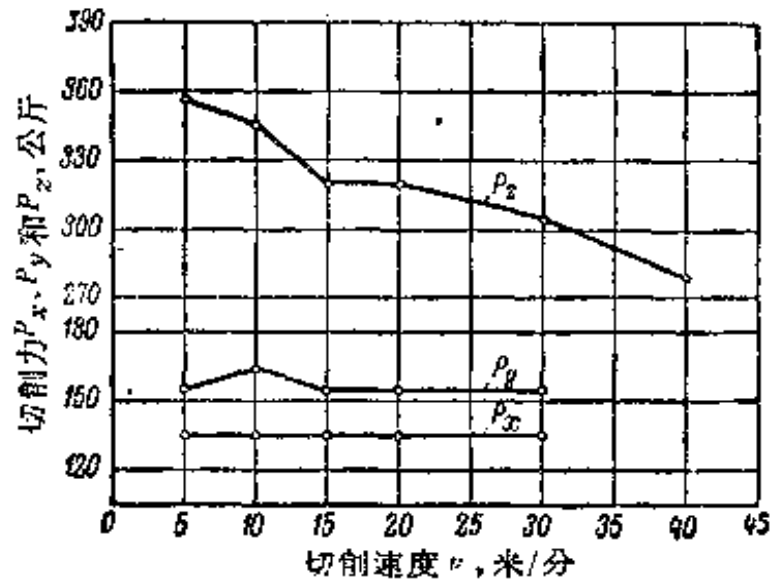


图 34 切削速度  $v$  对于切削力  $P_x$ 、 $P_y$  和  $P_z$  的影响。车削硬度为  $H_{RC}=49$  的钢 B， $t=2.41$  毫米， $s=0.395$  毫米/转。车刀的几何参数： $\alpha=6^\circ$ ， $\gamma=-5^\circ$ ， $\lambda=0^\circ$ ， $\varphi=45^\circ$ ， $\varphi_1=15^\circ$ ， $r=1.15$  毫米

由图中曲线可知，切向力  $P_z$  随着切削速度的增大而减小。但是切削速度变化对于径向力  $P_y$  的影响是那样微小，以致可以认为这个力与切削速度没有关系，也不会有多大误差。轴向力  $P_x$  也与切削速度无关。

H. H. 卓列夫<sup>[32]</sup>指出，当车刀后隙面磨损不大时，所有三个力都随着切削速度的增大而减小。当车刀磨损较大时，力  $P_x$  和

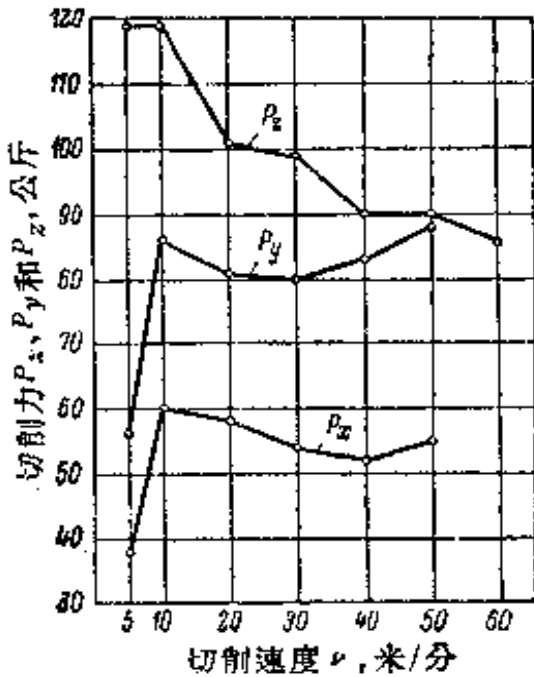


图 35 切削速度  $v$  对于切削力  $P_x$ 、 $P_y$  和  $P_z$  的影响。车削硬度为  $H_{RC}=49$  的钢 B,  $t=1.19$  毫米,  $s=0.225$  毫米/转。车刀的几何参数:  $\alpha=6^\circ$ ,  $\gamma=-5^\circ$ ,  $\lambda=0^\circ$ ,  $\varphi=45^\circ$ ,  $\varphi_1=15^\circ$ ,  $r=1.15$  毫米

进行的。

这样看来,在车削淬火钢时,切削速度对于切削力  $P_z$  发生重大的影响。对于中等硬度 ( $H_{RC}=49$ ) 的淬火钢来说,这影响在切削速度范围  $v=5\sim 60$  米/分内清楚地表现了出来;对于高硬度 ( $H_{RC}=61\sim 62$ ) 的淬火钢来说,这影响则可在小得多的切削速度变化范围  $v=9\sim 23$  米/分内表现出来。

将 A. M. 烏里佛<sup>[25]</sup>车削未淬火钢与本书作者车削硬度为  $H_{RC}=49$  的淬火钢所得数据进行对照比较,得知,在同样程度地增大切削速度  $v$  时,力  $P_z$  也同样程度地减小。这就驳倒了 H. H. 卓列夫关于在车削淬火钢时比加工未淬火钢时切削力在较小的程度上与切削速度有关的论点。

车刀的几何参数对于切削力的影响

车刀的前角 作者用硬度为  $H_{RC}=49$  的钢 B, 进行了确定

$P_y$  可能随着切削速度的增大而增大。

A. Д. 馬卡罗夫<sup>[24]</sup> 得出了相反的结论。他进行了车削硬度为  $H_{RC}=61\sim 62$  的 X12M 号钢的研究,得知,在切削深度  $t=0.45$  毫米、走刀量  $s=0.2$  毫米/转的条件下,切削速度  $v$  从 9 变化到 23 米/分是招致了力  $P_z$  的减小、以及力  $P_x$  和  $P_y$  的增大。

A. Д. 馬卡罗夫和本书作者的数据之间的分歧可以解释如下: A. Д. 馬卡罗夫采用了看来具有较大的后隙面磨损的车刀去进行他自己的试验,而本书作者的实验则是采用了新刃磨好的车刀来

車刀前角對於切削力的影響特性的實驗。在恆定的切削速度 ( $v=20$  米/分) 和切削深度 ( $t=1.2$  毫米)、以及不同的走刀量  $s$  下, 用鈦鎢類硬質合金車刀來進行加工。前角  $\gamma$  從  $+10^\circ$  變化到  $-12^\circ$ 。對於走刀量  $s=0.112$  和  $0.395$  毫米/轉所做試驗的結果, 如圖 36 所示。

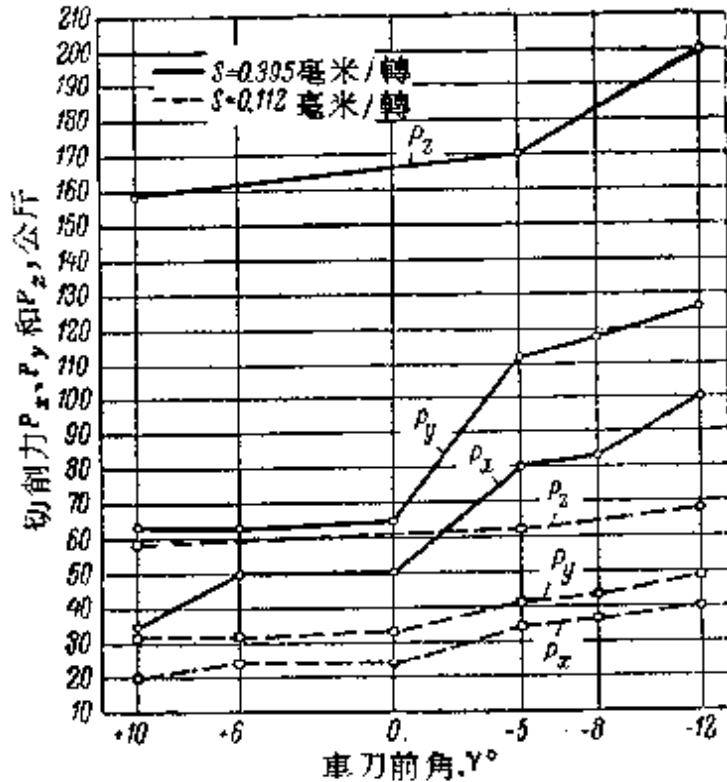


圖36 在不同走刀量  $s$  值下, 車刀前角  $\gamma$  對於切削力  $P_x$ 、 $P_y$  和  $P_z$  的影響。車削硬度為  $H_{R0.05}=49$  的鋼B,  $t=1.2$  毫米,  $s=0.112$  和  $0.395$  毫米/轉,  $v=20$  米/分。車刀的幾何參數:  $\alpha=6^\circ$ ;  $\lambda=0^\circ$ ;  $\varphi=45^\circ$ ;  $\varphi_1=15^\circ$ ;  $r=1.15$  毫米

由圖可知, 切削力  $P_x$ 、 $P_y$  和  $P_z$  隨着車刀前角的減小而增大, 並且  $\gamma$  角對於切削力數值的影響在負前角數值範圍內 ( $\gamma < 0^\circ$ ) 比在正前角數值範圍內 ( $\gamma > 0^\circ$ ) 表現得更強烈些。

前角  $\gamma$  對於力  $P_x$  和  $P_y$  的影響比對於力  $P_z$  的影響要大些。例如, 當前角從  $+10^\circ$  變化到  $-12^\circ$  時 ( $s=0.395$  毫米/轉), 軸向力  $P_x$  就從  $34$  增大到  $99$  公斤, 即增大成  $2.9$  倍, 而徑向力  $P_y$  則從  $63$  增大到  $126$  公斤, 即增大成  $2$  倍。但是這時切向力  $P_z$  則僅增大成  $1.27$  倍 (從  $157$  增大到  $200$  公斤)。

在前角  $\gamma$  的負值範圍內的比值  $P_x/P_z$  和  $P_y/P_z$ , 比在角  $\gamma$  的

正值範圍內的大，並且這兩個比值是隨着前角的減小而增大的（表28）。這表內的数据還表明，比值  $P_x/P_z$  和  $P_y/P_z$  隨着走刀量的增大而減小。

表 28 在切削深度  $t=1.2$  毫米和切削速度  $v=20$  米/分、以及不同走刀量下，車削硬度為  $H_{RC}=49$  的鋼B時，對應於車刀前角  $\gamma$  的不同數值的比值  $P_x/P_z$  和  $P_y/P_z$

走刀量 $s$ (毫米) 轉	$\gamma=+10^\circ$		$\gamma=0^\circ$		$\gamma=-5^\circ$		$\gamma=-12^\circ$	
	$\frac{P_x}{P_z}$	$\frac{P_y}{P_z}$	$\frac{P_x}{P_z}$	$\frac{P_y}{P_z}$	$\frac{P_x}{P_z}$	$\frac{P_y}{P_z}$	$\frac{P_x}{P_z}$	$\frac{P_y}{P_z}$
0.112	0.42	0.75	0.51	0.82	0.68	0.90	0.70	0.92
0.155	0.35	0.63	0.41	0.64	0.62	0.83	0.68	0.87
0.225	0.31	0.54	0.38	0.63	0.51	0.73	0.61	0.79
0.307	0.27	0.49	0.36	0.58	0.48	0.66	0.57	0.78
0.395	0.24	0.48	0.34	0.49	0.46	0.63	0.52	0.69

淬火鋼加工過程的其他研究工作<sup>[22、23]</sup>肯定了本書作者所得到的結果。

可以作出結論，車刀前角對於切削力的影響，在車削淬火鋼時具有與加工普通（未淬火）鋼時同樣的特性。

**車刀的主偏角** 在車削淬火鋼時，主偏角的減小會引起軸向力  $P_x$  和徑向力  $P_y$  的增大，並且角  $\varphi$  的變化對於力  $P_x$  的影響比對於力  $P_y$  的影響更大。根據實驗數據<sup>[22]</sup>，角  $\varphi$  每減小  $10^\circ$  就會引起力  $P_y$  增大 7.5%，力  $P_x$  則增大 30%。角  $\varphi$  對於切向力  $P_z$  的影響不明顯。

**車刀的主切削刃斜角** A. A. 馬斯洛夫<sup>[26]</sup>的研究工作證明，在車削淬火鋼時，隨着主切削刃斜角  $\lambda$  從  $-30^\circ$  增大到  $+45^\circ$ ，徑向力  $P_y$  就增大，而軸向力  $P_x$  則減小。

根據 H. H. 卓列夫的数据<sup>[22]</sup>，角  $\lambda$  每增大  $10^\circ$  就會引起力  $P_y$  增大 15%，力  $P_x$  減小 5%。這些数据在主偏角  $\varphi=20^\circ$ 、切削厚度  $a=0.1$  毫米、以及車刀後隙面磨損  $h=0.2$  毫米時是有效的。



随着角 $\varphi$ 的增大,角 $\lambda$ 对于力 $P_y$ 的影响就减小,而对于力 $P_x$ 的影响则增大。角 $\lambda$ 对于力 $P_x$ 和 $P_y$ 的影响还随着车刀磨损的增大而减小,并且淬火钢愈硬和切削厚度 $a$ 愈小则这影响的减小就愈剧烈。

切向力 $P_z$ 实际上不随角 $\lambda$ 的变化而发生变化。

### 切削深度和走刀量对于切削力的影响

为了确定车削淬火钢时力 $P_x$ 、 $P_y$ 、 $P_z$ 与切削深度 $t$ 、走刀量 $s$ 的关系,作者进行了几组实验。下面叙述四组试验的结果:其中三组是对于硬度为 $H_{RC} = 49$ 的钢B所做的,还有一组是对于硬度为 $H_{RC} = 59$ 的钢B所做的。切削力试验是用钛钨类硬质

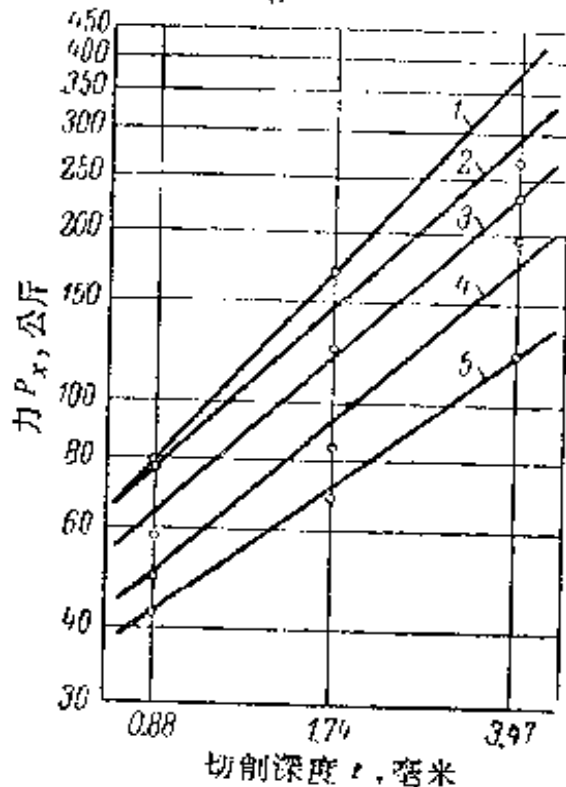


图37 在不同走刀量 $s$ 值时,切削深度 $t$ 对于 $P_x$ 的影响。车削硬度为 $H_{RC} = 49$ 的钢B,切削速度 $v = 20$ 米/分。车刀的几何参数: $\alpha = 6^\circ$ ,  $\gamma = -5^\circ$ ,  $\lambda = 0^\circ$ ,  $\varphi = 45^\circ$ ,  $\varphi_1 = 15^\circ$ ,  $r = 1.15$ 毫米。

1— $s = 0.505$ 毫米/转; 2— $s = 0.395$ 毫米/转;  
3— $s = 0.286$ 毫米/转; 4— $s = 0.197$ 毫米/转;  
5— $s = 0.112$ 毫米/转

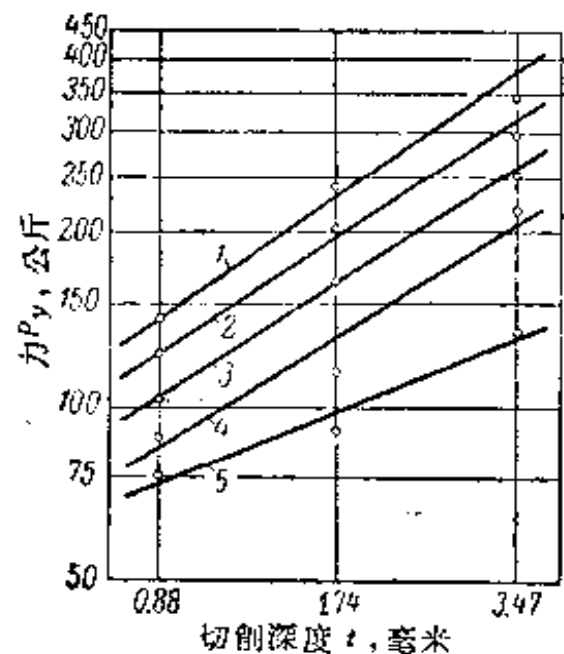


图38 在不同走刀量 $s$ 值时,切削深度 $t$ 对于力 $P_y$ 的影响。试验条件如图37所示

合金車刀來做的，車刀的切削部分具有下列幾何參數： $\alpha=6^\circ$ ； $\gamma=-5^\circ$ ； $\lambda=0^\circ$ ； $\varphi=45^\circ$ ； $\varphi_1=15^\circ$ ； $r=1.15$  毫米。

圖37~42是在雙對數坐標系統中表示出了車削硬度為  $H_{R0}=49$  的淬火鋼 B 時，力  $P_x$ 、 $P_y$ 、 $P_z$  與切削深度  $t$ 、走刀量  $s$  的關係圖解。圖43和44是在普通坐標系統中表示出了同樣的鋼在不同走刀量  $s$  值時切削力的比值  $\frac{P_x}{P_z}$  和  $\frac{P_y}{P_z}$ 。

由圖 43 可知，比值  $P_x/P_z$  隨着走刀量的減小而增大，並且隨着切削深度的增大而增大（但後者較不明顯）。徑向力  $P_y$  對切向力  $P_x$  的比值隨着走刀量和切削深度的減小而增大（圖44）。

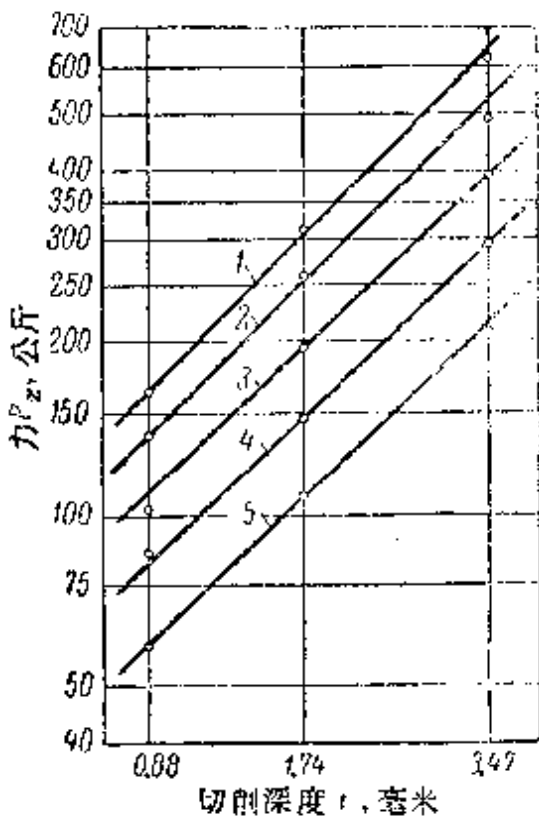


圖 39 在不同走刀量  $s$  值時，切削深度  $t$  對於力  $P_z$  的影響。試驗條件如圖 37 所示

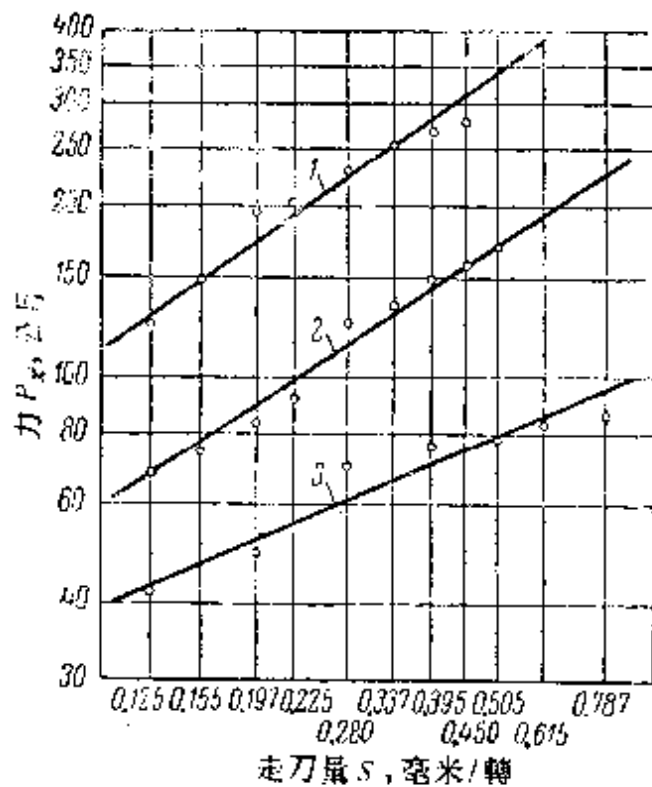


圖 40 在不同切削深度  $t$  值時，走刀量  $s$  對於力  $P_x$  的影響。車削硬度為  $H_{R0}=49$  的鋼 B，切削速度  $v=20$  米/分。車刀的幾何參數： $\alpha=6^\circ$ ， $\gamma=-5^\circ$ ， $\lambda=0^\circ$ ， $\varphi=45^\circ$ ， $\varphi_1=15^\circ$ ， $r=1.15$  毫米。  
1— $t=3.47$  毫米；2— $t=1.74$  毫米；3— $t=0.88$  毫米

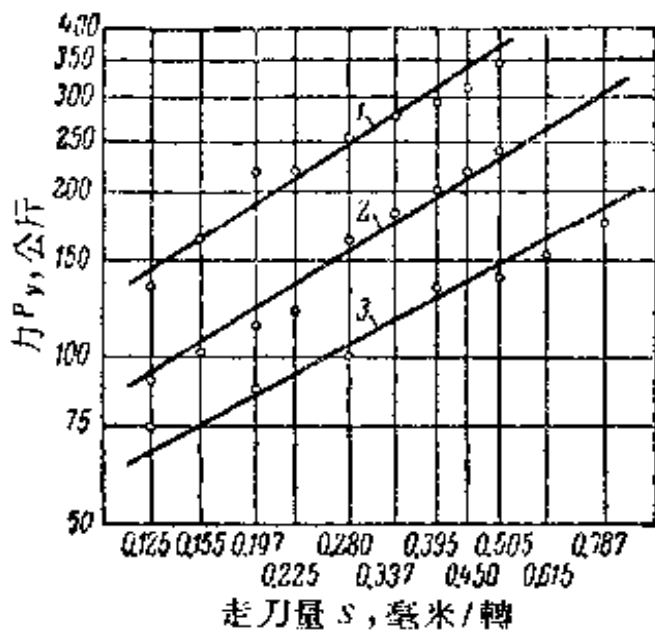


图 41 在不同切削深度  $t$  值时，走刀量  $s$  对于力  $P_y$  的影响。試驗条件如图 40 所示

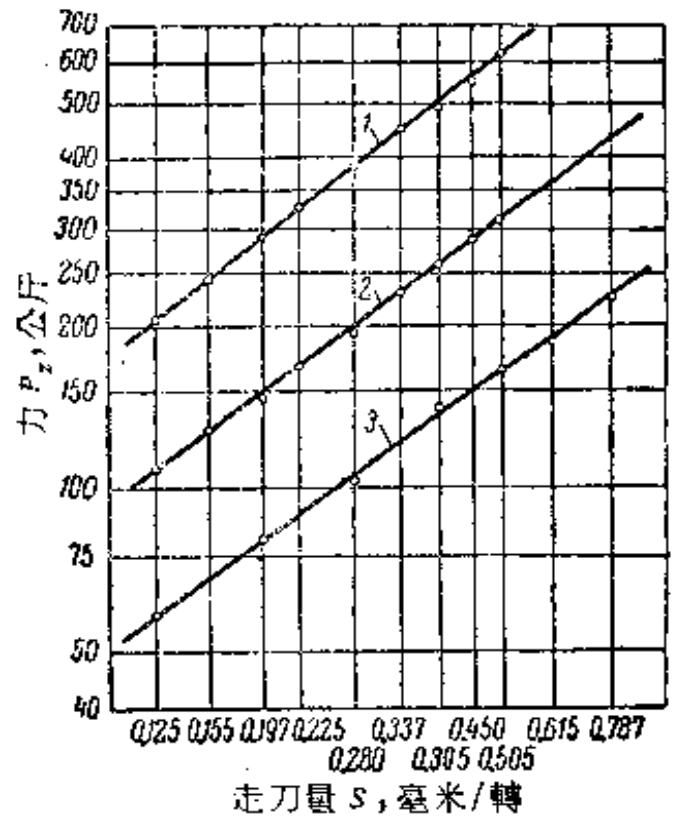


图 42 在不同切削深度  $t$  值时，走刀量  $s$  对于力  $P_z$  的影响。試驗条件如图 40 所示

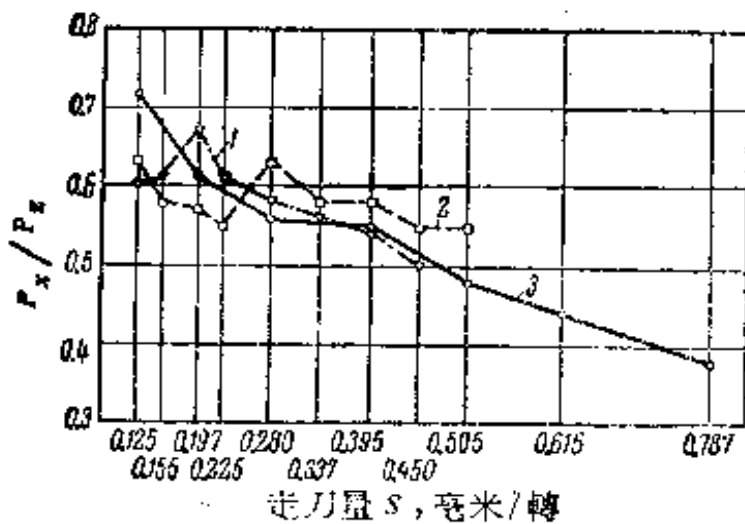


图 43 切削深度  $t$  和走刀量  $s$  对于比值  $P_x/P_z$  的影响。試驗条件如图 40 所示

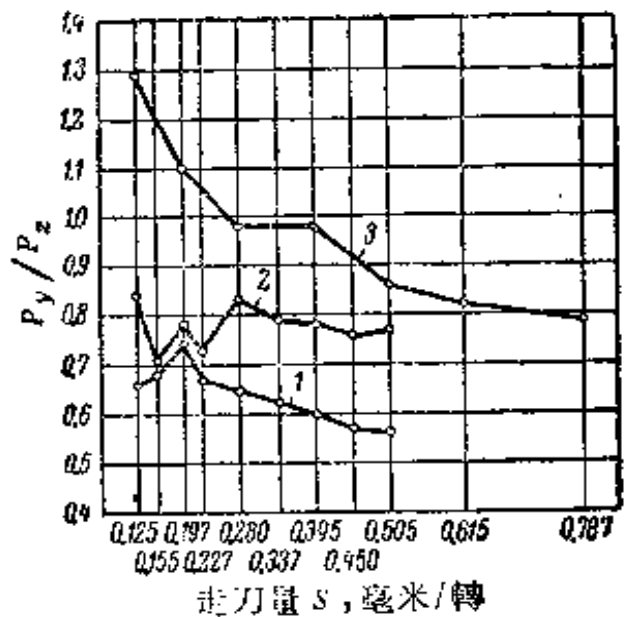


图 44 切削深度  $t$  和走刀量  $s$  对于比值  $P_y/P_z$  的影响。試驗条件如图 40 所示

車削淬火鋼時，軸向力  $P_x$ 、徑向力  $P_y$ 、切向力  $P_z$  與切削深度  $t$ 、走刀量  $s$  的關係，可表示如下：

$$P_x = C_{P_x} \cdot t^{x_{P_x}} \cdot s^{y_{P_x}} \text{ 公斤；}$$

$$P_y = C_{P_y} \cdot t^{x_{P_y}} \cdot s^{y_{P_y}} \text{ 公斤；}$$

$$P_z = C_{P_z} \cdot t^{x_{P_z}} \cdot s^{y_{P_z}} \text{ 公斤；}$$

式中

$C_{P_x}$ 、 $C_{P_y}$  和  $C_{P_z}$  —— 與被加工材料和其他切削條件有關的係數；

$t$  —— 切削深度（毫米）；

$s$  —— 走刀量（毫米/轉）。

分析實驗數據證明，指數  $x_{P_x}$  和  $x_{P_y}$  的數值與走刀量  $s$  有關，而指數  $y_{P_x}$  和  $y_{P_y}$  的數值則與切削深度  $t$  有關； $x_{P_x}$  和  $x_{P_y}$  隨着  $s$  的增大而減小，而  $y_{P_x}$  和  $y_{P_y}$  則隨着  $t$  的增大而減小。但是指數  $x_{P_x}$  和  $x_{P_y}$  以及指數  $y_{P_x}$  和  $y_{P_y}$  的數值的波動，在走刀量和切削深度變化時，對於力  $P_x$  和  $P_y$  的數值的影響不大。因此，引入指數  $x_{P_x}$ 、 $x_{P_y}$  以及  $y_{P_x}$ 、 $y_{P_y}$  與走刀量  $s$ 、切削深度  $t$  的補充關係而使方程式  $P_x = f_1(t \text{ 和 } s)$  以及  $P_y = f_2(t \text{ 和 } s)$  複雜化，乃是沒有意義的。這些指數的數值可以採取四組試驗結果的平均值的水平（表29），對於實踐來說，具有足夠的精確度。

走刀量和切削深度對於指數  $x_{P_x}$  和  $y_{P_x}$  的影響不大。在方程式  $P_z = f_3(t \text{ 和 } s)$  中，可以認為指數  $x_{P_z}$  和  $y_{P_z}$  與走刀量  $s$  和切削深度  $t$  無關。

所指出的規律性乃是兩種硬度（ $H_{R_C} = 49$  和 59）的鋼所特有的。

表29中的數據可以判定淬火鋼的硬度對於  $P_x$ 、 $P_y$ 、 $P_z$  與  $t$ 、 $s$  的關係式中  $t$  和  $s$  的指數的影響特性。由表可知，隨着鋼的硬度  $H_{R_C}$  從49提高到59，方程式  $P_x = f_1(t \text{ 和 } s)$  和  $P_y = f_2(t \text{ 和 } s)$  中切削深度  $t$  的指數就減小： $x_{P_x}$  從0.96減小到0.72，而  $x_{P_y}$  則從0.63減小到0.31。與此相反，走刀量  $s$  的指數則是增大： $y_{P_x}$  從0.57增大到0.86，而  $y_{P_y}$  則從0.62增大到1.08。在方程式  $P_z = f_3$

( $t$  和  $s$ ) 中, 切削深度  $t$  的指数  $x_{P_z}$  也是随着鋼的硬度的提高而减小(从0.97减小到0.83); 走刀量  $s$  的指数  $y_{P_z}$  的变化不大。

表 29' 关系式  $P_x=f_1(t$  和  $s)$ 、 $P_y=f_2(t$  和  $s)$ 、 $P_z=f_3(t$  和  $s)$  中,  $t$  和  $s$  的指数值

切削力	$t$ 和 $s$ 的指数	硬度为 $H_{RC}=49$ 的鋼 B				硬度为 $H_{RC}=59$ 的鋼 B
		实 驗 組 別				
		I	II	III	平均数据	IV
$P_x$	$x_{P_x}$	0.94	0.95	0.98	0.96	0.72
	$y_{P_x}$	0.58	0.52	0.51	0.57	0.86
$P_y$	$x_{P_y}$	0.61	0.66	0.64	0.63	0.31
	$y_{P_y}$	0.60	0.78	0.49	0.62	1.08
$P_z$	$x_{P_z}$	0.95	0.96	0.99	0.97	0.83
	$y_{P_z}$	0.76	0.83	0.87	0.82	0.80

由此得出結論, 随着淬火鋼硬度的提高, 走刀量  $s$  对于力  $P_x$ 、 $P_y$  的影响就急剧地加强。

根据作者的实验数据, 淬火鋼的切削力的方程式具有如下的形式。

对于硬度为  $H_{RC}=49$  的鋼:

$$P_x = 129 \cdot t^{0.96} \cdot s^{0.57} \text{ 公斤};$$

$$P_y = 227 \cdot t^{0.62} \cdot s^{0.62} \text{ 公斤};$$

$$P_z = 330 \cdot t^{0.97} \cdot s^{0.83} \text{ 公斤};$$

对于硬度为  $H_{RC}=59$  的鋼:

$$P_x = 243 \cdot t^{0.72} \cdot s^{0.86} \text{ 公斤};$$

$$P_y = 670 \cdot t^{0.31} \cdot s^{1.08} \text{ 公斤};$$

$$P_z = 400 \cdot t^{0.83} \cdot s^{0.80} \text{ 公斤}。$$

$P_x$ 、 $P_y$  和  $P_z$  的方程式中  $t$  和  $s$  的指数值还受到車刀后隙面磨

損值  $h$  的影响<sup>[29]</sup>。指数  $y_{P_x}$ 、 $y_{P_y}$  和  $y_{P_z}$  随着  $h$  的增大而减小，并且淬火鋼愈硬則这种影响的程度就愈大。这时，指数  $x_{P_x}$ 、 $x_{P_y}$  和  $x_{P_z}$  也减小，但比指数  $y_{P_x}$ 、 $y_{P_y}$  和  $y_{P_z}$  减小的程度較小。

这些方程式对于具有下列切削部分几何参数的車刀是正确的： $\alpha=6^\circ$ ； $\gamma=-5^\circ$ ； $\lambda=0^\circ$ ； $\varphi=45^\circ$ ； $\varphi_1=15^\circ$ ； $r=1.15$  毫米。

为了計算切削用量(附录 I)，作者採納了下列切向力  $P_z$  的公式：

$$P_z = C_{P_z} \cdot t^{0.9} \cdot s^{0.8} \text{ 公斤}, \quad (1)$$

式中  $C_{P_z} = 250$ ——对于硬度为  $H_{RC} = 38$  的鋼。

表30中給出了不同研究人員所得淬火鋼的  $P_x$ 、 $P_y$  和  $P_z$  的方程式中  $t$  和  $s$  的指数值的对比。由所列举的数据得出結論，車削淬火鋼和未淬火鋼一样，走刀量  $s$  比切削深度  $t$  对于力  $P_z$  的影响較

表30 不同研究人員所得指数  $x_{P_x}$ 、 $x_{P_y}$ 、 $x_{P_z}$ 、 $y_{P_x}$ 、 $y_{P_y}$  和  $y_{P_z}$  的数据

数据来源	被加工材料	指 数					
		$P_x = C_{P_x} \times t^{x_{P_x}} \cdot s^{y_{P_x}}$		$P_y = C_{P_y} \times t^{x_{P_y}} \cdot s^{y_{P_y}}$		$P_z = C_{P_z} \times t^{x_{P_z}} \cdot s^{y_{P_z}}$	
		$x_{P_x}$	$y_{P_x}$	$x_{P_y}$	$y_{P_y}$	$x_{P_z}$	$y_{P_z}$
本书作者	淬火鋼 $H_{RC} = 49$	0.96	0.57	0.63	0.62	0.9	0.82
	淬火鋼 B, $H_{RC} = 59$	0.72	0.86	0.31	1.08	0.83	0.80
И.И.卓列夫 <sup>[22]</sup>	淬火鋼, $H_{RC} = 35 \sim 65$	1.0	0.60	1.0	0.60	1.0	0.76
A.A.馬斯洛夫 <sup>[26]</sup>	X12M号淬火鋼, $H_{RC} = 45$	0.91	0.37	0.91	0.47	1.0	0.77
A.В.馬卡罗夫 <sup>[24]</sup>	X12M号淬火鋼, $H_{RC} = 61 \sim 62$	1.03	0.98	0.87	0.95	0.70	0.58
金屬高速切削用量手册 <sup>[27]</sup>	未淬火結構鋼, $\sigma_{sv} = 75$ 公斤/毫米 <sup>2</sup>	1.20	0.55	0.90	0.75	1.0	0.75

小，即在所有研究結果中  $x_{P_z} > y_{P_z}$ 。不可能作出关于  $t$  和  $s$  对于力  $P_x$  和  $P_y$  的影响特性的結論，因为有关数据之間的分歧很大。

我們来比較一下不同研究人員車削淬火鋼时所得切削力  $P_z$  的数值(表31)。表31中也列举了未淬火鋼 ( $\sigma_{sp} = 75$  公斤/毫米<sup>2</sup>) 的数据。

表 31 不同研究人員所得淬火鋼和未淬火鋼的切削力  $P_z$  值

被加工材料	数据来源	切削截面 $t \times s$		
		2.0×0.8	1.0×0.4	0.5×0.1
		切削力 $P_z$ (公斤)		
淬火鋼 $H_{RC} = 45$ $H_{RC} = 50$ $H_{RC} = 60$	本书作者	465 520 620	142 158 190	22 29 34
淬火鋼 $H_{RC} = 45$ $H_{RC} = 50$ $H_{RC} = 60$	Н.Н.卓列夫 [22]	450 440 —	125 130 150	28 31 33
X12M号淬火鋼 $H_{RC} = 45$	A.А.馬斯洛夫 [26]	595	174	30
X12M号淬火鋼 $H_{RC} = 61 \sim 62$	A.Д.馬卡罗夫 [24]	360	148	40
未淬火鋼 $\sigma_{sp} = 75$ 公斤/毫米 <sup>2</sup> ( $H_B = 207 \sim 241$ )	切削用量手册 [27]	320	96	17

考虑到 A.Д.馬卡罗夫在研究工作中所用車刀帶有較大的負前角 ( $\gamma = -24^\circ$ )，所以按他所推荐公式計算出来的数据已作了修正。不同研究人員所得数据之間对于不同切削截面时  $P_z$  值的对比关系不一样，可以用  $P_z$  的公式的結構不一样来解釋(切削深度  $t$  和走刀量  $s$  的指数值不一样)。

由表可知，不同研究人員車削同样硬度的鋼所得力  $P_z$  的数

值差別很大：A. Д. 馬卡羅夫的数据偏低，而A. A. 馬斯洛夫的数据則偏高；本书作者的数据居于H. H. 卓列夫和A. A. 馬斯洛夫的数据之間。

由表還可知，車削淬火鋼的切向力 $P_z$ 比車削未淬火鋼的大；它們之間的差別隨着鋼的硬度的提高而增大。

應當注意到，所列举的切削力数值乃是归属于切削刃沒有磨損的車刀的，即归属于新刃磨好的車刀的。力 $P_z$ 隨着車刀的逐漸磨損而增大，并且淬火鋼愈硬和切削厚度 $a$ 愈小則 $P_z$ 的这种增大就愈猛烈。例如，根据H. H. 卓烈夫<sup>[22]</sup>的實驗数据，車刀后隙面磨損 $h$ 从0.2增大到0.8毫米（切削深度 $t=1.0$ 毫米、走刀量 $s=0.4$ 毫米/轉），就使得車削硬度为 $H_{R_{0.2}}=40$ 的淬火鋼时的力 $P_z$ 增大了50%，而車削硬度为 $H_{R_{0.2}}=65$ 的淬火鋼时的力 $P_z$ 則增大了71%。对于硬度为 $H_{R_{0.2}}=50$ 的淬火鋼（ $t=1.5$ 毫米），車刀磨損 $h$ 从0.2增大到0.8毫米，使得走刀量为 $s=0.8$ 毫米/轉时的力 $P_z$ 增大了35%，而 $s=0.1$ 毫米/轉时的力 $P_z$ 則增大了106%。

非常重要的一点是，車削淬火鋼时力 $P_y$ 和 $P_z$ 的相对值比車削未淬火鋼时的高得多。如果說，車削未淬火鋼时，比值 $P_y/P_z$ 的变化范围是0.18~0.67，而 $P_x/P_z$ 的变化范围是0.17~0.46；那末，在車削淬火鋼时，这两个比值的变化范围就分別地成为0.75~1.81和0.51~0.96。根据A. Д. 馬卡羅夫<sup>[23]</sup>的数据，在車削硬度为 $H_{R_{0.2}}=61\sim 62$ 的淬火鋼时（ $t=2$ 毫米、 $s=0.4$ 毫米/轉），力 $P_y$ 和 $P_x$ 的相对值来得还要高： $P_y/P_z=2.80$ ； $P_x/P_z=1.14$ 。

这时必需考虑到，徑向力 $P_y$ 和軸向力 $P_x$ 隨着車刀后隙面磨損 $h$ 的增大而急剧地增大，并且比切向力 $P_z$ 增大得更为剧烈。根据H. H. 卓列夫<sup>[22]</sup>的数据，在 $t=1.0$ 毫米和 $s=0.4$ 毫米/轉下，車刀后隙面磨損 $h$ 从0.2增大到0.8毫米，使得車削硬度为 $H_{R_{0.2}}=40$ 的鋼时力 $P_y$ 增大了120%，而車削硬度为 $H_{R_{0.2}}=65$ 的鋼时力 $P_y$ 則增大了181%；力 $P_x$ 則分別地增大了94%和187%。順便提出一下，在上述同样的条件下，力 $P_z$ 則只增大了50%和71%。



### 淬火鋼的可加工性

金屬的可切削加工性(接受切削加工的能力)由下列基本指标来确定:

1) 切削速度 $v_c$ ——这就是在一定切削条件下(刀具切削部分的材料和几何参数、切削深度、走刀量等),符合于車刀耐用度为60分钟的切削速度;

2) 已加工表面光洁度;

3) 切削力数值。

刀具所容許的切削速度愈高、所得已加工表面光洁度愈高、以及切削力愈低,則金屬的可加工性就愈高(愈好)。

在这里,根据切削力的特征来观察淬火鋼的可加工性。

**淬火鋼的硬度对其可加工性的影响** 由前述資料可知,淬火鋼的可加工性随着其硬度的提高而降低——切削力 $P_c$ 增大。这規律性可用下列等式来表示:

$$P_c = A \cdot H_{RC}^{n_{P_c}}, \quad (2)$$

式中  $A = C_{P_c}$  ——对于給定硬度的鋼。

表32中列举了不同研究人員所得指数 $n_{P_c}$ 的数值。

表 32 不同研究人員所得 $n_{P_c}$ 的数值

数 据 来 源	淬火鋼的硬度变化范围 $H_{RC}$	指 数 $n_{P_c}$
本书作者	49~59	1.05
Н.И. 卓列夫	35~60	0.88
(27)	>60	3.25
НИИТН [27]	38~58	1.30

在計算推荐切削用量时(附录 I),本书作者采用了下列 $n_{P_c}$ 值:

淬火鋼的硬度 $H_{RC}$	指数 $n_{P_0}$
38~60	1.0
>60	3.0

**車削淬火鋼時的單位切削力** 為了比較評定金屬的可加工性起見，引用了一個所謂切削係數  $K_c$  的概念。人們經常把切削係數  $K_c$  與單位切削力  $p$  混淆起來。對於給定金屬來說，切削係數  $K_c$  乃是恆定值；與此不同，單位切削力  $p$  則是變化值，取決於去除金屬層的尺寸和其他切削條件。但是，單位切削力  $p$  可以用來比較評定各種金屬的可加工性，如果加工這些金屬時的切削力  $P_0$  是在同樣條件下確定出來的。

表33中列舉了不同硬度的淬火鋼的單位切削力  $p$ 、以及抗拉強度根據  $\sigma_{sp} = 75$  公斤/毫米<sup>2</sup> 的未淬火鋼的單位切削力  $p_0$ 。

表 33 淬火鋼和未淬火鋼的單位切削力

被加工材料	切削截面 $F=t \cdot s$ (毫米 <sup>2</sup> )		
	2.0×0.8=1.6	1.0×0.4=0.4	0.5×0.1=0.05
	單位切削力 $p$ (公斤/毫米 <sup>2</sup> )		
淬火鋼			
$H_{RC} = 38$	246	300	440
$H_{RC} = 49$	325	395	580
$H_{RC} = 59$	395	480	705
未淬火鋼			
$\sigma_{sp} = 75$ (公斤/毫米 <sup>2</sup> )	200	240	340

由表可知，表達金屬可加工性的單位切削力隨着去除金屬層截面積  $F$  的減小、以及淬火鋼硬度的提高而增大。未淬火鋼的單位切削力比淬火鋼的小。淬火鋼的可加工性比未淬火鋼的低。

### 結 論

1. 車削淬火鋼與加工未淬火鋼不同的地方是所有三個切削分力都比較大，特別是徑向力  $P_v$  和軸向力  $P_x$  更大。這是由於淬火鋼的強度和硬度較高，同時還由於加工淬火鋼時採用了負前角的車刀。

2. 淬火鋼的特征是可加工性比未淬火鋼的差。淬火鋼的單位切削力  $P$  要大得多。

3. 車削淬火鋼的特点是徑向力  $P_y$  和軸向力  $P_x$  的相對值較高。未淬火鋼的徑向力  $P_y \approx 0.4P_z$ ，軸向力  $P_x \approx 0.3P_z$ ；淬火鋼的軸向力  $P_x = 0.5 \sim 0.9P_z$ ，徑向力  $P_y$  則接近於切向力  $P_z$  的數值，而在切削截面較小時  $P_y$  還超過  $P_z$  很多。

4. 所有三個切削分力都隨着車刀後隙面磨損的增大而增大，而徑向力  $P_y$  和軸向力  $P_x$  增大得特別劇烈。

5. 隨着淬火鋼硬度的提高，切削力就加速地增大。

6. 車削淬火鋼時，切削速度對於切向力  $P_z$  的數值發生重大的影響。力  $P_z$  隨着切削速度的提高而減小。因此，從車刀所受載荷的觀點出發，採用比較高的切削速度來工作是合適的。

實際上在車削淬火鋼時，特別是在車削高硬度的淬火鋼時，切削速度對於切削力的影響不大，因為實際採用的切削速度範圍很窄。

7. 加工淬火鋼時車刀前角  $\gamma$  對於切削力的影響特性與加工未淬火鋼時的一樣：所有切削力都隨着前角的減小而增大，而徑向力  $P_y$  和軸向力  $P_x$  增大得特別劇烈。

8. 在車削淬火鋼時，主偏角  $\phi$  減小就會使得徑向力  $P_y$  和軸向力  $P_x$  增大。角  $\phi$  的變化對於力  $P_y$  的影響比對於力  $P_x$  的小。角  $\phi$  對於切向力  $P_z$  的影響不大。

9. 隨着主切削刃斜角  $\lambda$  的增大，徑向力  $P_y$  就增大而軸向力  $P_x$  則減小；這時切向力  $P_z$  實際上不變。

10. 加工淬火鋼時，切削力與切削深度  $t$ 、走刀量  $s$  的關係的形式，和加工未淬火鋼時的一樣。

加工未淬火鋼時，切削深度的指數  $\alpha_{P_z}$  大於走刀量的指數  $\gamma_{P_z}$ ，這就是說，切削深度比走刀量對於切向力  $P_z$  的影響更大。加工淬火鋼時，這個原則也是正確的。但是，與未淬火鋼（其指數  $\alpha_{P_z} = 1$ ）不同的是，淬火鋼的這個指數（ $\alpha_{P_z}$ ）可以具有較小的數值。

11. 对于所得加工精度发生影响的有许多因素，其中最主要的是在徑向力  $P_y$  的作用下使車刀被推压出来。力  $P_y$  的作用会招致已加工表面几何形状的歪曲并形成表面圓錐度。

因为所討論过程的特点是徑向力  $P_y$  的相对值比較大，这特别是在去除金属层截面較小的时候，所以，应当在剛度比較高的机床上来加工淬火鋼。

12. 虽然車削淬火鋼的特征是切削力比加工未淬火鋼的大得多(在切削深度  $t$  和走刀量  $s$  值相同时)，但是切削力的绝对值是比較不大的，因为車削淬火鋼时采用較小的  $t$  和  $s$ 。此外，加工淬火鋼所用的切削速度比加工未淬火鋼的低得多。結果，車削淬火鋼时所消耗的切削功率比較不大。

### 15. 車刀切削部分的几何参数

本节叙述車削淬火鋼时为了确定車刀几何参数的最佳数值所做研究工作的結果。

#### 車刀的前角

表34所示是作者車削硬度为  $H_{RC} = 56$  的淬火鋼  $B$  的实驗結果。用T21K8硬质合金車刀在切削深度  $t = 2.4$  毫米、走刀量  $s = 0.307$  毫米/轉下进行加工。車刀的几何参数是：后角  $\alpha = 6^\circ$ ；主切削刃斜角  $\lambda = 0^\circ$ ；主偏角  $\varphi = 45^\circ$ ；副偏角  $\varphi_1 = 15^\circ$ ；刀尖圓角半徑  $r = 1.15$  毫米。前角  $\gamma$  在  $+10^\circ \sim -12^\circ$  范围内变化。車刀曾用碳化硼研磨膏进行了研磨。

由表可知，随着車刀前角的减小，切削过程的情况就愈来愈坏。在采用  $\gamma = +10^\circ$  和  $+6^\circ$  的車刀来工作时，切削就在輕快的情況下进行，切屑排出良好。在采用較大的負前角时 ( $\gamma = -8^\circ$  和  $-12^\circ$ )，所有切削分力特别是徑向力  $P_y$  就急剧地增大，这就使得車刀从被加工零件猛烈地往外推压出来，金属切削层的变形也增大，并且切屑急剧地发热。但是在  $\gamma = +10^\circ$  时，車刀的切削刃发生崩刃。

表 34 前角  $\gamma$  对于車刀耐用度和切削速度的影响車削硬度为  $H_{RC}=56$  的鋼B， $t=2.4$  毫米， $s=0.307$  毫米/轉。

前角 $\gamma^\circ$	切削速度 $v$ (米/分)	車刀耐用度 $T$ (分)	車刀变鈍特征	特 殊 标 記
-12	24	18	正常磨鈍	在沉重的情况下进行切削； 一开始切屑就强烈地发热。車 刀被猛烈地从被加工零件往外 推压出来
	22	30	正常磨鈍	
	18	100	正常磨鈍	
- 8	28.5	15	正常磨鈍	
	26	35	正常磨鈍	
	24	55	正常磨鈍	
- 5	31	18	正常磨鈍	在輕快的情况下进行切削； 切屑发热少得多
	28.5	38	正常磨鈍	
	28.5	40	正常磨鈍	
	27	57	正常磨鈍	
0	31	8	正常磨鈍	
	31	8	正常磨鈍	
	29	24	正常磨鈍	
	28	24	正常磨鈍	
	28	32	正常磨鈍	
+ 6	29	12.5	正常磨鈍	在輕快的情况下进行切削， 切屑呈长螺旋状而良好地排 出；但是在車刀变鈍程度不大 的情况下，硬质合金刀片就沿 刀尖和切削刃的工作部分发生 大量的崩刃
	27	22	正常磨鈍	
	24	76	正常磨鈍	
+10	26.5	1.5	車刀崩刃	
	26	0.16	車刀崩刃	
	26	3	車刀崩刃	
	26	0.16	車刀崩刃	
	26	0.16	車刀崩刃	
	26	0.16	車刀崩刃	
	24	37	車刀崩刃	
	23.5	26	車刀崩刃	

图45所示是切削速度  $v$  与車刀耐用度  $T$  在双对数坐标系統中的关系图解。这图解就是按表34中的数据繪制出来的。符合于60分钟車刀耐用度的切削速度 ( $v_{60}$ ) 以及相对耐用度指数  $m$  (与所研究前角  $\gamma$  的数值相关的)，列举在表35中。

作者还用硬度为  $H_{RC}=47$  的鋼A，研究了車刀前角数值对于切削速度的影响。实验是采用硬质合金T21K8車刀，其几何参数与車削硬度为  $H_{RC}=56$  的鋼B的实验中所用車刀相同。試驗結果列举在表36中。

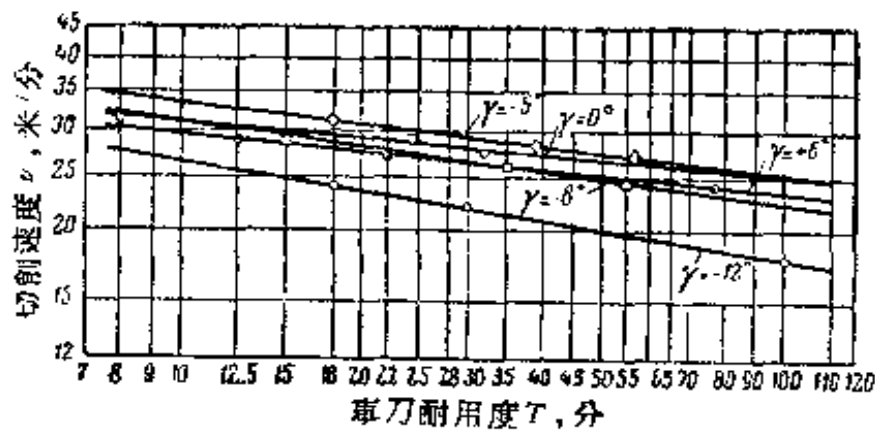


图 15 在不同的前角 $\gamma$ 下，切削速度 $v$ 与车刀耐用度 $T$ 的关系。车削硬度为 $H_{RC}=56$ 的钢B， $t=2.4$ 毫米， $s=0.307$ 毫米/转

表 35 与不同前角 $\gamma$ 相关的切削速度 $v_{60}$ 和相对耐用度指数 $m$   
加工硬度为 $H_{RC}=56$ 的钢B， $t=2.4$ 毫米， $s=0.307$ 毫米/转

前 角 $\gamma^\circ$	切 削 速 度 $v_{60}$ (米/分)		指 数 $m$
	绝 对 值	相 对 值	
-12	19.6	0.80	0.169
-8	24.1	0.98	0.096
-5	26.8	1.09	0.122
0	25.6	1.04	0.096
+6	24.5	1.00	0.105

表 36 与不同前角 $\gamma$ 相关的切削速度 $v_{60}$

车削硬度为 $H_{RC}=47$ 的钢A， $t=1.2$ 毫米， $s=0.305$ 毫米/转

前 角 $\gamma^\circ$	切 削 速 度 $v_{60}$ (米/分)	
	绝 对 值	相 对 值
-8	55.4	0.99
-5	58.2	1.04
0	58.0	1.04
+6	55.6	1.00

在图46上用图解表示出了表35和36中的数据。由所列举出的资料可知，对于两种受试验的钢来说，最大切削速度是符合于车刀前角 $\gamma = -5^\circ$ 。同时，当前角的数值从 $\gamma = -5^\circ$ 向两侧变化时，切削速度 $v_{60}$ 就下降。如果 $\gamma = -5^\circ$ 时切削速度 $v_{60} = 26.8$ 米/分，那末 $\gamma = +6^\circ$ 时 $v_{60} = 24.5$ 米/分，而 $\gamma = -12^\circ$ 时 $v_{60} = 19.6$ 米/分（表35）。这样看来， $\gamma = -12^\circ$ 时的切削速度比 $\gamma = +6^\circ$ 时的小得多。此外， $\gamma = -5^\circ$ 时的切削速度比 $\gamma = +6^\circ$ 时的切削速度大得不多（大9%）。对于第二种牌号的钢来说（表36），这个差别还要小些（相差4%）。

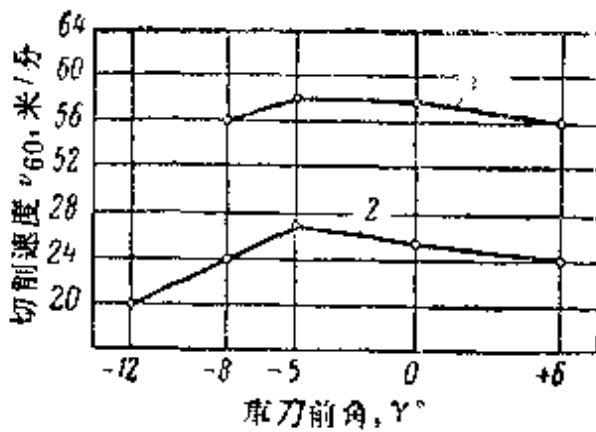


图46 车刀前角 $\gamma$ 对于切削速度 $v_{60}$ 的影响。车刀几何参数： $\alpha = 6^\circ$ ； $\lambda = 0^\circ$ ； $\varphi = 45^\circ$ ； $\varphi_1 = 15^\circ$ ； $r = 1.15$ 毫米。  
1—硬度为 $H_{RC} = 47$ 的钢A， $t = 1.2$ 毫米， $s = 0.305$ 毫米/转；  
2—硬度为 $H_{RC} = 56$ 的钢B， $t = 2.4$ 毫米， $s = 0.307$ 毫米/转

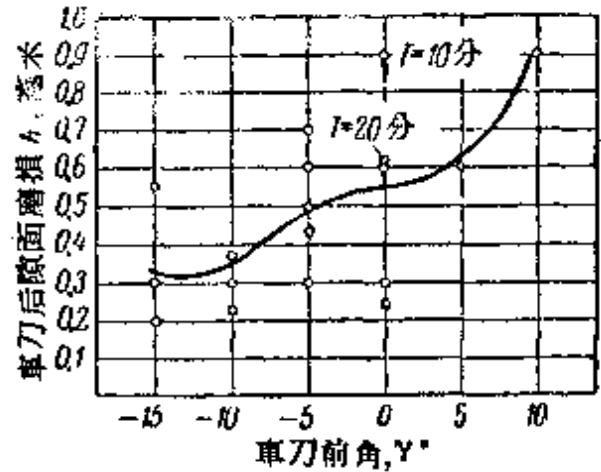


图47 T30K4车刀后隙面磨損 $h$ 与前角 $\gamma$ 的关系。车削硬度为 $H_{RC} = 48 \sim 50$ 的40XC号钢， $t = 0.2$ 毫米， $s = 0.1$ 毫米/转， $v = 40$ 米/分（ $\alpha = 5^\circ$ ， $\varphi = 45^\circ$ ， $\varphi_1 = 10^\circ$ ， $\lambda = 5^\circ$ ， $r = 0.5$ 毫米）。箭头表示硬质合金刀片崩刃

这样看来，在车削硬度为 $H_{RC} = 56$ 和 $47$ 的高合金铬镍钼硅钢和中合金铬镍钼钢时，不大的车刀负前角（ $\gamma = -5^\circ$ ）比正前角（ $\gamma = +6^\circ$ ）在切削速度上给出的好处并不大，反之，较大的负前角（ $\gamma = -12^\circ$ ）则使切削速度显著地下降。

应当着重指出，在较大的正前角时，车削高硬度淬火钢就会使车刀的切削刃发生崩刃。

对于本书作者所研究的钢A和B来说，前角的最佳值的范围

表 37 車削淬火鋼時硬質合金車刀的前角  $\gamma$  的數值

研究人員	淬火鋼的 硬 度 $H_{RC}$	硬質合金的牌號	前角 $\gamma$ 的推薦數值	車刀其他角度的數值	切 削 用 量
Н. И. 謝耳柯諾夫 [28]	49~64	BK6 和 BK8	從 -5 到 -7	$\varphi = 45 \sim 90^\circ$ ; $\lambda = 4^\circ$	$t = 0.25 \sim 0.50$ 毫米; $s = 0.25$ 毫米/轉
И. И. 格魯陀夫 [29]	44~49	T15K6 和 T5K10	-10 和 -5	$\varphi = 45 \sim 90^\circ$ ; $\lambda = 4^\circ$	$t = 0.20 \sim 2.0$ 毫米; $s = 0.05 \sim 0.30$ 毫米/轉
	50~54	T15K6 和 T5K10	-15 和 -10		
	55~58	T15K6 和 T5K10	-20 和 -15		
А. И. 馬耳金 [23]	41~50	BK8 和 T5K10	-10	$\varphi = 30^\circ$ ; $\lambda = 45^\circ$	$t = 0.5 \sim 2.5$ 毫米; $s = 0.15 \sim 0.32$ 毫米/轉
	51~60	BK8 和 T5K10	-10	$\varphi = 25^\circ$ ; $\lambda = 45^\circ$	
	61~65	BK8 和 T5K10	從 -15 到 -20	$\varphi = 15 \sim 20^\circ$ ; $\lambda = 45^\circ$	
В. А. 別洛烏索娃 [30]	49~57	BK3 和 BK8	-12	$\varphi = 25^\circ$ ; $\lambda = 10^\circ$	$t = 0.5 \sim 1.5$ 毫米; $s = 0.1 \sim 0.84$ 毫米/轉
		T30K4			
	58~62	BK3 和 BK8	-15	$\varphi = 20^\circ$ ; $\lambda = 30 \sim 40^\circ$	$t = 0.5 \sim 1.5$ 毫米; $s = 0.1 \sim 0.84$ 毫米/轉
		T30K4			
	63~65	BK3 和 BK8	-20	$\varphi = 15^\circ$ ; $\lambda = 40 \sim 45^\circ$	$t = 0.5$ 毫米; $s = 0.1 \sim 0.48$ 毫米/轉
		T30K4			
45~64	.....	-15	—	—	—
А. А. 馬斯洛夫 [26]	45~65	BK6 和 T15K6	從 -15 到 -20	$\varphi = 20 \sim 30^\circ$ ; $\lambda = 10 \sim 15^\circ$	$t = 2$ 毫米; $s = 0.3$ 毫米/轉



是 $\gamma = -5^\circ$ 到 $\gamma = 0^\circ$ 。

讓我們來敘述一下車削淬火鋼的另外的著作。表37中列举的就是这些研究人員們所推荐的車刀前角的数值。

H. C. 洛噶克研究了精加工淬火到硬度为 $H_{RC} = 48 \sim 50$ 的40XC号鋼时( $t = 0.2$ 毫米、 $s = 0.1$ 毫米/轉、 $v = 40$ 米/分)前角对于T30K4車刀磨損的影响<sup>(31)</sup>。他对下列前角数值进行了試驗： $\gamma = 10^\circ, 5^\circ, 0^\circ, -10^\circ$ 和 $-15^\circ$ 。在每个試驗中，确定了車刀工作40分钟后的后隙面磨損数值。試驗結果如图47所示。

由图可知，在采用正前角 $\gamma$ 的那些試驗中，車刀发生了崩刃。而在采用負前角的車刀来工作时，就沒有发生崩刃現象。同时，随着前角 $\gamma$ 的减小，車刀后隙面磨損 $h$ 也减小。前角的最佳数值是在 $-10^\circ \sim -15^\circ$ 範圍內。

根据B. A. 克利沃烏霍夫<sup>(32)</sup>发表的数据看来，КВБК<sup>①</sup>車刀在車削淬火鋼时工作得非常成功。

这种車刀的特征是偏角 $\varphi$ 和 $\varphi_1$ 非常小，并且刀尖处沒有圓角半徑 $r$ 。КВБК車刀的切削部分的几何参数如下：后角 $\alpha = 12^\circ$ ，前角 $\gamma = -5^\circ$ ，主切削刃斜角 $\lambda = 0^\circ$ ，主偏角 $\varphi = 10^\circ$ ，副偏角 $\varphi_1 = 10^\circ$ 。

上述資料表明，車削淬火鋼用的車刀应当具有負前角( $\gamma < 0^\circ$ )。但是，对于負前角的数值的問題，研究人員們的意見是有分歧的。車削淬火鋼时必需采用較大負前角的車刀的观点是比較占优势的，对于高硬度的淬火鋼主張一直用到 $\gamma = -20^\circ \sim -25^\circ$ 。然而H. И. 謝耳柯諾戈夫、B. A. 克利沃烏霍夫和本书作者則已查明，負前角的最佳数值是 $\gamma \approx -5^\circ$ 。

我們认为必需敘述一下加工淬火鋼时采用較小的負前角数值的优越性。

前面已經指出过，負前角乃是提高硬质合金車刀切削刃强度的手段。在正前角的車刀工作时，其切削刃是受到弯曲作用，这

① 这种車刀是根据四位发明人克利沃烏霍夫、勃魯施杰英、叶戈罗夫、柯茲洛夫的姓氏的第一个俄文字母来取名的。

就是說，这时切削刃的变形状态正好是硬质合金所难于抵抗的。如果說高速鋼的抗弯强度极限 $\sigma_{su} = 320$ 公斤/毫米<sup>2</sup>，那末硬质合金T15K6的則是 $\sigma_{su} = 110$ 公斤/毫米<sup>2</sup>，而硬质合金T30K4的則只有90公斤/毫米<sup>2</sup>。然而硬质合金的特征是抗压强度极限非常高，达到 $\sigma_{scs} = 450$ 公斤/毫米<sup>2</sup>。而負前角的车刀的切削刃所受到的主要是压缩载荷。

与此同时，負前角会使徑向力 $P_v$ 急剧地提高，而且将車刀从被加工零件向外推压。当机床-零件-刀具系統的剛度不足时，就会发生破裂。根据本书作者对于硬度为 $H_{RC} = 49$ 的鋼B、在切削深度 $t = 1.2$ 毫米和走刀量 $s = 0.395$ 毫米/轉下所做試驗得出的数据可知，前角 $\gamma$ 从 $+10^\circ$ 减小到 $-12^\circ$ 时就使徑向力 $P_v$ 增大成二倍。这时，切向力 $P_z$ 則仅增大成1.27倍。

这样看来，在車削淬火鋼方面，采用負前角車刀来工作就联系到对于精加工过程极其不称心的一些現象。因此，显然应当力求选用尽可能小的負前角，何况根据本书作者的数据可知，当負前角的数值增大到超过 $\gamma = -5^\circ$ 时，切削速度不是提高而是降低。

除H.H.格魯陀夫、H.C.洛噶克之外，所有研究人員都推荐采用較大的負前角 $\gamma$ 配以較小的主偏角 $\varphi$ ，而A.H.馬耳金、E.A.別洛烏索娃則推荐在此之外再配以較大的主切削刃斜角 $\lambda$ 。

随着主偏角 $\varphi$ 的减小，切削厚度 $a$ 就减小、切削寬度 $b$ 則增大、而車刀耐用度 $T$ 提高。根据本书作者的数据，对于硬度为 $H_{RC} = 41$ 的淬火鋼來說，当主偏角 $\varphi$ 从 $60^\circ$ 变到 $20^\circ$ 时，切削速度提高19%。

但是，随着角 $\varphi$ 的减小，徑向力 $P_v$ 的相对值就增大，振动的强烈度也就增大，对于角 $\varphi < 30^\circ$ 的切削刀具來說更是如此。这样看来，主偏角减小在这里所起的作用的傾向与負前角数值增大的一样。不同的地方在于，随着角 $\varphi$ 的减小，車刀耐用度和切削速度就增大，而随着前角 $\gamma$ 的减小，車刀切削刃强度提高，同时車刀耐用度却降低。

推荐在車削淬火鋼时采用同时具有較大的負前角 $\gamma$  (达 $-20^\circ$ )、較小的主偏角 $\varphi$  ( $10\sim 30^\circ$ ) 以及較大的主切削刃斜角 $\lambda$  ( $=45^\circ$ )的車刀, 这是不能同意的。何况这里还是对于强度比較高而脆性比較低的两种硬质合金(BK8和T5K10)而言的呢。

加工淬火鋼的工厂实践肯定了采用不大的負前角的车刀的优越性。莫斯科“紅色无产者”工厂, 采用前角 $\gamma = -5^\circ$ 的T30K4車刀, 加工硬度为 $H_{RC} = 60$ 的淬火IIIХ15号鋼<sup>(33)</sup>。我們指出, 硬质合金T30K4乃是最脆的硬质合金之一。

莫斯科“战士”工厂<sup>(34)</sup>, 采用前角 $\gamma = -5^\circ$ 的T15K6和BK8車刀, 加工硬度为 $H_{RC} = 42\sim 46$ 的淬火40X号鋼。高尔基机床厂<sup>(35)</sup>采用前角 $\gamma = -5^\circ$ 的T15K6車刀, 車削硬度为 $H_{RC} = 40\sim 48$ 的淬火鋼零件。

与此同时, C. C. 聶克拉索夫<sup>(36)</sup>报导, 軸承厂在立式車床上加工硬度为 $H_{RC} = 60\sim 65$ 的IIIХ15、IIIХ15Cl、12XH3号鋼制的重型滾珠軸承圈和滾柱軸承圈时, 所用BK8車刀的切削部分的几何参数如下:  $\alpha = 12^\circ$ ,  $\gamma = -15^\circ \sim -20^\circ$ ,  $\varphi = 20^\circ \sim 25^\circ$ ,  $\varphi_1 = 12^\circ \sim 15^\circ$ ,  $\lambda = 45^\circ$ ,  $r = 0.5$ 毫米。在結尾时讓我們談一下两个問題:

- 1) 淬火鋼的硬度对于車刀前角数值的影响;
- 2) 前倾面上倒棱寬度对于車刀切削刃强度的影响。

一般說来, 随着淬火鋼硬度的提高, 就由于这时切削力要提高而应当减小車刀的前角, 即应当增大車刀的負前角数值。譬如, 根据И. H. 卓列夫<sup>(37)</sup>的数据, 在切削深度 $t = 2.0$ 毫米、走刀量 $s = 0.3$ 毫米/轉下, 随着鋼的硬度 $H_{RC}$ 从45提高到55, 切向切削力 $P_z$ 就增大20%。車刀承受較大的載荷, 車刀的切削刃就需要有較大的强化(加强)才行。但是, 这可以由图46看出, 当鋼的硬度 $H_{RC}$ 从47提高到56时 (近似地在同样的硬度值以及大致同样的硬度范围), 前角 $\gamma$ 的最佳值从 $-2.5^\circ$  ( $\gamma = 0^\circ$ 和 $\gamma = -5^\circ$ 之間的平均值)变到 $-5^\circ$ 。

这样看来, 当淬火鋼的硬度增大洛氏 (C制) 硬度值9度时,

就使得車刀前角的負值必需增大將近 $3^\circ$ 。對於硬度為 $H_{RC} = 65$ 的淬火鋼來說，前角的最佳值在這裡所述的基礎上應當等於 $-8^\circ$ ，而不是 $-20^\circ$ 或 $-25^\circ$ 。本書作者認為，對於車削硬度為 $H_{RC} = 38 \sim 65$ 的淬火鋼來說，前角 $\gamma$ 應當在 $0 \sim -10^\circ$ 的範圍以內選擇。

研究<sup>[23]</sup>證明，在車削未淬火鋼時所採用的車刀前傾面倒稜寬度（在不沿整個前傾面而僅沿其上的倒稜來磨成負前角的場合里），對於淬火鋼來說是不能接受的。在用硬質合金 T30K4 車刀車削淬火鋼時，車刀前傾面上具有負前角的倒稜的寬度應當不小於 $3 \sim 4$ 毫米，即超過走刀量 $s$ 值許多倍。後隙面磨損到符合於規定磨鈍準則的、倒稜寬度 $f = 2.5 \sim 3$ 毫米的車刀，比之倒稜寬度為 $f = 1.0 \sim 1.2$ 毫米的車刀，切削刃所發生的崩刃現象要輕微得多。如果說，當倒稜寬度 $f = 1.0 \sim 1.2$ 毫米的車刀後隙面磨損 $h = 0.7 \sim 0.9$ 毫米時，硬質合金刀片的崩刃（或崩角）不僅蓋過了整個的倒稜寬度，而且還進一步沿前傾面擴展到離開切削刃 $3 \sim 5$ 毫米距離的部位去了，那末，在倒稜較寬（ $f = 2.0 \sim 2.5$ 毫米）的車刀上，當後隙面磨損值相同時，硬質合金刀片的崩刃却要輕微得多，僅僅擴展到離開切削刃 $0.8 \sim 1.0$ 毫米距離的部位為止。

### 車刀的后角

圖48所示是作者為了確定車刀後角 $\alpha$ 對於車刀耐用度 $T$ 、切削速度 $v$ 的影響所做實驗的結果。實驗是用T15K6車刀對於硬度為 $H_{RC} = 65$ 的鋼C進行的。後角在 $\alpha = 4 \sim 16^\circ$ 的範圍內變化。加工是在切削深度 $t = 0.5$ 毫米、走刀量 $s = 0.14$ 毫米/轉的條件下進行的。

由圖可知，隨着後角 $\alpha$ 的增大，就允許採用較高的切削速度 $v$ （在同樣的車刀耐用度 $T$ 時）、或提高車刀耐用度 $T$ （在同樣切削速度 $v$ 下）。譬如，在切削速度 $v = 13$ 米/分下， $\alpha = 4^\circ$ 的車刀的耐用度 $T = 16$ 分鐘，但在同樣切削速度下， $\alpha = 16^\circ$ 的車刀的耐用度則為 $T = 70$ 分鐘。在車刀的耐用度 $T = 16$ 分鐘的情況下， $\alpha = 4^\circ$ 的車刀所允許的切削速度為 $v = 13$ 米/分，但在同樣的耐用度下，

$\alpha=16^\circ$ 的車刀則允許採用較高的切削速度  $v=16$ 米/分。

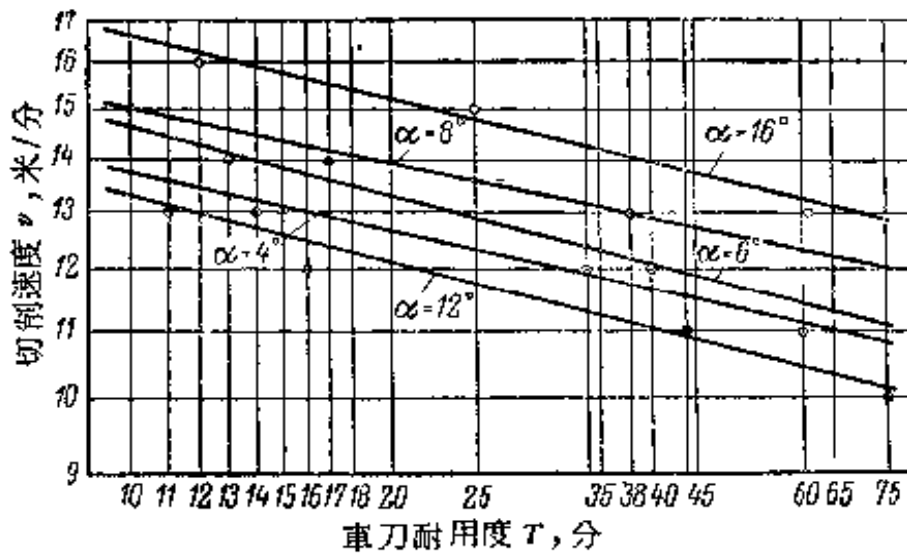


图 48 在不同的車刀后角 $\alpha$ 值时，切削速度 $v$ 与車刀耐用度 $T$ 的关系。車削硬度为  $H_{RC}=65$ 的鋼C， $t=0.5$ 毫米， $s=0.14$ 毫米/轉 ( $\gamma=-5^\circ$ ， $\lambda=0^\circ$ ， $\varphi=45^\circ$ ， $\varphi_1=15^\circ$ ， $r=1.3$ 毫米)

表38和图49所示是由上述  $T-v$  图解(图48)派生出来的、对应于不同后角  $\alpha$  值的切削速度  $v_{60}$ 。

表 38 后角  $\alpha$  对于切削速度  $v_{60}$ 、車刀相对耐用度指数  $m$  的影响

車 刀 后 角 $\alpha^\circ$	切 削 速 度 $v_{60}$ (米/分)		指 数 $m$
	絕 对 值	相 对 值	
4	11.1	1.00	0.111
6	11.5	1.04	0.132
8	12.3	1.11	0.109
12	10.5	0.95	0.135
16	12.8	1.15	0.166

这些数据表明，随着車刀后角的增大，切削速度就提高： $\alpha=16^\circ$ 时的切削速度比 $\alpha=4^\circ$ 时的高15%。 $\alpha=12^\circ$ 时的較低的切削速度(它是 $\alpha=4^\circ$ 时的切削速度的95%)不能破坏这个足够清晰地表現出来了的一般規律性。

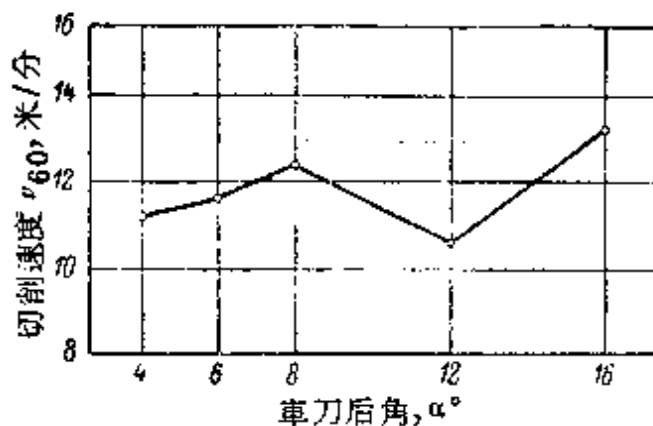


图 49 車刀后角 $\alpha$ 对于切削速度  $v_{60}$  的影响。  
用 T15K6 車刀車削硬度为  $H_{RC} = 65$  的鋼 C,  $t = 0.5$  毫米,  
 $s = 0.14$  毫米/轉

表 39 車刀后角对于車刀耐用度的影响  
車削硬度为  $H_{RC} = 65$  的鋼 C,  $t = 0.5$  毫米,  
 $s = 0.14$  毫米/轉,  $v = 12$  米/分。

車刀后角 $\alpha^\circ$	車刀耐用度 $T$ (分)	車刀后角 $\alpha^\circ$	車刀耐用度 $T$ (分)
6	1	15	7
	1		32
	2		25
	2		46
	1		26
	1		2
10	1	20	15
	2		15
	8		22
	9		28
	5		4
	10		32
15	14	25	42
	11		42
	5		42
	2		26
	3		50
	5		

表39中列举了另一组实验的结果。被加工的是硬度为 $H_{RC} = 65$ 的钢C，采用恒定的切削用量： $t = 0.5$ 毫米， $s = 0.14$ 毫米/转， $v = 12$ 米/分。后角在 $\alpha = 6 \sim 25^\circ$ 的范围内变化。实验是用T21K8车刀来进行的，车刀的几何参数： $\gamma = -5^\circ$ ， $\lambda = 0^\circ$ ， $\varphi = 45^\circ$ ， $\varphi_1 = 15^\circ$ ， $r = 1.3$ 毫米。

可以看出，车刀耐用度随着后角的增大而提高。如果说在 $\alpha = 6^\circ$ 的七个实验中，耐用度为 $T = 1 \sim 2$ 分钟，那末在 $\alpha = 25^\circ$ 的实验中， $T = 28 \sim 50$ 分钟。

某些实验而主要是后角值较小的那些实验，可能引起关于车刀耐用度非常小( $T$ 小于10分钟)方面的疑问。必需指出，这里车刀耐用度很小，并不是由于车刀提前磨钝或崩刃所引起的(耐用度小于10分钟的车刀得到的是正常磨损)，而是由于切削速度、车刀后角对于车刀耐用度的有规律的影响所引起的。

剔除表39中车刀耐用度低于10分钟的实验数据，而将剩下的数据列举在表40中。由表40可知，随着后角 $\alpha$ 从 $10^\circ$ 增大到 $25^\circ$ ，车刀耐用度就增大成3.25倍。如果说在 $\alpha = 25^\circ$ 时的耐用度 $T = 39$ 分钟，那末在 $\alpha = 10^\circ$ 时的耐用度 $T$ 就仅为12分钟了(在 $\alpha = 6^\circ$ 时的耐用度 $T = 1 \sim 2$ 分钟)。

表 40 后角 $\alpha$ 对于车刀耐用度 $T$ 的影响  
 切削硬度为 $H_{RC} = 65$ 的钢C， $t = 0.5$ 毫米，  
 $s = 0.14$ 毫米/转， $v = 12$ 米/分

车 刀 后 角 $\alpha^\circ$	车 刀 耐 用 度 $T$ (分)	
	绝 对 值	相 对 值
10	12	1.00
15	32	2.67
20	20	1.67
25	39	3.25

所得数据提供出了毫无疑问的价值。已经确定，在用钛钨类

硬质合金車刀車削淬硬到几乎达到結構鋼的极限硬度( $H_{RC}=65$ )的淬火鋼时，車刀耐用度是有規律地随着車刀后角的增大而提高。实践上已經証明了有可能采用后角 $\alpha=25^\circ$ 的車刀来加工这样的鋼。

图50所示是用 T30K4車刀車削硬度为  $H_{RC}=48\sim 50$  的淬火

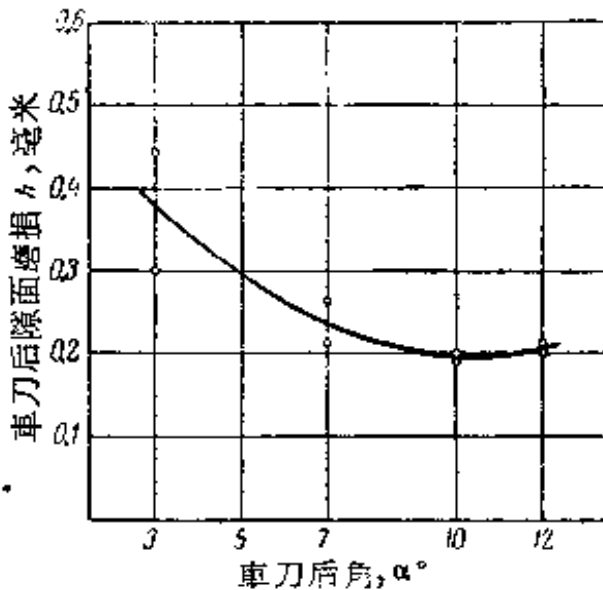


图50 T30K4車刀后隙面磨損与后角值的关系。車削硬度为  $H_{RC}=48\sim 50$  的40XC号鋼， $t=0.2$  毫米， $s=0.1$  毫米/轉， $v=40$  米/分

40XC号鋼时后角的研究結果<sup>(21)</sup>。車刀后隙面磨損是在其工作40分钟后測量出来的。由图可知，后角 $\alpha$ 的最佳值是处在 $10\sim 12^\circ$ 之間。对于較大的后角值的  $h=f(\alpha^\circ)$  的关系特征并不知道，因为研究范围限定在 $\alpha=12^\circ$ 为止。无论如何，随着后角的增大，車刀后隙面磨損就减小。

車刀角度：后角 $\alpha$ 、楔角 $\beta$ 和前角 $\gamma$ ——可以用下列等式联系起来：

$$\beta = 90^\circ - (\alpha + \gamma)。$$

在給定前角 $\gamma$ 时，后角 $\alpha$ 愈小則楔角 $\beta$ 就愈大。随着楔角 $\beta$ 的

增大，車刀切削刃的机械强度就提高，而其导热能力也增大。負前角使車刀的楔角增大，因此也就使車刀切削刃的强度提高。但是楔角 $\beta$ 也随着后角 $\alpha$ 的减小而增大。从这个观点出发应当期待到，在用鈦鎢类硬质合金(其特点是脆性大)車刀加工高硬度的鋼时，后角 $\alpha$ 較小(因而楔角 $\beta$ 較大)的車刀将会显示出較好的耐用度結果。作者所做的实验得出了相反的结果。

表40中的数据是属于具有同样前角 $\gamma=5^\circ$ 但后角不同的車刀的。对于两种后角数值( $\alpha=10^\circ$ 和 $25^\circ$ )來說，我們得到：在 $\alpha=10^\circ$ 时楔角 $\beta$ 比在 $\alpha=25^\circ$ 时大得多，因而切削刃强度也較高；可是 $\alpha=10^\circ$ 的車刀的耐用度却比 $\alpha=25^\circ$ 的車刀的低得多。



根据所得研究结果可以作出结论，在保证硬质合金车刀切削刃的强度方面，前角 $\gamma$ 比楔角 $\beta$ 起着更重要的作用。实际情况是， $\gamma = -5^\circ$ 、 $\alpha = 25^\circ$ 和 $\beta = 70^\circ$ 的车刀在工作中没有提前磨钝，其切削刃也没有崩刃。这样的车刀几何参数保证了车刀所需的强度。可是 $\alpha = 6^\circ$ 、 $\gamma = +10^\circ$ 、即使楔角稍大( $\beta = 74^\circ$ )的车刀，却是完全不适于工作的，因为这样的车刀的切削刃由于强度不足而提前崩刃。

这样看来，车刀的后角应当被看做不仅仅是保证车刀的后隙面相对于切削表面自由移动的参数。已经证明，考虑到加工的工艺条件而正确地选择后角，可以保证显著地提高车刀的耐用度。

### 车刀的主偏角 $\varphi$

在车削淬火钢时，考虑到被加工材料的硬度高而钛钨类硬质合金的脆性高，因而正确地选择主偏角 $\varphi$ 就具有极为重要的意义。

作者车削硬度为 $H_{Rc} = 41$ 的淬火钢A，研究了主偏角 $\varphi$ 对于车刀耐用度的影响。角 $\varphi$ 在 $30 \sim 60^\circ$ 范围内变化。用T21K8车刀进行加工，切削深度 $t = 1.2$ 毫米、走刀量 $s = 0.305$ 毫米/转、恒定的切削速度 $v = 80$ 米/分。将实验数据(表41和图51)分析整理后，可以用下列方程式来表达出切削速度 $v_{60}$ 与主偏角 $\varphi$ 的关系：

$$v_{60} = \frac{C_\varphi}{(\sin \varphi)^{0.3}} \quad \text{米/分} \quad (3)$$

表41 不同角 $\varphi$ 值时的平均 $T$ 及 $v_{60}$

主偏角 $\varphi^\circ$	车刀耐用度 $T$ (分)	切削速度 $v_{60}$ (米/分)	
		绝对值	相对值
30	80	81.7	1.07
45	36	76.5	1.00
60	22	73.2	0.96

可以看出，在車削淬火鋼時主偏角對於切削速度的影響與車削未淬火鋼時具有同樣的特徵，即切削速度隨着角 $\varphi$ 的減小而提高。

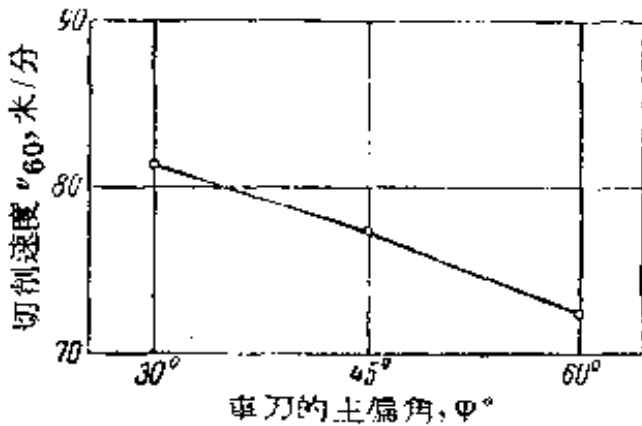


图 51 車刀主偏角 $\varphi$ 對於切削速度 $v_{60}$ 的影響。車削硬度為 $H_{RC} = 41$ 的鋼A,  $t = 1.2$ 毫米,  $s = 0.305$ 毫米/轉。車刀的幾何參數:  $\alpha = 6^\circ$ ,  $\gamma = -5^\circ$ ,  $\lambda = 0^\circ$ ,  $\varphi_1 = 15^\circ$ ,  $r = 1.15$ 毫米

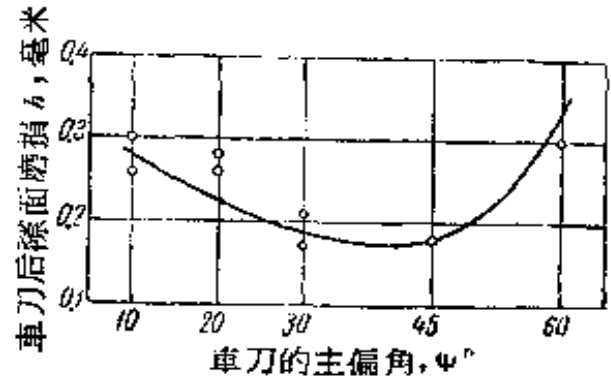


图 52 主偏角 $\varphi$ 對於車刀後隙面磨損的影響。車削硬度為 $H_{RC} = 48 \sim 50$ 的40XC號鋼, 採用T30K4車刀,  $t = 0.2$ 毫米,  $s = 0.1$ 毫米/轉,  $v = 40$ 米/分

在減小角 $\varphi$ 而提高切削速度的同時, 在採用 $\varphi = 30^\circ$ 的車刀車削淬火鋼的實驗中, 發生了振動。雖然加工條件的特點是機床-零件-刀具系統的剛度足夠地高, 但是依然發生了振動。這些實驗是在ДММ-400型車床上進行的, 其刀架的特點是剛度高, 而被加工零件長度與本身直徑之比則等於6.3(鋼料長度 $L \approx 1700$ 毫米, 直徑 $D \approx 270$ 毫米)。

考慮到在 $\varphi = 30^\circ$ 的工作中振動, 作者在所有其餘與研究角 $\varphi$ 無關的實驗里, 都採用了角 $\varphi = 45^\circ$ 的車刀。

已經確定出來了在車削硬度為 $H_{RC} = 48 \sim 50$ 的40XC號鋼時T30K4車刀後隙面磨損與主偏角 $\varphi$ 值的關係<sup>[91]</sup>。試驗用車刀的幾何參數:  $\gamma = -10^\circ$ ,  $\alpha = 10^\circ$ ,  $\varphi_1 = 10^\circ$ ,  $\lambda = 5^\circ$ ,  $r = 0.5$ 毫米。主偏角在 $\varphi = 10 \sim 60^\circ$ 範圍內變化。實驗數據表示在圖52上。圖上所記車刀磨損符合於車刀工作持續時間 $T = 40$ 分鐘。

可以看出, 車刀最小磨損表現在 $\varphi = 30 \sim 45^\circ$ 的區間。H.C. 洛噶克指出, 在角 $\varphi$ 值很小時, 發生了振動, 並在已加工表面上

出現了破碎的痕迹。在 $\varphi=60^\circ$ 時，車刀的切削刃發生了崩刃。

應當認為，在加工淬火鋼時，主偏角的最佳值是 $\varphi \approx 45^\circ$ 。

### 車刀的副偏角 $\varphi_1$

作者沒有研究副偏角  $\varphi_1$  對於車刀耐用度的影響問題。但是在作者所做車削淬火鋼的許多實驗中，已經查明了此角的最佳值為 $\varphi_1 = 15^\circ$ 。П.П.格魯陀夫<sup>[20]</sup>也推薦採用 $\varphi_1 = 15^\circ$ 的車刀。

研究淬火 ( $H_{RC} = 48 \sim 50$ ) 40XC 號鋼得知<sup>[31]</sup>，副偏角的最佳值是 $\varphi_1 = 10^\circ$ 。由圖53可知，在T30K4車刀工作40分鐘後， $\varphi_1 = 10^\circ$ 時車刀後隙面磨損最小，而 $\varphi_1 = 15^\circ$ 時的磨損比 $\varphi_1 = 5^\circ$ 或 $20^\circ$ 時要小。試驗用車刀的幾何參數： $\alpha = 10^\circ$ ， $\gamma = -10^\circ$ ， $\varphi = 30^\circ$ ， $r = 0.5$  毫米。

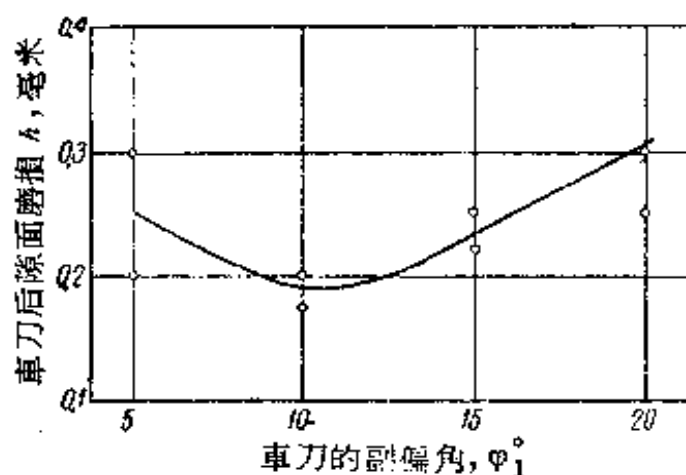


圖 53 副偏角 $\varphi_1$ 對於車刀後隙面磨損的影響。  
車削硬度為 $H_{RC} = 48 \sim 50$ 的40XC號鋼，採用T30K4車刀，  
 $t = 0.2$ 毫米， $s = 0.1$ 毫米/轉， $v = 40$ 米/分

### 車刀的主切削刃斜角 $\lambda$

在對於不同硬度 ( $H_{RC} = 41 \sim 65$ ) 的淬火鋼 A、B 和 C 所做的實驗中查明了，車刀的主切削刃斜角的最佳值是 $\lambda = 0^\circ$ 。在推薦的切削用量中，是採取了這個角度值。

對於硬度為 $H_{RC} = 48 \sim 50$ 的40XC號鋼的車削過程的研究證明<sup>[31]</sup>，角 $\lambda$ 的最佳值是處在 $0^\circ \sim 5^\circ$ 的範圍內（見圖54）。在同樣的

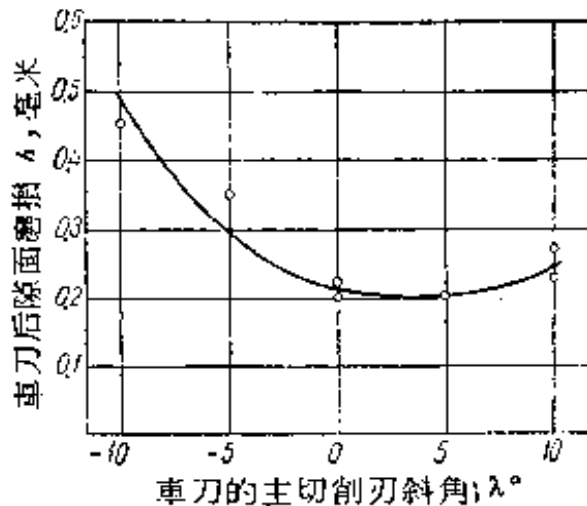


图 54 主切削刃斜角对于車刀后隙面磨損的影响。車削硬度为  $H_{RC} = 48 \sim 50$  的 40XC 号鋼，采用 T30K4 車刀， $t = 0.2$  毫米， $s = 0.1$  毫米/轉， $v = 40$  米/分。試驗用車刀的几何参数： $\alpha = 10^\circ$ ， $\gamma = -10^\circ$ ①， $\varphi = 30^\circ$ ， $\varphi_1 = 10^\circ$ ， $r = 0.5$  毫米

II3 号鋼制的重型滾珠軸承圈和滾柱軸承圈时，采用了主切削刃斜角  $\lambda = 45^\circ$  的 BK8 車刀<sup>[30]</sup>。

效果下，应当偏重采用角  $\lambda = 0^\circ$ ，因为这样角度的車刀在刃磨时要簡便得多。

其他研究淬火鋼車削的工作<sup>[29]</sup>查明，主切削刃斜角的最佳值是  $\lambda = 4^\circ$ 。

角  $\lambda = 0^\circ$  适合于沒有冲击载荷的工作。在有冲击的情况下加工淬火鋼时，为了預防車刀崩刃（最易損坏的部位是刀尖）起見，采用加大的主切削刃斜角，达到  $\lambda = 30^\circ \sim 45^\circ$ <sup>[30]</sup>。譬如，在立式車床上加工硬度为  $H_{RC} = 60 \sim 65$  的淬火 IIIX15、III X15CF 和 12X

### 車刀的刀尖圓角半徑 $r$

已經指出，对于作为精加工过程的淬火鋼的加工，提出了保証获得高尺寸精度和高加工表面光洁度的要求。已加工表面光洁度与許多因素有关，其中，車刀的刀尖圓角半徑  $r$  起着重要的作用。随着半徑  $r$  的增大，已加工表面光洁度就提高。采用較大  $r$  的車刀，对于补偿硬质合金的脆性来說，也是有好处的。而这脆性首先是表現在車刀切削刃最易損坏部位，即刀尖部位。

另外一方面，較大的半徑  $r$  会促进振动的发生。这对于脆性的硬质合金来說是危险的，并且会使已加工表面上出現波紋而降低其质量。

作者車削硬度为  $H_{RC} = 65$  和 59 的鋼 C 和 B，研究了刀尖圓角

① 原书作  $\gamma = 10^\circ$ ，可能是  $\gamma = -10^\circ$  之誤——譯者。

半徑对于車刀耐用度和切削速度的影响。表42和图55所示是对于硬度为 $H_{RC}=65$ 的鋼C所做实验的结果。刀尖圓角半徑 $r$ 在0.4~2.2毫米范围内变化。

表 42 刀尖圓角半徑  $r$  对于切削速度  $v_{60}$  和相对耐用度指数  $m$  值的影响

車削硬度为 $H_{RC}=65$ 的鋼C，采用BK8車刀，  
 $t=0.5$ 毫米， $s=0.1$ 毫米/轉

刀尖圓角半徑 $r$ (毫米)	切 削 速 度 $v_{60}$ (米/分)		指 数 $m$
	絕 对 值	相 对 值	
0.4	10.4	1.00	0.176
0.7	10.7	1.03	0.179
1.3	11.0	1.06	0.162
2.2	13.2	1.27	0.123

实验数据证明，在恒定的切削速度下，車刀耐用度 $T$ 随着半徑 $r$ 的增大而提高。譬如，在 $v=14$ 米/分下， $r=0.7$ 毫米的車刀的耐用度 $T=13$ 分钟，而在同样切削速度下， $r=2.2$ 毫米的車刀的耐用度则高得多（ $T=32$ 和35分钟）。 $r=0.4$ 毫米的車刀在 $v=12$ 米/分下的耐用度 $T=25\sim 29$ 分钟，而 $r=1.3$ 毫米的車刀则在較大的切削速度 $v=13$ 米/分下达到了将近同样的耐用度（ $T=25\sim 26$ 分钟）。与此同时， $r=2.2$ 毫米的車刀在工作中出现了振动。

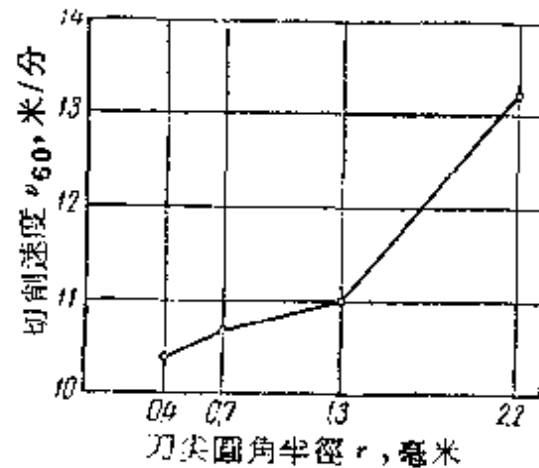


图 55 刀尖圓角半徑 $r$ 对于切削速度 $v_{60}$ 的影响。車削硬度为 $H_{RC}=65$ 的鋼C，采用BK8車刀， $t=0.5$ 毫米， $s=0.1$ 毫米/轉

表43和图56所示是对于硬度为 $H_{RC}=59$ 的鋼B所做实验的結

果。試驗是用 T21K8 車刀來進行的。使用了兩種切削用量： $t=0.6$  毫米， $s=0.197$  毫米/轉； $t=2.4$  毫米， $s=0.307$  毫米/轉。可以看出，隨着半徑  $r$  的增大，切削速度就提高，但提高得比在車削硬度為  $H_{RC}=65$  的鋼 C 時慢些。在這些實驗中，當採用  $r=2.2$  毫米的車刀來工作時，也出現了振動。

表 43 刀尖圓角半徑  $r$  對於切削速度  $v_{60}$  和相對耐用度指數  $m$  值的影響  
車削硬度為  $H_{RC}=59$  的鋼 B，採用 T21K8 車刀

刀尖圓角半徑 $r$ (毫米)	切削深度 $t$ (毫米)	走刀量 $s$ (毫米/轉)	切削速度 $v_{60}$ (米/分)		指 數 $m$
			絕 對 值	相 對 值	
0.35	0.6	0.197	34.5	1.00	0.080
1.15			36.8	1.06	0.087
2.20			37.0	1.07	0.079
1.15	2.4	0.307	23.6	1.00	0.176
2.20			25.2	1.07	0.111

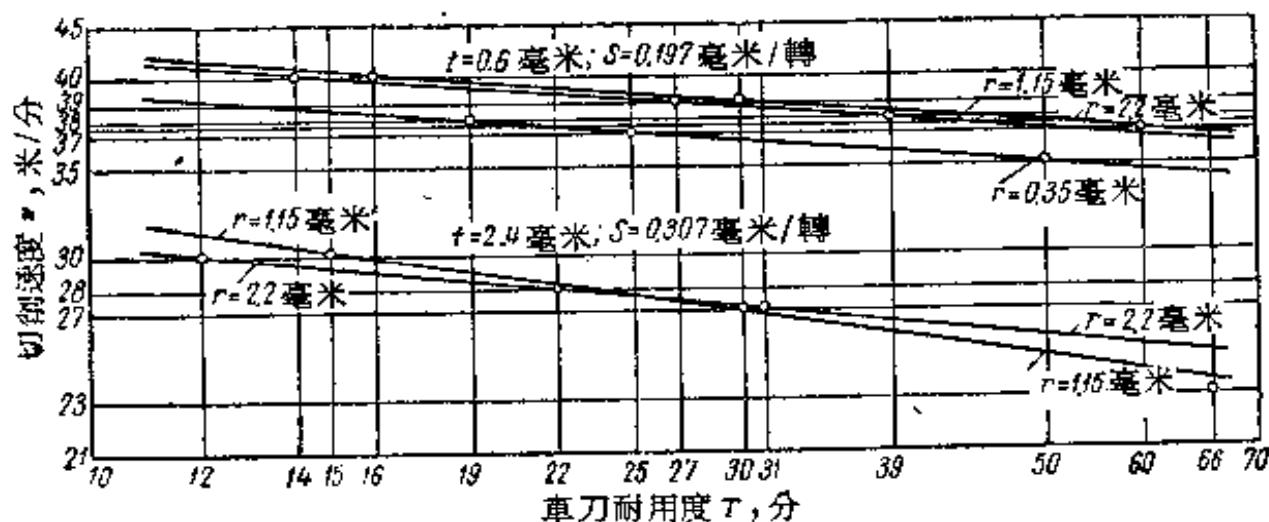


圖 56 在不同刀尖圓角半徑  $r$  值時，切削速度  $v$  與車刀耐用度  $T$  的關係。車削硬度為  $H_{RC}=59$  的鋼 B。T21K8 車刀的幾何參數： $\alpha=6^\circ$ ， $\gamma=-5^\circ$ ， $\lambda=0^\circ$ ， $\varphi=45^\circ$ ， $\varphi_1=15^\circ$

根据所述資料可以作出結論，在用硬质合金車刀精車高硬度淬火鋼时，刀尖半徑  $r$  值对于切削速度发生很大的影响，但是比在車削未淬火鋼时的影响要小些。

但是沒有根据来推荐采用很大刀尖圓角半徑的車刀于車削淬火鋼的工作上。另外一方面，也不能推荐采用很小半徑 ( $r < 0.5$  毫米) 的車刀，因为硬质合金刀片会在剛一开始切削就立即崩刃。对于車削，本书作者所研究的几种淬火鋼来說，刀尖圓角半徑的最佳值  $r \approx 1.0$  毫米。

对于硬度为  $H_{RC} = 48 \sim 50$  的 40XC 号鋼的研究<sup>(21)</sup>，也得到了同样的結果。在工作 40 分钟以后，以  $r = 1.0$  和 0.5 毫米的車刀的后隙面磨損为最小，如图 57 所示。在采用  $r = 2.0$  和 1.5 毫米的車刀来工作时出現了振动，虽然工作是在剛度足够的条件下进行的：毛坯直徑等于 80~85 毫米，长度 500 毫米。

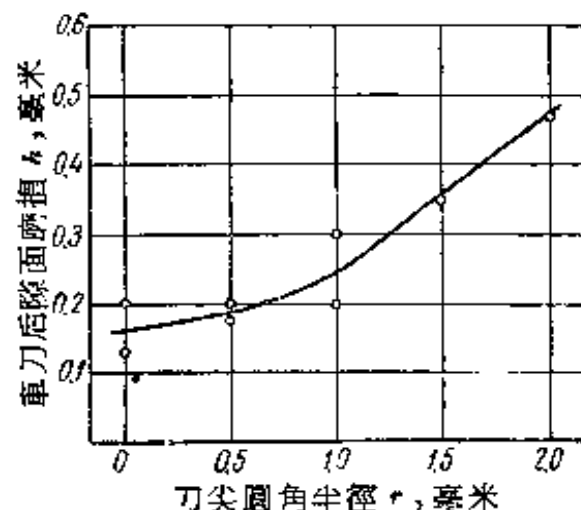


图 57 刀尖圓角半徑对于車刀后隙面磨損的影响。車削硬度为  $H_{RC} = 48 \sim 50$  的 40XC 号鋼，采用 T30K4 車刀， $t = 0.2$  毫米， $s = 0.1$  毫米/轉， $v = 40$  米/分 ( $\alpha = 10^\circ$ ， $\gamma = -10^\circ$ ， $\lambda = 10^\circ$ ， $\varphi = 30^\circ$ ， $\varphi_1 = 10^\circ$ )

### 研磨对于車刀耐用度的影响

使用硬质合金刀具的實踐和研究工作証明，刀具磨損强烈程度、因而刀具耐用度以及已加工表面光洁度，是与刀具刃面和切削刃的光整质量有关的。

在刃磨硬质合金車刀时，纵令采取两步的磨法（先用粒度为 36、46 或 60 的綠色碳化硅砂輪来粗磨，再用粒度为 80 或 100 的同种砂輪来精磨），也不能使車刀刃面和切削刃得到高质量的光整。其上还遺留有堵塞和不平的痕迹。此外，硬质合金刀片上还有已受损伤的表面层，这是在刃磨时引起高温的影响下的显著应力所造成的。

研磨的目的是减小硬质合金車刀刃面和切削刃上的不平度和堵塞物、赋予刃面以光滑的表面和正确的几何形状、以及消除硬质合金刀片在刃磨过程中已受到损伤的表面层。由于研磨，可以使得切屑对于車刀前倾面以及被加工材料对于車刀后隙面的摩擦功减小，并且使得車刀耐用度提高。

现在，主要是借碳化硼( $B_4C$ )制成的研磨膏来进行硬质合金車刀的研磨。这种磨料的硬度仅次于金剛石。实践証明，采用細粒度的綠色碳化硅砂輪来研磨是不合理的，因为这时研磨过程的生产率太低。由于金剛石砂輪非常缺乏和价格昂貴，所以也沒有作为研磨工具而得到应用。

碳化硼是由工业用硼酸和淺灰油焦，在电炉中，于 $2000\sim 2300^\circ$ 温度下制成的。将从电炉中制得的碳化硼錠击碎，过篩，再按粒度划分。碳化硼顆粒的大小：对于一般工作用的是 $28\sim 40$ 微米，对于精細工作用的是 $10\sim 23$ 微米。碳化硼的磨削能力很高：为金剛石的磨削能力的75%，为碳化硅的磨削能力的300%。

在生产中，主要是应用濃稠的研磨膏来进行研磨工作，在研磨膏中是以石蜡作为粘結剂来粘結碳化硼顆粒。碳化硼研磨膏是制成直徑为 $20\sim 25$ 毫米、长 $50\sim 70$ 毫米的一段段圓筒的形状。用油作为粘結剂的液态研磨膏不便于涂布在研磨盘上，因为在研磨盘旋轉时液态研磨膏会飞溅开来。压成块状的固态研磨膏很难涂布于研磨盘上，在这場合里必需用充沛的煤油来調散。

碳化硼研磨膏制成两种（根据全苏磨料与磨削科学研究所的配方）：

- 1) 含碳化硼75~85%的(其余为石蜡)；
- 2) 含碳化硼60~70%的(其余为石蜡)。

为了改善研磨膏在研磨盘上的可涂布性，向研磨膏中加入了含总重量的10~15%的氧化正鉄( $Fe_2O_3$ )。

图58和59所示是研磨过的和未研磨过的鈦錫类硬质合金車刀的前倾面。研磨是用碳化硼研磨膏来进行的。照片清楚地显示出了研磨的效果。



在車削淬火鋼時，研磨硬質合金車刀對其耐用度的影響，  
如圖60所示。



圖 58 用碳化硼研磨膏來研磨過的鈦鎢類硬質合金車刀的前傾面



圖 59 沒有研磨過的鈦鎢類硬質合金車刀的前傾面

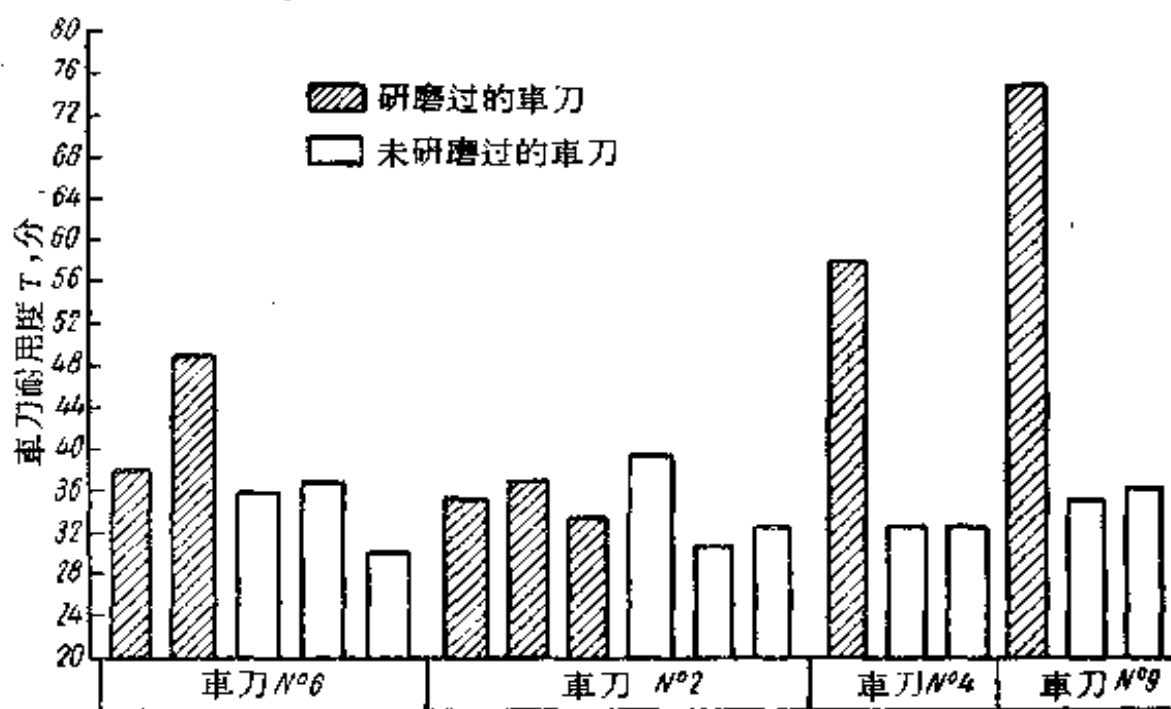


圖 60 研磨車刀對其耐用度的影響。車削硬度為  $H_{RC}=59$  的鋼 B，採用 T15K6 車刀， $t=0.3$  毫米， $s=0.112$  毫米/轉， $v=70$  米/分 ( $\alpha=6^\circ$ ， $\gamma=-5^\circ$ ， $\lambda=0^\circ$ ， $\psi=45^\circ$ ， $\nu_1=15^\circ$ ， $r=1.15$  毫米)

試驗了四把車刀，每一把都以研磨過的切削部分和未研磨過的切削部分來進行了試驗。可以看出，四把車刀中只有一把（車刀№2），研磨沒有提高耐用度。其餘車刀的耐用度都由於研磨而顯著地提高了。

表44中列舉的是有系統地整理好了的實驗數據。這些數據令人信服地證明了研磨對於車刀耐用度的有利影響。由於研磨，使車刀耐用度提高了64~266%。

表44 研磨對於車刀耐用度的影響

車削硬度為  $H_{Rc} = 59$  的鋼 B，採用 T15K6 車刀，  
 $t = 0.3$  毫米， $s = 0.112$  毫米/轉， $v = 70$  米/分

車 刀 №	車刀平均耐用度 $T_{cp}$ (分)		車刀耐用度的增大 (%)
	研磨過的車刀	未研磨過的車刀	
6	23.5	14.3	164
2	15	14.3	105
4	38	12.0	317
9	55	15.0	366

研磨硬質合金車刀的必要性，是用不着再來論證的了。在加工淬火鋼時，為了合理使用硬質合金車刀，研磨應當認為是完全必須遵行的。

應當指出，研磨有助於顯露硬質合金刀片上的裂紋，這種裂紋是在車刀刃磨過程中形成的，並且在已磨削（已刃磨）表面上用肉眼是看不出來的。

## 結 論

1. 車刀前角  $\gamma$  值對於淬火鋼的切削過程發生很大的影響。隨着前角的減小，切削刃的機械強度就提高，但是排屑條件則變壞，切屑和車刀的溫度升高，徑向切削力  $P_r$  增大，因此車刀從被加工表面向外推壓的作用加劇，加工精度降低。

为了保証排屑和减小徑向力 $P_r$ ，以采用正前角( $\gamma > 0^\circ$ )的車刀来工作为佳，但是在这情况下，切削刃不能拥有加工淬火鋼所必需的机械强度。在 $\gamma > 0^\circ$ 时，硬质合金車刀的刀片会发生崩刃，崩刃的程度随着正前角 $\gamma$ 值的增大而加剧。

車削淬火鋼，只有采用負前角 $\gamma < 0^\circ$ 的硬质合金車刀才能实现。作者的实验証明，对于高硬度的淬火合金鋼來說，前角 $\gamma$ 的最佳值是处在 $-5^\circ \sim 0^\circ$ 的範圍內。角 $\gamma$ 向正值方面变化就会招致車刀切削刃的崩刃，而角 $\gamma$ 向較大負值方向变化则会招致車刀耐用度的降低，并且在耐用度方面說来， $\gamma = -5^\circ$ 比之 $\gamma = +6^\circ$ 并没有什么显著的好处。

工厂車削淬火鋼的实践肯定，必需采用較小負前角值的車刀( $\gamma = -5^\circ$ )。

在不同研究人員之間，关于車刀前角值的問題是存在着分歧的。相当一部分人持有这样的观点：車削淬火鋼时应当采用較大負前角 $\gamma$ 的車刀，对于高硬度的鋼來說，負前角 $\gamma$ 可达 $-20^\circ$ 和 $-25^\circ$ 。本书作者认为，在加工硬度为 $H_{Rc} = 38 \sim 65$ 的淬火鋼时，車刀前角 $\gamma$ 应当在 $0 \sim 10^\circ$ 的範圍內选择。

2. 車刀后角的最佳值取决于切割綫后被加工材料中所发生变形的大小。去除金属层厚度 $a$ 愈小(走刀量 $s$ 愈小)、切削速度 $v$ 愈小、以及車刀前角 $\gamma$ 愈小，則上述变形就愈大。切削厚度 $a$ 对于后角 $\alpha$ 值的影响最大。后角 $\alpha$ 随着切削厚度 $a$ 的减小而增大。作者的实验証明，在用鈦錫类硬质合金車刀来車削硬度为 $H_{Rc} = 65$ 的淬火合金鋼时，車刀耐用度随着后角 $\alpha$ 从 $10^\circ$ 增大到 $25^\circ$ 而提高。实践証明了采用后角 $\alpha = 25^\circ$ 的車刀来加工这种鋼的可能性。

但是应当注意到，随着車刀后角的增大，車刀的徑向磨損就增大(在車刀的后隙面磨損值恆定时)，已加工表面的錐度也就增大(如果在車刀沒有徑向調节的情况下进行加工)，因而在給定行程下的加工精度就下降。

推荐采用后角： $\alpha = 15^\circ$ 用于 $s \leq 0.2$ 毫米/轉， $\alpha = 10^\circ$ 用于 $s > 0.2$ 毫米/轉。

3. 車刀的主偏角  $\varphi$  對於切削速度發生很大的影響。在切削截面恆定時，隨著角  $\varphi$  的減小，切削厚度  $a$  就減小，而切削寬度  $b$  則增大，因此，車刀切削刃工作部分的長度也就增大。總和起來，這就會招致車刀耐用度隨著角  $\varphi$  的減小而增大。

可是，隨著角  $\varphi$  的減小，徑向力  $P_r$  就急劇增大，並且出現振動，有害地反映到已加工表面光潔度上來，而且招致車刀切削刃的提前損壞。

對於車削淬火鋼來說，應當採取主偏角  $\varphi = 45^\circ$ 。然而在零件-機床-刀具系統的剛度較高時，可以刃磨採用主偏角  $\varphi < 45^\circ$  的車刀。這樣可以提高切削速度。

4. 在作者的實驗中查明了，主切削刃斜角的最佳值是  $\lambda = 0^\circ$ 。H.C. 洛嘴克提出角  $\lambda$  的最佳值等於  $0^\circ \sim 5^\circ$ ，而 П. П. 格魯陀夫提出的則是  $4^\circ$ 。

在有沖擊的情況下車削淬火鋼時，角  $\lambda$  應當增大到  $10^\circ \sim 20^\circ$ 。

5. 隨著刀尖圓角半徑  $r$  的增大，車刀耐用度和允許切削速度就提高，已加工表面上殘留凸峰的高度則減小。另外一方面，隨著半徑  $r$  的增大，徑向力  $P_r$  就增大，並且引起振動。這種情況迫使人們在精加工淬火鋼時不得不採用刀尖圓角半徑不大的硬質合金車刀。為了車削淬火鋼，推薦採用  $r = 1$  毫米。

6. 硬質合金車刀的切削性能在很大程度上取決於車刀刃面和切削刃的修飾質量。普通刃磨硬質合金車刀的两步磨法（粗磨和精磨），不能保證使車刀刃面和切削刃得到高質量的修飾（其上遺留有不平度和堵塞物）。

研磨硬質合金車刀的目的是減小車刀工作刃面上的不平度和堵塞物、賦予刃面以光滑的表面和正確的幾何形狀以及消除硬質合金刀片在刃磨過程中已受到損傷的表面層。

較好的研磨料是由碳化硼製成的研磨膏。使用硬質合金車刀的實踐證明，研磨可以顯著地提高車刀的耐用度。在車削淬火鋼時，為了合理地使用硬質合金車刀，車刀的研磨乃是完全必須進行的。

## 16. 各种因素对于車刀耐用度和切削速度的影响

### 耐用度試驗的結果

为了确定切削速度与車刀耐用度、切削深度、走刀量的关系，作者对硬度为 $H_{RC}=49\sim 59$ 的鋼B以及硬度为 $H_{RC}=65$ 的鋼C进行了实验。又对硬度为 $H_{RC}=49.5$ 的鋼A进行了检查性的实验。

图61~64所示是对硬度为 $H_{RC}=49\sim 59$ 的鋼B所做耐用度试验的结果。实验是用研磨过的钛钨类硬质合金車刀来进行的。切削深度在 $t=0.3\sim 2.4$ 毫米范围内变化，而走刀量则在 $s=0.07\sim 0.61$ 毫米/轉范围内变化。車刀切削部分的几何参数： $\alpha=6^\circ$ ， $\gamma=-5^\circ$ ， $\lambda=0^\circ$ ， $\varphi=45^\circ$ ， $\varphi_1=15^\circ$ ， $r=1.15$ 毫米。

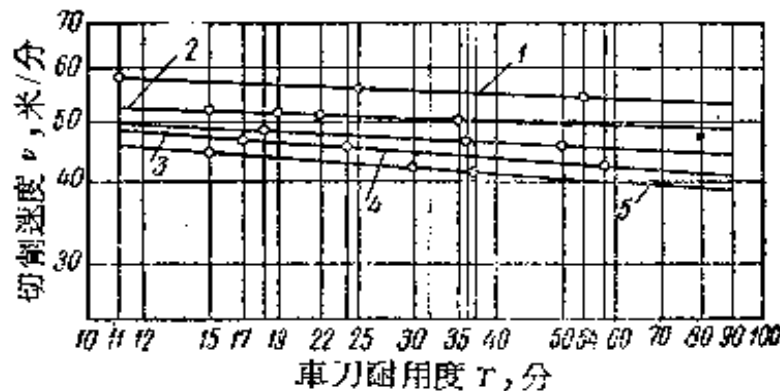


图 61 在不同走刀量  $s$  值下，切削速度  $v$  与車刀耐用度  $T$  的关系  
車削硬度为  $H_{RC}=59$  的鋼B， $t=0.3$  毫米

1— $s=0.07$  毫米/轉；2— $s=0.112$  毫米/轉；3— $s=0.155$  毫米/轉；4—  
 $s=0.225$  毫米/轉；5— $s=0.307$  毫米/轉

在进行实验中，由于沿鋼B試料横截面以及特别是沿其长度上的淬火程度不同，所以引起了困难。鋼料两端比中央淬火得较好。每条鋼料实际上具有三种硬度不同的以及可加工性不同的部段。

为了减轻被研究鋼料的不均匀性，从鋼料每端保留了长约200毫米的不用部段。然而，沿鋼料长度上还是经常发现鋼的可加工性不同，这就不能不反映到试验结果上来。

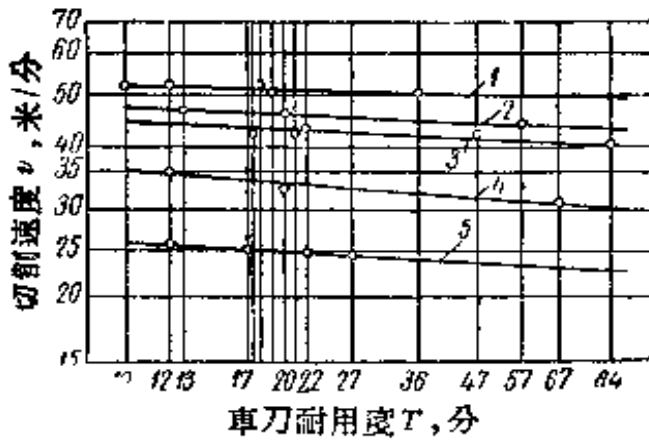


图 62 在不同走刀量  $s$  值下, 切削速度  $v$  与车刀耐用度  $T$  的关系。车削硬度为  $H_{RC}=59$  的钢 B,  $t=0.6$  毫米  
 1— $s=0.07$  毫米/转; 2— $s=0.155$  毫米/转;  
 3— $s=0.225$  毫米/转; 4— $s=0.307$  毫米/转;  
 5— $s=0.395$  毫米/转

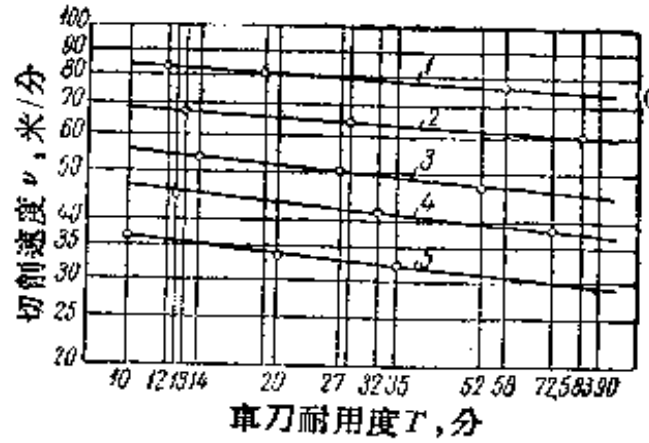


图 63 在不同走刀量  $s$  值下, 切削速度  $v$  与车刀耐用度  $T$  的关系。车削硬度为  $H_{RC}=49$  的钢 B,  $t=1.2$  毫米  
 1— $s=0.07$  毫米/转; 2— $s=0.153$  毫米/转;  
 3— $s=0.23$  毫米/转; 4— $s=0.38$  毫米/转;  
 5— $s=0.61$  毫米/转

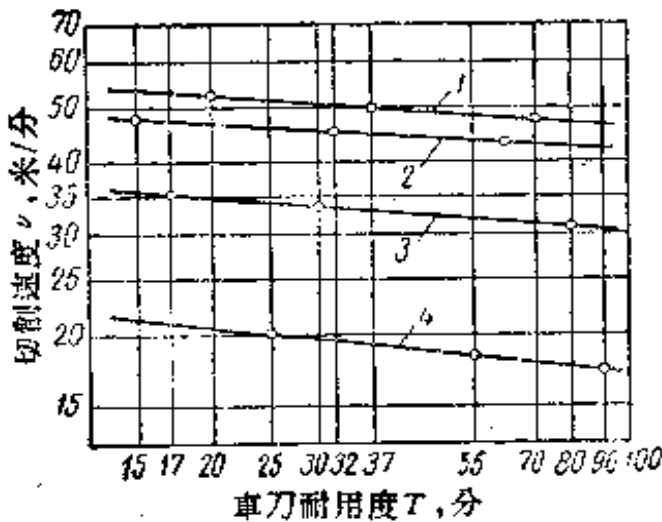


图 64 在不同走刀量  $s$  值下, 切削速度  $v$  与车刀耐用度  $T$  的关系。车削硬度为  $H_{RC}=59$  的钢 B,  $t=2.4$  毫米  
 1— $s=0.07$  毫米/转; 2— $s=0.155$  毫米/转;  
 3— $s=0.225$  毫米/转; 4— $s=0.395$  毫米/转

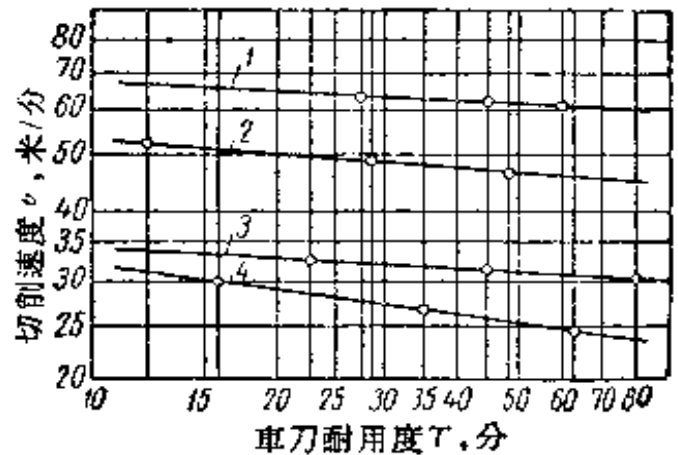


图 65 在不同走刀量  $s$  值下, 切削速度  $v$  与车刀耐用度  $T$  的关系。车削硬度为  $H_{RC}=49.5$  的钢 A,  $t=1.5$  毫米 ( $\alpha=6^\circ, \gamma=-5^\circ, \lambda=0^\circ, \varphi=45^\circ, \varphi_1=15^\circ, r=1.15$  毫米)  
 1— $s=0.153$  毫米/转; 2— $s=0.305$  毫米/转;  
 3— $s=0.46$  毫米/转; 4— $s=0.61$  毫米/转

对于硬度为  $H_{RC}=65$  的钢 C 的实验, 是用研磨过的 T15K6 车刀来进行的, 这车刀切削部分的几何参数:  $\alpha=6^\circ, \gamma=-5^\circ,$

$\lambda=0^\circ$ ,  $\phi=45^\circ$ ,  $\phi_1=15^\circ$ ,  $r=1.3$  毫米。切削深度在  $t=0.1\sim 1.0$  毫米範圍內变化, 而走刀量在  $s=0.05\sim 0.28$  毫米/轉範圍內变化。

試驗用鋼 O 的棒料的特点是沿长度和橫截面上具有同样的淬火程度。但是鋼料中的杂质使得車刀提前磨鈍和崩刃。这就是造成相当多不能說明問題的(不成功的)实验的原因。当然, 在編写分析关系时, 是不考虑那些不成功的实验的。对于硬度为  $H_{RC}=49.5$  的鋼 A 所做的檢查性試驗(图 65), 是用研磨过的車刀来进行的。走刀量在  $s=0.153\sim 0.610$  毫米/轉範圍內变化, 切削深度恆定( $t=1.5$  毫米)。

#### 切削速度与車刀耐用度的关系

加工淬火鋼时切削速度与車刀耐用度的关系, 和加工未淬火鋼时的这个关系具有同样的形式:

$$v = \frac{C}{T^m}, \quad (4)$$

式中  $v$ ——切削速度(米/分);

$T$ ——車刀耐用度, 或車刀磨鈍前的工作持續時間(分);

$C$ ——与被加工材料的物理-机械性能、切削深度、走刀量以及其他切削条件有关的常数;

$m$ ——相对耐用度指数。

相对耐用度指数表达出刀具耐用度随着切削速度的变化而变化的强烈程度。指数  $m$  愈小, 則切削速度的变化对于刀具耐用度的影响就愈为强烈。反之亦然。

在許多研究結果中, 已經确定了加工未淬火鋼时相对耐用度指数  $m$  与影响到它的各个因素的关系。讓我們来观察相应于淬火鋼时的这个問題。

表 45 中所示是作者对于硬度为  $H_{RC}=49\sim 59$  的鋼 B 所做耐用度試驗得到的数据。实验是用鈦鎢类硬质合金 T21K8 車刀来进行的。对于硬度为  $H_{RC}=65$  的鋼 C 所得类似的数据(用 T15K6 車

刀), 列举在表46中。图66和67所示, 是在不同切削深度  $t$  值下, 指数  $m$  与走刀量  $s$  的关系。

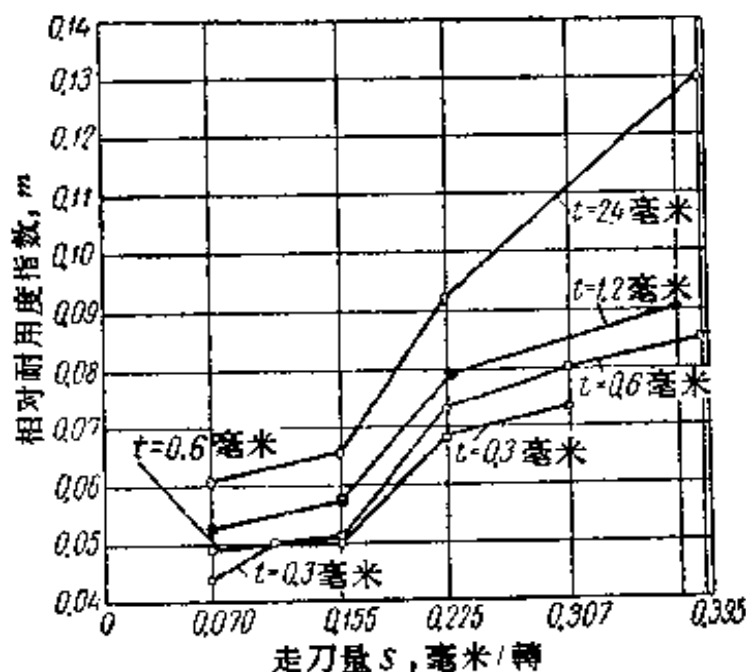


图 66 走刀量  $s$ 、切削深度  $t$  对于车刀相对耐用度指数  $m$  的影响。  
车削硬度为  $H_{RC}=59$  的钢 B,  $t=0.3, 0.6, 2.4$  毫米; 又, 车削  
硬度为  $H_{RC}=49$  的钢 B,  $t=1.2$  毫米。

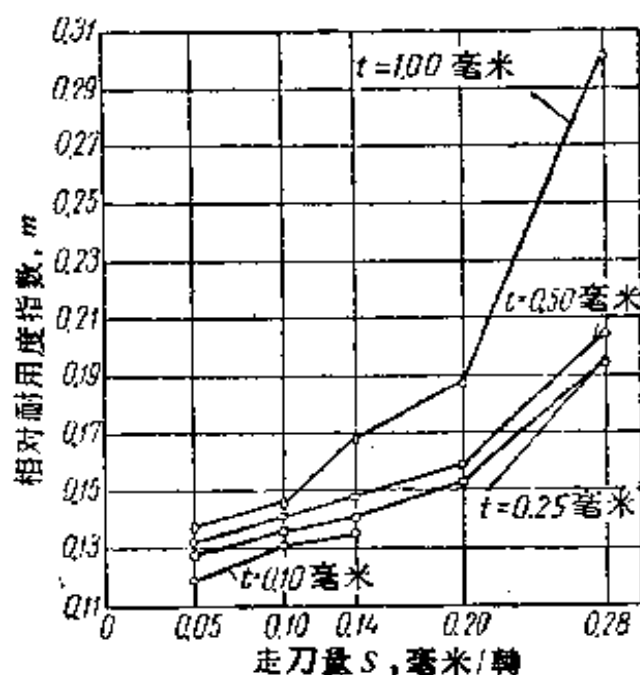


图 67 走刀量  $s$ 、切削深度  $t$  对于车刀相对耐用度指数  $m$  的影响。  
车削硬度为  $H_{RC}=65$  的钢 C



表 45 切削深度 $l$ 、走刀量 $s$ 对于相对耐用度指数  
 $m$ 、切削速度 $v_{60}$ 的影响  
加工硬度为 $H_{RC}=49\sim 59$ 的鋼B

切削深度 $l$ (毫米)	走刀量 $s$ (毫米/轉)	指 数 $m$	切削速度 $v_{60}$ (米/分)	切削深度 $l$ (毫米)	走刀量 $s$ (毫米/轉)	指 数 $m$	切削速度 $v_{60}$ (米/分)
0.3	0.070	0.044	54.0	1.2(7)	0.070	0.053	75.0
	0.112	0.050	48.8		0.153	0.057	61.0
	0.155	0.050	45.5		0.230	0.079	47.0
	0.225	0.068	42.0		0.380	0.090	38.7
	0.307	0.073	40.0		0.610	0.110	30.0
0.6	0.070	0.049	49.5	2.4	0.070	0.062	47.5
	0.155	0.051	43.9		0.155	0.066	43.1
	0.225	0.073	40.5		0.225	0.092	31.2
	0.307	0.080	31.3				
	0.395	0.085	22.3		0.395	0.130	17.9

①  $l=1.2$ 毫米的实驗是对于硬度为 $H_{RC}=49$ 的鋼B进行的；而所有其余实驗( $l=0.3, 0.6, 2.4$ 毫米)则是对于硬度为 $H_{RC}=59$ 的鋼B进行的。

表 46 切削深度 $l$ 、走刀量 $s$ 对于相对耐用度指数  
 $m$ 、切削速度 $v_{60}$ 的影响  
加工硬度为 $H_{RC}=65$ 的鋼C

切削深度 $l$ (毫米)	走刀量 $s$ (毫米/轉)	指 数 $m$	切削速度 $v_{60}$ (米/分)	切削深度 $l$ (毫米)	走刀量 $s$ (毫米/轉)	指 数 $m$	切削速度 $v_{60}$ (米/分)
0.10	0.05	0.119	23.4	0.50	0.05	0.132	19.6
	0.10	0.131	17.7		0.10	0.141	13.2
	0.14	0.135	14.4		0.14	0.148	11.5
0.25	0.05	0.128	20.5		0.20	0.159	9.0
	0.10	0.136	14.8		0.28	0.205	7.2
	0.14	0.141	12.0	1.00	0.05	0.138	16.5
	0.20	0.153	10.6		0.10	0.146	11.6
	0.28	0.195	8.4		0.14	0.168	9.0
				0.20	0.188	7.0	
				0.28	0.302	5.4	

$m$  值随着走刀量  $s$  的增大而增大。切削深度  $t$  的变化对于指数  $m$  值也发生同样的影响。图 67 上清晰地表现出了  $t-m$  关系，但是图 66 上对于较小的切削深度  $t$  和走刀量  $s$  的这个关系却表现得不那么清晰。

指数  $m$  值还与切削深度对走刀量的比值  $t/s$  有关。当  $t/s$  增大时，指数  $m$  就有规律地增大。例如，对于  $s=0.225$  毫米/轉來說，随着  $t/s$  的增大成四倍（由于  $t$  从 0.3 变到 2.4 毫米），指数  $m$  值就从 0.068 增大到 0.092。对于  $s=0.307$  毫米/轉來說，指数  $m$  相应地从 0.073 增大到 0.110。

对于硬度为  $H_{RC}=65$  的鋼 C 來說，也可以探察到同样的规律性。例如，就  $s=0.14$  毫米/轉而言，随着  $t/s$  的增大成十倍（由于  $t$  从 0.10 变到 1.00 毫米），指数  $m$  值就从 0.135 增大到 0.168。又就  $s=0.28$  毫米/轉而言，当  $t/s$  增大成四倍时（ $t$  从 0.25 变到 1.00 毫米），相对耐用度指数  $m$  就从 0.195 增大到 0.302。

由此可知，在車削淬火鋼时，相对耐用度指数  $m$  值与走刀量  $s$ 、切削深度  $t$ 、以及切削深度对走刀量的比值  $t/s$  有关。指数  $m$  值随着  $s$ 、 $t$  和  $t/s$  的增大而增大。

此外， $m$  值还与車刀前角  $\gamma$ 、后角  $\alpha$ 、刀尖圓角半徑  $r$ 、硬质合金牌号（用来装备車刀的）、以及淬火鋼的硬度有关。

由表 35 可知，当前角  $\gamma$  从  $-12^\circ$  增大到  $6^\circ$  时，指数  $m$  就有减小的趋势。随着車刀后角  $\alpha$  的增大（表 38），指数  $m$  值就增大。这个规律性表达得很清楚，虽然表中  $\alpha=8^\circ$  的  $m$  值有所下降。

現在轉到刀尖圓角半徑  $r$  的討論上来（表 42 和 43）。由表可知，在用鎢类硬质合金車刀加工硬度为  $H_{RC}=65$  的鋼 C 时，指数  $m$  值随着半徑  $r$  的增大而减小。在用鈦鎢类硬质合金車刀車削硬度为  $H_{RC}=59$  的鋼 B 时，也出現同样的规律性。当半徑  $r$  从 1.15 增大到 2.20 毫米时，相对耐用度指数  $m$  值就从 0.176 减小到 0.111。

硬质合金牌号对于指数  $m$  值的影响見表 26 和 27。单碳化物硬质合金的  $m$  比双碳化物硬质合金的大得多。如果說硬质合金

BK6、BK8 和 BK12 (加工硬度为  $H_{RC} = 56$  的鋼 B,  $t = 1.2$  毫米,  $s = 0.225$  毫米/轉) 的指数  $m = 0.103 \sim 0.119$ , 那末硬质合金 T15K6 和 T21K8 的  $m = 0.063 \sim 0.069$ 。

在以較小的切削截面 ( $t = 0.3$  毫米、 $s = 0.112$  毫米/轉) 来加工这种鋼时, 指数  $m$  与硬质合金牌号的关系的特征不变。

在加工硬度为  $H_{RC} = 65$  的鋼 C 时比在加工硬度为  $H_{RC} = 56$  的鋼 B 时, 指数  $m$  具有显著較大的数值。在这情况下, 关系的特征也不变: 双碳化物硬质合金的指数  $m$  比单碳化物硬质合金的小。

所述淬火鋼的数据肯定了众所周知的原則, 即鈦錳类硬质合金比錳类硬质合金, 对于切削速度变化具有較大的敏感度。

表 47 表达了在精車时, 淬火鋼硬度对于指数  $m$  值的影响 (21)。

表 47 淬火鋼硬度对于相对耐用度指数  $m$  值和切削速度  $v_{60}$  值的影响  
用 T30K4 車刀进行車削,  $t = 0.2$  毫米,  $s = 0.1$  毫米/轉

被加工材料	硬度 $H_{RC}$	指数 $m$	切削速度 $v_{60}$ (米/分)
40XC 号鋼	50~52	0.49	103
40XC 号鋼	57~59	0.266	37.1
ИХ15 号鋼	61~63	0.205	17.9

可以看出, 随着鋼的硬度的提高, 相对耐用度指数  $m$  就减小。我們注意到, 在这里, 特别是对于較小硬度的鋼来說, 所得出的指数  $m$  比在本书作者的实验中得出的大得多。

实际情况是, 对于 H.C. 洛噶克所采取的切削截面 ( $F = t \cdot s = 0.2 \times 0.1 = 0.02$  毫米<sup>2</sup>) 来說, 本书作者在  $H_{RC} = 59$  时得出的  $m = 0.044$  (表 45) 以及在  $H_{RC} = 65$  时得出的  $m = 0.136$  (表 46), 而 H.C. 洛噶克在  $H_{RC} = 57 \sim 65$  时所得出的指数  $m = 0.266 \sim 0.205$  (表 47)。

在淬火鋼硬度对于指数  $m$  值的影响特征方面, 本书作者和 H.C. 洛噶克的分歧是比較重大的。与 H.C. 洛噶克的結論相反,

本书作者的数据表明，指数 $m$ 是随着鋼的硬度的提高而增大。让我们对照一下表45和46中的数据。在同样的切削截面下，硬度为 $H_{R_c} = 49 \sim 59$ 的鋼B的指数 $m$ 比硬度为 $H_{R_c} = 65$ 的鋼C的小得多。如果說在 $F = 0.034$ 毫米<sup>3</sup>时（ $t = 0.3$ 毫米、 $s = 0.112$ 毫米/轉）鋼B的 $m = 0.050$ ，那末在 $F = 0.25 \times 0.14 = 0.035$ 毫米<sup>3</sup>时鋼C的 $m = 0.141$ 。又在 $F \approx 0.28$ 毫米<sup>3</sup>时（ $t = 1.2$ 毫米、 $s = 0.23$ 毫米/轉）鋼B的指数 $m = 0.079$ ，而在 $F = 0.28$ 毫米<sup>3</sup>时（ $t = 1.0$ 毫米、 $s = 0.28$ 毫米/轉）鋼C的 $m = 0.302$ 。

应当考虑到，这里所叙述的实驗乃是用鈦鎢类硬质合金車刀来进行的。

这样看来，已經肯定，淬火鋼的硬度对于指数 $m$ 值是发生影响的。但是在这种影响的特征方面，各位研究人員的观点是有分歧的。

現在来搞清楚一下相对耐用度指数 $m$ 和鋼的可加工性的关系問題。鋼的可加工性是由一定的刀具耐用度下所允許的切削速度来确定的。

C.C. 魯德尼克<sup>[37]</sup>和 A.M. 烏里佛<sup>[25]</sup>指出，在加工未淬火鋼时，指数 $m$ 值是随着鋼的机械性能的提高以及切削速度的降低而增大。M.M. 別斯普罗茲万內<sup>[38]</sup>作出的結論是很有意义的。其結論是：当切削速度在20~25%范圍內变化的条件下，切削速度对于指数 $m$ 值的影响是不显著的；当切削速度在較大的范圍內变化时， $m$ 值才随着切削速度的变化而变化。

車削淬火鋼时所得研究結果与上述未淬火鋼的数据符合。分析这些实驗数据后得知，在 $m$ 值与可用切削速度水准之間，存在着清晰地表現出来的关系。随着鋼的可加工性的下降，指数 $m$ 值就增大（表45和46）。实际情况是，如果說硬度为 $H_{R_c} = 59$ 的鋼B在其可加工性变化范圍为 $v_{s_0} = 54 \sim 40$ 米/分时（ $t = 0.3$ 毫米、 $s = 0.07 \sim 0.307$ 毫米/轉）指数 $m$ 从0.044变到0.073，那末硬度为 $H_{R_c} = 65$ 的鋼C在其可加工性波动范圍为 $v_{s_0} = 20.5 \sim 8.4$ 米/分时（ $t = 0.25$ 毫米、 $s = 0.05 \sim 0.28$ 毫米/轉）指数 $m$ 則从0.128变到0.195。

本书作者为了查明刀尖圓角半徑  $r$ 、装备車刀用硬质合金牌号对于切削速度的影响特征所得到的实验数据，也肯定了指數  $m$  值与可用切削速度水准的关系。

在精車时<sup>[21]</sup>，淬火鋼的可加工性随着鋼的硬度的增大而下降(表 47)。当硬度  $H_{R0}$  从 50~52 增大到 61~63，即增大 11 单位时，鋼的可加工性大約下降成 1/5.7。可是相对耐用度指數  $m$  但不增大，反而从 0.49 减小到 0.205。这个結果与本书作者关于淬火鋼的結論相抵触，也与关于未淬火鋼的  $v = \frac{C}{T^m}$  关系的許多研究数据相抵触。

将本书作者所得結果与文献中的数据 [37、38、39、41、42、43] 对照，表明淬火鋼的車刀耐用度与切削速度的关系 [ $T = f(v)$ ] 和未淬火鋼的这个关系，具有同样的特征。这就証实了下述結論，即应当把車削淬火鋼当做金属切削加工的个别場合来探討。

表 48 所示是本书作者对于車削硬度为  $H_{R0} = 38 \sim 65$  的淬火鋼所认可的相对耐用度指數  $m$  值。

表 48 指 数  $m$  值

硬 质 合 金 牌 号	$t \leq 0.5$ 毫米, $s \leq 0.15$ 毫米/轉	$t > 0.5$ 毫米, $s > 0.15$ 毫米/轉
	$m$	
BK2、BK3、BK6、BK8	0.12	0.20
T5K10、T15K6、T30K4	0.07	0.10

#### 切削速度与切削深度、走刀量的关系

表 49 所示是在不同切削深度和走刀量数值下，車刀耐用度为 60 分钟时的切削速度 ( $v_{60}$ ) 值。表中包含作者对于硬度为  $H_{R0} = 49 \sim 65$  的鋼 A、B 和 C 所做車刀耐用度試驗的数据，同时还包含为了确定車刀前角、后角、刀尖圓角半徑以及装备車刀用硬质合金牌号对于切削速度和車刀耐用度的影响的实验数据。



图68和69所示是对于硬度为  $H_{RC} = 49 \sim 59$  的鋼 B 的切削速度  $v_{60}$  与走刀量  $s$ 、切削深度  $t$  的关系，图70和71所示则是对于硬度为  $H_{RC} = 65$  的鋼 C 的这些关系，而图72所示则是对于硬度为  $H_{RC} = 49.5$  的鋼 A 的  $v_{60} - s$  关系。图68上最高的一条曲线是属于硬度为  $H_{RC} = 49$  的鋼 B 的，而其余的曲线则是属于硬度为  $H_{RC} = 59$  的鋼 B 的。

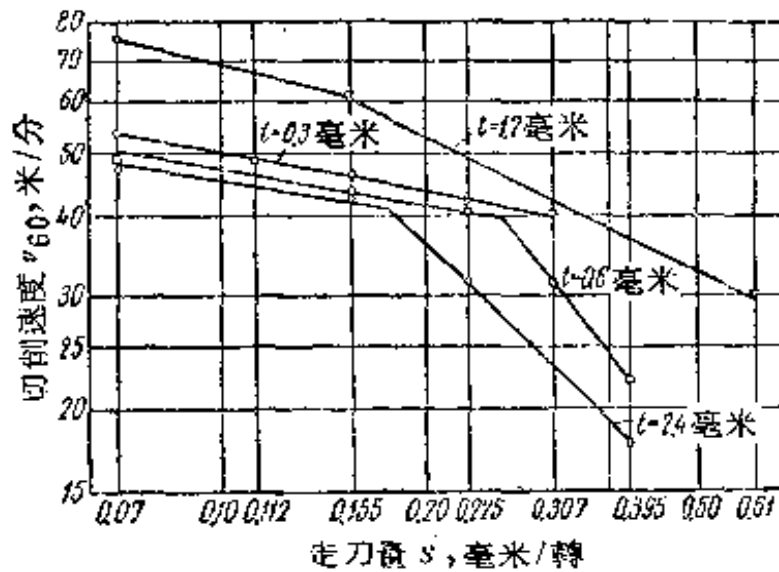


图 68 在不同切削深度  $t$  值下，切削速度  $v_{60}$  与走刀量  $s$  的关系。車削硬度为  $H_{RC} = 49 \sim 59$  的鋼 B，采用 T21K8 車刀，車刀几何参数： $\alpha = 6^\circ$ ， $\gamma = -5^\circ$ ， $\lambda = 0^\circ$ ， $\varphi = 45^\circ$ ， $\varphi_1 = 15^\circ$ ， $r = 1.15$  毫米

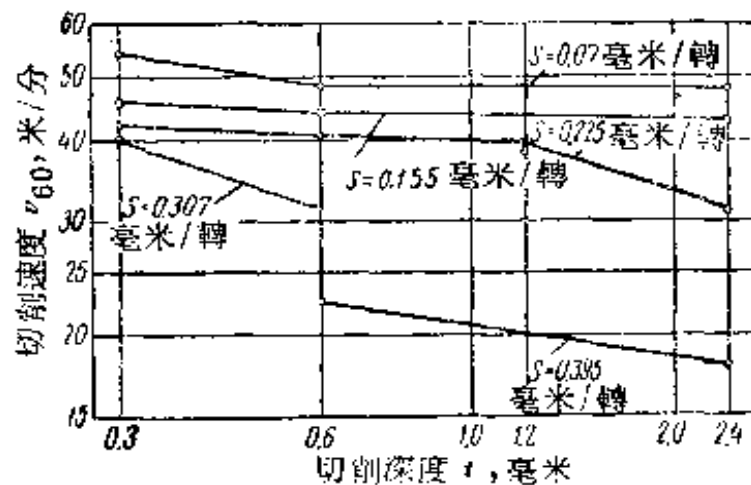


图 69 在不同走刀量  $s$  值下，切削速度  $v_{60}$  与切削深度  $t$  的关系。車削硬度为  $H_{RC} = 59$  的鋼 B。車刀的特征同图 68

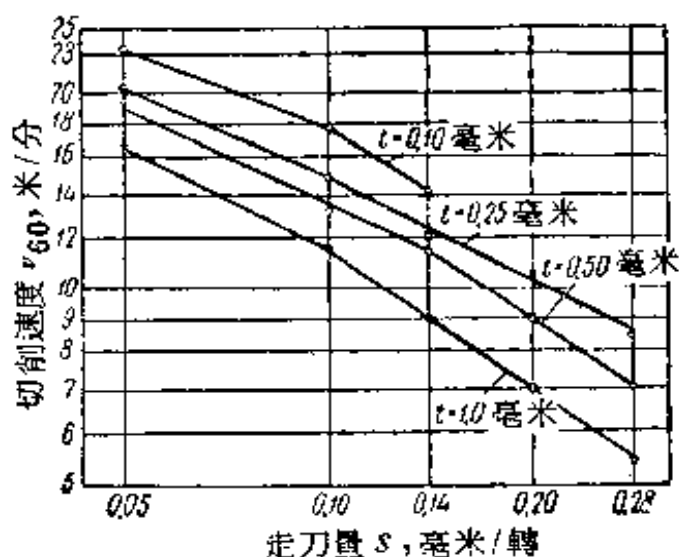


图 70 在不同切削深度  $t$  值下，切削速度  $v_{60}$  与走刀量  $s$  的关系。車削硬度为  $H_{RC}=65$  的鋼 C，采用 T15K6 車刀，車刀切削部分的几何参数： $\alpha=6^\circ$ ， $\gamma=-5^\circ$ ， $\lambda=0^\circ$ ， $\varphi=45^\circ$ ， $\varphi_1=15^\circ$ ， $r=1.3$  毫米

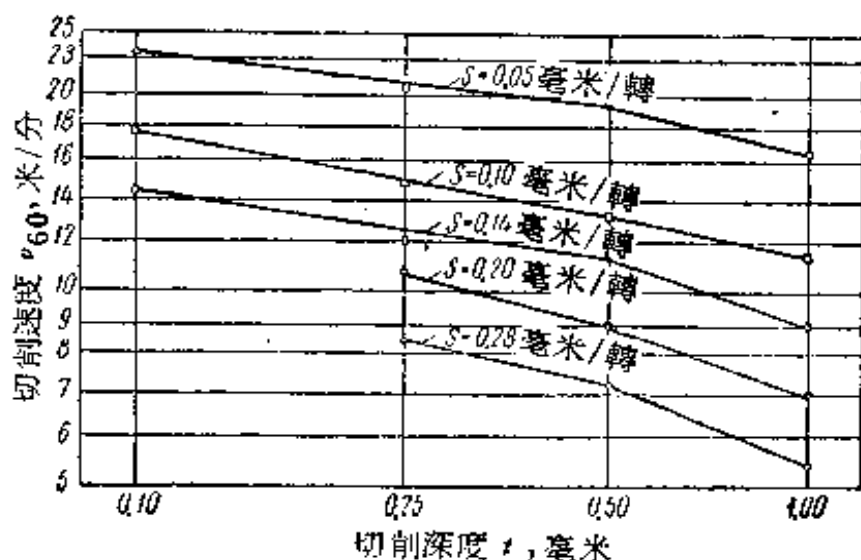


图 71 在不同走刀量  $s$  值下，切削速度  $v_{60}$  与切削深度  $t$  的关系。車削硬度为  $H_{RC}=65$  的鋼 C。車刀的特征同图 70

根据所列举的数据，可以用下列方程式来表达出切削速度与走刀量、切削深度的关系：

$$v_{60} = \frac{C_s}{s^{0.75}}, \quad v_{60} = \frac{C_t}{t^{0.75}}$$

表 50 和 51 以及图 68 ~ 72 指出，首先是，对于鋼 B 来说，在  $v_{60}$  与  $t$ 、 $s$  的关系中是没有严格的规律性。这可以由被研究鋼料的硬



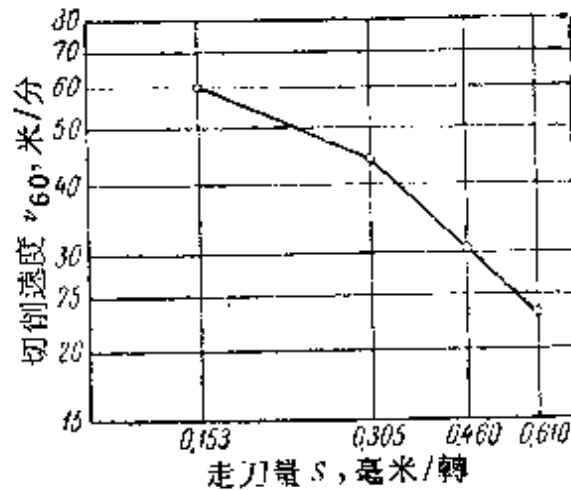


图 72 在切削深度  $t = 1.5$  毫米下，切削速度  $v_{60}$  与走刀量  $s$  的关系。車削硬度为  $H_{RC} = 49.5$  的鋼 A

度波动剧烈来解释。然而，被研究关系的特性却已十分明确地表现出来。

至于鋼 C，它的特点是沿其棒料的长度和横截面中（在被研究范围内）的硬度具有较高的稳定性，所以由其得出的  $v_{60} - s$  和  $v_{60} - t$  关系是具有较可靠的样式。

表 50 方程式  $v_{60} = \frac{C_s}{s^{y_v}}$  中的指数  $y_v$  值

鋼 C, $H_{RC} = 65$			鋼 B, $H_{RC} = 49 \sim 59$ ① 鋼 A, $H_{RC} = 49.5$		
$t$ (毫米)	$s$ (毫米/轉)	$y_v$	$t$ (毫米)	$s$ (毫米/轉)	$y_v$
0.10	0.05 ~ 0.10	0.40	0.3	0.07 ~ 0.155	0.20
0.10	0.10 ~ 0.14	0.66	0.3	0.155 ~ 0.307	0.22
0.25	0.05 ~ 0.10	0.45	0.6	0.07 ~ 0.260	0.19
0.25	0.10 ~ 0.28	0.53	0.6	0.26 ~ 0.395	1.30
0.50	0.05 ~ 0.14	0.50	1.2	0.07 ~ 0.155	0.26
0.50	0.14 ~ 0.28	0.72	1.2	0.155 ~ 0.610	0.53
1.00	0.05 ~ 0.10	0.52	1.5	0.153 ~ 0.305	0.42
1.00	0.10 ~ 0.28	0.72	1.5	0.305 ~ 0.610	0.90
—	—	—	2.4	0.07 ~ 0.175	0.18
—	—	—	2.4	0.175 ~ 0.395	1.02

①  $t = 1.2$  毫米时的数据属于硬度为  $H_{RC} = 49$  的鋼 B； $t = 1.5$  毫米时的数据属于硬度为  $H_{RC} = 49.5$  的鋼 A；其余数据则属于硬度为  $H_{RC} = 59$  的鋼 B。

表 51 方程式  $v_{60} = \frac{C_t}{t^{x_v}}$  中的指数  $x_v$  值

鋼C, $H_{RC} = 65$			鋼B, $H_{RC} = 49 \sim 59$		
$s$ (毫米/轉)	$t$ (毫米)	$x_v$	$s$ (毫米/轉)	$t$ (毫米)	$x_v$
0.05	0.10~0.50	0.12	0.07	0.3~0.6	0.17
0.05	0.50~1.00	0.24	0.07	0.6~2.4	0.02
0.10	0.10~0.50	0.18	0.155	0.3~0.6	0.07
0.10	0.50~1.00	0.21	0.155	0.6~2.4	0.02
0.14	0.10~0.50	0.17	0.225	0.3~1.2	0.06
0.14	0.50~1.00	0.34	0.225	1.2~2.4	0.31
0.20	0.25~0.50	0.26	0.307	0.3~0.6	0.33
0.20	0.50~1.00	0.38	0.395	0.6~2.4	0.16
0.28	0.25~0.50	0.23			
0.28	0.50~1.00	0.42			

走刀量指数  $y_v$  比切削深度指数  $x_v$  大得多。对于硬度为  $H_{RC} = 65$  的鋼C來說, 这两个指数各自的平均值是  $y_v = 0.57$  和  $x_v = 0.25$ 。对于硬度为  $H_{RC} = 59$  的鋼B來說, 則各自为  $y_v = 0.52$  和  $x_v = 0.14$ 。由此得出結論, 走刀量比切削深度对于切削速度的影响較大, 所以在車削淬火鋼时, 从切削速度  $v_{60}$  的观点出发来考虑的話, 最好是采用較大的  $t$  和較小的  $s$  来进行工作。

图68、70和72表明, 对于所有被研究的鋼來說, 在对数坐标系統中,  $v_{60}-s$  关系都表现为折綫。折綫由两条直綫构成, 具有一个拐点, 折綫的特征是其左段所表现出的走刀量对于切削速度的影响比其右段所表现出的較弱。这就說明, 方程式  $v_{60} = \frac{C_s}{s^{y_v}}$

中的指数  $y_v$  值与走刀量的大小有关。这个結論被图73和74証实了: 对于所有被研究的鋼來說, 曲綫2都位于曲綫1之上。

在不同切削深度值下, 表达  $v_{60}-s$  关系的折綫之間是不平行的(图68和70)。这就說明, 指数  $y_v$  也与切削深度有关。在图73和74上可以探察到  $y_v-t$  关系的存在, 然而硬度为  $H_{RC} = 65$  的鋼

C 的这个关系比硬度为  $H_{RC} = 59$  的鋼 B 的这个关系表现得較清楚些。

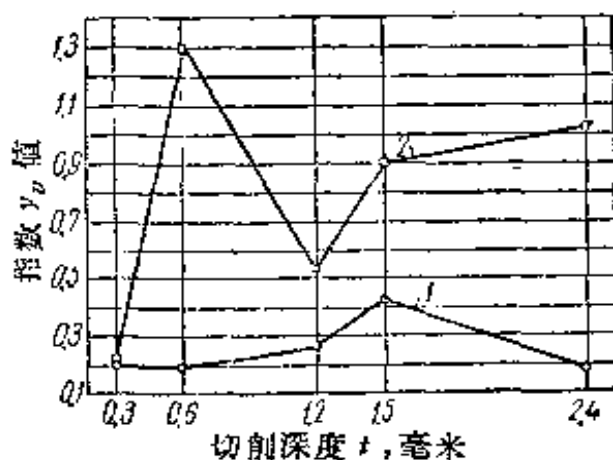


图 73 切削深度  $t$ 、走刀量  $s$  对于指数  $y_v$  值的影响

1—小  $s$  区域；2—大  $s$  区域。車削硬度为  $H_{RC} = 49 \sim 59$  的鋼 A 和 B

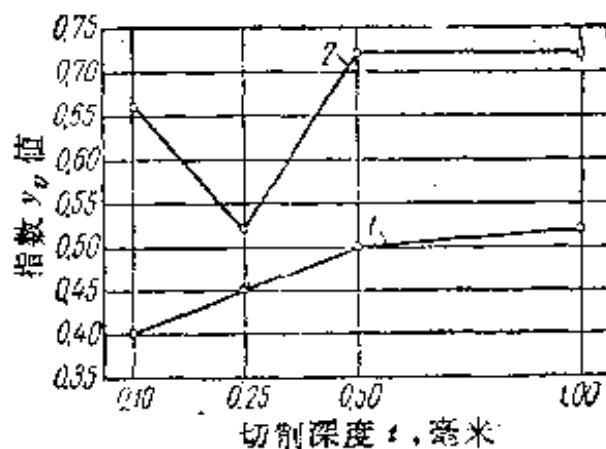


图 74 切削深度  $t$ 、走刀量  $s$  对于指数  $y_v$  值的影响

1—小  $s$  区域；2—大  $s$  区域。車削硬度为  $H_{RC} = 65$  的鋼 C

对于硬度为  $H_{RC} = 59$  的鋼 B 來說 (图 68)，在不同  $t$  值下， $v_{s_0} - s$  关系折綫的拐轉乃是在同样的走刀量数值 ( $s \approx 0.17$  毫米/轉) 下发生的。 $t = 0.6$  毫米的折綫是一个例外。其拐点符合于  $s = 0.26$  毫米/轉。对于硬度为  $H_{RC} = 65$  的鋼 C 來說 (图 70)，在  $t = 0.10, 0.25$  和  $1.0$  毫米下，折轉是发生在走刀量  $s = 0.10$  毫米/轉的地方，而在  $t = 0.5$  毫米下，折轉則是发生在  $s = 0.14$  毫米/轉的地方。对于硬度为  $H_{RC} = 49.5$  的鋼 A 來說 (图 72)，拐点是符合于  $s = 0.305$  毫米/轉。这就表明，在車削淬火鋼时，一般說来， $v_{s_0} - s$  关系曲綫 (折綫) 的折轉都是发生在  $s < 0.2$  毫米/轉的时候。因此，在較小的走刀量下 ( $s < 0.2$  毫米/轉) 車削淬火鋼的特点是走刀量对于切削速度的影响不大 (指数  $y_v$  值很小)。在  $s > 0.2$  毫米/轉的时候，走刀量对于切削速度发生較大的影响。

随着淬火鋼硬度的提高， $v_{s_0} - s$  关系曲綫 (折綫) 的拐点就向左移动 (向較小的走刀量方面移动)。如果說，硬度为  $H_{RC} = 65$  的鋼 C 的这个折轉是发生在  $s = 0.10$  毫米/轉的时候，那末，硬度为  $H_{RC} = 49 \sim 59$  的鋼 A 和 B 的这个折轉则发生在  $s = 0.305$  和  $0.175$  毫米/轉的时候。

現在來敘述切削速度與切削深度的關係( $v_{s_0}-t$ )。由圖69和71可以看出，在對數坐標系統中，對於所有被研究的鋼來說， $v_{s_0}-t$ 關係都表現為折綫。折綫由兩條直綫構成，具有一個拐點。對於硬度為 $H_{RC}=65$ 的鋼C來說，在所有走刀量數值下，拐點左側的綫段所表現出的切削深度對於切削速度的影響比拐點右側的綫段所表現出的較弱。對於硬度為 $H_{RC}=59$ 的鋼B來說(圖69)， $v_{s_0}-t$ 關係曲綫(折綫)的情況則有所不同：在 $s=0.07$ 毫米/轉的時候，拐點左側的綫段與橫坐標軸的夾角大於拐點右側的綫段與橫坐標軸的夾角。在 $s=0.155$ 毫米/轉的時候，折綫也有同樣的特性。可是在 $s=0.225$ 毫米/轉的時候，折綫則具有相反的特性。

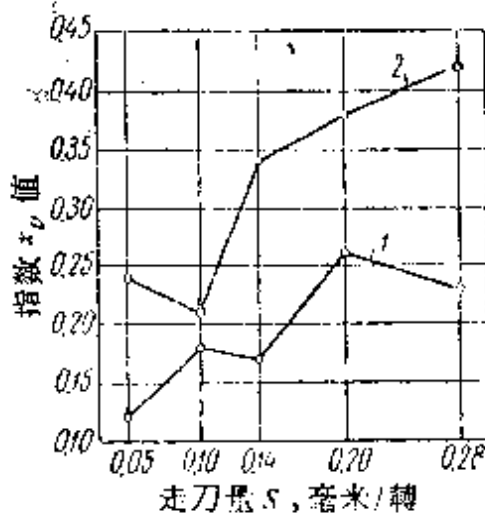


圖 75 走刀量  $s$ 、切削深度  $t$  對於指數  $\alpha_0$  值的影響

1—小  $t$  區域；2—大  $t$  區域。車削  
硬度為  $H_{RC}=65$  的鋼 C

的特性。對於鋼C所得出的  $v_{s_0}-t$  關係的特性是較為可信的。

在不同走刀量數值下，表達  $v_{s_0}-t$  關係的折綫間彼此不平行。這就說明，切削深度指數  $\alpha_0$  值也與走刀量有關。所作出的這個結論是同樣地適用於兩種鋼，但鋼C的  $\alpha_0-s$  關係表現得更清晰些(圖75)。此外，圖75還表明，指數  $\alpha_0$  值也與切削深度  $t$  有關(曲綫2位於曲綫1之上)。

對於鋼C來說(圖71)，在不同走刀量數值下， $v_{s_0}-t$  關係曲綫的折轉是發生在同樣的切削深度值  $t=0.50$  毫米的時候。對於鋼B來說(圖69)，所述關係曲綫的折轉是發生在切削深度  $t=0.6$  毫米的時候，但  $s=0.225$  毫米/轉的一條曲綫為例外。

我們來觀察一下其他研究人員得出的數據。對於硬度為  $H_{RC}=47 \sim 56$  ( $\sigma_{sp}=150 \sim 180$  公斤/毫米<sup>2</sup>) 的淬火鋼，И.И. 格魯陀夫<sup>(29)</sup> 得出，走刀量指數  $y_0$  只與切削深度有關(而與走刀量無關)：

$$y_0 = 0.47 \times t^{0.33}。$$

II. II. 格魯陀夫采取下列的切削深度指數值：對於  $t < 1.25$  毫米，採取  $x_v = 0.5$ ；對於  $t = 1.25 \sim 2.0$  毫米，採取  $x_v = 1.1$ 。

我們根據 II. II. 格魯陀夫的公式，來確定出不同切削深度值下的指數  $y_v$  值：

$t$ (毫米)	$y_v$
0.2	0.28
0.5	0.38
1.25	0.50
1.5	0.54
2.0	0.60

這樣看來，根據 II. II. 格魯陀夫的数据是，走刀量指數  $y_v$  小於切削深度指數  $x_v$ 。隨着切削深度的增大，指數  $x_v$  和  $y_v$  都增大。

H. C. 洛噶克<sup>(21)</sup>精車淬火鋼 ( $t = 0.2$  毫米)，得出了下列走刀量指數值：對於硬度為  $H_{RC} = 50 \sim 52$  的鋼， $y_v = 1.21$ ；對於硬度為  $H_{RC} = 61 \sim 63$  的鋼， $y_v = 0.78$ 。隨着淬火鋼硬度的提高，指數  $y_v$  就減小。

表 52 所示是 A. A. 馬斯洛夫的数据<sup>(26)</sup>。可以看出，走刀量指數  $y_v$  比切削深度指數  $x_v$  大得多。例外的是在較大的  $t$  下加工硬度為  $H_{RC} = 58$  的鋼時， $y_v \approx x_v$ 。此外，在這裡是，隨着鋼的硬度的提高，指數  $x_v$  值就急劇增大；這時，指數  $y_v$  值也增大，但這個規律性表現得不够清晰。

表 52 指數  $x_v$  和  $y_v$  值

被加工材料	變化範圍		指數值	
	切削深度 $t$ (毫米)	走刀量 $s$ (毫米/轉)	$x_v$	$y_v$
淬火 X12M 號鋼, $H_{RC} = 45$	0.25 ~ 2.0	0.1 ~ 0.3	0.07	0.17
		0.3 ~ 0.75		0.82
淬火 ЭИ161 號鋼, $H_{RC} = 58$ (油中淬火)	0.25 ~ 0.5		0.14	
	0.5 ~ 1.5	0.09 ~ 0.36	0.27	0.6
	1.5 ~ 2.0		0.63	

將淬火鋼的  $v = f(t \text{ 和 } s)$  关系与未淬火鋼的相似关系进行对比。首先来研究指数  $y_v$ 。

图76所示是A.A.阿瓦柯夫<sup>[23]</sup>对于  $\sigma_{yp} = 55$  公斤/毫米<sup>2</sup>、 $\delta = 11.3\%$  的碳鋼所繪出的  $v_{60} - s$  关系曲綫。他的实验是用高速鋼車刀来进行的，切削深度恒定 ( $t = 2$  毫米)，走刀量  $s$  的变化范围是从0.015到3.06毫米/轉。

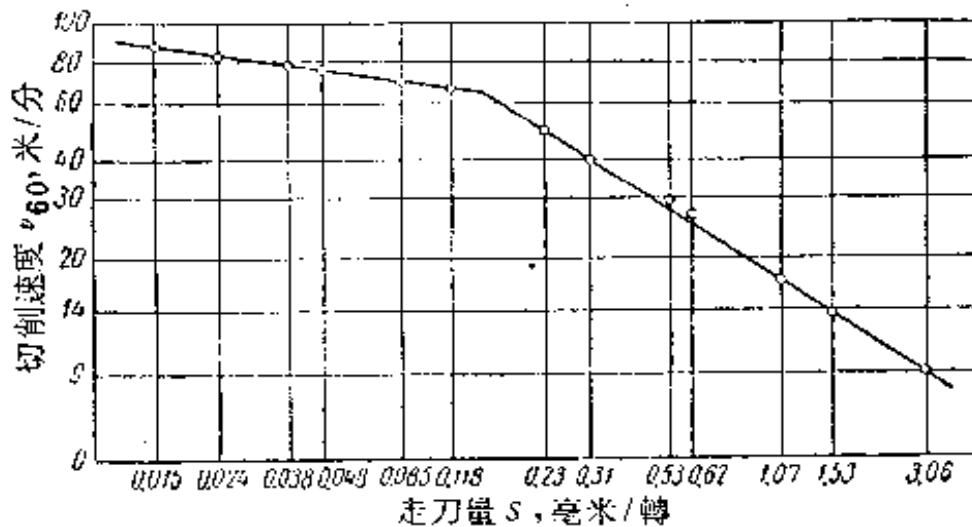


图76 走刀量  $s$  对于切削速度  $v_{60}$  的影响。A.A.阿瓦柯夫的数据

可以看出，在对数坐标系統中， $v_{60} - s$  关系曲綫的拐点符合于走刀量  $s$  大約等于0.12毫米/轉的时候，并且拐点左側的指数  $y_v = 0.146$ ，而拐点右側的  $y_v = 0.63$ 。令  $K_y$  表示  $v_{60} - s$  关系曲綫 (折綫) 通过拐点的右側和左側綫段的指数  $y_v$  的比值，則：

$$K_y = \frac{0.63}{0.146} = 4.3。$$

在未淬火鋼的可加工性的許多研究結果中，都可以发现出曲綫  $v = f(s)$  在較小的走刀量范围內的拐轉。但是在这些研究結果中，所得到的比值  $K_y$  要比A.A.阿瓦柯夫的小得多。

И.М.別斯普罗茲万內<sup>[28]</sup>詳尽地研究过了这个問題。他的数据以及对于淬火鋼的指数  $y_v$  的研究結果，如表53所示。可以看出，对于所有的切削深度值来說 ( $t = 0.5$  毫米为例外)，И.М.別斯普罗茲万內在每一条  $v - s$  关系曲綫上得出了两个拐点，符合于  $s = 0.2$  和  $0.4$  毫米/轉。两个拐点上的比值  $K_y$  从1.2变动到2.16。

表 53 不同研究人員得到的  $v=f(s)$  关系曲線的特征

数据来源	被研究材料	切削深度 $t$ (毫米)	走刀量 $s$ 的变化范围 (毫米/轉)	符合于 $v=f(s)$ 关系曲 綫拐点 的走刀 量 $s$ (毫米/轉)	指数 $y_v$		比值 $K_y$
					拐点 右側	拐点 左側	
A. A. 阿 瓦柯夫	碳鋼, $\sigma_{sp}=55$ 公 斤/毫米 <sup>2</sup> ; $\delta=11.3\%$	2.0	0.018~3.06	0.12	0.63	0.146	4.3
H. M. 別 斯普羅茲 万內	碳鋼, $\sigma_{sp}=57$ 公 斤/毫米 <sup>2</sup>	0.5	0.1~1.2	0.6	0.40	0.18	2.2
		1.0		0.7	0.22	0.18	1.2
				0.4	0.44	0.22	2.0
		2.0		0.2	0.30	0.18	1.66
				0.4	0.65	0.30	2.16
		4.0		0.2	0.30	0.18	1.66
			0.4	0.65	0.30	2.16	
本书作者	淬火鋼B, $H_{RC}=59$	0.3	0.07~0.307	0.155	0.22	0.20	1.1
		0.6	0.07~0.395	0.26	1.30	0.19	6.8
	淬火鋼B, $H_{RC}=49$	1.2	0.07~0.610	0.155	0.53	0.26	2.04
	淬火鋼A, $H_{RC}=49.5$	1.5	0.153~0.610	0.305	0.90	0.42	2.14
	淬火鋼B, $H_{RC}=59$	2.4	0.07~0.395	0.175	1.02	0.18	5.65
	淬火鋼C, $H_{RC}=65$	0.10	0.05~0.14	0.10	0.66	0.40	1.65
		0.25	0.05~0.28	0.10	0.53	0.45	1.18
		0.50	0.05~0.28	0.14	0.72	0.50	1.44
		1.00	0.05~0.28	0.10	0.72	0.52	1.39
	A. A. 馬 斯洛夫	淬火 X12M 号鋼, $H_{RC}=45$	0.25~2.0	0.10~0.75	0.30	0.82	0.17

本书作者和 A. A. 馬斯洛夫的数据說明，淬火鋼的  $v-s$  关系曲綫的特性与未淬火鋼的是一样的。例如，对鋼 C 来說，在所有被研究的切削深度和走刀量数值下， $v-s$  关系曲綫的折轉都是发生在同样的地点——符合于走刀量  $s=0.10$  毫米/轉(作为例外的是， $t=0.5$  毫米的曲綫的折轉发生在  $s=0.14$  毫米/轉的时候)。比值  $K_v$  在这里是从 1.18 变到 1.65，这个变化范围与 H. M. 別斯普罗茲万內得出的大致相同。

对于本书作者和 A. A. 馬斯洛夫所研究过的其他牌号的淬火鋼来說， $K_v$  值是不太有說服力的。无論如何，对于这些鋼来說， $v-s$  关系曲綫也具有拐点，并且折綫右側段落也比左側段落具有更大的指数  $\gamma_v$  值。

将 A. A. 阿瓦柯夫和 H. M. 別斯普罗茲万內的数据与本书作者和 A. A. 馬斯洛夫的数据进行对比，証实与 H. H. 格魯陀夫的結論相反，車削淬火鋼时走刀量对于切削速度的影响特性与車削未淬火鋼时的一样。

現在来研討指数  $x_v$ 。表 54 所示是表达車削淬火鋼和未淬火鋼时切削速度与切削深度的关系的数据。可以看出，H. H. 格魯陀夫、A. A. 馬斯洛夫和本书作者所得关于淬火鋼的数据基本上是重合的。 $v=f(t)$  关系曲綫上出現拐点，拐点右側比左側具有更大的指数  $x_v$  值。 $v_{s_0}-t$  关系曲綫拐点右側和左側綫段的指数  $x_v$  的比值(用  $K_v$  来表示)接近于 2.0。

这样看来，指数  $x_v$  与切削深度  $t$  有关：随着  $t$  的增大，指数  $x_v$  就增大。同时，指数  $x_v$  也随着走刀量的增大而增大，这可以由本书作者对于鋼 C 得出的数据看出(图 75)。

对于未淬火鋼来說，根据 H. M. 別斯普罗茲万內的数据看来，指数  $x_v$  与走刀量的关系比之与切削深度的关系要更清晰些。随着走刀量和切削深度的增大，指数  $x_v$  就增大。

无論如何，切削深度对于切削速度的影响特征，对于淬火鋼和未淬火鋼来說乃是一样的。随着切削深度和走刀量的增大，切削深度对于切削速度的影响就增大。



表 54 不同研究人員所得  $v=f(t)$  关系曲線的特征

数据来源	被研究材料	走刀量 $s$ (毫米/轉)	切削深度 $t$ 的变化范围 (毫米/轉)	符合于 $v=f(t)$ 关系曲 綫拐点的切 削深度 $t$ (毫米)	指数 $\alpha_v$		比值 $K_x$
					拐点 右侧	拐点 左侧	
H. M. 別斯普 罗茲万內	碳鋼, $\sigma_{sp} =$ 57公斤/毫米 <sup>2</sup>	0.4	0.5~4.0	2.0	0.18	0.17	1.06
		0.8	0.5~4.0	1.0	0.42	0.37	1.13
				2.0	0.12	0.37	0.32
		1.2	0.5~4.0	1.0	0.50	0.40	1.25
				2.0	0.28	0.50	0.56
本书作者	淬火鋼C, $H_{RC} = 65$	0.05	0.10~1.00	0.50	0.24	0.12	2.0
		0.10	0.10~1.00	0.50	0.21	0.18	1.16
		0.14	0.10~1.00	0.50	0.34	0.17	2.0
		0.20	0.25~1.00	0.50	0.38	0.26	1.46
		0.28	0.25~1.00	0.50	0.42	0.23	1.83
П. П. 格魯陀 夫	淬火鋼, $H_{RC} = 47 \sim 56$	0.05~0.30	0.2~2.0	1.25	1.10	0.50	2.20
A. A. 馬斯洛 夫	淬火鋼, $H_{RC} = 58$	0.09~0.36	0.25~2.0	0.50	0.27	0.14	1.92
				1.50	0.63	0.27	2.33

对于本书作者所研究过的硬度为  $H_{RC} = 41 \sim 65$  的淬火鋼来說, 切削速度、切削深度与走刀量之間的关系可用下列方程式来表示:

$$v_{60} = \frac{C_{v_{60}}}{t^{\alpha_v} \cdot s^{\beta_v}} \quad (5)$$

式中  $v_{60}$ ——車刀耐用度为60分钟下的切削速度(米/分);

$C_{v_{60}}$ ——系数;

$t$ ——切削深度(毫米);

$s$ ——走刀量(毫米/轉);

$\alpha_v$ ——切削深度指数;

$\beta_v$ ——走刀量指数。

作为計算推荐切削速度(附录 I)的基础, 采取  $x_v=0.25$ ;  $y_v=0.45$ 。有效功率按下列公式来确定:

$$N_e = C_N \cdot t^{0.65} \cdot s^{0.35} \text{ 千瓦。} \quad (6)$$

对于系数  $C_{v_{60}}$  和  $C_N$ , 采取了下列数值:

淬火鋼的硬度 $H_{RC}$	38	41	44	47	50	52	54	56	58	60	62	65
$C_{v_{60}}$	50	40	31	27	22	19.5	17.5	16	14.5	12.5	7	2.8
$C_N$	2.05	1.77	1.48	1.36	1.18	1.10	1.02	0.96	0.89	0.81	0.49	0.23

在确定  $C_{v_{60}}$ 、 $C_N$  以及指数  $x_v$ 、 $y_v$  的数值时, 除引用本书作者的实验数据外, 还考虑了 H. C. 洛噶克<sup>[21]</sup>、H. H. 格魯陀夫<sup>[29]</sup> 和 НИВТН<sup>[27]</sup> 的工作结果。

#### 淬火鋼机械性能对于切削速度的影响

从允许切削速度水准的观点出发而论, 鋼的可加工性主要是取决于鋼的化学成分、微观組織和机械性能。Э. И. 費里德施傑英<sup>[44]</sup> 的实验数据表达出了鋼的化学成分对其可加工性的影响(由符合于刀具耐用度为60分钟下的切削速度  $v_{60}$  来确定):

被加工鋼号	15号鋼	40号鋼	V12	40X	35X1G	P9	P18
$v_{60}$ (米/分)	100	60	40	45	30	20	20
系 数	1.0	0.6	0.4	0.45	0.3	0.2	0.2

所列举的数据证明, 鋼的可加工性在很大程度上取决于其中的含碳量和合金元素含量。

在这项研究工作<sup>[44]</sup> 中已经确定, 热处理所得鋼的組織对于给定成分的鋼的可加工性起着决定性的影响。切削刀具变钝的强烈度与被加工鋼中珠光体的形状有密切的关系。在粒状珠光体組

織時，所得結果最好。在片狀珠光體組織時，切削速度水準  $v_{00}$  要低得多，對於含碳量高和合金元素含量高的鋼來說，更是如此。

將不同組織的被研究鋼的切削速度進行對比，表明，在切削鐵素體鋼時，切削刀具磨損強烈度為最小。然後，按照磨損強烈程度漸增的順序排列是：點狀珠光體、粒狀珠光體、片狀珠光體、索氏體狀珠光體、索氏體、托氏體。

不同研究人員們曾經多次企圖找出切削速度與被加工材料機械性能的直接關係。例如，НИБТН<sup>[27]</sup> 對於未淬火鋼（碳鋼和合金鋼）推薦採用下列公式：

$$v_{00} = \frac{C_{\sigma}}{\sigma_{sp}^{n_v}} \quad \text{米/分；}$$

$$v_{00} = \frac{C_H}{H_B^{n_v}} \quad \text{米/分}$$

式中  $n_v = 1.5$ 。

Э.И. 費里德施傑英<sup>[44]</sup> 也得出了同樣特徵的關係。在他所試驗過的每一種鋼的範圍內，指數  $n_v = 1.5$ ；根據所有被研究過的鋼的總結得出了  $n_v = 2.2$ （高速鋼除外，其特徵是可加工性很壞）；只是結構鋼的  $n_v = 1.8$ 。分析這些實驗數據後，可以作出結論：鋼的機械性能特徵  $\sigma_{sp}$  和  $H_B$  不能作為足夠精確地判定所需切削速度  $v_{00}$  的基礎，因為在利用上述公式來確定切削速度時的誤差可能達到 70%。

現在轉述到淬火鋼上來。本書作者的實驗數據表明，淬火鋼的化學成分對其可加工性的影響很小。硬度為  $H_{RC} = 49.5$  的鋼 A 的可加工性與硬度為  $H_{RC} = 49$  的鋼 B 大致相同，雖然鋼 B 中的合金元素含量為 6.58~7.66%，而鋼 A 中的為 4.24~5.02%。

А.Я. 馬耳金<sup>[23]</sup>（對於硬度為  $H_{RC} > 49$  的 V10、V12、40X、ШХ15、ШХ15Г、ОХНМ、ОХН3М 號鋼和鉻錳硅鋼）以及 Е. А. 別洛烏索娃<sup>[30]</sup>（對於硬度為  $H_{RC} = 49 \sim 66$  的 ШХ15、ШХ15Г、12ХН3、9ХС、40X 和 45 號鋼）的研究工作，也証實了淬火鋼的化

学成分对其可加工性没有影响。

根据本书作者对于硬度为  $H_{RC} = 41 \sim 65$  的钢 A、B 和 C 所得出的实验数据，在图 77 的对数坐标系统中，绘出了淬火钢硬度与其可加工性间的关系图解。可加工性是用系数  $C_{v,60}$  值来表示。由图可知，淬火钢硬度对于切削速度的影响是随着向较高硬度方面的过渡而加剧。譬如，当钢的硬度在从洛氏 41 到 44 的范围内增大三个单位时，系数  $C_{v,60}$  是从 51 减小到 40，即大约减小 22%，但是，当硬度在从 62 到 65 的范围内同样也增大三个单位时，系数  $C_{v,60}$  则减小了 60% (从 9.1 减小到 3.6)。

这图解(图 77)具有一个拐点在符合于硬度为  $H_{RC} = 60$  的地点。钢的硬度对其可加工性的影响，在拐点右侧比在拐点左侧显示得较为剧烈。

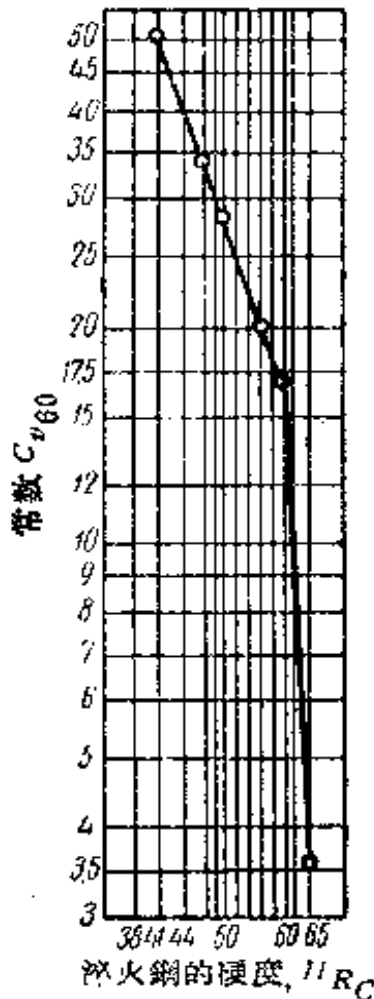


图 77 系数  $C_{v,60}$  与淬火钢硬度  $H_{RC}$  的关系。用 T15K6 车刀，车削硬度为  $H_{RC} = 41 \sim 65$  的钢 A、B 和 C

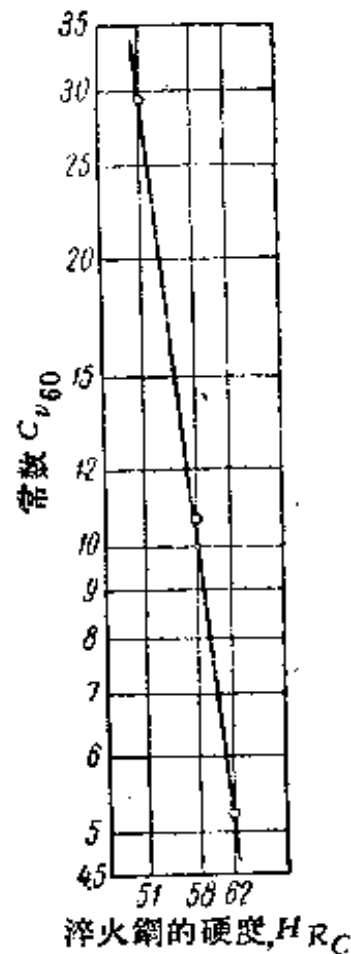


图 78 系数  $C_{v,60}$  与淬火钢硬度(范围为  $H_{RC} = 50 \sim 63$ )的关系。H.C. 洛噶克对于 T30K4 车刀所得出的数据

$C_{v_{60}} - H_{RC}$  关系曲线可用下列方程式来表示:

$$C_{v_{60}} = \frac{A'}{H_{RC}^{n_v}}, \quad (7)$$

式中  $n_v = 3$  —— 对于硬度为  $H_{RC} \leq 60$  的钢;

$n_v = 19$  —— 对于硬度为  $H_{RC} > 60$  的钢。

根据 H.C. 洛嘴克的数据<sup>[21]</sup>, 对于硬度为  $H_{RC} = 50 \sim 63$  的淬火钢(图78), 硬度指数是等于 9。

由上述关于淬火钢的数据可以作出结论, 在钢的机械性能对其可加工性的影响方面, 可以把关于未淬火钢的众所周知的规律性推广应用到所有接受切削加工的钢上面去。被加工钢的硬度(或  $\sigma_{sp}$ ) 对于切削速度的影响是随着被加工材料向更高硬度(或  $\sigma_{sp}$ ) 的逐渐过渡而愈益增大。如果说未淬火钢的指数  $n_v < 2$ , 那末硬度为  $H_{RC} \leq 60$  的淬火钢的  $n_v = 3$ , 而在  $H_{RC} > 60$  时指数  $n_v$  就要增大几倍。

在附录 I 中列举的切削用量, 是根据本书作者实验所得指数  $n_v$  值计算出来的。

## 结 论

1. 在车削淬火钢时, 由下列方程式表示的金属切削原理的基本定律是成立的:

$$v = \frac{C}{T^m}。$$

相对耐用度指数  $m$  表达出刀具耐用度随着切削速度的变化而变化的强烈程度。指数  $m$  愈小, 切削速度的变化对于刀具耐用度的影响就愈剧烈, 反之亦然。

2. 在加工淬火钢时, 相对耐用度指数  $m$  值与下列因素有关:

走刀量  $s$ 、切削深度  $t$ 、切削深度与走刀量的比值  $\frac{t}{s}$ 、车刀的前角  $\gamma$ 、后角  $\alpha$ 、刀尖圆角半径  $r$ 、装备车刀用硬质合金的牌号、淬火钢的硬度。

随着  $s$ 、 $t$  和  $\frac{t}{s}$  的增大，指数  $m$  值就增大。随着前角  $\gamma$  和刀尖圆角半径  $r$  的增大、以及后角  $\alpha$  的减小，指数  $m$  值就减小。钛钨类硬质合金的指数  $m$  比钨类硬质合金的小。随着淬火钢硬度的提高，指数  $m$  就增大。

对于指数  $m$  值影响最大的是淬火钢硬度、走刀量、和装用車刀硬质合金牌号。

对于淬火钢所得相对耐用度指数  $m$  与对其发生影响的各个因素的关系特性，和对于未淬火钢的一样。

3. 对于本书作者研究过的硬度为  $H_{RC} = 41 \sim 65$  的淬火钢来说，切削速度、切削深度和走刀量之间的关系，可以用下列方程式来表示：

$$v_{sv} = \frac{C_{sv} \cdot 90}{k^{x_v} \cdot v \cdot s^{y_v}} \text{ 米/分。}$$

指数  $y_v$  大于指数  $x_v$ 。这就意味着，走刀量对于切削速度的影响比切削深度对于切削速度的影响更大；在車削淬火钢时和車削未淬火钢时一样，采用較小的走刀量和較大的切削深度来工作是更有利的。

随着切削深度  $t$  和走刀量  $s$  的增大，指数  $x_v$  和  $y_v$  值就增大。因为走刀量对于切削速度的影响比切削深度对于切削速度的影响更大 ( $y_v > x_v$ )，所以在較大的比值  $\frac{t}{s}$  下工作是更有利的。

4. 淬火钢要比未淬火钢在低得多的切削速度下来加工。随着淬火钢硬度的提高，允許切削速度就下降。

考虑到被加工材料的机械性能，在研究淬火钢加工中所采用切削速度本身的水准，是符合于高速切削革新家們在工作中所应用的切削速度的。

## 17. 表面质量和加工精度

淬火钢的車削在生产中已經用来代替粗磨；在一定的条件

下，車削也可以代替精磨。因此，有关淬火鋼切削加工对于表面光洁度和表面金属层状态的影响特征的知識，就具有相当的实际意义和科学意义。下面叙述至今还嫌少的一些实验数据，来阐明这个问题。

### 已加工表面光洁度

这里所述的是一些以确定車削淬火鋼时所得已加工表面光洁度为目的的研究結果，以及各种因素对于已加工表面光洁度的影响特征。

本书作者对于硬度为  $H_{Rc} = 59$  的鋼 B 进行了研究。借阿鮑特型表面光度仪来进行表面粗糙度的測量。这仪器是表示出被研究表面微观不平度的均方根差 ( $H_{cK}$ )，单位是微米。仪器的讀数已經換算成微米。

在受試驗的鋼料上做成了一些小环带。在每两个相邻的小环带之間，都做好了退刀槽。

所有的实验都是用硬质合金 T15K6 車刀来进行的，但是为了查明硬质合金牌号对于已加工表面光洁度影响的那些实验是例外。所有的車刀都經過了研磨。

研究了下列因素对于已加工表面光洁度的影响：切削速度  $v$ 、走刀量  $s$ 、刀尖圓角半徑  $r$ 、車刀前角  $\gamma$ 、装备車刀用硬质合金牌号、車刀切削部分的研磨。

**切削速度对于表面光洁度的影响** 表面是在  $t = 0.3$  毫米和  $s = 0.112$  毫米/轉下进行加工的。切削速度在  $v = 10 \sim 85$  米/分的范圍内变化。实验数据(表 55 和图 79)沒有給出清晰的表現图景，但是可以作出結論，切削速度对于表面光洁度不发生影响。

所作出的这个結論，也被 A. M. 依薩叶夫<sup>[45]</sup> 的研究結果証实了。图 80 所示是他車削不同热处理硬度的 45 号鋼时的实验結果。所采取的切削用量的范圍(最小切削速度  $v > 20$  米/分)，保證了能在不形成刀瘤的情況下工作。可以看出，随着被加工材料硬度的提高，微观不平度高度就下降。当切削速度  $v > 140$  米/分时，

表 55 切削速度对于表面光洁度的影响

切削速度 $v$ (米/分)	微观不平度的均方根差 $H_{CK}$ (微米)				
	横 向 量			平均数据	纵向型面
	I	II	III		
10	1.7	1.8	1.8	1.8	1.2
25	1.0	1.0	0.9	1.0	0.8
40	1.6	1.2	1.1	1.3	1.0
55	2.0	1.4	1.4	1.6	0.9
70	1.5	1.3	1.2	1.3	1.0
85	1.3	1.1	1.1	1.2	0.9

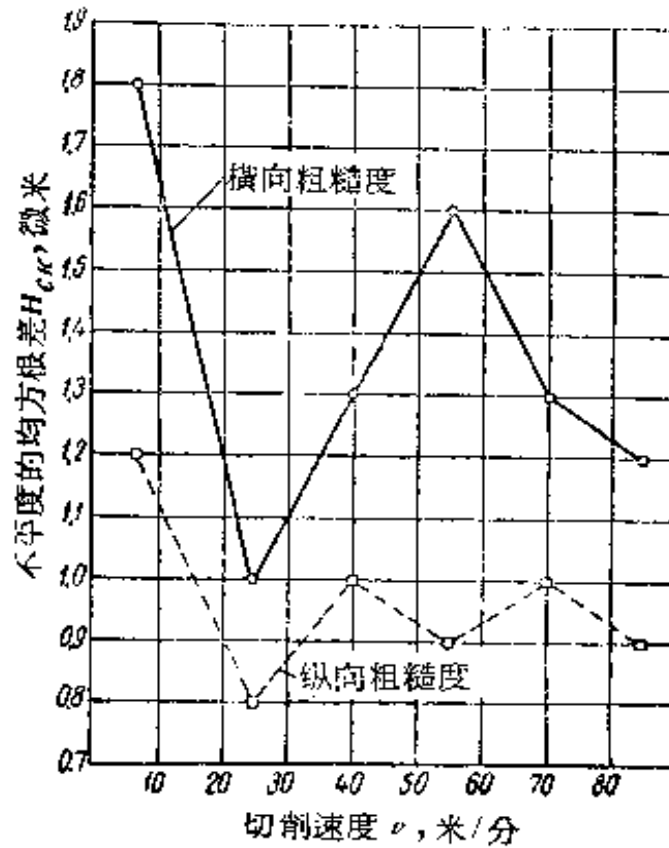


图 79 切削速度对于已加工表面光洁度的影响。  
 车削硬度为  $H_{RC}=59$  的钢 B,  $t=0.3$  毫米,  $s=0.112$  毫米/转。车刀几何参数:  $\alpha=6^\circ$ ,  $\gamma=-5^\circ$ ,  $\lambda=0^\circ$ ,  $\varphi=45^\circ$ ,  $\varphi_1=15^\circ$ ,  $r=1.15$  毫米



被加工材料硬度对于表面粗糙度的影响就变成不显著的了。

用較大的走刀量所做的实验得出了相似的结果。这时证明了，随着走刀量的增大，曲线上那些表达切削速度对于表面不平度高度的影响规律性发生变化的点就向左移动(向較小的 $v$ 的方面移动)。

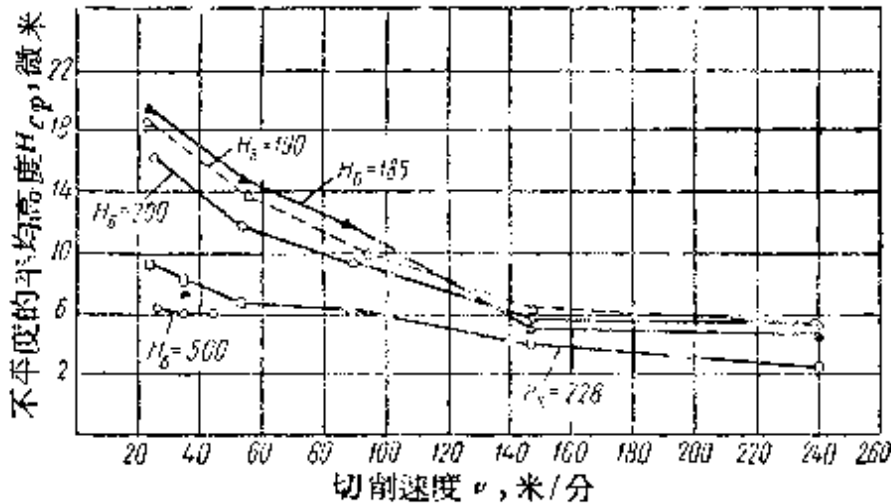


图80 切削速度对于已加工表面微观不平度平均高度的影响。  
 車削不同硬度的45号鋼， $t=1$ 毫米， $s=0.106$ 毫米/轉。  
 T15K6車刀的几何参数： $\alpha=8^\circ$ ， $\gamma=5^\circ$ ， $\lambda=0^\circ$ ， $\varphi=45^\circ$ ，  
 $\varphi_1=15^\circ$ ， $r=1.5$ 毫米。A. H. 依薩叶夫的数据

图80上最有意思的是热处理达到足够高硬度  $H_B=500$  ( $H_{RC}=51$ )的45号鋼的  $H_{cp}-v$  关系曲线。在这里，切削速度变化实际上对于已加工表面微观不平度数值没有影响。

**走刀量对于表面光洁度的影响** 表面是在  $t=6$  毫米和  $v=40$  米/分下进行加工的。走刀量在  $s=0.07\sim 0.505$  毫米/轉的范围内变化。试验结果(表56)证明，随着走刀量的增大，横向型面中的不平度数值就急剧地增大。在纵向型面中也观察到表面光洁度的下降，但在这里下降表现得微弱很多。

图81上列举了未淬火40XH号鋼的两条曲线<sup>[46]</sup>，相应于切削速度  $v=42.5$ 和135米/分。可以看出，当走刀量  $s$  在同样范围内变化时，微观不平度数值与走刀量的关系，对于淬火鋼(曲线3)和对于未淬火鋼来说，基本上具有同样的特征。

曲线3的位置低于曲线1和2(在两种鋼的实验中，車刀实

实际上具有同样的刀尖圆角半径 $r \approx 1$ 毫米), 这就说明, 加工淬火钢比加工未淬火钢能够得到较高的表面光洁度。

表 56 走刀量对于表面光洁度的影响

走 刀 量 $s$  (毫米/转)	微观不平度的均方根差 $H_{CK}$ (微米)			
	横 向 型 面			纵向型面
	测 量		平均数据	
	I	II		
0.070	1.1	0.9	1.0	1.0
0.112	1.4	1.2	1.3	1.2
0.155	2.5	2.5	2.5	2.2
0.225	2.5	2.5	2.5	2.4
0.395	5.0	5.0	5.0	2.5
0.505	8.7	8.1	8.4	2.5

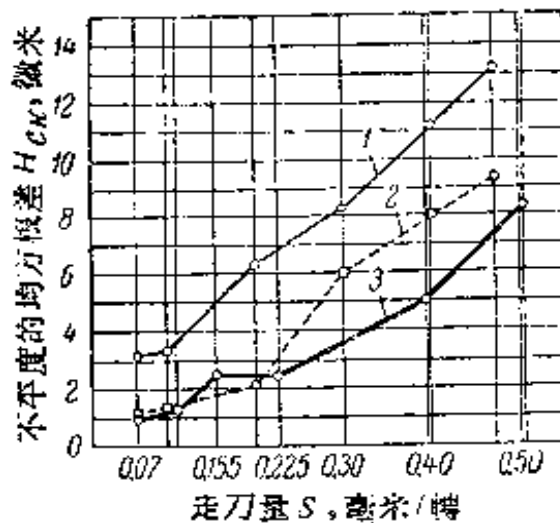


图 81 车削淬火钢和未淬火钢时, 走刀量 $s$ 对于已加工表面光洁度的影响。刀尖圆角半径 $r=1$ 毫米

1—未淬火40XH号钢,  $v=42.5$ 米/分;  
2—同上的钢,  $v=135$ 米/分; 3—硬度为  
 $H_{RC} = 59$ 的淬火钢,  $v=40$ 米/分 ( $\alpha=$   
 $6^\circ$ ,  $\gamma=-5^\circ$ ,  $\lambda=0^\circ$ ,  $\varphi=45^\circ$ ,  $\varphi_1=$   
 $15^\circ$ )

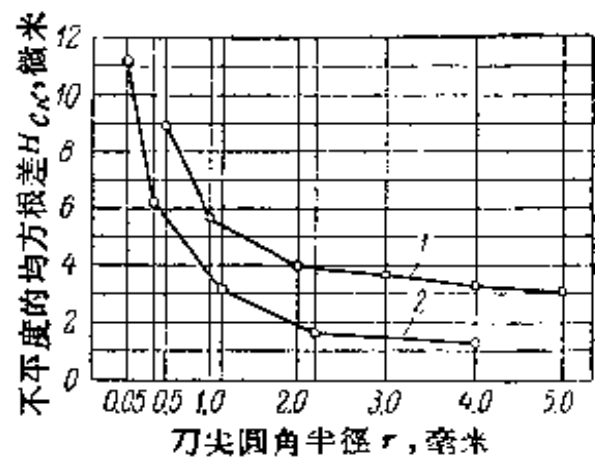


图 82 车削未淬火钢和淬火钢时, 刀尖圆角半径 $r$ 对于已加工表面光洁度的影响

1—未淬火 $\Theta H-107$ 号钢 ( $\alpha=8^\circ$ ,  $\gamma=15^\circ$ ,  
 $\varphi=45^\circ$ ,  $\varphi_1=15^\circ$ ,  $s=0.35$ 毫米/转,  
 $v=41.5$ 米/分); 2 硬度为 $H_{RC} = 59$ 的  
淬火钢 ( $\alpha=6^\circ$ ,  $\gamma=-5^\circ$ ,  $\lambda=0^\circ$ ,  $\varphi=$   
 $45^\circ$ ,  $\varphi_1=15^\circ$ ,  $s=0.155$ 毫米/转,  $v=$   
 $38$ 米/分)

对于硬度为  $H_{RC} = 59$  的鋼 B 來說，橫向粗糙度与走刀量之間可以用下列关系式联系起来：

$$H_{CK} = 15.5 \cdot s^{1.07} \quad (8)$$

**刀尖圓角半徑对于表面光洁度的影响** 表面是在下列切削用量下进行加工的： $t = 0.6$  毫米， $s = 0.155$  毫米/轉， $v = 38$  米/分。刀尖圓角半徑  $r$  从 0.05 变化到 4.0 毫米。 $r = 0.05$  毫米的車刀的刀尖曾經用油石稍稍修整。

实验結果(表57)証明，随着半徑  $r$  的增大，橫向型面中和縱向型面中的表面粗糙度都减小。

表 57 刀尖圓角半徑对于表面光洁度的影响

刀尖圓角半徑 $r$ (毫米)	微觀不平度的均方根差 $H_{CK}$ (微米)				
	橫 向 型 面			平均数据	縱向型面
	測 量				
	I	II	III		
4.00	1.4	1.2	1.2	1.3	1.0
2.20	1.5	1.8	1.8	1.7	1.0
1.15	3.4	3.1	3.1	3.2	2.0
0.35	6.2	6.2	—	6.2	3.3
0.05	11.2	11.2	—	11.2	5.1

图82說明，半徑  $r$  对于表面微觀不平度数值的影响特征，就淬火鋼和未淬火鋼來說，基本上是一样的。

对于淬火鋼 B 來說，橫向粗糙度与半徑  $r$  之間的关系可以用下列方程式来表示：

$$H_{CK} = \frac{2.8}{r^{0.63}} \quad (9)$$

**車刀前角对于表面光洁度的影响** 表面是在  $t = 0.6$  毫米、 $s = 0.307$  毫米/轉和  $v = 30$  米/分下进行加工的。車刀前角  $\gamma$  从  $+10^\circ$  变化到  $-12^\circ$ 。試驗結果如表58和图 83 所示。这曲綫沒有显示出前

角 $\gamma$ 与微观不平度高度之间的有规律的关系。在这些试验的具体条件下，是在 $\gamma = -5^\circ$ 时得到了 $H_{CK}$ 的最小值。

表 58 車刀前角 $\gamma$ 对于表面光洁度的影响

車刀前角 $\gamma^\circ$	橫向型面中的微观不平度的均方根差 $H_{CK}$ (微米)			平均数据
	I	II	III	
+10	4.0	3.7	—	3.9
+6	4.5	4.7	4.2	4.5
0	5.0	5.0	5.0	5.0
-5	3.2	3.5	3.1	3.3
-8	3.7	4.5	3.6	3.9
-12	5.2	5.4	4.9	5.2

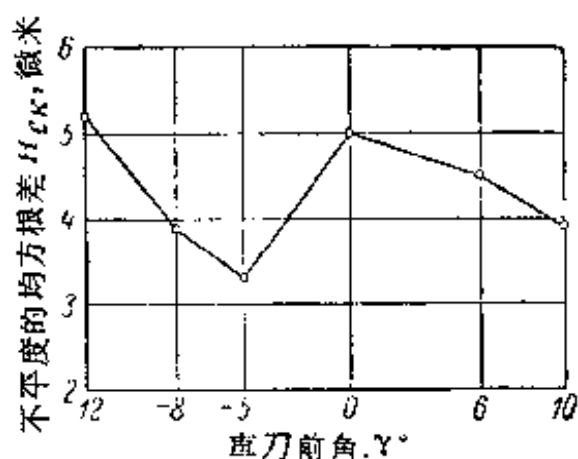


图 83 車刀前角 $\gamma$ 对于已加工表面光洁度的影响。車削硬度为 $H_{RC}=59$ 的鋼B， $t=0.6$ 毫米， $s=0.307$ 毫米/轉， $v=30$ 米/分。車刀的几何参数： $\alpha=6^\circ$ ， $\lambda=0^\circ$ ， $\varphi=45^\circ$ ， $\varphi_1=15^\circ$ ， $r=1.15$ 毫米

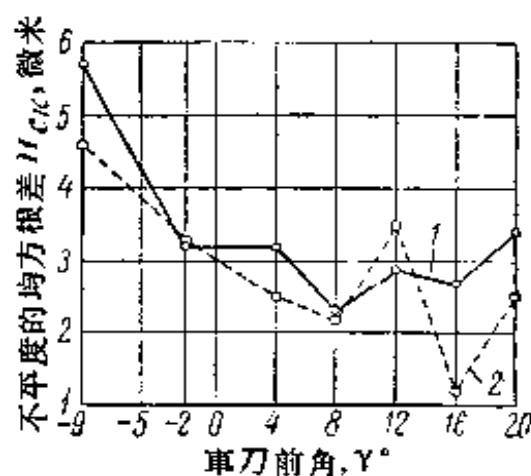


图 84 車刀前角 $\gamma$ 对于已加工表面光洁度的影响。車削未淬火ЭИ-107号鋼， $s=0.2$ 毫米/轉。車刀的几何参数： $\alpha=8^\circ$ ， $\varphi=45^\circ$ ， $\varphi_1=12^\circ$ ， $r=1$ 毫米  
1— $v=25.2$ 米/分；2— $v=141$ 米/分

A.И. 依薩叶夫<sup>[45]</sup>在研究某些牌号的未淬火鋼时，得到了相似的结果。对于ЭИ-107号鋼得到的实验数据，如图 84 所示。在前角 $\gamma$ 的負值区域内，随着其数值的减小，微观不平度数值就

稍微减小。

**装备車刀用硬质合金牌号对于表面光洁度的影响** 表面是在下列切削用量下进行加工的： $t=0.6$  毫米、 $s=0.155$  毫米/轉、 $v=30$  米/分。試驗过了下列牌号的硬质合金：BK6、BK8、BK12、T15K6和T21K8。

根据实验数据（表 59 和图 85），可以指出，鈦鎢类硬质合金（T15K6和T21K8）比鎢类硬质合金（BK6、BK8 和 BK12）給出的表面光洁度更高。对此可以这样来解釋：鈦鎢类硬质合金比鎢类硬质合金具有更高的硬度和耐磨性以及対切屑的粘 合 性 較 小。因此，鈦鎢类硬质合金車刀的切削刃能够較久地保持住本身在刃磨和研磨过程中所获得的形状。

**表 59 装备車刀用硬质合金牌号对于表面光洁度的影响**

硬质合金	微觀不平度的均方根差 $H_{cn}$ (微米)				纵向型面
	橫 向 型 面			平均数据	
	測 量				
牌 号	I	II	III		
BK6	2.7	2.7	—	2.7	2.0
BK8	2.5	2.5	—	2.5	1.9
BK12	3.5	3.7	3.6	3.6	2.2
T15K6	2.0	2.0	2.0	2.0	1.4
T21K8	2.5	2.2	—	2.3	1.7

**車刀的研磨对于已加工表面光洁度的影响** 試驗是用 T15K6 車刀来进行的，其切削部分的几何参数为： $\alpha=6^\circ$ ， $\gamma=-5^\circ$ ， $\lambda=0^\circ$ ， $\varphi=45^\circ$ ， $\varphi_1=15^\circ$ ， $r=1.15$  毫米。表面是在 $t=0.6$  毫米、 $s=0.155$  毫米/轉、 $v=30$  米/分下进行加工的。試驗結果列举在表 60 中。

可以看出，車刀的研磨能够提高已加工表面光洁度。

让我们来分析一下对于硬度为 $H_{RC}=59$  的淬火鋼的實驗数

据。在 $t=0.3$ 毫米、 $s=0.112$ 毫米/轉下， $H_{CK}$ 的18次测量的平均值为1.3微米；在某些情况下， $H_{CK}=0.9\sim 1.1$ 微米；在 $t=0.6$ 毫米、 $s=0.07$ 毫米/轉下， $H_{CK}=1.1$ 和0.9微米。这样的微观不平度数值符合于7級光洁度(ГОСТ 2789-51)，并且是处在靠近与8級光洁度交界的上限的地方。

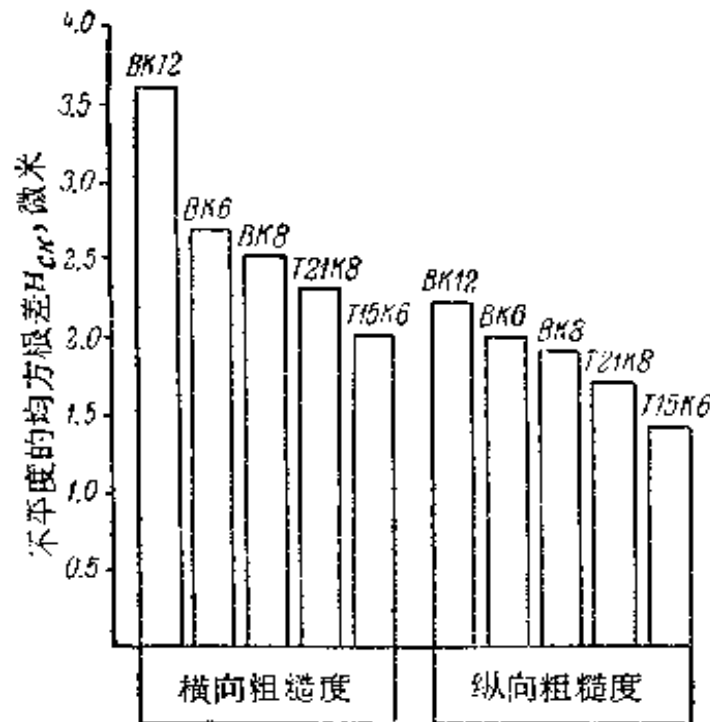


图 85 装备車刀用硬质合金牌号对于已加工表面光洁度的影响。  
 車削硬度为  $H_{RC} = 59$  的鋼B， $t=0.6$  毫米， $s=0.155$  毫米/轉， $v=30$ 米/分。車刀的几何参数： $\alpha=6^\circ$ ， $\gamma=-5^\circ$ ， $\lambda=0^\circ$ ， $\varphi=45^\circ$ ， $\varphi_1=15^\circ$ ， $r=1.15$ 毫米

表 60 車刀的研磨对于已加工表面光洁度的影响

車刀的状态	横向型面中的不平度的均方根差 $H_{CK}$ (微米)			平均数据
	测 量		平均数据	
	I	II		
未 研 磨	7.7	5.0	5.0	5.7
曾 研 磨	1.5	2.0	2.7	2.1
未 研 磨	2.3	5.4	5.4	4.4
曾 研 磨	2.7	4.2	—	3.4

显然，在走刀量小于 $s=0.07$ 毫米/轉下，可以得到 $H_{ck}<0.8$ 微米，即 $\nabla\nabla\nabla 8$ 級光洁度的表面，或精磨过的表面。要得到 $\nabla\nabla 5$ 和 $\nabla\nabla 6$ 的表面是没有困难的，因为在比較大的走刀量 $s$ （达 $0.3$ 毫米/轉）下，还可以达到 $H_{ck}=2\sim 3$ 微米。

对于硬度为 $H_{Rc}=59$ 的淬火鋼來說，在橫向微觀不平度高度 $H_{ck}$ 、走刀量 $s$ 和刀尖圓角半徑 $r$ 之間（走刀量在 $s=0.07\sim 0.505$ 毫米/轉的範圍內变化，而刀尖圓角半徑在 $r=0.05\sim 4.0$ 毫米的範圍內变化），存在着下列关系：

$$H_{ck} = \frac{19.1 \cdot s^{1.07}}{r^{0.63}} \text{ 微米。} \quad (10)$$

在用高速鋼車刀來車削未淬火碳鋼和鉻鋼時，為了近似地確定微觀不平度高度，金屬切削委員會<sup>[46]</sup>推薦採用公式：

$$H_{max} = \frac{0.21 \cdot s^{1.07}}{r^{0.63}} \text{ 毫米。} \quad (11)$$

根據方程式(10)來確定 $H_{ck}$ ，而根據方程式(11)來確定 $H_{max}$ 。為了比較這兩個公式，我們在方程式(10)中作出若干變換，假定 $H_{max}=4H_{ck}$ 。於是方程式得到如下形式：

$$H_{max} = \frac{19.1 \cdot 4 \cdot s^{1.07}}{1000 \cdot r^{0.63}} = \frac{0.076 \cdot s^{1.07}}{r^{0.63}} \text{ 毫米。} \quad (12)$$

可以看出，硬度為 $H_{Rc}=59$ 的淬火鋼的常數大約為未淬火鋼的常數的三分之一。

對於淬火鋼車削過程的其他研究工作，也証實了本書作者所得出的結論。H.C. 洛噶克<sup>[91]</sup>採用硬質合金T30K4車刀，在符合于車刀耐用度 $T=60$ 分鐘的切削速度下（ $t=0.2$ 毫米、 $s=0.1$ 毫米/轉），加工高硬度的鋼，得到了 $H_{ck}=0.6\sim 1.2$ 微米的表面，即 $7\sim 8$ 級光洁度（比較更接近8級光洁度）。H.C. 洛噶克在較大的走刀量下得到了較好的結果，對此的解釋是，他所用的是硬質合金T30K4車刀，而本書作者則是採用硬質合金T15K6車刀來進行自己的實驗。

E.A. 別洛烏索娃<sup>[30]</sup>採用中等的切削用量（ $t=1.0\sim 2.0$ 毫

米、 $s=0.15$  毫米/轉)車削高硬度的淬火鋼時，得到了7級表面光潔度；在較小的走刀量下，表面光潔度得到提高。已經確定，在其余加工條件相同時，當淬火鋼硬度提高洛氏(C制)10個單位時，微觀不平度高度就減小50%。

A. Д. 馬卡羅夫<sup>[24]</sup> 採用大走刀量(按柯列索夫法)車削硬度為 $H_{RC} = 60 \sim 64$  的淬火鋼，研究已加工表面光潔度得知，在採用副切削刃長度與走刀量的比值 $\frac{l}{s} > 5$  的車刀來工作時，當走刀量 $s=0.6 \sim 1.0$  毫米/轉，能夠可靠地保證獲得6級表面光潔度，當走刀量更小( $s=0.1 \sim 0.4$  毫米/轉)以及 $\frac{l}{s} = 8 \sim 10$  時，則保證獲得不低於7級的表面光潔度。

在車削未淬火鋼時，對於已加工表面光潔度影響最大的是切削速度 $v$ 、走刀量 $s$ 和刀尖圓角半徑 $r$ 。加工淬火鋼的特点是切削速度對於微觀不平度數值沒有影響。其余有關未淬火鋼已加工表面光潔度方面固有的一些基本規律性，都可以推廣應用到淬火鋼上面來。

### 表面金屬層的物理-機械性能

有關淬火鋼車削加工後表面層性能問題方面最初的一些研究工作，早就受到了注意。H. H. 謝耳康諾戈夫<sup>[25]</sup> 的實驗表明，硬度為 $H_{RC} = 61$  的淬火鋼在車削後，其表面金屬層的組織與原來的組織相比沒有發生變化，但其硬度則稍有提高。本書作者在自己的實驗中也觀察到了淬火鋼車削後表面層硬度的提高。

E. A. 別洛烏索娃<sup>[30]</sup> 在加工硬度為 $H_{RC} = 50 \sim 65$  的淬火鋼時所得研究數據，具有很大的意義。已經查明，在車削加工後，淬火鋼零件表面不但不失去淬火時所獲得的硬度，而且與此相反，硬度得到了提高——受到了冷作硬化(加工硬化)。冷作硬化層牢固地與基底母體金屬相連，其中沒有發生金相轉變。冷作硬化層的硬度從已加工表面上的最大值勻調地減小到淬火時獲得的原有值。冷作硬化層均勻地沿整個已加工表面分布，並且重複着



这表面的型面。冷作硬化的深度达到 100 微米，而冷作硬化的程度达到 1.1~1.4。

淬火鋼的硬度对于冷作硬化深度和程度的影响最大。随着車刀前角負值的增大，冷作硬化深度和程度就增大。前角  $\gamma$  从  $-5^\circ$  变化到  $-30^\circ$  就使表面层的显微硬度增大 10~15%，并且被加工材料原有硬度愈低則这种显微硬度的增大就表现得愈剧烈。

走刀量  $s$  对于冷作硬化深度和程度的影响很小。在整个走刀量的研究范围以内 ( $s=0.15\sim0.84$  毫米/轉)，对于硬度为  $H_{RC}=60\sim65$  的鋼來說，冷作硬化深度是 40~50 微米，而对于硬度为  $H_{RC}=50$  的鋼來說，这深度則是 80~100 微米。冷作硬化程度是在 10% 的范围内波动。

当切削速度  $v$  从 6 变化到 60 米/分的时候，冷作硬化深度的变化很小。对于硬度为  $H_{RC}=50$  的鋼來說，这深度是 80~100 微米，而对于硬度为  $H_{RC}=60$  的鋼來說，这深度則是 30~40 微米。这时，冷作硬化程度的变化是 10~30%。

冷作硬化层的特征是残余压应力达到 100~150 公斤/毫米<sup>2</sup>。受应力最大的是已加工表面的最外表层。朝着被加工零件的軸綫方向逐渐离开最外表层，残余应力就逐渐减小，而且到达深度为 100~150 微米时，残余应力就完全消失。

随着走刀量  $s$  增大成 5 倍时，残余应力就增大成 2~2.5 倍。切削速度对于残余应力的影响要小得多。切削速度  $v$  从 4 增大到 15 米/分，使残余应力减小 20%；切削速度继续增大到 100 米/分，对于残余应力沒有影响。

被加工材料原有硬度对于残余应力的影响很大。当淬火鋼硬度增大 10 个单位 (从  $H_{RC}=50$  增大到  $H_{RC}=60$ ) 时，表面层残余应力就增大成二倍。

当車刀前角  $\gamma$  在  $-8^\circ\sim-16^\circ$  范围内时，在零件表面层中就得到残余压应力。当負前角較小时，可能引起残余拉应力。

M.C. 施杰英別尔格<sup>[47]</sup>的实驗証明，車刀前角的变化不但影响到残余应力的大小和符号，而且在很大程度上也影响到残余应

力的分布深度。在切削速度 $v=75$ 米/分、切削深度 $t=0.5$ 毫米和走刀量 $s=0.5$ 毫米/轉的条件下，車削淬火45XHMΦA号鋼时，前角 $\gamma$ 的負值从 $-30^\circ$ 增大到 $-60^\circ$ ，就使得残余应力的分布深度从0.25增大到0.65毫米。

现在来叙述一下文献中关于未淬火鋼的数据。И.Е. 吉雅謙柯<sup>[48]</sup>的实驗証明(图86)，在車削未淬火45号鋼时，在走刀量 $s$ 大約增大成3.5倍的情况下(从0.23增大成0.76毫米/轉)，对于切削速度 $v=50$ 和100米/分來說，已加工表面的显微硬度提高了27%，而对于 $v=135$ 米/分來說，这显微硬度提高了33%，又对于 $v=170$ 米/分來說，这显微硬度則提高了39%。在这里可以查清切削速度对于最外表层金属冷作硬化程度的影响。例如，对于走刀量 $s=0.6$ 毫米/轉來說，当切削速度大約增大成3.5倍时，就使得已加工表面显微硬度增大了25%。

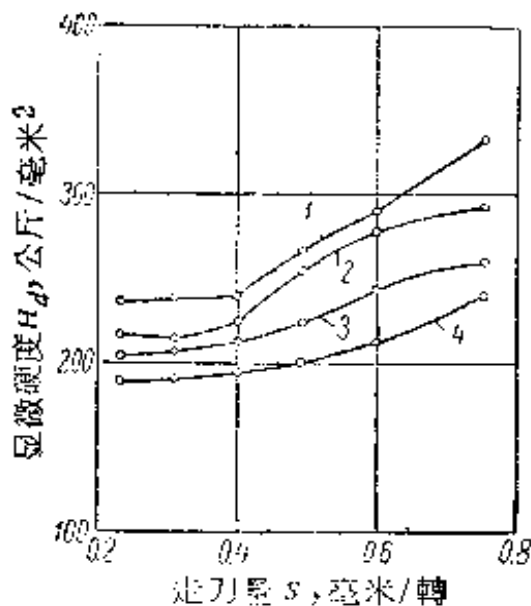


图 86 車削45号鋼时，走刀量 $s$ 、切削速度 $v$ 对于已加工表面显微硬度的影响

1— $v=170$ 米/分；2— $v=135$ 米/分；  
3— $v=100$ 米/分；4— $v=50$ 米/分

但是，对于未淬火45号鋼來說，当走刀量 $s$ 增大成3.5倍时，就使得冷作硬化程度增大了27~39%。

在探討切削速度对于冷作硬化程度的影响时，观察到了同样

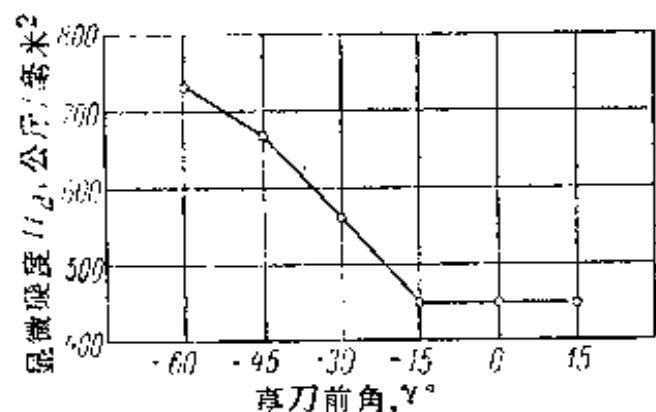


图 87 車刀前角 $\gamma$ 对于已加工表面显微硬度的影响

将这些数据与前述淬火鋼(硬度为 $H_{RC}=50\sim 65$ )的数据进行对比。对于淬火鋼來說，当走刀量 $s$ 增大成5.6倍时，冷作硬化程度的增大范围在10%以内；

特征的对比关系。实际情况是，对于淬火鋼來說，当切削速度增大成10倍时，冷作硬化程度的变化是10~30%；而对于未淬火鋼來說，当切削速度只增大成3.5倍时，冷作硬化程度就增大了25%。

由此可知，車削未淬火鋼时的已加工表面冷作硬化程度比車削淬火鋼时的大很多。这也被H.C.施杰英别尔格<sup>[47]</sup>关于車刀前角对于已加工表面显微硬度的影响的实验数据所证实。由图87可知，对于未淬火鋼來說，当前角的負值从 $-5^{\circ}$ 增大到 $-30^{\circ}$ 时，已加工表面的显微硬度就从450提高到550公斤/毫米<sup>2</sup>，即提高了23%；而对于硬度为 $H_{R_{0.2}}=50\sim 65$ 的淬火鋼來說，当前角 $\gamma$ 在同样范围内变化时，只使得显微硬度增大了10~15%（見167頁）。

为了評估車削后淬火鋼零件表面层的状态，与磨削进行对比是很有意思的。A.A.馬塔林<sup>[47]</sup>的研究証明，在磨削淬火鋼时，表面层中鋼的組織发生了显著的变化。由Y8号鋼的实验結果可知，在显微硬度較高的（800~1000公斤/毫米<sup>2</sup>）、厚度为4~6微米的外表层下面，經常有一显微硬度为500~700公斤/毫米<sup>2</sup>的回火金属层。

这回火金属层的厚度可以在0.02~0.20毫米范围内变化，与磨削用量有关。在回火层下面，显微硬度逐漸增大到被研究鋼的原有硬度，即800~850公斤/毫米<sup>2</sup>。

上述实验数据使人們可以作出結論，从已加工表面的强化的观点出发來說，車削淬火鋼比磨削淬火鋼能得出較好的結果。

現在來敘述殘余应力的問題。研究証明<sup>[47]</sup>，在車削未淬火鋼时，殘余应力在20~80公斤/毫米<sup>2</sup>范围内波动，而在使用已变鈍車刀來工作时就达到100公斤/毫米<sup>2</sup>。

殘余应力的分布深度是0.05~0.10毫米，而在采用較大的負前角（大約 $-30^{\circ}$ ）的車刀、以及較高的切削速度來工作时，这深度就可能达到0.65毫米。

II.E.吉雅謙柯和A.И.陀貝庚娜姬<sup>[47]</sup>的实验証明，在用正前角車刀和低切削速度（ $v=6\sim 20$ 米/分）來加工18XIIIIA号鋼时，

表面层中生成了残余拉应力。但是，随着切削速度的增大，拉应力的数值就减小，而在 $v=200\sim 250$ 米/分时，拉应力过渡成压应力。在用高切削速度( $v=500\sim 800$ 米/分)来工作时，18XHMA号钢表面层中发生残余压应力，其数值随着切削速度的提高而增大。

И.Е.吉雅谦柯和И.А.波陀先诺娃娅<sup>[47]</sup>在镗削30XFC号钢的实验中，得出了相似的结果。当切削速度从5增大到100米/分时，就使得残余拉应力的数值下降。当切削速度增大到200米/分时，残余拉应力就过渡成压应力，并且后者随着切削速度的继续提高而增大。

走刀量 $s$ 而尤其是车刀前角 $\gamma$ ，对于未淬火钢表面层残余应力发生显著的影响。И.С.施杰英别尔格<sup>[47]</sup>的实验证明，在切削深度 $t=0.5$ 毫米、切削速度 $v=100$ 米/分下，用 $\gamma=-30^\circ$ 的车刀来车削50号钢时，走刀量 $s$ 从0.1变化到0.5毫米/转就使得残余压应力从10增大到25公斤/毫米<sup>2</sup>，并且这种应力的分布深度则从0.17增大到0.35毫米。

由И.Е.吉雅谦柯和А.И.陀贝庆娜娅<sup>[47]</sup>车削18XHMA号钢的实验得知，尚在切削速度 $v=150$ 米/分时，负前角 $\gamma=-30^\circ$ 就能产生残余压应力，而在 $v=750$ 米/分、以及所有负前角数值下，表面层中都是产生残余压应力，只有在较大的正前角时才产生残余拉应力。

将淬火钢与未淬火钢进行对比表明，对它们来说，走刀量 $s$ 和车刀前角 $\gamma$ 对于残余应力的大小和符号的影响特征是一样的。对于这两种钢来说，当走刀量增大成5倍时，就使得残余应力发生几乎是同样程度的增大。车刀的负前角能够促使这两种钢表面层中得到残余压应力。

但是，淬火钢与未淬火钢完全不同的地方是，在车削淬火钢时表面层中得到残余压应力的切削速度下，未淬火钢中是产生残余拉应力。

### 車刀磨損对于加工精度的影响

車刀的尺寸磨損 $h_p$ ，即朝着垂直于被加工表面的方向測量到的車刀磨損，乃是影响到加工精度的因素之一。在采用較小的走刀量米精車淬火鋼时，加工的总誤差在很大程度上是取决于刀具的磨損。

应当区别开刀具磨損的起始区域、正常区域和快速区域（图 88）。在这三个区域内，磨損进行的規律是完全不同的。在区域 1 中比在区域 2 中，磨損进行得快很多。在区域 3 中，刀具磨損的行为較少确定。当到达刀具快速磨損区域时，已加工表面光洁度經常就急剧地恶化。

在精加工时，刀具耐用度由切削刃在金属中走过路程的长度（切削路程 $l$ ）米表达。

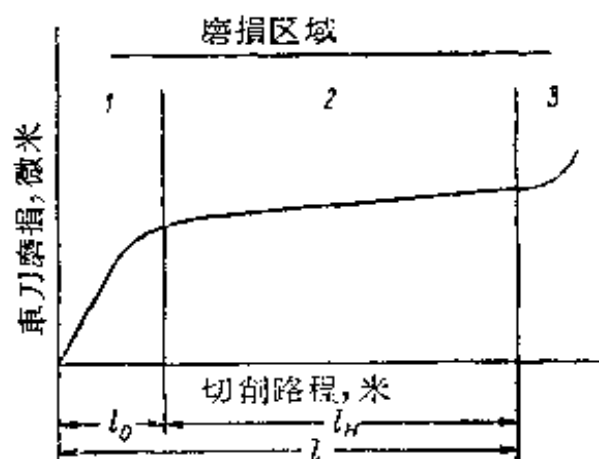


图 88 刀具磨損与切削路程的关系

切削路程按下列公式来计算：

$$l = v \cdot T \text{ 米,}$$

式中  $v$ ——切削速度(米/分)；

$T$ ——車刀工作持續時間(分)。

对于車削來說，切削路程也可以由下列方程式来确定：

$$l = \frac{\pi D}{1000} \cdot \frac{L}{s} \text{ 米,}$$

式中  $D$  和  $L$ ——加工直徑和长度(毫米)；

$s$ ——走刀量(毫米/轉)。

在区域 2 中(正常磨損区域)，磨損与切削路程的关系具有直綫性特征。这就使得可以引入“相对磨損”的概念：属于 1000 米切削路程的刀具尺寸磨損(微米)，称为相对磨損 $h_0$ ：

$$h_0 = \frac{1000 h_p}{l} \text{ 微米。}$$

表61中包含了本书作者在切削深度  $t=0.25$  毫米、走刀量  $s=0.053$  毫米/轉下，車削硬度为  $H_{RC}=65$  的鋼C时，所得車刀尺寸磨損問題方面的实验数据。鋼料划分成若干小圈带。在每两道相邻的小圈带之間都做出了退刀槽。在試驗以前，每一道小圈带都以較小的切削截面来进行了車光。实验是用研磨过的 T21K8 車刀来进行的，其几何参数如下： $\alpha=12^\circ$ ， $\gamma=-5^\circ$ ， $\lambda=0^\circ$ ， $\varphi=45^\circ$ ， $\varphi_1=15^\circ$ ， $r=1.3$  毫米。

表 61 車刀尺寸磨損的特征

实验 №	加工 直径 $D$ (毫米)	切削 速度 $v$ (米/分)	切削 持續 時間 $T$ (分)	从車刀边缘点 至核心的距离 (毫米)		車刀 尺寸 磨損 $h_p$ (微米)	切削 路程 $l$ (米)	車刀 相对 磨損 $h_0$ (微米)	車刀 磨損 速度 (微米/分)	零件直 徑增量 $\Delta D$ (微米/分)
				实验前	实验后					
1	174.2	10	110	3.805	3.769	36	1100	33	0.33	0.66
2	174.7	12	97	4.629	4.577	52	1160	45	0.54	1.08
3	176.5	14	73	5.000	4.950	50	1020	49	0.68	1.36
4	175.8	18	85	5.326	5.226	100	1530	65	1.18	2.36
5	173.55	22	30	4.285	4.233	52	660	79	1.73	3.46

将所得数据与文献中关于未淬火鋼的数据进行对比。研究〔49〕証实(图89和90)，在用硬质合金刀具精車結構鋼(45、OT5、40X号鋼等)时，在低切削速度区域内，車刀的相对磨損  $h_0$  很大。当切削速度提高时，相对磨損  $h_0$  就减小，并且在某一个最佳切削速度值时， $h_0$  达到最小。繼續增大切削速度，就会使  $h_0$  增大。

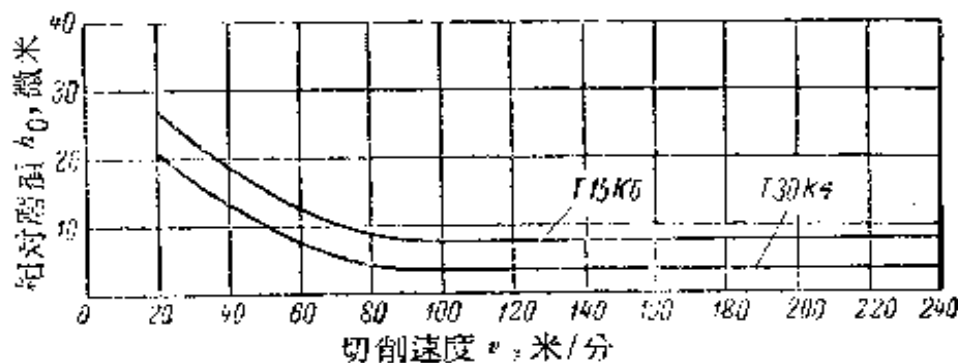


图 89 在車削退火状态的結構鋼时，車刀的相对磨損与切削速度的关系

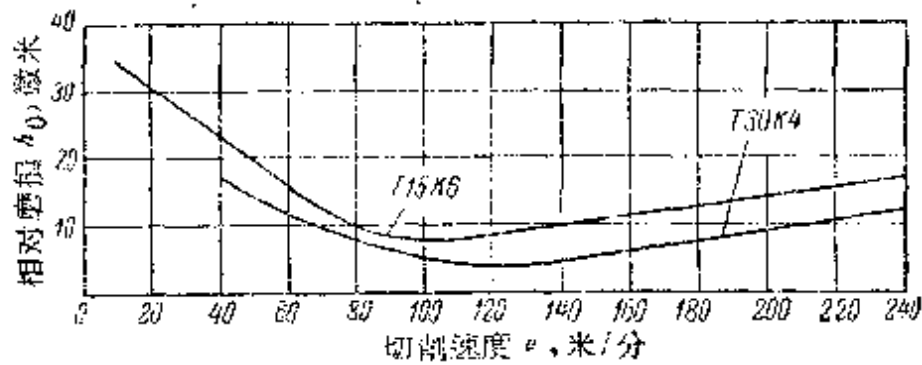


图 90 在车削调质状态的結構鋼时，車刀的相对磨損与切削速度的关系

在精車退火状态的上述鋼时，最佳切削速度是位于 $v=120\sim 240$ 米/分的范圍內(图 89)。这时，硬质合金 T15K6 刀具的最佳切削速度比硬质合金 T30K4 刀具的低。对于调质状态的同样的鋼來說，最佳切削速度在 $v=60\sim 120$ 米/分范圍內。在这里，也是硬质合金 T15K6 刀具的切削速度比 T30K4 刀具的低。

在采用最佳切削速度( $v=120\sim 240$ 米/分)来加工退火状态的上述未淬火鋼时，車刀的相对磨損 $h_0$ 是：硬质合金 T15K6 車刀的是 8 微米，而 T30K4 車刀的則是 4 微米。对于调质状态的同样的鋼來說(最佳切削速度范圍 $v=60\sim 120$ 米/分)，硬质合金 T15K6 車刀的相对磨損 $h_0$ 的变化如下：

$v$ (米/分)	$h_0$ (微米)
60	16
110	8
220	18

由表 61 可知，在車削硬度为 $H_{RC}=65$ 的淬火鋼时，相对磨損 $h_0$ 很大。它比加工未淬火鋼时車刀所特有的磨損大好几倍。在切削速度的研究范圍內( $v=10\sim 22$ 米/分)，相对磨損随着切削速度的增大而增大。

随着淬火鋼硬度的下降，磨損 $h_0$ 就减小。我們回头看一下图

27。T21K8車刀耐用度  $T = 35$  分钟是符合于車刀后隙面磨損  $h = 0.3$  毫米。这实验是对于硬度为  $H_{RC} = 59$  的淬火鋼进行的， $t = 0.3$  毫米、 $s = 0.112$  毫米/轉、 $v = 56$  米/分，車刀的后角  $\alpha = 6^\circ$ 。車刀的尺寸磨損大約等于31微米：

$$h_p = h \cdot \operatorname{tg} \alpha = 0.3 \times 0.105 \times 1000 = 31 \text{ 微米。}$$

切削路程

$$l = v \cdot T = 56 \times 35 = 1960 \text{ 米。}$$

車刀的相对磨損

$$h_0 = \frac{1000 h_p}{l} = \frac{1000 \times 31}{1960} = 16 \text{ 微米。}$$

装备車刀用硬质合金的牌号对于尺寸磨損的影响很大。在加工未淬火鋼时，T30K4車刀的相对磨損是T15K6車刀的二分之一(图89和90)。

根据A.Д.馬卡罗夫的数据<sup>[24]</sup>，在車削淬火鋼时，硬质合金T30K4車刀对于T15K6車刀則有較小的优越性。这优越性由系数1.34表达出来。我們注意到，根据同样的数据，T30K4車刀对于BK8車刀的优越性則是由系数5.35来表达。

当以給定的走刀行程来完成精加工时，經常是必需同时保証很大尺寸表面的高光洁度和精度。在这种情况下，車刀是不允許停止的，以免在已加工表面上形成台阶。因此，在这里，选择耐磨性高的硬质合金是有重大意义的。耐磨性高的硬质合金能保証車刀在加工很大表面时的磨損最小，无需进行車刀尺寸的中間調节。

在給定精度下，无需进行車刀尺寸調节时的可能(允許)加工长度，具有实际意义。这长度按下列公式确定：

$$L = \frac{\delta D}{\Delta D} \cdot \frac{1000 \cdot v \cdot s}{\pi D} \text{ 毫米，}$$

式中  $\delta D$ ——給定公差(微米)。

讓我們来确定直徑为  $D = 200$  毫米、硬度为  $H_{RC} = 65$  的淬火鋼的加工长度。切削速度  $v = 14$  米/分，走刀量  $s = 0.1$  毫米/轉。



給定 2 級和 3 級精度。在第一种情況下公差 (對於  $D=200$  毫米來說)  $\delta D=30$  微米，在第二種情況下—— $\delta D=90$  微米。

由表 61，採取  $\Delta D=1.36$  微米，於是：

在第一种情況下

$$L = \frac{30}{1.36} \times \frac{1000 \times 14 \times 0.1}{3.14 \times 100} \approx 50 \text{ 毫米};$$

在第二種情況下

$$L = \frac{90}{1.36} \times \frac{1000 \times 14 \times 0.1}{3.14 \times 100} \approx 150 \text{ 毫米}。$$

可以看出，由於尺寸磨損較大，不進行車刀尺寸中間調節時的加工長度是很小的。這個計算是對於硬質合金 T21K8 車刀作出的。T30K4 車刀的相對磨損則至少可減小成  $1/1.5$ ，因此，加工長度  $L$  就分別地成為 75 和 225 毫米。

由車刀磨損來決定的、圓筒表面的形狀誤差 (圓錐度) 吞沒了第一種情況下 2 級精度的、以及第二種情況下 3 級精度的整個公差。實際上呢，除刀具磨損外，還有其他因素影響到加工精度。

由此得出結論，在車削高硬度淬火鋼時，保證 2 級精度是極其困難的，並且只有在加工長度很短的情況下才是可以實現的。保證 3 級精度則可以在較大的加工長度下實現。

隨着淬火鋼硬度的下降，刀具的相對磨損就減小，而不進行車刀中間調節時的可能加工長度則增大。根據實驗數據，對於硬度為  $H_{RC}=48 \sim 52$  的淬火鋼來說<sup>[21]</sup>，在切削速度  $v_{c0}=80$  米/分 and 走刀量  $s=0.1$  毫米/轉下，用 T30K4 車刀來工作時，對於直徑為  $D=200$  毫米的零件的可能加工長度是  $L=400$  毫米。這時，車刀的尺寸磨損不超出 2 級精度公差的一半的限度。

## 結 論

1. 車削淬火鋼的過程的特点是能得到高光潔度的表面。在用較小的走刀量來加工高硬度的淬火鋼時，能得到相當於精磨出來的表面 (8 級光潔度——ГОСТ 2789-51)。在較大的走刀量下 (達

$s=0.3$  毫米/轉), 則得到相当于粗磨的表面。

2. 随着淬火鋼硬度的提高, 所得已加工表面光洁度就提高。为了得到給定的表面光洁度等級, 对于淬火鋼比对于未淬火鋼要来得容易些。

3. 用中等的走刀量数值 ( $s=0.15\sim 0.3$  毫米/轉) 車削淬火鋼时, 可以代替粗磨; 而用較小的走刀量 ( $s\leq 0.1$  毫米/轉) 时, 則可代替精磨。

采用某种一定几何参数的車刀时, 在較大的走刀量下进行車削也可以代替粗磨, 同时保證得到較高的加工生产率。

4. 在車削淬火鋼时, 切削速度的变化对于表面粗糙度沒有影响。

前角  $\gamma$  值对于表面光洁度不发生重大的影响。装钎 钴 鎢 类硬质合金的車刀加工所得的光洁度較高。在这方面, 硬质合金 T30K4 比 T15K6 更为优越。車刀的新磨能提高加工表面的光洁度。在車削淬火鋼时, 横向粗糙度大于纵向粗糙度。

5. 在車削淬火鋼时, 表面金属层受到强化(冷作硬化)。强化层牢固地与母体金属相連; 强化层中沒有发生組織轉变。强化层的硬度从已加工表面上的最大值勻調地减小到金属在淬火时所获得的原有值。

車刀前角  $\gamma$  和被加工材料硬度对于冷作硬化深度和程度的影响最大。随着負前角  $\gamma$  数值的增大和淬火鋼硬度的减小, 冷作硬化深度和程度就增大。走刀量和切削速度对于冷作硬化深度和程度的影响很小。

6. 在加工淬火鋼时的已加工表面冷作硬化程度比加工未淬火鋼时的小得多。

7. 强化层的特征是产生残余压应力。外表金属层所受应力最大。从外表层朝着被加工零件軸綫方向逐渐深入进去时, 残余应力就逐渐减小, 并且在深度达到  $0.1\sim 0.15$  毫米时残余应力就完全消逝。

残余应力随着走刀量和淬火鋼硬度的增大而增大。与此相

反，切削速度对于残余应力的影响是不显著的。

8. 車刀的負前角会促进在表面层中得到残余压应力。

9. 在比較低的切削速度下車削淬火鋼时，在表面层中就会得到残余压应力，而对于未淬火鋼这时則是引起残余拉应力。

10. 在加工淬火鋼时，車刀的相对磨損很大，大大超过在加工未淬火鋼时的磨損。随着淬火鋼硬度的下降，車刀的相对磨損就减小。

切削速度以及装备車刀用硬质合金牌号对于車刀相对磨損的影响較大。相对磨損随着切削速度的提高而增大。鈦錳类硬质合金的相对磨損比錳类硬质合金的小得多。从磨損的观点出发，硬质合金 T30K4 比其余牌号的鈦錳类硬质合金来得优越。

11. 在車削淬火鋼时，由車刀磨損来决定的、已加工圓筒形表面的圓錐度是很大的。对于硬度为  $H_{RC} = 65$  的鋼來說，当加工直徑为 200 毫米时，在加工长度 75 毫米上的圓錐度吞沒了 2 級精度的整个公差（不进行車刀尺寸的中間調节），而在加工长度 225 毫米上則吞沒了 3 級精度的公差。

随着被加工鋼硬度的下降，刀具的相对磨損就减小，并且就更容易得到較高的加工精度。

除刀具磨損外，还有許多別的因素影响到加工誤差。因此，在車削高硬度淬火鋼时，为了得到 2 級和 3 級加工精度，只有在加工长度不大时才能实现（其中，2 級精度时的加工长度要求更短些）。

## 18. 橫向特形車削

用硬质合金車刀进行淬火鋼的橫向特形車削有很大的困难。在取下寬而薄的金属层时发生强烈的振动，使車刀提前磨鈍、切削刃崩刃、硬质合金刀片崩角。

根据对于鋼的車削过程的一系列的研究，可以认为，如果将电流引入切削区域，則淬火鋼的特形車削的条件就显得更可靠些。

A. B. 亚兰季叶夫<sup>[50]</sup>进行了这样的研究。他对于硬度为  $H_{R0} = 60 \sim 62$  的淬火 IX15 号钢进行了横向特形车削，同时向切削区域输入了低压电流。

实验是用硬质合金车刀来做的，其切削刃拥有半圆形状，半径  $R = 8$  毫米(图91)。在特殊设计的卡具上(«伊里奇»工厂生产的)刃磨车刀。这卡具装在万能刃磨机床上，能保证沿车刀整个型面的

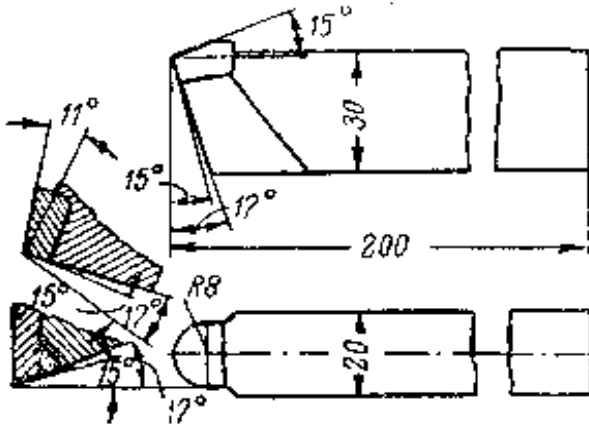


图91 硬质合金特形车刀

后角恒定。实验利用了经过改装的车床，其中心高  $H = 210$  毫米，并由可调节的直流电动机(其功率  $N = 8$  千瓦、 $n = 1560$  转/分)来拖动。为了向切削区域输入低压电流，采用了 HДШ1500/750 型发电机( $N = 9$  千瓦、 $n =$

970 转/分、 $V = 6 \sim 12$  伏、 $I = 1500/750$  安)，附有调节电压用的变阻器。

A. B. 亚兰季叶夫得出了下述结论。

1. 在切削速度  $v = 25$  米/分、走刀量  $s = 0.027$  毫米/转下工作时，在试验过的硬质合金 T5K10、T15K6、BK6 和 BK8 之中，对抗崩刃比较稳定和可靠的是硬质合金 BK6。由于把低压电流输入切削区域，使得车刀崩刃的次数减少了。

2. 当切削速度  $v = 18 \sim 19$  米/分、走刀量  $s = 0.03$  毫米/转、电流  $I = 600$  安、以及后隙面磨损  $h = 0.36$  毫米时，是以前角  $\gamma = -15^\circ$  的车刀的耐用度为最长(图92)。

采用  $\gamma = -10^\circ$  的车刀来工作是不可能的，因为这时硬质合金刀片切削刃上发生崩落。

如果沿切削刃型面的后角具有变化的数值，那末就会发生强烈的振动，并且车刀提前磨钝。

3. 对于每一切削用量来说，都有其最佳电流。在最佳电流下，车刀耐用度最长(图93)。

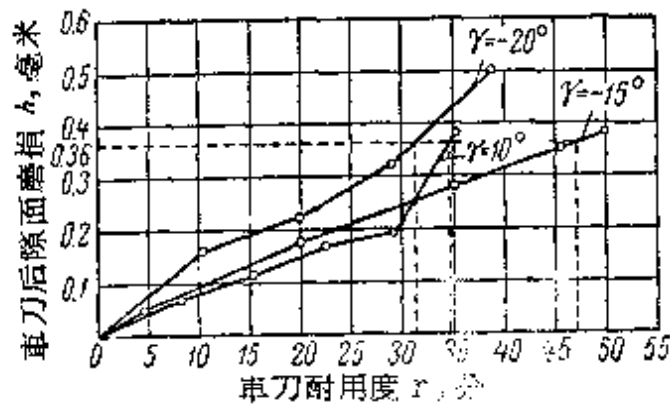


图 92 硬质合金BK6車刀前角对于車刀后表面磨損的影响。对于硬度为 $H_{RC}=60\sim 62$ 的淬火MnX15号鋼进行特形車削

4. 向切削区域輸入低压最佳电流，可以使得切削过程具有稳定性。因此，車刀耐用度提高成1.5~2.5倍。
5. 最佳电流随着切削速度的增大而下降(图94)。
6. 向切削区域輸入低压最佳电流，可以扩大无振动加工区

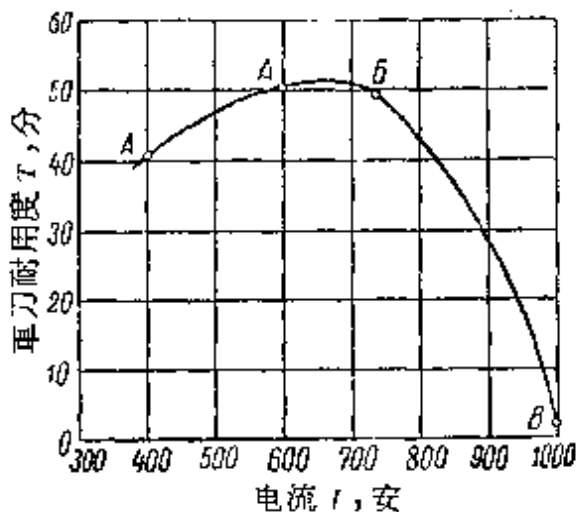


图 93 在进行横向特形車削硬度为 $H_{RC}=60\sim 62$ 的淬火MnX15号鋼时，輸入切削区域的电流对于硬质合金BK6車刀耐用度的影响。 $v=19$ 米/分， $s=0.027$ 毫米/轉，施用冷却  
A—强烈振动，不可能工作，但切削刃完整；B—車刀可以继续工作；B—切削刃熔化

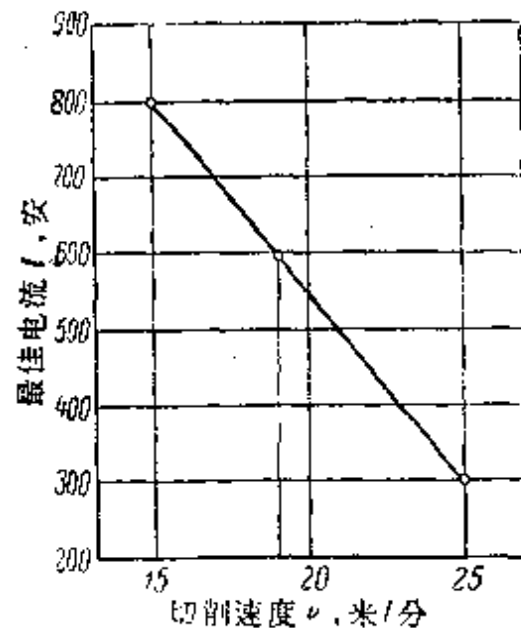


图 94 在进行横向特形車削硬度为 $H_{RC}=60\sim 62$ 的淬火MnX15号鋼时，切削速度对于最佳电流的影响。走刀量 $s=0.027$ 毫米/轉，施用冷却

域，并且可以提高按車刀磨鈍准則来采用的、車刀后隙面磨損的允許值(图95)。

7. 在进行高硬度淬火鋼的特形車削时，由于向切削区域輸入最佳电流，可使已加工表面光洁度提高一級：从7級提高到8級(图96)。

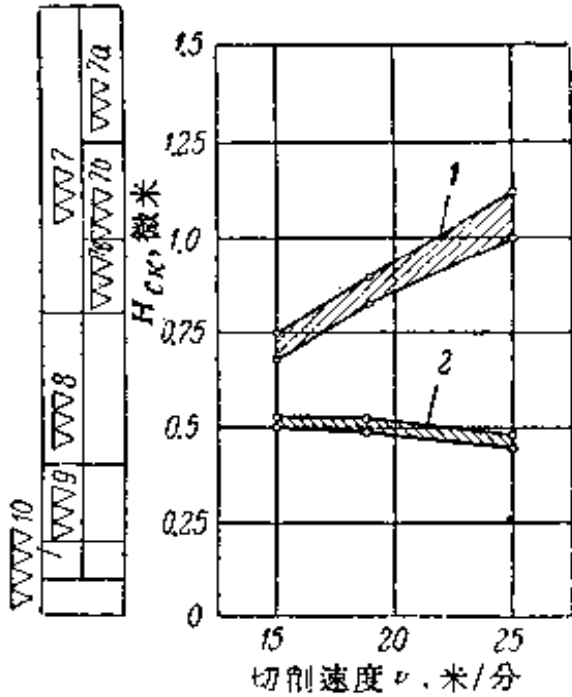
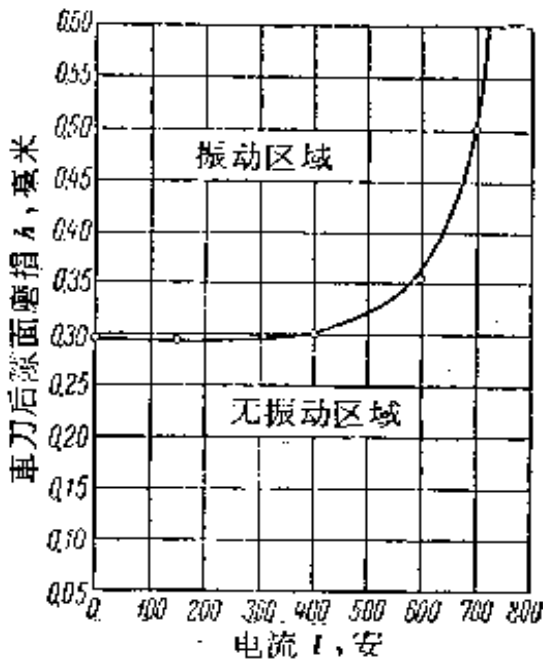


图 95 在无振动下工作时，电流对于車刀后隙面允許磨損值的影响。横向特形車削硬度为  $H_{RC} = 60 \sim 62$  的淬火 III X 15 号鋼 ( $v = 19$  米/分， $s = 0.027$  毫米/轉， $\alpha = 15^\circ$ ， $\gamma = -15^\circ$ )

图 96 在进行硬度为  $H_{RC} = 60 \sim 62$  的淬火 III X 15 号鋼的横向特形車削时，切削速度对于已加工表面光洁度的影响

1—在没有电流的情况下工作；2—在向切削区域輸入低压最佳电流的情况下工作

在沒有电流的情况下工作时，随着切削速度  $v$  从 15 增大到 25 米/分，表面光洁度就降低了一級。在向切削区域輸入最佳电流的情况下工作时，随着切削速度在同样范围内的变化，表面光洁度实际上不变，并且是符合于 8 級。

在沒有电流、以及电流过大的情况下工作时，車刀后隙面磨損就急剧增大，致使已加工表面光洁度下降。

8. 在进行高硬度淬火鋼的特形車削时，徑向力与切向力的比值  $P_y/P_z$  随着走刀量的增大而增大(图 97)。随着这个比值的增

大，切削过程在发生振动方面的不稳定性就加剧。

对于硬度为  $H_{RC} = 60 \sim 62$  的淬火 IIIX15 号钢来说，实验数据给出了下列切削力  $P_z$  和  $P_y$  与横向走刀量  $s$  的关系：

$$P_z = C_z \cdot s^{0.5},$$

$$P_y = C_y \cdot s_0$$

横向走刀量对于力  $P_y$  的影响大于对于力  $P_z$  的影响。

根据 Г. Н. 季托夫<sup>①</sup> 的数据，对于未淬火 IIIX15 号钢来说，这些力与走刀量的关系具有如下的形式：

$$P_z = C_z \cdot s^{0.75},$$

$$P_y = C_y \cdot s^{0.65}。$$

在这场合里，走刀量对于两种力的影响几乎是同样的。

在进行未淬火钢的特形车削时，增大走刀量就能促使机床-零件-刀具系统的振动消除。而在加工淬火钢时，则与此相反，增大走刀量就会使振动的强烈度急剧地增大。因此，与加工未淬火钢相反，在进行淬火钢的特形车削时，将横向走刀量减小到一定数值，就能获致切削过程的稳定性。

观察切削力的比值  $\frac{P_y}{P_z} = \frac{C}{s^{0.1}}$  (对于未淬火 IIIX15 号钢) 以

及  $\frac{P_y}{P_z} = C \cdot s^{0.5}$  (对于硬度为  $H_{RC} = 60 \sim 62$  的淬火 IIIX15 号钢)，

可知：在加工未淬火钢时比值  $P_y/P_z$  随着横向走刀量的增大而稍微减小，而在切削淬火钢时比值  $P_y/P_z$  则随着横向走刀量的增大

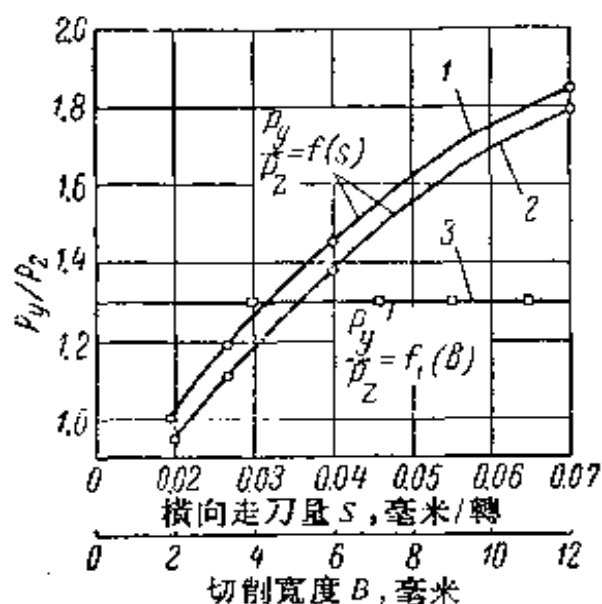


图97 切削分力的比值  $P_y/P_z$  与横向走刀量  $s$ 、切削宽度  $B$  的关系

1— $v=19$ 米/分， $B=11.2$ 毫米；2— $v=25$ 米/分， $B=11.2$ 毫米；3— $v=19$ 米/分， $s=0.027$ 毫米/转

<sup>①</sup> Титов Г. Н., Расчет профилей и режима работы фасонных резцов, Машгиз, 1941。

而显著增大。 $P_y/P_z = f(s)$  关系特性可以作为淬火钢横向特形车削过程稳定性的准则。

研究证明, 向切削区域输入电流能够促使切削力 $P_y$ 和 $P_z$ 的振幅减小。在最佳电流 $I = 600 \sim 800$ 安下工作时, 可以使力 $P_y$ 的振幅减小33~44%; 这时, 这力的平均值也略有下降。

### 19. 用陶瓷车刀车削

陶瓷刀片IM-332具有很高的切削性能并且在耐热性方面比良好牌号的钛钨类硬质合金还更优越, 这就使得在加工淬火钢时也可以应用这种新刀具材料。在工业上已经有了一些成功地利用陶瓷刀具来车削淬火钢的例子。B.И. 齐哈列夫的研究工作<sup>[51]</sup>, 给出了有关刀具几何参数、耐用度关系、以及利用瓷刀进行淬火钢切削加工过程方面若干其他问题上的必要概念。下面叙述这项研究工作的一些基本结论。

1. 在车削高硬度( $H_{RC} = 50 \sim 59$ )淬火钢时, 陶瓷车刀IM-332的磨损是在前倾面上形成月牙窝而同时又在后隙面上形成磨损面积。

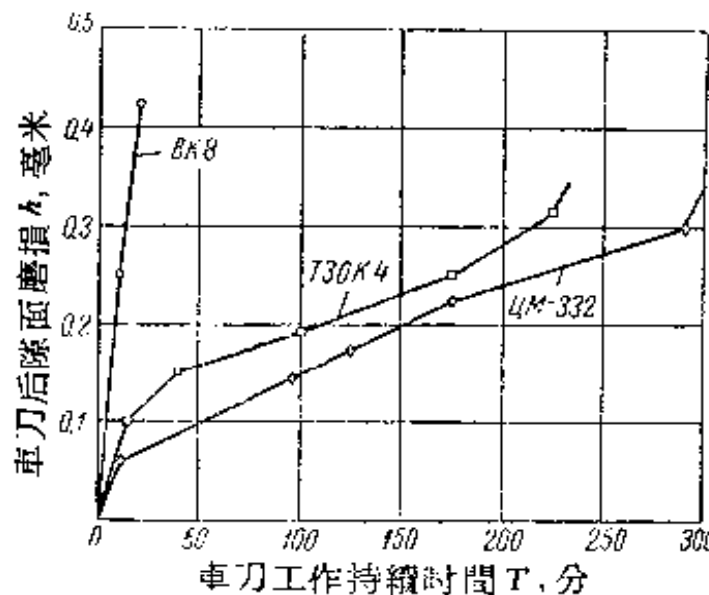


图 98 车刀后隙面磨损与车刀工作持续时间的关系。车削硬度为 $H_{RC} = 54$ 的淬火钢, 切削用量:  $f = 0.75$ 毫米、 $s = 0.102$ 毫米/转、 $v = 50$ 米/分。刀具切削部分几何参数:  $\alpha = 15^\circ$ ,  $\gamma = -5^\circ$ ,  $\lambda = 0^\circ$ ,  $\varphi = 30^\circ$ ,  $\varphi_1 = 15^\circ$ ,  $r = 1.5$ 毫米



2. 陶瓷車刀的磨損曲綫与硬质合金車刀的磨損曲綫具有同样的特征 (图98)。在陶瓷車刀的磨損曲綫上, 可以划分出起始、正常和快速磨損段落。

3. 在車削硬度为  $H_{RC} = 52 \sim 54$  的淬火鋼时, 前角  $\gamma = -5^\circ$  的車刀的耐用度最长 (图99)。  $\gamma = +5^\circ$  的車刀工作平稳, 其后隙面磨損进行得很均匀。但是这时切削刃发生了强烈的崩刃。在較大的負前角下, 就会发生振动。

4. 車刀耐用度随着后角  $\alpha$  的增大而提高 (图100)。推荐采用后角不大于  $\alpha = 15^\circ$ , 因为在  $\alpha = 18^\circ$  时切削刃发生了提前崩角。

5. 随着主偏角  $\varphi$  从  $20^\circ$  增大到  $60^\circ$ , 車刀耐用度就下降 (图101)。推荐采用  $\varphi = 30^\circ$ 。在  $\varphi < 30^\circ$  以及机床-零件-刀具系統的刚度不足时, 就会发生振动, 使得車刀切削刃崩刃。

6. 刀尖半徑  $r$  的数值对于車刀耐用度发生重大的影响 (图102)。在較小的  $r$  下, 后隙面磨損进行得不均匀, 而是优先集中在刀尖上发生磨損。应当采取  $r = 1.5 \sim 2.0$  毫米。

7. 对于IM-332陶瓷車刀来說, 是存在着最佳切削速度的, 其水准取决于淬火鋼的硬度。例如, 硬度为  $H_{RC} = 53 \sim 55$  的鋼的最佳切削速度范围是  $v = 45 \sim 60$  米/分 (图103)。离开这个范围, 切削速度偏低或偏高的話, 都会使車刀耐用度急剧下降。

对于硬度为  $H_{RC} = 57 \sim 59$  的淬火鋼来說, 最佳切削速度范围是  $v = 20 \sim 30$  米/分 (图104)。

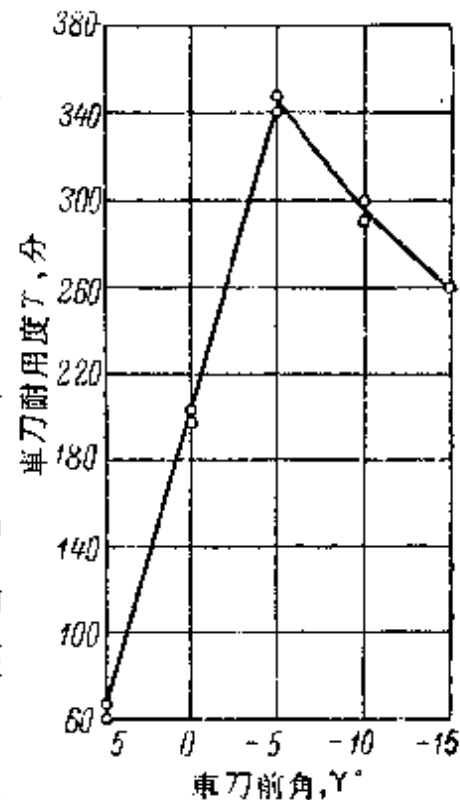


图99 前角对于陶瓷車刀耐用度的影响。車削硬度为  $H_{RC} = 52 \sim 54$  的淬火鋼,  $t = 0.75$  毫米、 $s = 0.102$  毫米/轉、 $v = 70$  米/分。車刀几何参数:  $\alpha = 9^\circ$ ,  $\varphi = 45^\circ$ ,  $\varphi_1 = 15^\circ$ ,  $\lambda = 0^\circ$ ,  $r = 1.5$  毫米。車刀后隙面磨損  $h = 0.4$  毫米

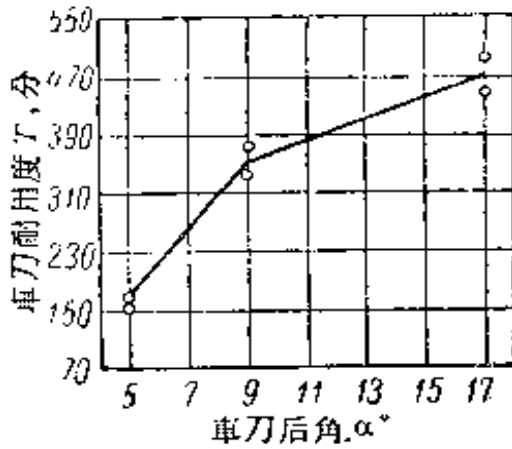


图 100 后角对于陶瓷車刀耐用度的影响。車削硬度为  $H_{RC}=51\sim 53$  的淬火鋼， $t=0.75$  毫米、 $s=0.102$  毫米/轉、 $v=70$  米/分。車刀几何参数： $\gamma=-5^\circ$ ， $\lambda=0^\circ$ ， $\varphi=45^\circ$ ， $\varphi_1=15^\circ$ ， $r=1.5$  毫米。車刀后隙面磨損  $h=0.4$  毫米

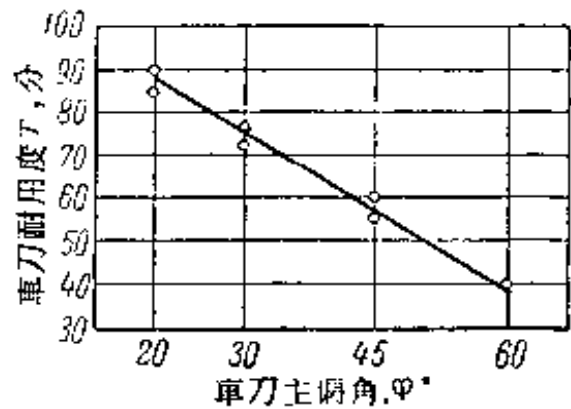


图 101 主偏角对于陶瓷車刀耐用度的影响。車削硬度为  $H_{RC}=51\sim 53$  的淬火鋼，切削用量： $t=0.75$  毫米、 $s=0.102$  毫米/轉、 $v=100$  米/分。刀具切削部分几何参数： $\alpha=15^\circ$ ， $\gamma=-5^\circ$ ， $\lambda=0^\circ$ ， $\varphi_1=15^\circ$ ， $r=1.5$  毫米

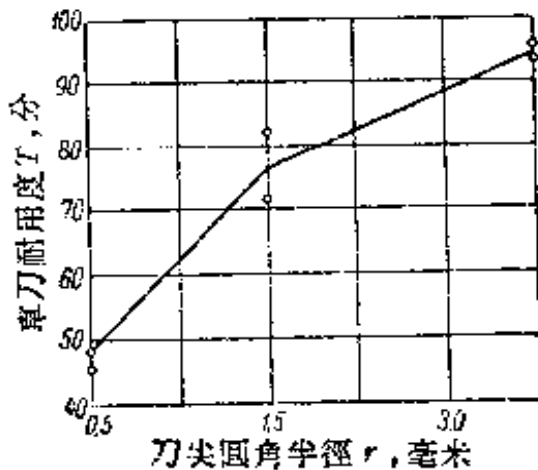


图 102 刀尖圆角半径对于陶瓷車刀耐用度的影响。車削硬度为  $H_{RC}=51\sim 53$  的淬火鋼， $t=0.75$  毫米、 $s=0.102$  毫米/轉、 $v=100$  米/分。車刀几何参数： $\alpha=15^\circ$ ， $\gamma=-5^\circ$ ， $\lambda=0^\circ$ ， $\varphi=30^\circ$ ， $\varphi_1=15^\circ$

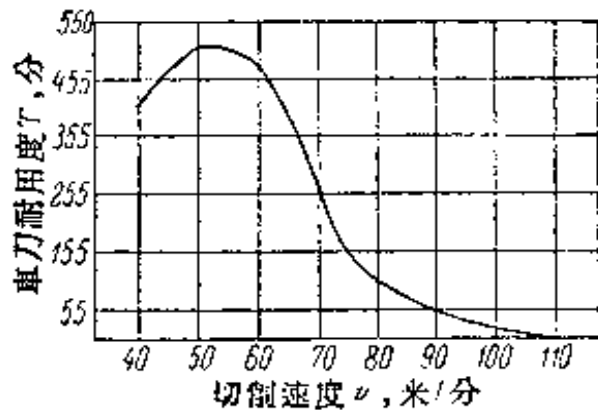


图 103 切削速度与陶瓷車刀耐用度的关系。車削硬度为  $H_{RC}=53\sim 55$  的淬火鋼， $t=0.75$  毫米、 $s=0.102$  毫米/轉。車刀几何参数： $\alpha=15^\circ$ ， $\gamma=-5^\circ$ ， $\varphi=30^\circ$ ， $\varphi_1=15^\circ$ ， $r=1.5$  毫米。后隙面磨損  $h=0.15\sim 0.35$  毫米

8. 切削速度与車刀耐用度的关系可由下列方程式来表示：  
在  $v=25 \sim 40$  米/分的範圍內

$$v = \frac{C_v}{T^{0.64}}$$

在  $v=40 \sim 50$  米/分的範圍內

$$v = \frac{C_v}{T^{0.10}}$$

9. 走刀量对于車刀耐用度发生重大的影响 (图105)。車刀耐用度与走刀量的关系, 由下列等式来表示:

$$T = \frac{C_s}{s^{1.21}}$$

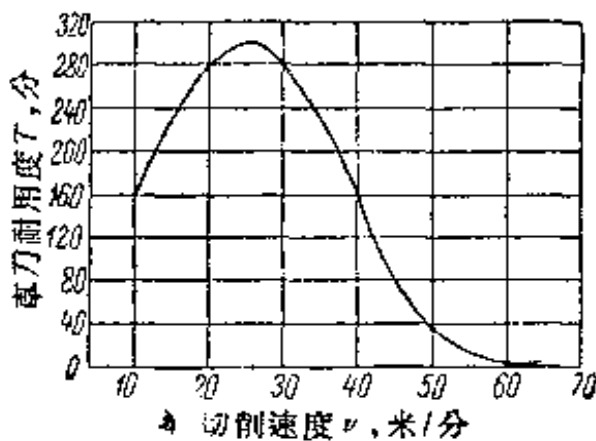


图 104 切削速度与陶瓷車刀耐用度的关系。車削硬度为  $H_{RC}=57 \sim 59$  的淬火鋼,  $t=0.75$  毫米,  $s=0.102$  毫米/轉。車刀几何参数:  $\alpha=15^\circ$ ,  $\gamma=-5^\circ$ ,  $\lambda=5^\circ$ ,  $\varphi=30^\circ$ ,  $\varphi_1=15^\circ$ ,  $r=1.5$  毫米。車刀后隙面磨損  $h=0.2$  毫米

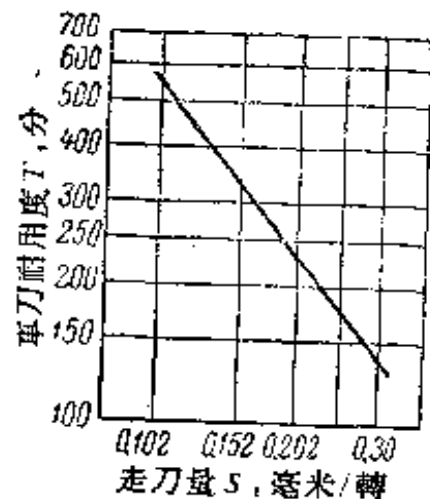


图 105 陶瓷車刀耐用度与走刀量的关系。車削硬度为  $H_{RC}=53 \sim 55$  的淬火鋼,  $t=0.75$  毫米,  $v=50$  米/分。車刀几何参数:  $\alpha=15^\circ$ ,  $\gamma=-5^\circ$ ,  $\lambda=5^\circ$ ,  $\varphi=30^\circ$ ,  $\varphi_1=15^\circ$ ,  $r=1.5$  毫米。車刀后隙面磨損  $h=0.3$  毫米

10. 图106上所示的图解, 說明了切削深度对于車刀耐用度的影响。当  $t=0.75$  毫米时, 可以得到最大的耐用度。当切削深度从  $t=0.75$  毫米减小时, 車刀耐用度就稍有下降; 而当切削深度从  $t=0.75$  毫米增大时, 車刀耐用度则急剧地下降。

車刀耐用度与切削深度的关系, 由下列等式来表示:

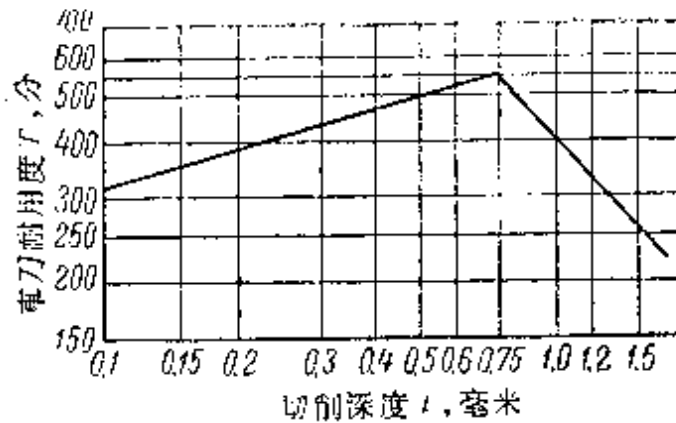


图 106 陶瓷車刀耐用度与切削深度的关系。車削硬度为  $H_{RC} = 53 \sim 55$  的淬火鋼， $s = 0.102$  毫米/轉、 $v = 50$  米/分。車刀几何参数： $\alpha = 15^\circ$ ， $\gamma = -5^\circ$ ， $\lambda = 5^\circ$ ， $\varphi = 30^\circ$ ， $\varphi_1 = 15^\circ$ ， $r = 1.5$  毫米。車刀后隙面磨損  $h = 0.3$  毫米

对于  $t = 0.1 \sim 0.75$  毫米來說

$$T = C_t \cdot t^{0.31},$$

对于  $t > 0.75$  毫米來說

$$T = \frac{C_t}{t^{1.14}}.$$

11. 在切削深度  $t < 0.75$  毫米下，用 ИМ-332 陶瓷車刀来精車淬火鋼，也是可能的。

12. 在同样的后隙面磨損数值下 ( $h = 0.3$  毫米)，在受試驗的刀具材料 ИМ-332、T30K4 和 BK8 中，以 ИМ-332 陶瓷車刀的耐用度为最长(图98)。

13. 用 ИМ-332 陶瓷車刀車削高硬度淬火鋼时所得加工精度和表面光洁度，与用硬质合金 T30K4 車刀加工这类鋼时所得到的相同。

## 20. 車削淬火鋼的若干实际問題

### 刀片在車刀上的封接和断屑問題

加工淬火鋼用車刀的结构特点是具有平前傾面，无倒棱或有倒棱，倒棱具有負前角，并且倒棱寬度比高速切削未淬火鋼用車刀的大得多(不小于 3 毫米)。

**硬质合金刀片在車刀上的封接角** 在使用負前角車刀的初期，硬质合金刀片是按所选定前角 $\gamma$ 的数值而固定在刀杆上。換句話說，如果选定了前角 $\gamma = -10^\circ$ ，那末刀杆上的槽也就銑成同样角度 $-10^\circ$ (图107a)。結果，在重磨(重新刃磨)車刀的前傾面时，就要沿硬质合金刀片的整个表面磨去厚度 $c$ 。

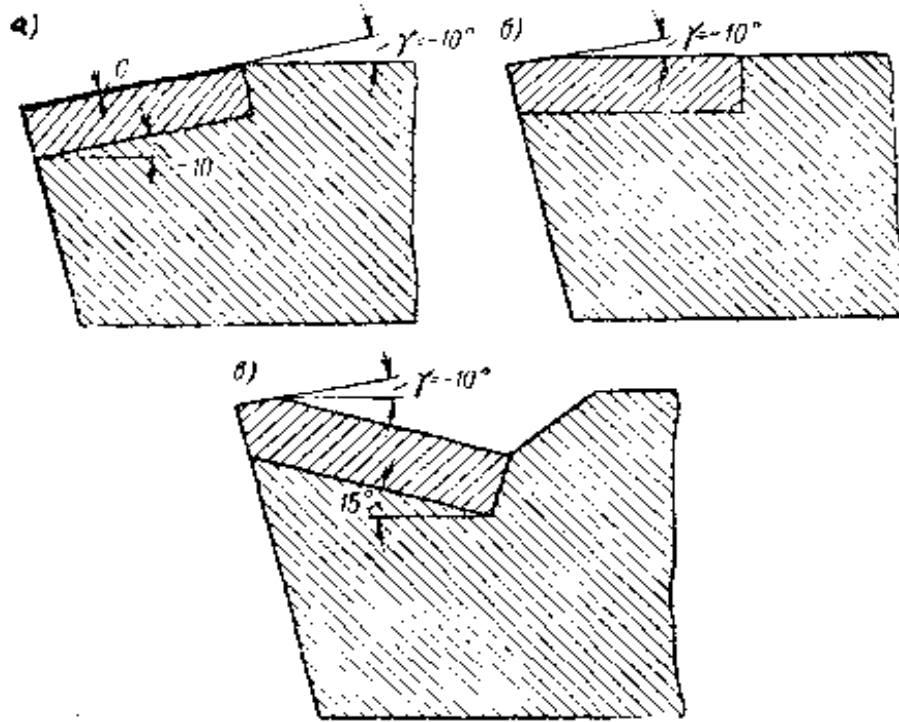


图 107 硬质合金刀片在車刀杆上的不同固定方式：a—平前傾面，沒有倒棱，前角 $\gamma = -10^\circ$ ；b—平前傾面，有倒棱，倒棱的前角磨成 $\gamma = -10^\circ$ ，硬质合金刀片固定在刀杆上成 $0^\circ$ 的角度；c—平前傾面，有倒棱，倒棱的前角磨成 $\gamma = -10^\circ$ ，硬质合金刀片固定在刀杆上成 $15^\circ$ 的角度

后来，具有平前傾面和倒棱的車刀得到了广泛的应用，并且硬质合金刀片固定在刀杆上成 $0^\circ$ 的角度(图107b)或成正前角的角度(图107c)，而倒棱則磨成所需的負前角 $\gamma$ 。

在加工鋼料时，硬质合金車刀的前傾面和后隙面发生磨損。因此，重磨車刀时要沿这两个刃面进行。在每次重磨时，沿前傾面取下硬质合金层的厚度等于月牙窩深度与研磨車刀时去除层厚度之和。沿后隙面取下硬质合金层包括車刀后隙面磨損以及研磨层厚度。

我們来研討一下硬质合金刀片固定在刀杆上的位置不同时，

重磨車刀的簡圖(圖108)。這是對於刀杆截面為 $16 \times 25$ 毫米以及符合於這刀杆截面的硬質合金刀片而繪制出來的，車刀在所有各次重磨之前都是達到同樣的變鈍程度。

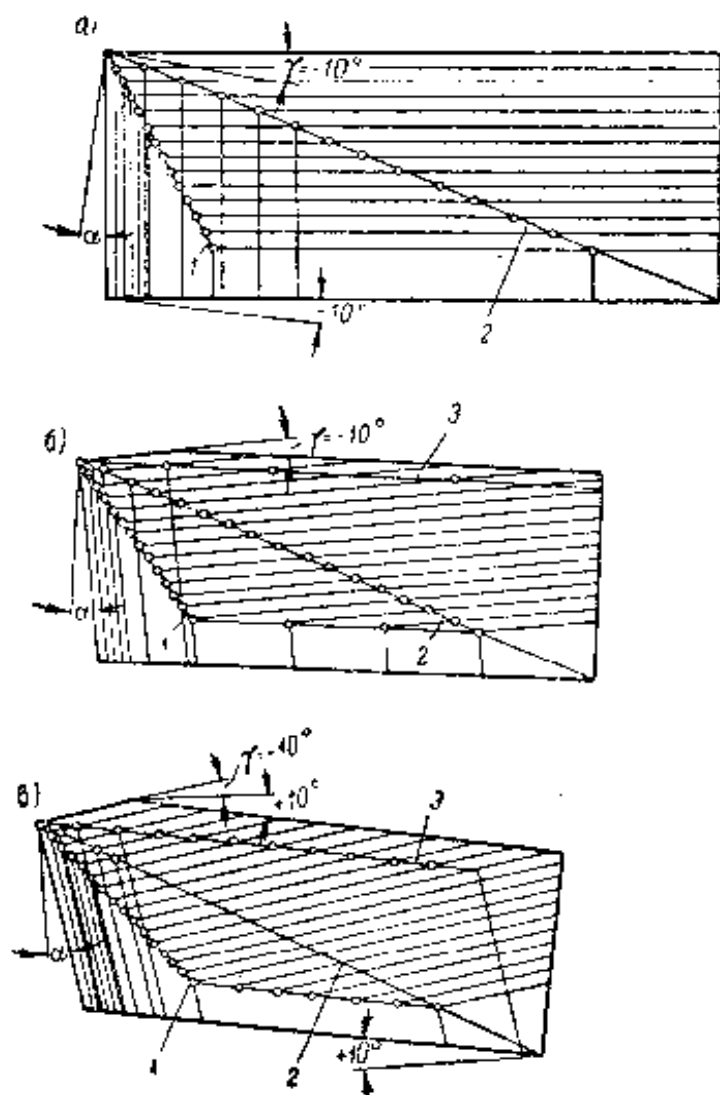


圖 108 負前角車刀的重磨簡圖

$a$ —硬質合金刀片固定在刀杆上成同樣的負前角的角度； $b$ —刀片固定在刀杆上成 $0^\circ$ 的角度； $c$ —刀片固定在刀杆上成正前角的角度

圖108a所示是具有平前傾面、沒有倒棱、前角 $\gamma = -10^\circ$ 的車刀的重磨簡圖。刀片固定在刀杆上的情況就象圖 107a 所示的一樣，即成相同的角度 $-10^\circ$ 。可以看出，允許重磨次數是13次，並且不論刃磨時是使刀尖位於直線 1 上或直線 2 (這是刀片橫截面的對角綫) 上，允許重磨次數乃是不變的。在第二種情況下進行重磨時，刀片的長度就急劇減小。

图1086所示是具有平前倾面、有倒棱、倒棱前角 $\gamma = -10^\circ$ 的车刀的重磨简图。刀片是水平地封接在刀杆上(成 $0^\circ$ 的角度)。重磨次数增加到16次。如果使刀尖位于直綫3上而进行刃磨,那末就会减少允許重磨次数,此外,这样刃磨时还会急剧地减小刀片的长度。

图1086所示是具有平前倾面、有倒棱、倒棱前角 $\gamma = -10^\circ$ 的车刀的重磨简图。刀片固定在刀杆上成正前角的角度,等于 $10^\circ$ 。重磨次数增加到21次。

这样看来,从节约硬质合金的观点出发,最好是采纳图1076所示的前倾面形状,即平前倾面、有倒棱、倒棱成负前角(这时,刀片封接在刀杆上成正前角)。但是,应当注意到,随着这个角度的增大,刀杆就受到了削弱。在车削淬火鋼时,必需力求加强车刀的危險截面。因此,硬质合金刀片在刀杆上的封接角应当减小到 $5^\circ$ ,虽然与 $10^\circ$ 的角度相比时,这就会使得硬质合金刀片的允許重磨次数略微减少。

**断屑器** 在生产条件下,淬火鋼是在較小的 $t$ 和 $s$ 以及較高的切削速度(超过 $v = 60$ 米/分)下来加工的。因此,在加工淬火鋼时的断屑問題与高速切削未淬火鋼时的断屑問題,具有同样的现实意义。在有关指南中所列举的、各种类型和结构的断屑器的优缺点意見,也适用于淬火鋼的车削工作,因为这时切屑形成过程的特征与加工未淬火鋼时的一样。

不用断屑器而依靠适当地选择车刀切削部分的几何参数(图109),也可以保証达到可靠地碎断切屑。车刀拥有平前倾面、前角 $\gamma = -5^\circ \sim -10^\circ$ 、主切削刃斜角 $\lambda = 10^\circ \sim 15^\circ$ 、主偏角 $\varphi = 70^\circ$ 。

然而这样的车刀几何参数具有下述极为严重的缺点,以致令人怀疑其应用的合理性。

1)由于在切削过程中形成的月牙窩較深,所以在重磨时必需取下較厚的硬质合金层;这就会使得在刀片上出現裂紋;

2)由于重磨时必需沿前倾面整个长度磨去很深,所以使硬质合金的消耗增大;

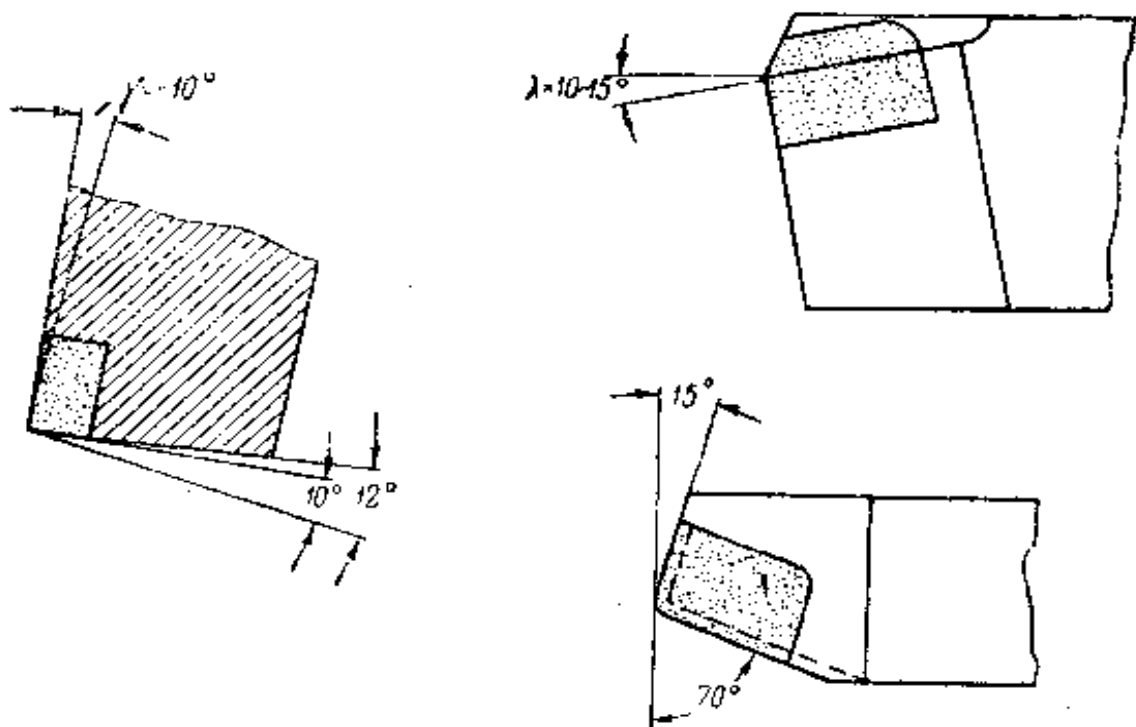


图 109 保証能碎断切屑的車刀的几何参数

3)  $\lambda$  較大的車刀比  $\lambda=0^\circ$  的車刀刃磨起来要复杂很多 ( $\lambda=0^\circ$  的車刀的切削刃是与車刀的基面平行的)；

4) 排出切屑有伤害已加工表面的危險性；当角  $\lambda$  为正值时，即刀尖成为切削刃的最低点时，切屑排出方向是朝着已加工表面；

5) 徑向力  $P_y$  急剧提高，于是在机床-零件-刀具系統的剛度不足时就会引起振动；

6) 只有在切削深度对走刀量的比值  $\frac{t}{s} = 5 \sim 10$  时，才能保証可靠地碎断切屑。

列宁格勒金属工厂(設計的图110)和运输机械制造研究所(設計的图111)設計的万能复盖式断屑器，在實踐中表現得很好。

断屑器(图110)由厚1.5~3.0毫米的底板1(60C2号鋼)和滑块2(Y7号鋼)組成。滑块上钎焊硬质合金刀片6。借螺钉3，将滑块与底板相連。螺钉3又是滑块2的心軸。滑块可以繞自己的軸綫回轉。

为了得到較大的摩擦，在滑块朝底板的內表面上刻了网紋滾



花。为了使拉紧滑块和底板的螺帽 4 在工作时间内不发生转动，在螺帽和滑块之间垫入了格罗薇尔弹簧垫圈 5。

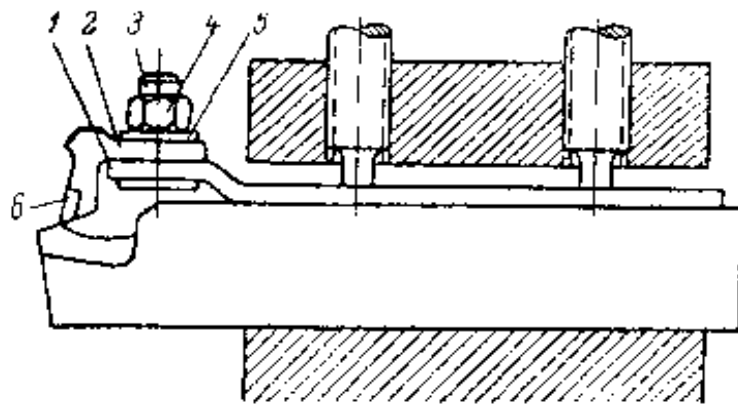


图 110 列宁格勒金属工厂设计的断屑器

1—底板；2—滑块；3—螺钉；4—螺帽；5—格罗薇尔弹簧垫圈；6—硬质合金刀片

由于断屑器的底板是由薄弹簧钢带制成的，所以在和车刀一起固定到刀座中去时，断屑器可以弯曲，同时压紧在车刀前倾面上，与车刀前角大小、硬质合金刀片磨损大小无关。

因为断屑器的滑块是可以回轉的，所以断屑器可以适用于不同类型的车刀。

从车刀切削刃至滑块工作表面的距离，可按表 62 来选定。

图 111 所示的断屑器，在安装正确时，能保证可靠地碎断切屑。断屑器的安装参数是： $f$ —盖板至车刀切削刃的距离； $r$ —回轉角； $\psi$ —断屑器对于车刀前倾面的傾斜角。表 63 中列举了断屑器安装参数的推荐数值。

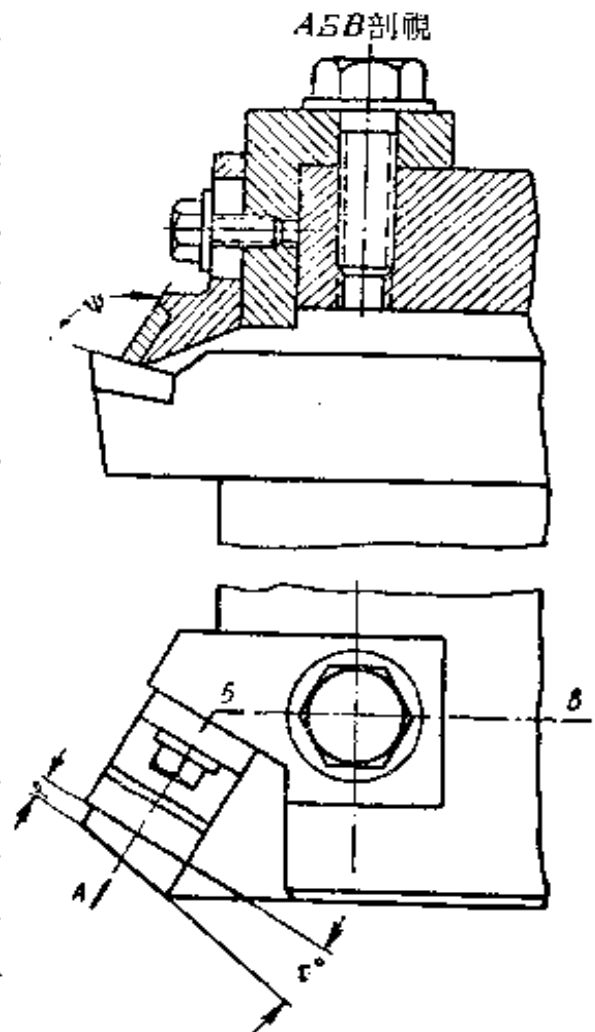


图 111 运输机械制造研究所设计的断屑器

表 62 从車刀切削刃至断屑器滑块工作表面的推荐距离

切削深度 $t$ (毫米)	走 刀 量 $s$ (毫米/轉)				
	小于 0.3	0.3~0.45	0.45~0.6	0.6~0.7	0.7~1.0
小于 1.5	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5
1.5~6.0	2.5	3.0	4.0	4.5	5.0

表 63 断屑器安装的几何参数

加工形式	切 削 尺 寸		$f$ (毫米)	$\tau^\circ$	$\psi^\circ$
	$t$ (毫米)	$s$ (毫米/轉)			
半精加工	2~4	0.2~0.4	4~5	0~5	120~130
精加工	1.0	0.15~0.3	2~3	~10	105~110

### 淬火鋼車削过程的应用范围

在表面金属层的物理-机械性能方面，車削淬火鋼比磨削来得优越。在車削淬火鋼时，要求得到符合于粗磨的已加工表面光洁度，是没有什么困难的。这样的光洁度在走刀量高达  $s=0.3$  毫米/轉时还是可以得到的，而在采用一定几何参数的車刀、按大走刀量法来工作时，那就甚至于在  $s=0.6\sim 1.0$  毫米/轉时，也是可以得到的。

在較小的走刀量下 ( $s\leq 0.1$  毫米/轉)，表面光洁度符合于精磨的表面光洁度。随着淬火鋼硬度的提高，就更容易得到較高的表面光洁度。

所有上述情况决定了淬火鋼車削过程的基本用途。这过程在生产中可能得到广泛的应用，来代替磨削，主要是代替粗磨。

应当指出，車床比磨床价廉，而刃磨硬质合金車刀又比打砂輪来得价廉而简单。

現在列举几个在生产中合理利用淬火鋼車削过程的例子。

1. 在軸承生产中，在精加工硬度为  $H_{RC}=60\sim 65$  的淬火高合

金鋼大型軸承圈時，車削與粗磨是平行地被採用着。由於熱處理的結果，軸承圈沿直徑的翹曲變形達到3~4毫米。為了避免報廢起見，在軸承圈上保留了較大的余量，供淬火後進行修飾加工。這些軸承圈的粗磨乃是非常繁重的工序，占用着許多稀缺的重型預磨磨床，大量地消耗砂輪。

軸承圈的车削加工是在功率為24千瓦的立式車床上進行。利用帶有負前角的硬質合金BK8車刀，作為切削刀具。

雖然在車床類金屬切削設備中以立式車床的剛度為最大，但是在軸承圈加工過程中產生很大的切削力，使得車刀從被加工表面猛烈地推出。結果，在切削深度 $t > 0.9$ 毫米時，軸承圈上形成的圓錐度就超出技術條件所規定的範圍。因此，軸承圈的加工要分成粗加工和精加工兩步來進行，並且粗加工行程的切削深度取做等於0.7~0.9毫米，而精加工行程的等於0.20~0.35毫米。

保留給精磨的余量與粗磨出來的軸承圈的一樣，並且在許多情況下精磨也由車削來代替。

在國營第一軸承工廠，由於推廣應用車削加工來代替粗磨，使得加工1-OK-33大型軸承圈（由硬度為 $H_{RC} = 63 \sim 64$ 的淬火IIIХ15號鋼製成）的工時降低成 $1/2 \sim 1/2.5$ <sup>[52]</sup>。

就象C.C.聶克拉索夫<sup>[30]</sup>所指出的，如果創制出剛度更大的車床，以求在一次行程中用較大的切削深度來進行工作，就可顯著提高軸承圈的车削加工生產率。推廣應用鈦鎢類硬質合金來代替現在所用的硬質合金BK8，也可以顯著提高生產率。

2. 新克拉馬托爾斯基工廠製造了一批9X號合金鋼滾輪，長2090~2450毫米、直徑115~210毫米。這些滾輪的長1680毫米的桶部（中凸部）在淬火後的硬度為 $H_{RC} = 67$ 。考慮到淬火過程中要發生翹曲變形，在滾輪的桶部沿直徑保留了尺寸為6毫米的余量，以便在淬火後進行機械加工。借磨削法從每個滾輪上取下這些余量，需要花費100台時。

用負前角的硬質合金BK8車刀進行車削來代替磨削以後，結果，加工一個滾輪只需花費10~15台時。

3. 在高尔基机床厂，直径300毫米、长200毫米的衬套在經受热处理后，其最外表层的硬度  $H_{RC} = 40 \sim 48$ 。这种衬套的磨削已經由車削来代替。車削是在 ДИП-300 型車床上进行，采用負前角的硬质合金車刀。与磨削相比，衬套在热处理后的加工工时降低成二分之一〔35〕。

4. E. A. 別洛烏索娃〔36〕根据所做研究工作結果以及对于三个机械制造工厂的生产实验进行分析的結果，确定了用车削来代替粗磨淬火鋼的合理性，以及用车削加工来代替精磨的可能性（在这情况下要采用特殊的車刀）。

由于用车削来代替粗磨淬火鋼，可使机动時間降低成  $\frac{1}{2} \sim \frac{1}{5}$ ，依加工余量的大小而定。

E. A. 別洛烏索娃认为，如果加工余量超过 1 毫米，那末用车削来代替磨削淬火鋼的做法就是有利的。

5. 就象 A. Д. 馬卡罗夫〔34〕所指出的，用大走刀量来車削淬火鋼能够保証获得高的已加工表面光洁度，并且車削过程的生产率显著地超过粗磨过程的生产率。

6. 作为在修理工作中应用淬火鋼車削加工的例子，可以提出車床頂針的加工。

在修整已磨損的頂針时，通常必需完成許多工序：退火、車削、淬火、回火和磨削。这些工序加在一起，总共要耗費几十小时。如果采用硬质合金車刀来車削淬火頂針，就可以免除所有的困难，而在几分钟之內把頂針修整。

7. 在修理車間里进行设备的备用零件的机械加工时，淬火零件的車削加工可以得到广泛的应用。在将备用零件按其位置进行修合时，备用零件一般是留有不大的余量，以致在很多情况下显得余量不够。結果使零件报廢。考虑到車削淬火零件的可能性，在设备的备用零件上应当保留較大的余量，而在把零件按位置进行修合时，这余量不必花費很多時間就可以很容易地除去。

8. 在工具生产中，淬火鋼的車削可以得到应用。例如，在把超过公差范围的量規改成其他尺寸的量規时，就可应用車削过

程。这种量规通常是借磨削的办法改成其他尺寸，或者是在最后报废。将量规磨削成其他尺寸需要花费几小时的时间，而将淬火量规车削成其他尺寸，例如从直径47毫米改成直径39毫米，则整个只需占用10~15分钟。

上述这些例子证明，在生产车间、修理车间、以及工具生产中，都可以利用淬火车削加工来代替磨削加工。研究工作和生产实验已经证实了，在生产率方面车削比粗磨来得优越。

### 切削用量

在附录 I 中列举了车削硬度为  $H_{RC} = 38 \sim 65$  的淬火钢的切削用量。本书作者在拟定这些切削用量时，考虑到了自己发表过的文献中关于铬镍钢、铬镍铝钢、铬镍钼硅钢的切削用量的数据 [53、54]。

这些钢的化学成分的多样性、以及研究工作 [30] 查明了合金结构钢化学成分对其淬火状态下可加工性的影响不大，就成为了本书作者推荐自己所拟定的所有合金结构钢切削用量的基础。

现在来把这些切削用量与文献中的数据进行对比。表64中将本书作者、П.П.格魯陀夫 [29]、НИБТИ [27] 关于硬度为  $H_{RC} = 47$  的淬火钢的数据作出了比较。切削速度符合于60分钟车刀耐用度。

表 64 用硬质合金 T15K6 车刀车削硬度为  $H_{RC} = 47$  的淬火钢时的切削速度  $v_{60}$

t × s	数 据 来 源					
	П.П. 格魯陀夫		НИБТИ		П.П. 格魯陀夫	
	本书作者	НИБТИ	П.П. 格魯陀夫	本书作者	НИБТИ	
切 削 速 度 $v_{60}$ (米/分)						
絕 对 值			相 对 值			
0.2 × 0.05	115	155	173	0.75	1.00	1.12
1.2 × 0.15	58	63	84	0.92	1.00	1.33
2.0 × 0.30	25	38	56	0.66	1.00	1.47

可以看出，本书作者的数据居于中間位置。И.И. 格魯陀夫所推荐的切削速度 $v_{s_0}$ 比НИБТН的数据低得多（在較大的切削用量下低55%）。在較小的 $t$ 和 $s$ 下，НИБТН推荐的切削速度与本书作者的数据差別很小；但是随着切削用量的增大，它們之間的差別就增大。

本书作者和H.C. 洛噶克<sup>[21]</sup>关于 $H_{RC}=62$ 的鋼的数据是重合的。当 $t=0.2$ 毫米和 $s=0.1$ 毫米/轉时，切削速度 $v_{s_0}$ 是：H.C. 洛噶克对于硬质合金 T30K4 車刀得出 $v_{s_0}=37.8$ 米/分，而本书作者对于硬质合金 T15K6 車刀得出 $v_{s_0}=30$ 米/分。应当注意到，硬质合金 T30K4 的切削性能比硬质合金 T15K6 的高到30%。

В.А. 別洛烏索娃<sup>[30]</sup>采納的切削速度是較低的。

对于硬度为 $H_{RC}=53$ 的鋼，在 $t=0.5$ 毫米和 $s=0.45$ 毫米/轉时，她采取 $v_{s_0}=28$ 米/分（对于硬质合金 T30K4 車刀）。在同样条件下，本书作者采取 $v_{s_0}=41$ 米/分（較高47%）。

最后应当指出，本书作者所推荐的切削速度应当看成是最低的。随着在生产中对于淬火鋼加工的逐漸熟练地掌握，切削速度的水准必然会提高。

在这里应当援引外国的实验<sup>[55]</sup>。根据德国的数据，对于硬质合金 S1（大致符合于苏联硬质合金 T15K6）來說，切削速度比本书作者所推荐的高60~70%。

## 21. 在向切削区域輸入电流时进行淬火鋼的加工

下面叙述向切削区域輸入电流时进行淬火鋼加工的方法的研究結果和生产推广結果。此法是由 M.H. 拉林和他的同事們拟定的<sup>[50]</sup>。

研究了三种牌号的淬火鋼：硬度为 $H_{RC}=62\sim 64$ 的高速鋼 P18、硬度为 $H_{RC}=45$ 的XBT号工具合金鋼、硬度为 $H_{RC}=45$ 的45XHMΦA号結構鋼。实验是在 ДИП-300型車床上进行的，車床上安装了功率为8千瓦的直流电动机。使用直头外圓車刀，刀杆

截面为25×30毫米，装备各种不同的硬质合金。

图 112 所示是实验时所用的、将低压电流输入给被加工零件和车刀上去的电路图。利用厚5毫米的夹布塑胶垫和硬橡皮衬套（套在固定机床的刀架和滑板用的螺钉上），使机床的刀架和滑板绝缘。在螺帽下面安放了纤维质的垫圈。变压器的低压线圈按下述方式接至车刀-零件电路：借两根铜条从变压器将电流输入给机床床身或电刷，从电刷经接触环把电流传到机床主轴，再经卡盘传到被加工零件上；变压器低压线圈的另一端则借电缆接通到刀杆和车刀。

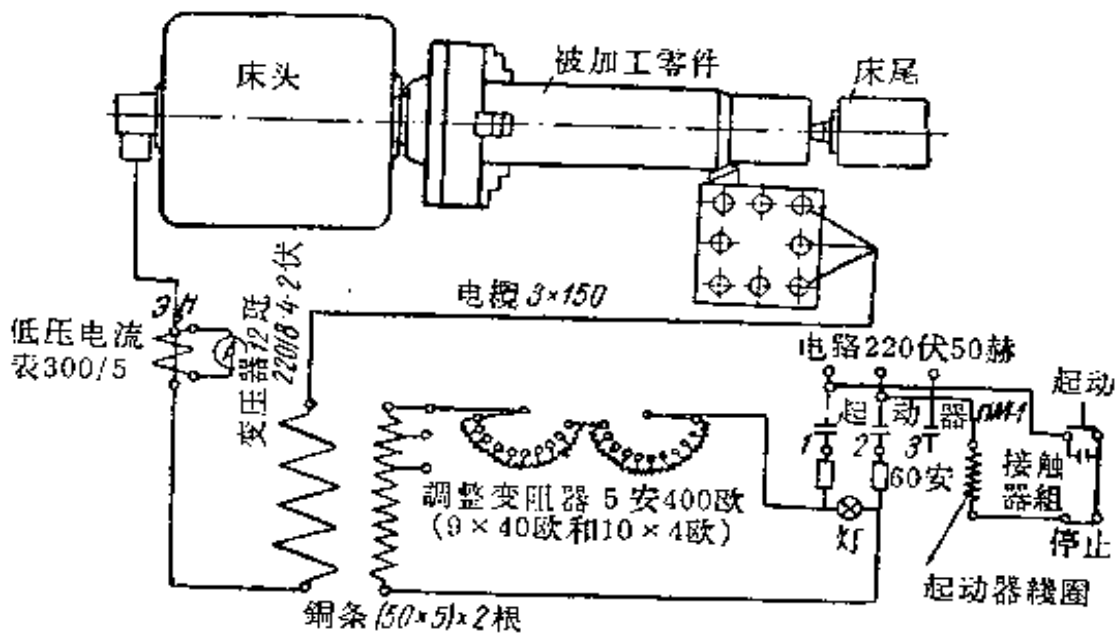


图 112 将低压电流输入给被加工零件和车刀上去的电路图

实验证明，当向切削区域输入一定的电流时，硬质合金车刀耐用度有显著的提高。这电流就称为最佳电流。输入电流的最佳值与切削速度、淬火钢硬度有关。如果采用普通方法（不通电流）时钢的可加工性愈低，那末改用向切削区域输入电流的加工方法就愈见效。

图 113 所示是在车削硬度为  $H_{RC} = 62 \sim 64$  的淬火高速钢 P18 时，切削速度与车刀耐用度的关系。其中，图解 1 —— 不通电流，图解 2 —— 向切削区域输入了电流。在  $t = 2$  毫米和  $s = 0.21$  毫米/转下，用硬质合金 BK6 车刀进行加工，车刀的几何参数如

下： $\alpha=10^\circ$ ， $\gamma=-15^\circ$ ， $\lambda=10^\circ$ ， $\varphi=20^\circ$ ， $\varphi_1=10^\circ$ 。可以看出，在切削速度 $v=15$ 米/分下，当不通电流以及車刀后隙面磨损 $h=0.32$ 毫米时，車刀耐用度为 $T=43$ 分钟，而当输入电流 $I=90$ 安以及磨损 $h=0.20$ 毫米时，車刀耐用度 $T=253$ 分钟。这样看来，由于向切削区域输入了低压电流，車刀耐用度几乎提高成六倍。在这个切削速度下（最佳切削速度），車刀切削刃不发生崩刃。

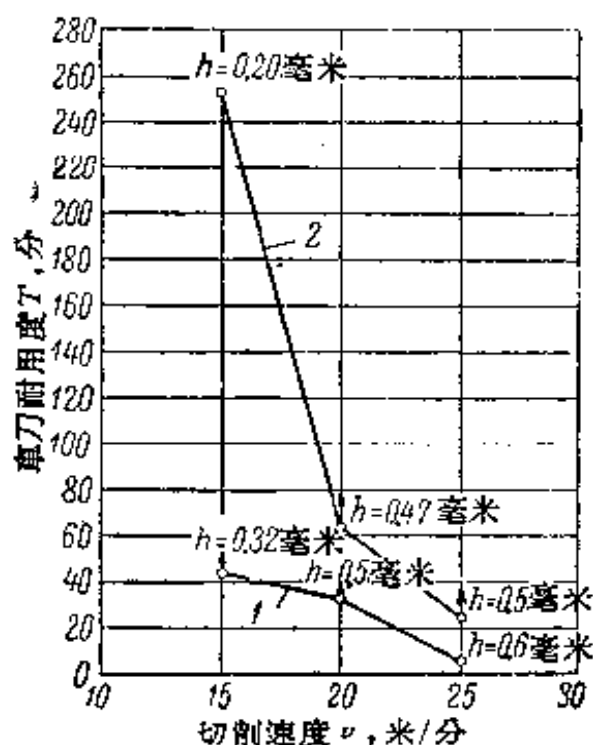


图 113 在車削硬度为 $H_{RC}=62\sim 64$ 的淬火高速鋼P18时，切削速度与車刀耐用度的关系

1—在不通电流的情况下工作；2—在向切削区域输入电流的情况下工作。△—車刀切削刃发生崩刃；○—車刀可以继续工作

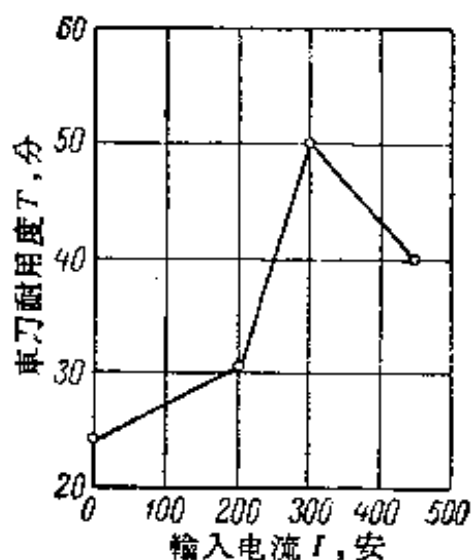


图 114 在車削硬度为 $H_{RC}=45$ 的淬火45XHMΦA号鋼时，输入电流对于車刀耐用度的影响

图 114 表示的是，在車削硬度为 $H_{RC}=45$ 的淬火45XHMΦA号鋼时，向切削区域输入电流对于T15K6車刀耐用度的影响。实验是在 $t=2$ 毫米、 $s=0.3$ 毫米/轉、 $v=70$ 米/分下进行的。車刀几何参数如下： $\alpha=10^\circ$ ， $\gamma=-15^\circ$ ， $\lambda=10^\circ$ ， $\varphi=30^\circ$ ， $\varphi_1=10^\circ$ 。車刀后隙面磨损 $h=0.3$ 毫米。图解证明，由于向切削区域输入了最佳数值的电流( $I=300$ 安)，使得車刀耐用度比在不通电流的情况下工作时提高成将近二倍。



研究証明，在向切削区域輸入最佳电流时，与在不通电流的情况下工作时相比，切削力  $P_x$ 、 $P_y$  和  $P_z$  是不变的。在車削淬火高速鋼 P18 ( $H_{RC} = 62 \sim 64$ ) 时，随着輸入电流的增大，表面光洁度就稍微下降；与此相反，在加工淬火XBГ号鋼 ( $H_{RC} = 45$ ) 而特别是未淬火 20XH3A 和 40 号鋼时，表面光洁度則是稍微提高。

淬火鋼切削加工的这种新方法已經在奧利亚宾斯克拖拉机工厂中推广，应用于傳动离合器沟槽和发动机气缸筒的端面車削。

由表65可以看出，由于推广这种新方法，使得加工傳动离合器(渗碳并淬火成硬度为  $H_{RC} = 58 \sim 60$ ) 的机动時間降低到  $\frac{1}{3}$  以下。

表 65 加工傳动离合器时切削用量的比較

切 削 用 量 参 数	推广新法以前	推广新法以后 $I = 100$ 安
硬质合金牌号	ТА-Феррайт	БК6
切削深度 $t$ (毫米)	0.1~0.5	0.1~0.5
走刀量 $s$ (毫米/轉)	0.65	0.16
切削速度 $v$ (米/分)	37	36
机动時間 $T_{\text{机动}}$ (分)	28	8.8

38XM10A 号鋼制气缸筒端面的精加工，是在氮化处理达硬度为  $H_{RC} = 54 \sim 64$  以后进行的。这个工序是在磨床上来完成的；加工每一气缸筒的两个端面需要花費 5.5 分钟的机动時間。采用向切削区域輸入最佳电流  $I = 150 \sim 200$  安的車削加工法来代替磨削，已保証使劳动生产率提高成二倍了。硬质合金BK8車刀的效果是最好的。加工是在  $v = 28 \sim 20$  米/分、 $t = 1.0 \sim 1.5$  毫米、 $s = 0.2$  毫米/轉下进行的。采用弯头偏刀，其几何参数如下： $\alpha = 10^\circ$ ， $\gamma = -15^\circ$ ， $\lambda = 10^\circ$ ， $\varphi = 45^\circ$ ， $\varphi_1 = 10^\circ$ ，过渡切削刃的  $\varphi_0 = 20^\circ$  和  $f_0 = 0.6$  毫米。在不通电流的情况下工作时，車刀耐用度  $T = 5$  分钟；在輸入电流  $I = 150 \sim 200$  安的情况下工作时，車刀耐用度则为  $T = 18$  分钟。

研究人員們关于淬火鋼切削过程物理实质的見解是很有意思的。这些見解是以对于切屑和已加工表面的金相分析为基础的。切屑和已加工表面是在不通电流以及輸入电流 ( $I \approx 100$  安) 的情况下車削硬度为  $H_{RC} = 62 \sim 64$  的淬火高速鋼 P18 时得到的。实验是在  $t = 0.2$  毫米、 $s = 0.21$  毫米/轉、 $v = 15$  米/分下进行的。BK6 車刀的几何参数如下： $\alpha = 10^\circ$ ， $\gamma = -15^\circ$ ， $\lambda = 10^\circ$ ， $\varphi = 20^\circ$ ， $\varphi_1 = 10^\circ$ 。工作是在用 5% 的乳浊液来充分冷却的情况下进行的。制备了切屑纵向截面的試样以及已加工表面切口的試样。

已經确定，在不通电流的情况下工作时，切屑沿本身截面具有不同的硬度(图115)。切屑的内表面的硬度为  $H_{RC} = 47$ ；随着从切屑的内表面逐漸离开，硬度就升高，并且在靠近切屑的外表面的金属层中，硬度达  $H_{RC} = 60 \sim 61$ 。在已加工毛坯上，形成由硬度为  $H_{RC} = 37 \sim 58$  的淬火鋼回火产物、以及碳化物所組成的金属层。这金属层的硬度随着从毛坯的外表面逐漸离开而升高：从  $H_{RC} = 37$  升高到深度 0.02 毫米处的  $H_{RC} = 54$  (图116)。

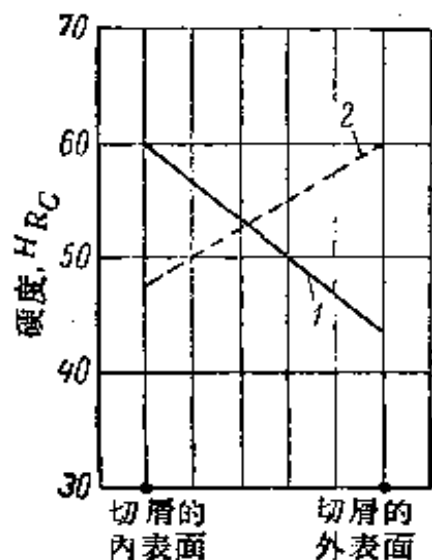


图 115 切屑的内表面和外表面上硬度的变化

1—在输入电流的情况下工作；2—在不通电流的情况下工作

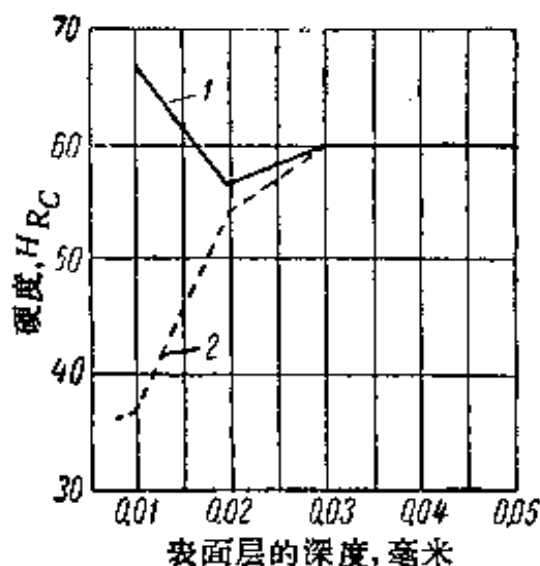


图 116 已加工材料表面层的硬度变化

1—在输入电流的情况下工作；2—在不通电流的情况下工作

根据所得数据可以作出結論，在毛坯的表面层中产生的温度达  $600^\circ$ 。

在輸入電流  $I \approx 100$  安的情況下工作時，切屑的內表面（深度 0.01 毫米處）的硬度為  $H_{R_C} = 60$ ，而切屑的外表面的硬度只有  $H_{R_C} = 44$ （圖 115）。在毛坯的表面上則形成了淬火層，其硬度在深度 0.01 毫米處為  $H_{R_C} = 67$ （圖 116）。可以看出，在到達深度 0.02 毫米處時，金屬的硬度下降到  $H_{R_C} = 57$ ，嗣後，在到達深度 0.03 毫米處時，硬度又稍微升高，此後就穩定下來。

這論文的作者們認為，由於向切削區域輸入電流，使得切屑的內表面的薄層被加熱到  $900 \sim 1000^\circ$  的溫度。已加工表面上的淬火層，是由於金屬在具備淬火所需的溫度下（這溫度是由變形功、摩擦功、以及通過被切下金屬層的電流所生熱量的聯合作用來決定的），受到急冷的結果而形成的。在不通電流的情況下工作時，切屑的內表面部位的硬度下降，對此，作者們是用回火現象來解釋。在切屑的外表面層中硬度不變，因其加熱溫度低於高速鋼的回火溫度。

M. H. 拉林和 A. A. 馬斯洛夫作出了結論，在向切削區域輸入最佳電流的情況下工作時，就能人為地造成這樣的溫度場，使得能夠保證在切屑的內表面層中形成薄薄的塑性層，起到好像濃天然潤滑油的作用，於是降低摩擦功和支點壓力。所謂支點壓力，就是切屑和刀具接觸表面的單位真實接觸面積上的壓力。

## 第四章 淬火鋼的端銑

### 22. 銑刀的結構

淬火鋼的端銑加工，是利用高速銑削普通（未淬火）鋼時所用硬質合金端銑刀來進行的。這種銑刀與加工鑄鐵所用硬質合金銑刀不同的地方，是其切削部分具有負前角，而且刀齒的數目較少。與類似的高速鋼銑刀相比，這種銑刀的刀體和其他零件比較強固和厚實。銑刀在機床上的固定應當牢靠而且剛度要好。銑刀的結構應當保證容易更換個別磨鈍和折斷了的刀齒。

應當指出，隨着被加工鋼硬度的提高，硬質合金銑刀在耐用度方面比高速鋼銑刀優越的程度就增大。

將硬質合金刀片聯接到銑刀刀體上去的方法有三種：

- a) 直接釩焊在刀體上；
- b) 釩焊在鑲裝刀齒上；
- c) 用機械方法夾緊于刀體中。

在工業中，鑲裝刀齒的硬質合金端銑刀得到了優先的採用。在某些情況下，機械固定硬質合金刀片的銑刀得到了應用。刀片直接釩焊在刀體上的銑刀很少使用，雖然它們具有較高的剛度。問題是在刃磨這種銑刀的已崩刃刀齒時，不得不從所有的刀齒上取下很厚的硬質合金層。除硬質合金的利用不合理外，刃磨刀具所花費的時間也很多。當個別刀齒損壞嚴重時，必須重新釩焊硬質合金刀片，於是限制了這種銑刀刀體的使用期限。

### 鑲裝刀齒的端銑刀

全蘇工具科學研究所設計的、鑲裝刀齒的硬質合金端銑刀（圖 117~119），得到了最廣泛的應用。直徑小於 100 毫米的銑刀（圖 117）帶有圓錐形的尾部，以便直接配入機床主軸的錐孔中去。在刀體 1 的後端有端鍵槽，以便從主軸接受扭矩。

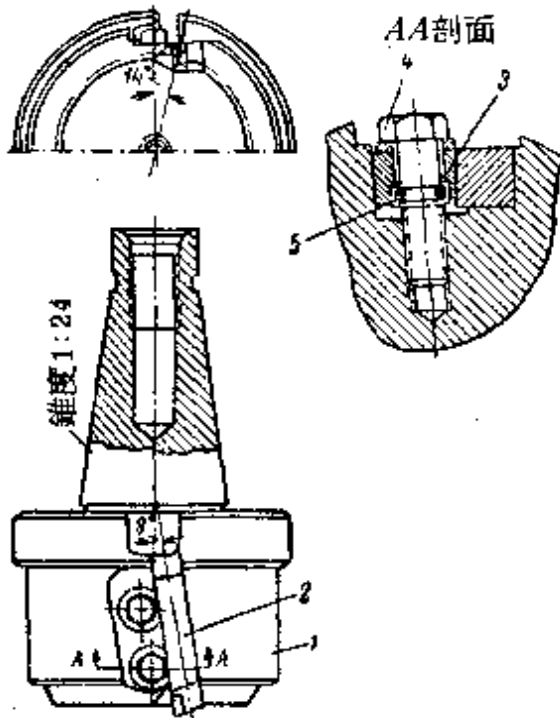


图 117 直径小于100毫米的镶装硬质合金刀齿的端铣刀的结构

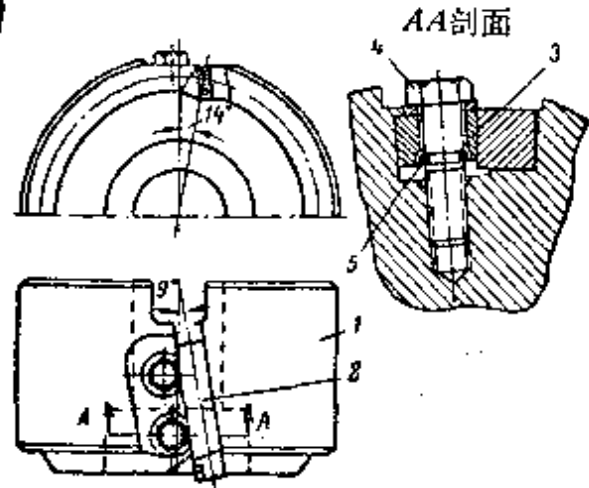


图 118 直径110~150毫米的镶装硬质合金刀齿的端铣刀的结构

直径从110到150毫米的铣刀(图118)的刀体1上具有圆筒形的基准孔(用来把铣刀固定于心轴上)和端面上的键槽。

直径从200到400毫米的铣刀(图119)的刀体1的后端上带有圆筒形槽,铣刀就是借这圆筒形槽来嵌在铣床主轴的圆筒形凸部上。在这里是预先做有键槽的。铣刀借四个带有圆筒形头和内六角扳手孔的螺钉来固定。

刀齿2是棱形的,棱面光滑,其截面是正方形的。这正方形截面面积比高速钢铣刀刀齿的更大。

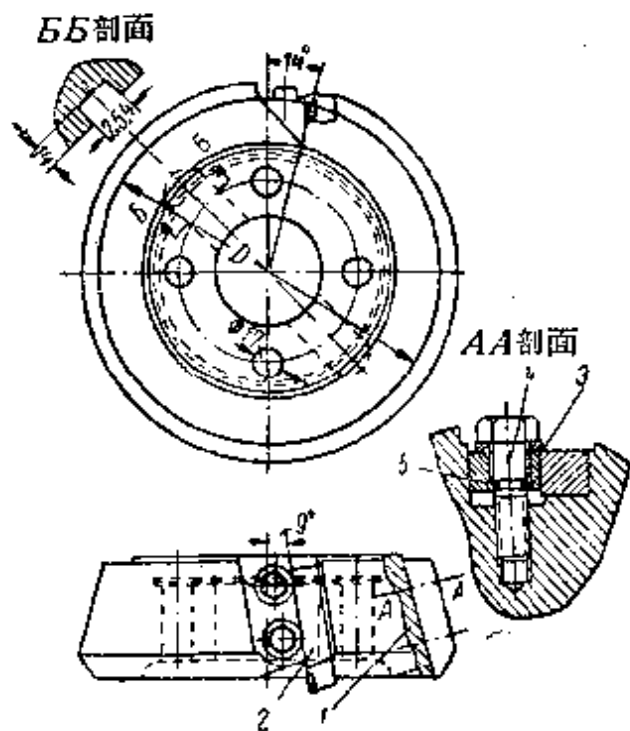


图 119 直径200~400毫米的镶装硬质合金刀齿的端铣刀的结构

銑刀直徑  $D$  (毫米)

75~130

150~400

刀齒橫截面尺寸(毫米)

14×14

16×16

考慮到在切削過程中若發生振動，硬質合金就有崩刃的趨勢，所以規定刀齒只許從刀體伸出不大的尺寸；對於直徑從75到200毫米的銑刀，是5毫米；而對於直徑大於200毫米的銑刀則是8毫米。

刀齒在銑刀刀體中的固定(圖117~119)，是借兩個帶有 $5^\circ$ 角度的平坦斜面的圓筒形衬筒楔3來實現。利用普通的螺帽扳手，使螺釘4拉緊楔3。為了容易拆卸銑刀起見，螺釘上面套有彈簧5。在擰出螺釘時，彈簧就進入楔的環槽中，把楔頂起，鬆開鑲裝的刀齒。

在決定銑刀的外徑時考慮到，鑲裝刀齒和固定元件不准凸出到刀體界限之外去。

從銑刀的前端這方面，在刀齒的前傾面處，刀體上預定有排屑槽。銑刀前端方面的圓錐形倒稜的尺寸應當這樣來選擇，使得位於主切削刃處的刀齒2的後隙面整個地處在銑刀刀體以外。因此，在裝配狀態下沿刀齒後隙面來刃磨銑刀時，就很方便。

直徑大於200毫米的銑刀的刀體具有圓錐形。刀齒槽對於銑刀軸綫的傾斜角大約為 $15^\circ$ 。因此，在重新刃磨刀齒並且隨後又把刀齒推移出來時，銑刀的公稱直徑幾乎是不變的。

只要保證在刀體中把所有刀齒相對於銑刀軸綫和前端安裝得一樣，那末這裡所研討的結構在仔細安裝刀齒的情況下，就可以避免在銑刀裝配狀態下進行其切削单元的補充刃磨和研磨，或者給這些工序留下很小的余量。

採用馬蹄形卡規(圖120)，可以使安裝刀齒的工作很方便。移動凸出的刀齒，使之與卡規的

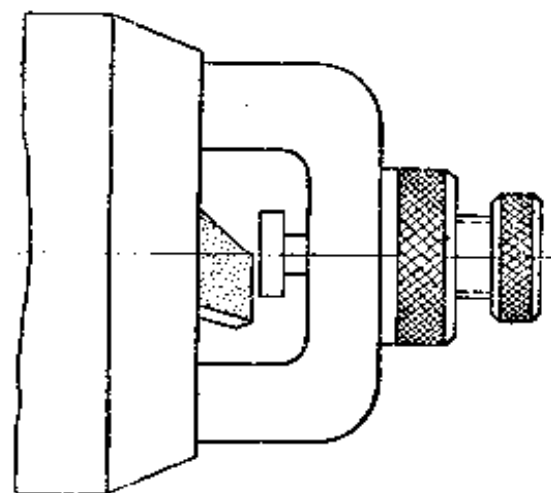


圖120 在端銑刀刀體中安裝刀齒用的馬蹄形卡規

微动螺钉接触(卡规安装在铣刀刀体的前端上),再用螺钉4(图117~119)把刀齿固定即可。相对于铣刀端面,安装刀齿的精度为0.04毫米。

全苏工具科学研究所设计的端铣刀,采用下列的刀齿数目:

铣刀直径 $D$ (毫米)	75	90	110	130	150	200	250	300	350	400
刀齿数目 $Z$	4	6	8	8	10	10	12	16	18	22

在B.C.拉柯夫斯基等的著作“机械制造中的硬质合金”<sup>[10]</sup>中,以及在全苏工具科学研究所的论文集“硬质合金刀具的结构和设计”<sup>[57]</sup>中,列举了全苏工具科学研究所设计的端铣刀的主要尺寸,以及铣刀个别零件的尺寸。

某些工具厂已经对加里宁«铣刀»工厂设计的、加工钢料用的硬质合金端铣刀,组织了成批生产(图121)。这种结构的铣刀,根据ГОСТ3789-52,具有下列主要尺寸:

铣刀直径 $D$ (毫米)	150	200	250	320	400	500	600
铣刀宽度 $B$ (毫米)	56	72	72	72	97	97	97
嵌合端槽直径 $d$ (毫米)	69.83	88.88	128.57	128.57	128.57	128.57	128.57
刀齿从铣刀刀体伸出							
长度 $h$ (毫米)	6	7	7	7	17	17	17
刀齿数目 $z$	6	8	8	10	12	14	16

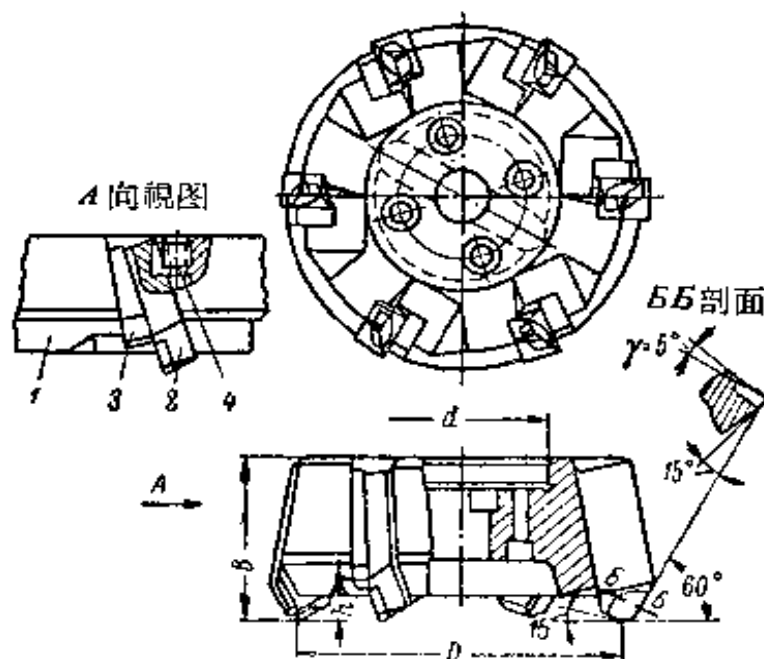


图121 加里宁«铣刀»工厂设计的、镶装硬质合金刀齿的端铣刀

厚度为13~18毫米的鑲装刀齿2，具有梯形的横截面。利用带有5°角度的光滑楔3，把这些刀齿固定于刀体1的槽中。螺钉4从铣刀的支承端方面擰入铣刀刀体中，并頂住刀齿2（其上預先切有特殊的槽穴）。螺钉4用来在装配和調节铣刀时防止鑲装刀齿沿軸向移动。

这种結構的特点是簡單和工作可靠。个别刀齿能够很容易地更換以及在刀体槽中推移。但是，这种铣刀在許多情况下不能滿足生产的要求。限制这种铣刀的应用的主要缺点是刀齿数目較少（比全苏工具科学研究所設計的铣刀的刀齿数目少得多）、以及刀齿切削部分几何参数是預定适用于完全一定的工作条件之下的。因此，在使用条件改变时，就很难利用这种铣刀的刀体了。刀齿数目較少就使得加工过程的生产率較低，而且經常会破坏机床和铣刀工作的平穩度。此外，在装配状态下刃磨較大直徑（ $D > 300$ 毫米）的铣刀时，还会遇到困难。

**鑲装刀齿分开刃磨（刀齿在刀体以外刃磨）的端铣刀** 为了避免在装配状态下刃磨硬质合金端铣刀方面的困难以及提高铣刀的使用效率，引起了并且推广了在铣刀刀体以外来刃磨刀齿的铣刀結構。現在已有下列几种刀齿分开刃磨的端铣刀的不同結構形式：

- 1) 刀齿可調节安装的铣刀；
- 2) 刀齿自由安装的铣刀；
- 3) 刀齿精确安装的铣刀。

将分开刃磨好的刀齿在第一种铣刀上安装就位的方法，是借助于一些特殊預备好的装置，使刀齿在刀体中能够沿两个方向来进行調节而实现安装就位。图122所示是这类結構中的一种（金属切削机床科学研究实验所設計）。刀齿1借助于特殊卡具，按千分表或样板来安装就位。刀齿1在刀体2的槽中的移动，是借螺钉4和楔3来实现。螺钉4相对于刀体2是不动的，因为这螺钉是位于下环5的槽中。刀齿的軸向移动是借螺钉6来实现。螺钉



6 位于镶装刀齿的夹座体中。螺钉 6 不可能作轴向的移动，这是因为受到了位于上环 8 的槽中的 T 形板 7 的阻碍所致。在夹紧刀齿之前，由弹簧 9 来保持刀齿在刀体中的位置。夹紧刀齿则是由楔 10 和螺钉 11 来实现。螺钉 11 具有差动螺纹，以求在拆卸铣刀时得到方便。

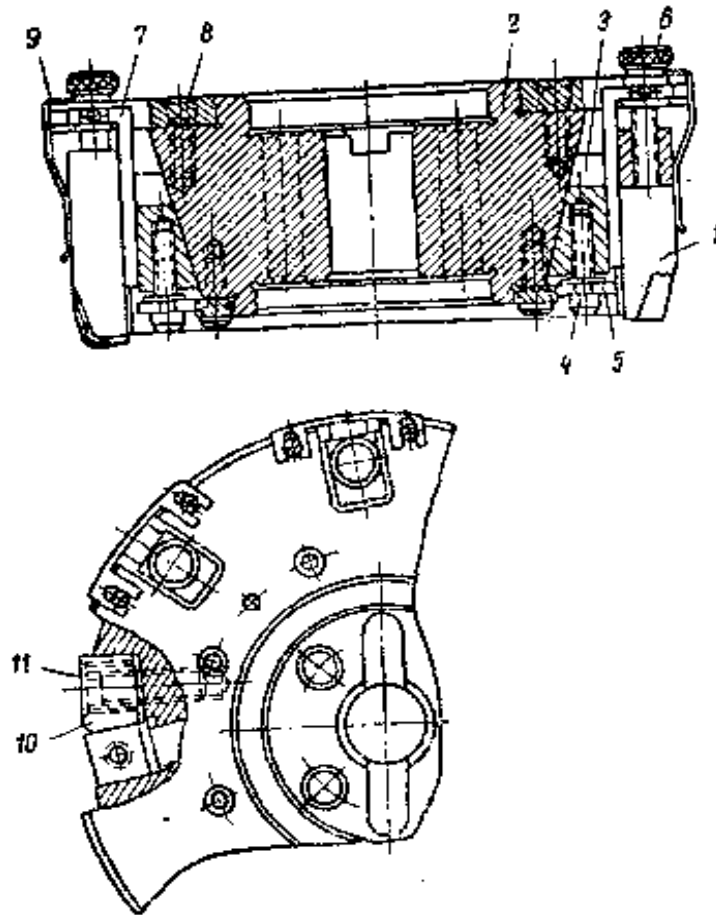


图 122 金属切削机床科学研究实验所设计的、镶装刀齿可调节安装的端铣刀

这种结构使得在铣刀刀体以外来刃磨镶装刀齿的问题得到了部分的解决。但是这种结构具有一些严重的缺点。那就是，所用特殊调节装置使刀体复杂化，必须从机床上卸下刀体而在卡具上安装刀齿、装配铣刀的工时较长。此外，与普通的结构相比，所用铣刀刀体的数目并不减少。

刀齿自由安装的铣刀结构的特点是沒有特殊调节装置。刀齿的安装是在特殊卡具中按样板进行，或者是直接在机床上按第一

个刀齿在被加工零件上形成的«痕迹»来进行。这类结构的铣刀在契利亚宾斯克拖拉机厂得到了应用<sup>①</sup>；并且已经列入端铣刀的部定规格中去了。

刀齿自由安装的结构比前述的结构优越。铣刀的装配简便，所用刀体数目减少，因为安装刀齿时不必从机床上卸下刀体。然而这种结构的应用也不广。问题是在按«痕迹»来安装刀齿时，铣刀刀齿的偏摆量是取决于工人完成这个工序的技巧和耐心。此外，在装配较大直径的铣刀时，就要花费很多时间。而在进行较大切削截面的铣削工作时，刀齿的固定情况是不可靠的。

与上述两类刀齿分开刃磨的端铣刀相比，刀齿精确安装的铣刀拥有很大的优点：万能、在较大的切削用量下工作时刀齿的固定可靠、所用刀体数目减少、在工作地点更换铣刀的个别刀齿或整套刀齿很方便。

沃斯柯夫工具厂掌握了直径从200到350毫米的、刀齿精确安装的端铣刀的生产。这类铣刀的生产试验证明，其结构保证了已分开刃磨好刀齿的必要的安装精度。同时还查明了存在的结构欠缺。这类铣刀在工业中推广应用受到阻碍，是因为没有设计好刃磨刀齿和沿长度调节刀齿用的卡具。

现在，一些工具厂根据特殊定货而制造了直径  $D > 320$  毫米的铣刀(图123)，这是由全苏工具科学研究所设计的。这类铣刀的特点是具有止推环和调节螺钉(在刀齿上)，使铣刀的装配简便(不必从机床上卸下刀体)。这种结构规定要提高刀体1中对刀齿2的支承表面的以及刀齿本身的制造精度。每一个镶装刀齿在刀体的槽中都有三个支承：借螺钉9夹紧在槽底上的定值垫板10(下支承)；刀体的槽的侧面支承表面(侧支承)；借螺钉8夹紧在刀体后端的磨削过的板7(后支承)。

对于刀体上所有的槽，用千分表按一个标准刀齿来检查垫板10的安装。这些定值垫板只是在制造铣刀时安装一次。相对于铣

① 在全苏工具科学研究所的论文集《切削刀具的设计》[58]中叙述了这类铣刀。

刀的軸綫，刀齒在刀體中第三個支撐基準的配置精度，是依靠將刀體後端磨削到嚴格地垂直於銑刀軸綫，並且磨削板 7 的支撐平面而來達到的。

刀齒的刃磨是在刀體以外而用特殊的卡具來進行的。所有刀齒上的切削刃的配量，相對於刀齒的兩個基準表面，保證是同樣的。螺釘 5 和螺帽 6 構成了刀齒上的第三個支撐基準。借螺釘 5 和螺帽 6 之助，將刀齒在刃磨之後在特殊卡具中沿長度進行調節。卡具中刀齒的支撐基準就是模仿銑刀刀體中刀齒的支撐基準。因此，在沿長度調節刀齒時螺釘 5 上的支點也就是在銑刀刀體中夾緊刀齒時的支點。

用一個圓筒形套楔 3，把鑲裝刀齒夾緊在刀體的槽中。套楔 3 則由凸邊螺釘 4 來拉緊。

在以必要的精度來製造零件時，銑刀的偏擺量就不會超出允許極限。

在全蘇工具科學研究所出版的小冊子《在刀體以外刃磨刀齒的端銑刀的結構和設計》〔59〕中，敘述了在刀體以外刃磨刀齒用的上述卡具的結構，以及沿長度調節刀齒的方法。

對於直徑  $D < 320$  毫米的銑刀來說，採用上述結構（沿幾個支點來安裝刀齒）是不合理的。在按《痕迹》安裝刀齒時，這種結構就顯著地簡化，而且銑刀的使用也更方便（無需止推板和螺釘來沿長度調節刀齒）。圖 124 所示是全蘇工具科學研究所設計的、按

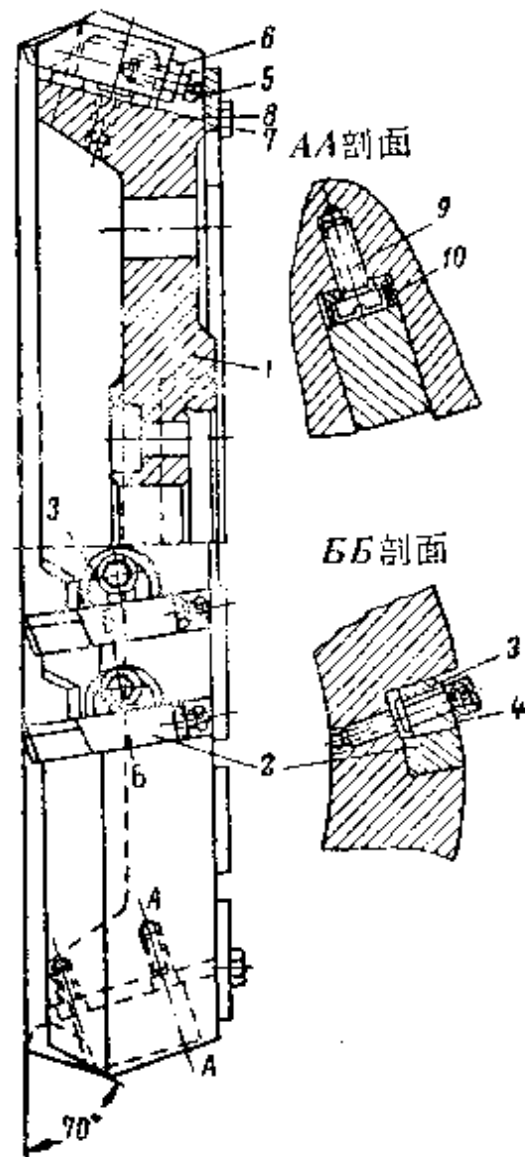


圖 123 刀齒精確安裝在刀體中的端銑刀

«痕迹»安装刀齿的端铣刀，推荐应用于直径 $D = 150 \sim 320$ 毫米的铣刀。这种结构可利用于在装配状态下刃磨的铣刀，也可利用于刀齿分开刃磨的铣刀。在第二种情况下，需要保证较高的零件制造精度。

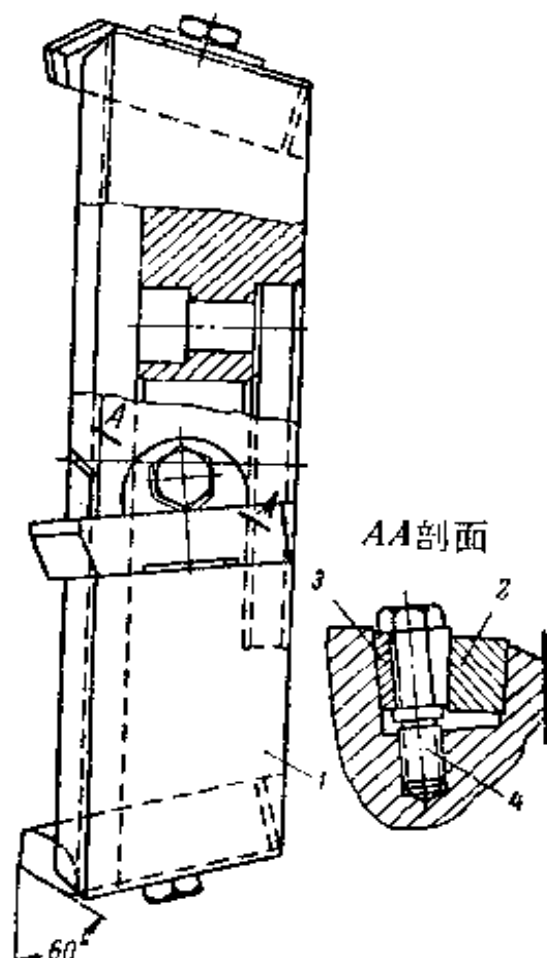


图 124 按«痕迹»在刀体中精确安装刀齿的端铣刀

1—刀体；2—镶装刀齿；3—楔；  
4—螺钉

这种结构与图 117~119 所示结构（全苏工具科学研究所设计的在装配状态下刃磨刀齿的铣刀）不同的地方，是其中规定只用一个楔来夹紧刀齿。全苏工具科学研究所的实验证明，在用两个楔时，就会引起刀齿安装误差。此外，刀体的外廓尺寸以及装配铣刀所花费的时间都要增加。工厂实践已经证实，采用一个楔能保证能使刀齿的固定足够可靠。

**分级端铣刀** 在铣床功率不足、机床-零件-刀具系统刚度不足，因而不能借普通多齿铣刀在一次行程内切下所有余量的情况下，采用镶装刀齿相对于被加工表面呈分级配置的端铣刀（图 125）是合理的。分级端铣刀可以有二、三、四和更多的级数。这

级数是取决于加工余量、铣刀尺寸、铣床电动机的功率、被加工零件的刚度等。

应当注意到，随着级数的增大，由每分钟走刀量来决定的铣刀生产率就下降。这可由下列关系式看出：

$$s_{12} = \frac{s_1 \cdot z \cdot n}{i}$$

式中  $s_{12}$ ——每分钟走刀量（毫米/分）；

- $s_z$ ——銑刀每齒走刀量(毫米/齒);  
 $z$ ——銑刀齒數;  
 $n$ ——銑刀轉速(轉/分);  
 $i$ ——銑刀級數。

使一級刀齒相對於另一級刀齒在軸向和徑向得到一定的配置，就能保證分級銑刀獲得正常的工作條件。

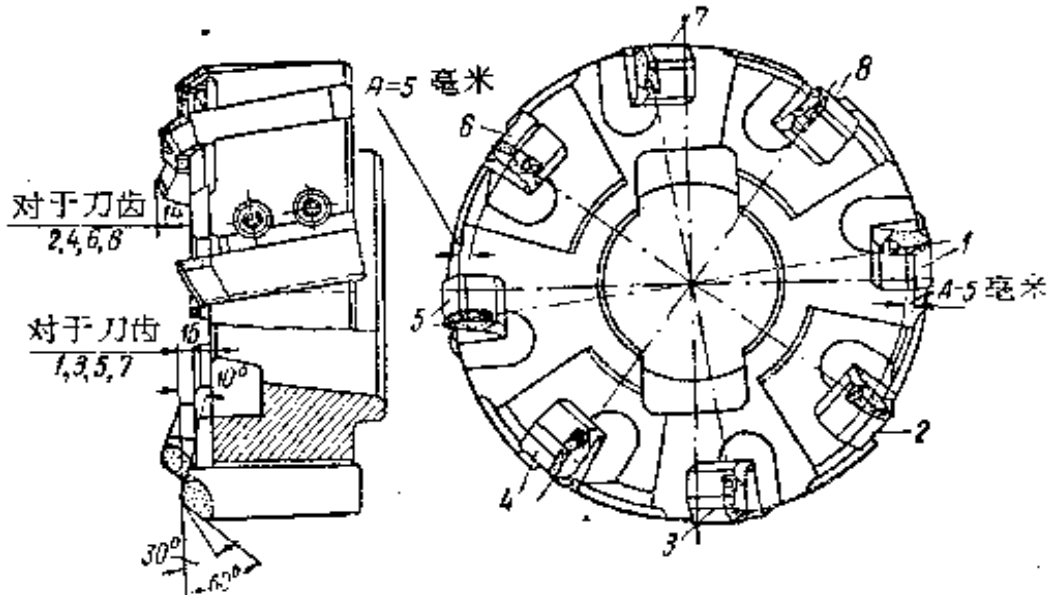


图 125 鑲裝梯形刀齒的嵌入式兩級端銑刀

1、3、5、7—第一級刀齒；2、4、6、8—第二級刀齒

刀齒沿軸向的安裝，可以使得銑刀各級間的余量分布均勻或不均勻(圖 126)。在余量分布均勻時(圖 126a)，銑刀每級的切削深度就等于余量除以級數所得的商。在各級間的余量分布不均勻時(圖 126b)，朝軸向伸出最大的刀齒的切削深度取做等于 1.5~2.0 毫米。余量的其餘部分則在銑刀的其餘各級之間均勻地分布。

這級的刀齒相對於鄰級的刀齒，沿徑向應當配置成一定的距離(圖 125)。這距離  $A$  按下列公式來確定：

$$A = \frac{t}{\operatorname{tg} \varphi} + (s_z + 2) \text{ 毫米,}$$

式中  $t$ ——相鄰兩級刀齒的刀尖沿軸向的距離，或切削深度(毫米)；

$\varphi$ ——銑刀的主偏角；

$s_z$ ——銑刀每齒走刀量(毫米/齒)。  
 对于兩級銑刀來說， $A$  等于 5 毫米。

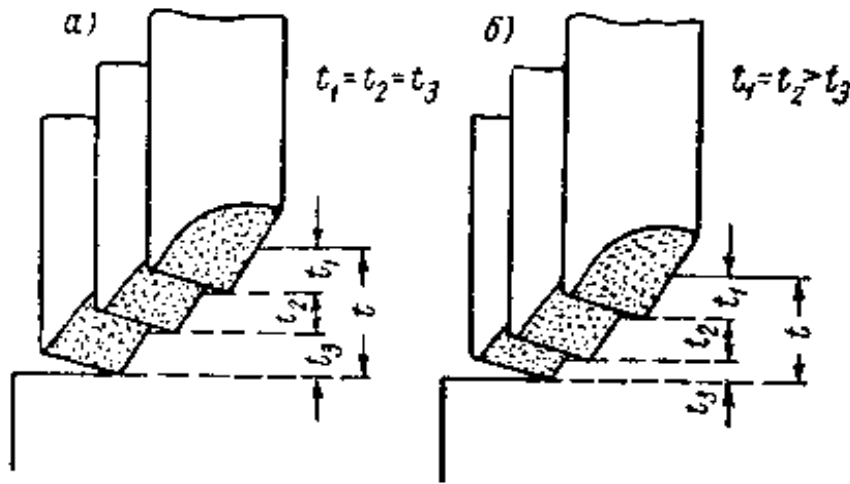


图 126 三級端銑刀各級間的余量分布簡圖  
 a—均勻分布，b—不均勻分布

#### 借机械方法固定硬质合金刀片的端銑刀

与钎焊相比，借机械方法把硬质合金刀片固定于銑刀刀体中具有一系列的优点。其中較主要的是消除刀片在钎焊过程中引起的各种缺陷，降低刀具成本（因为免去了钎焊工序以及鑲装刀齿用刀杆的制造）。但是，机械固定方法也有一些严重的缺点。必需占用硬质合金刀片的一部分来满足夹紧的要求，并且由于标准刀片的尺寸比較小而使得銑刀能够重磨的次数不多。再加上刀片在刀体中夹紧时发生破裂，于是使硬质合金的耗量提高。利用尺寸比标准刀片更大的刀片（这样的刀片可根据特殊定貨来制造），就容易創造出借机械方法固定硬质合金刀片的銑刀的合理結構。

現在来叙述借机械方法固定硬质合金稜形刀片、嵌入小柱、圓片的銑刀的一些特殊結構。

图 127 所示是苏联运输机械科学研究所 (Оргтрансмаш) 設計的嵌入式端銑刀。刀片 2 被夹紧在位于刀体 1 端面的槽中。借螺釘 4 之助，利用圓筒形套 3 来实现固定。为了便于拆卸銑刀起見，螺釘 4 带有差动螺紋。刀齿的調节，借螺釘 5 来实现。这类銑刀制造成直徑  $D = 150 \sim 250$  毫米。

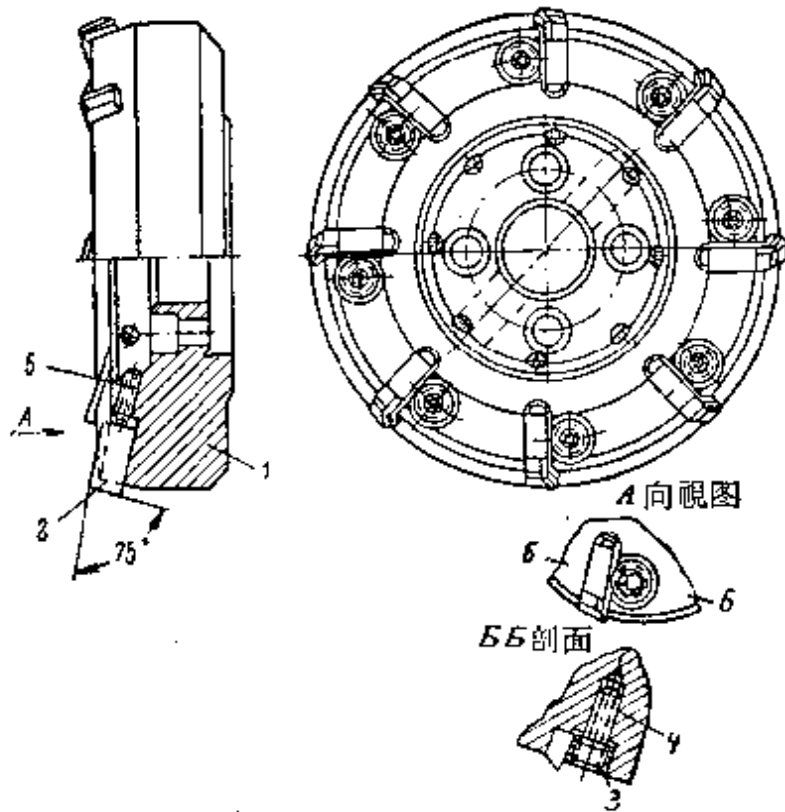


图 127 苏联运输机械科学研究所设计的、借机械方法固定硬质合金刀片的嵌入式端铣刀

这种结构具有有限的应用，因为它有一系列的缺点：刀齿数目不多（与镶装刀齿的普通铣刀一样）；必须应用厚度9~10毫米的硬质合金刀片来代替钎焊铣刀上所用厚度3~4毫米的硬质合金刀片；制造容纳硬质合金刀片的闭口槽时很是复杂；刀体1中容纳套3的槽以及套3本身的制造精度要求较高；必需在装配状态下刃磨铣刀。

在苏联运输机械科学研究所设计的端铣刀中（图128），采用了硬质合金的多刃嵌入小柱。借滑块3和螺帽4之助，将剖开支柱2夹紧在刀体1的孔内。小柱5安放在支柱2中，并借螺钉6夹紧于其中。借止动螺钉8限制螺钉7的回转，而螺钉7则是用来调节小柱和禁止其轴向移动的。在装配铣刀时，在特殊卡具上用千分表来调节小柱的位置。

这种结构的优点是：在整套小柱的使用时期内重磨次数较多，两次重磨之间铣刀的总耐用度较高（依靠回转各个小柱），小

柱可以分开刃磨。但是，这种结构不能推荐广泛应用。除结构复杂外，其主要缺点还有：必须应用特殊的卡具来把小柱安装于铣刀刀体中(不得不从机床上卸下刀体)，这种结构对于直径不大的铣刀是不适用的，刀齿数目较少，只能加工敞开的表面。

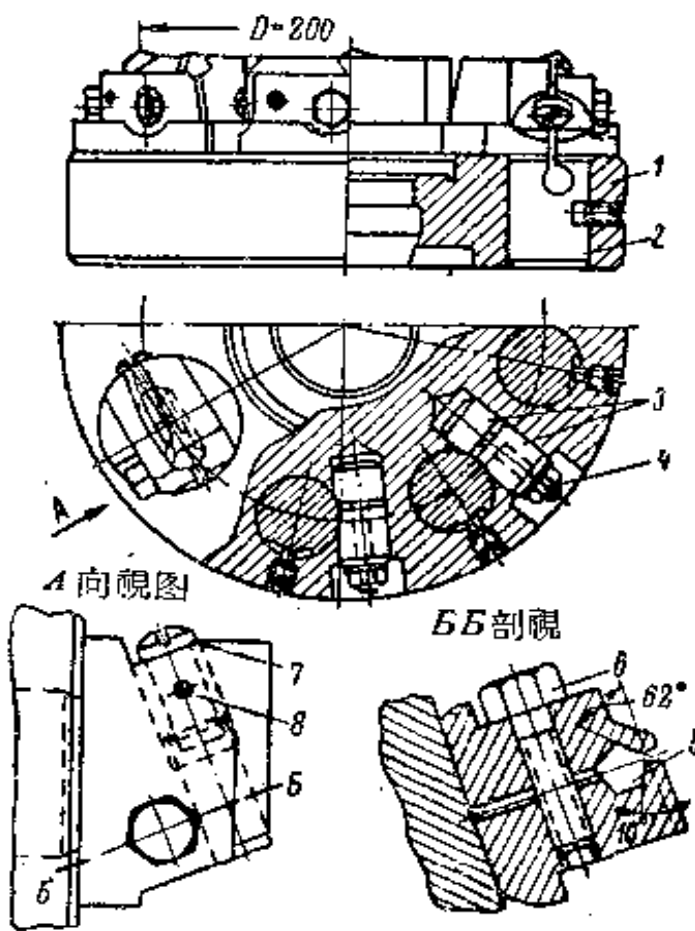


图128 苏联运输机械科学研究所设计的、借机械方法固定硬质合金多刃嵌入小柱的端铣刀

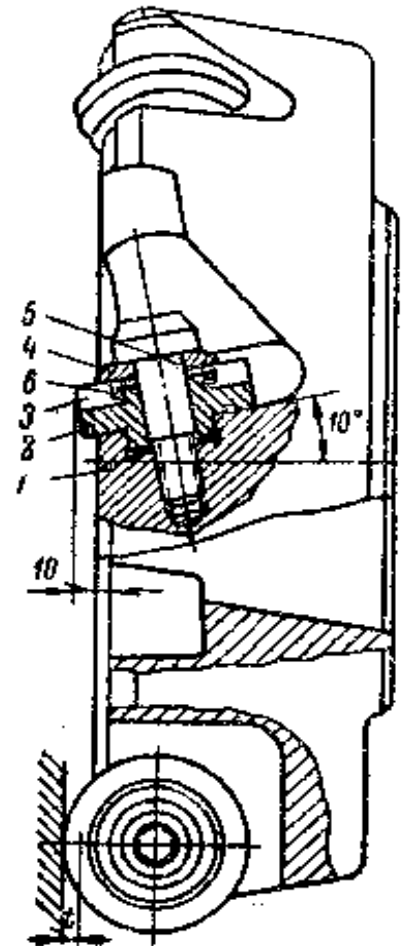


图129 航空工艺与生产组织科学研究所设计的、借机械方法固定硬质合金圆片的端铣刀

在航空工艺科学研究所设计的端铣刀中(图129)，采用了硬质合金圆片。在铣刀刀体1中，安放圆片3，即套装在套6和刀杆2上。借螺钉5，通过垫圈4，把圆片夹紧。

这种结构比其他结构优越得多：硬质合金圆片的固定可靠，保证不用样板而能把圆片精确地安装于铣刀刀体中；在把圆片夹紧于刀体中以及在铣刀工作时，圆片不会偏位；当圆片磨钝时很容易把它们重新布置(回转)，不必从机床上卸下刀体；这种铣刀



在两次重磨間的总耐用度比棱形刀齿的高(在用圓片的一面来工作时高7~9倍, 在用圓片的两面来工作时則高16~19倍); 在外圓磨床上进行整套圓片的分开刃磨是很簡便的。

这种結構的缺点是: 刀齿数目較少; 只能加工敞开的表面; 振动的傾向較大, 因为切削刃的工作部分較长以及偏角較小; 为了制造出所需精度的銑刀刀体比較費事。

在降低銑刀的刃磨工时具有最大意义的情况下, 可以推荐采用这种結構。

### 23. 銑刀的磨鈍准則和耐用度

在走刀量不大于  $s_z = 0.2$  毫米/齿的条件下, 用硬质合金端銑刀进行鋼的高速銑削时, 銑刀刀齿的磨損主要是沿后隙面发生。在走刀量較大时, 磨損是沿后隙面和前傾面同时发生。随着走刀量  $s_z$  的增大, 前傾面的磨損就增大, 而后隙面的磨損則减小。

在較小的走刀量  $s_z$  下进行淬火鋼的端銑时, 刀具磨損是沿后隙面发生。在某些情况下, 硬质合金刀片沿前傾面发生不大的崩角。图 130 所示是在加工硬度为  $H_{Rc} = 51$  的淬火鋼时, 实验<sup>(60)</sup> 所得硬质合金 T15K6T 单齿端銑刀的磨損特征形式。



图 130 在加工淬火鋼时, 端銑刀刀齿的磨損  
( $D=110$  毫米;  $\gamma=-22^\circ$ ;  $\varphi=60^\circ$ ;  $\varphi_0=30^\circ$ ;  $t=2$  毫米;  $s_z=0.095$  毫米/齿;  $v=112.6$  米/分;  $B=90$  毫米)  
 $a$ —后隙面的正常磨損, 硬质合金刀片沒有崩角;  $b$ —刀片崩角和前傾面的磨損

許多研究工作和工厂实践的总结, 使得 И. А. 馬尔凱洛夫可以推荐下列的刀齿后隙面磨損量, 作为加工淬火鋼时端銑刀的磨

## 鈍标准:

淬火鋼的硬度	銑刀刀齿后隙面的最佳磨損
$H_{RC}$	$h$ (毫米)
38~47	2.0~1.5
47~54	1.5~1.0

对于硬度为  $H_{RC} = 38 \sim 58$  的淬火鋼，技术定额标准科学研究所(НИВТН)<sup>[27]</sup> 采取  $h = 1.5$  毫米。在切削用量中(附录 II)，采用了后面的数据。

在本书第三章(淬火鋼的車削)中曾經指出，得到「皺褶状」的切屑乃是車削时車刀磨鈍的显著准则。应当指出，这个准则也可成功地应用于淬火鋼的端銑。

对于加工过程的效率来说，正确选择刀具耐用度是有重要意义的。文献中有关硬质合金端銑刀耐用度的数据，彼此差别很远。M.H. 拉林<sup>[11]</sup> 依据端銑刀的直径来确定其耐用度：

$$T = (1.25 \sim 1.50) D, \text{ 分,}$$

式中  $D$ ——銑刀直径(毫米)。

И.А. 馬尔凱洛夫<sup>[60]</sup> 依据銑刀刀齿数目来确定端銑刀的耐用度，并且对于每一个棱形刀齿按30~40分钟来计算：

端銑刀刀齿数目 $z$	4	5	6	8	10	12
耐用度 $T$ (分)	120~160	150~200	180~240	240~320	300~400	360~480

但是，在用直径  $D = 265$  毫米的硬质合金 T15K6Y 端銑刀进行鉻鉍鋼的高速銑削研究时<sup>[62]</sup>，证明六齿銑刀的耐用度与三齿銑刀、单齿銑刀的耐用度沒有多大差别。

与 M.H. 拉林、И.А. 馬尔凱洛夫的数据相比，НИВТН<sup>[27]</sup> 推荐的端銑刀耐用度要大得多：

端銑刀直径 $D$ (毫米)	75	90	110	130~150	200	250
耐用度 $T$ (分)	150	240	300	360	480	600

在推荐的切削用量中(附录 II)，采取了  $T = 300$  分钟。本书作者认为，所采取銑刀刀齿后隙面磨損量 ( $h = 1.5$  毫米) 证明这耐用度是正确的。

## 24. 銑刀切削部分的几何参数

現在列出本书所用关于端銑刀刀齿切削部分几何参数的符号和术语。主要的几何参数有(图131):

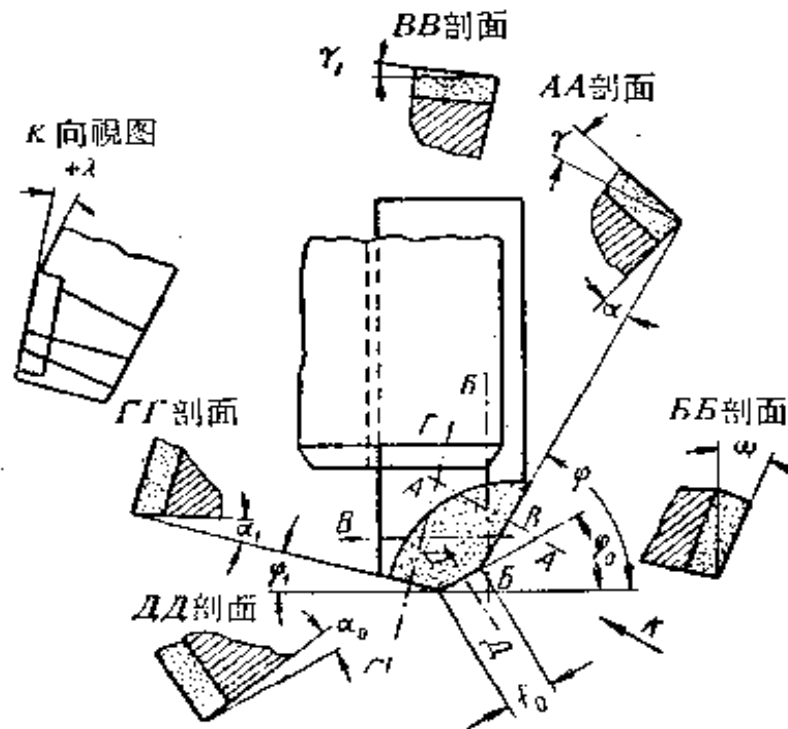


图 131 端銑刀切削部分的几何参数

$\gamma$ ——前角;

$\alpha$ ——主后角;

$\alpha_0$ ——过渡切削刃的后角;

$\alpha_1$ ——副切削刃的后角;

$\lambda$ ——主切削刃斜角;

$\varphi$ ——主偏角(主切削刃的偏角);

$\varphi_0$ ——过渡切削刃的偏角;

$\varphi_1$ ——副切削刃的偏角;

$f_0$ ——过渡切削刃的长度。

此外,在制造和刃磨端銑刀时,必須知道下列輔助角度:

$\omega$ ——纵向(軸向)前角;

$\gamma_1$ ——横向(徑向)前角。

三个前角 $\gamma$ 、 $\omega$ 、 $\gamma_1$ 与主切削刃斜角 $\lambda$ 、主偏角 $\varphi$ 之間，存在着下列关系：

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \gamma &= \operatorname{tg} \gamma_1 \cdot \sin \varphi + \operatorname{tg} \omega \cdot \cos \varphi; \\ \operatorname{tg} \lambda &= \operatorname{tg} \gamma_1 \cdot \cos \varphi - \operatorname{tg} \omega \cdot \sin \varphi; \\ \operatorname{tg} \omega &= \operatorname{tg} \gamma \cdot \cos \varphi - \operatorname{tg} \lambda \cdot \sin \varphi; \\ \operatorname{tg} \gamma_1 &= \operatorname{tg} \gamma \cdot \sin \varphi + \operatorname{tg} \lambda \cdot \cos \varphi. \end{aligned}$$

### 前角 $\gamma$

实验证明，在用硬质合金端铣刀进行钢(包括淬火钢)的高速铣削时，最佳前角 $\gamma$ 值主要是取决于被加工材料的物理-机械性能

(抗拉强度极限 $\sigma_{sp}$ 、硬度等)。

对于每一种有一定物理-机械性能的钢来说，都有一个最佳前角值，符合于最大的铣刀耐用度；前角比其最佳值大或小，都会招致刀具耐用度的下降。这可由图132看出。图上表示出了端铣刀耐用度与前角 $\gamma$ 值的关系<sup>(10)</sup>。

在铣削深度 $t=3$ 毫米、铣削宽度 $B=90$ 毫米、铣刀每齿走刀量 $s_z=0.095$ 毫米/齿、切削速度 $v=138$ 米/分的条件下，对于硬度为 $H_{RC}=51\sim 54$ 的淬火30X1CA号钢进行了试验。铣刀是用硬质合金T15K6C来装备的。铣刀直径 $D=110$ 毫米，刀齿数目 $z=1$ 。铣刀刀齿后隙面的磨损量 $h$

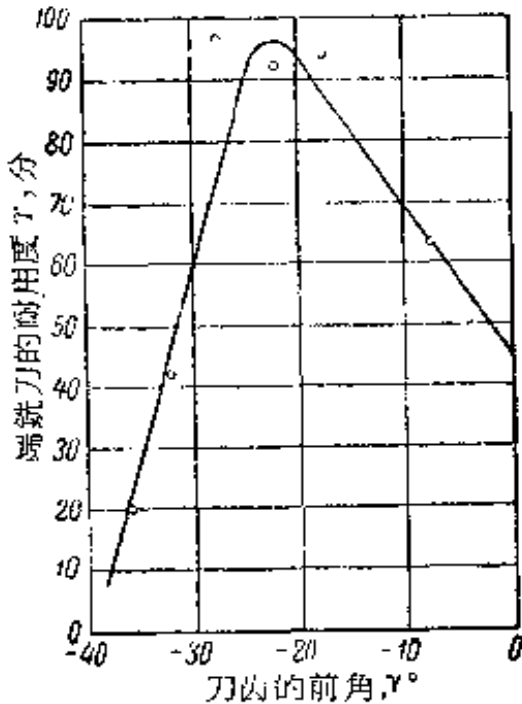


图132 端铣刀刀齿前角对于铣刀耐用度的影响。加工硬度为 $H_{RC}=51\sim 54$ 的淬火30X1CA号钢，采用硬质合金T15K6C铣刀( $\alpha=23^\circ$ ， $\lambda=6^\circ$ ， $\varphi=60^\circ$ ， $\varphi_0=30^\circ$ ， $f_0=2.0\sim 2.5$ 毫米)

$=1.2$ 毫米。前角 $\gamma$ 在 $-7\sim -37^\circ$ 范围内变化。

图解说明，对于这种钢来说，最佳前角值大约是 $\gamma=-20^\circ$ 。随着淬火钢硬度的下降，负前角值就减小。

对应于淬火鋼的負前角  $\gamma$  值比对应于未淬火鋼的大得多。在  $t=3$  毫米、 $B=175$  毫米、 $s_z=0.1$  毫米/齿、 $v=286$  米/分、 $h=1.0$  毫米的条件下，对 30XГЧА 号鋼 ( $\sigma_{sp}=80$  公斤/毫米<sup>2</sup>) 进行实验所得数据<sup>[20]</sup>证明，硬质合金 T15K6 銑刀的最佳前角值是  $\gamma = -5^\circ$ 。

表66中列举的是 П.А.馬尔凱洛夫<sup>[20]</sup>和 М.Н.拉林<sup>[31]</sup>推荐的、加工淬火鋼用端銑刀的前角值。

表 66 前 角  $\gamma$  值

数 据 来 源	被加工鋼的硬度 $H_{RC}$			
	38~44	45~49	50~54	55~64
	前 角 $\gamma^\circ$			
П.А.馬尔凱洛夫	-11~-14	-14~-18	-18~-22	—
М.Н.拉林	-5	-10	-10	-15

可以看出，М.Н.拉林采用的負前角值要小得多。

在机床制造部<sup>[27]</sup>黑色金属高速銑削用量定额标准中，对于硬度为  $H_{RC}=38\sim58$  的淬火鋼，采用前角  $\gamma = -10^\circ$ 。

应当指出，П.П.格魯陀夫<sup>[68]</sup>乃是主張采用較大的負前角  $\gamma$  值的人。在进行淬火鋼的高速銑削时，他推荐硬质合金 T15K6 銑刀的  $\gamma = -20^\circ$ ，硬质合金 T5K10 銑刀的  $\gamma = -15^\circ$ 。

关于在車削淬火鋼时必需采用尽可能小的負前角的見解，已在第三章予以闡述，本书作者认为，这見解对于端銑來說也是正确的。但是，端銑刀与車刀不同的地方是在承受冲击載荷的情况下工作。因此，与車刀相比，端銑刀刀齿的切削刃应当借增大負前角值的办法来加强。根据本书作者的意見，在用鈦鎢类硬质合金 (T15K6、T14K8 和 T5K10) 銑刀进行淬火鋼的端銑实践时，应当采用 М.Н.拉林推荐的前角值(表 66)。只是对于硬质合金 T30K4 銑刀，負前角值才應該增加  $3\sim5^\circ$ 。

最后来研究一下有关端铣刀刀齿前倾面的双刃磨问题(图133)。П.И.格魯陀夫和С.И.沃耳柯夫<sup>[38]</sup>对于未淬火18XHMA号钢( $\sigma_{sp}=110\sim 120$ 公斤/毫米<sup>2</sup>)进行了铣削研究。实验是用直径为200毫米的单齿端铣刀来进行的,这铣刀的几何参数如下:主前角 $\gamma=15^\circ$ ,倒棱的前角 $\gamma_{\beta}=-20^\circ$ , $\alpha=15^\circ$ , $\lambda=15^\circ$ , $\varphi=60^\circ$ , $\varphi_1=4\sim 5^\circ$ , $\varphi_0=30^\circ$ , $f_0=0.1\sim 0.3$ 毫米;倒棱宽度 $f$ 在0~3毫米范围内变化;切削用量—— $t=3$ 毫米, $B=100$ 毫米, $s_z=0.089$ 毫米/齿, $v=180$ 米/分,一次行程长度 $l=300$ 毫米。他们的研究证明了下列各点。

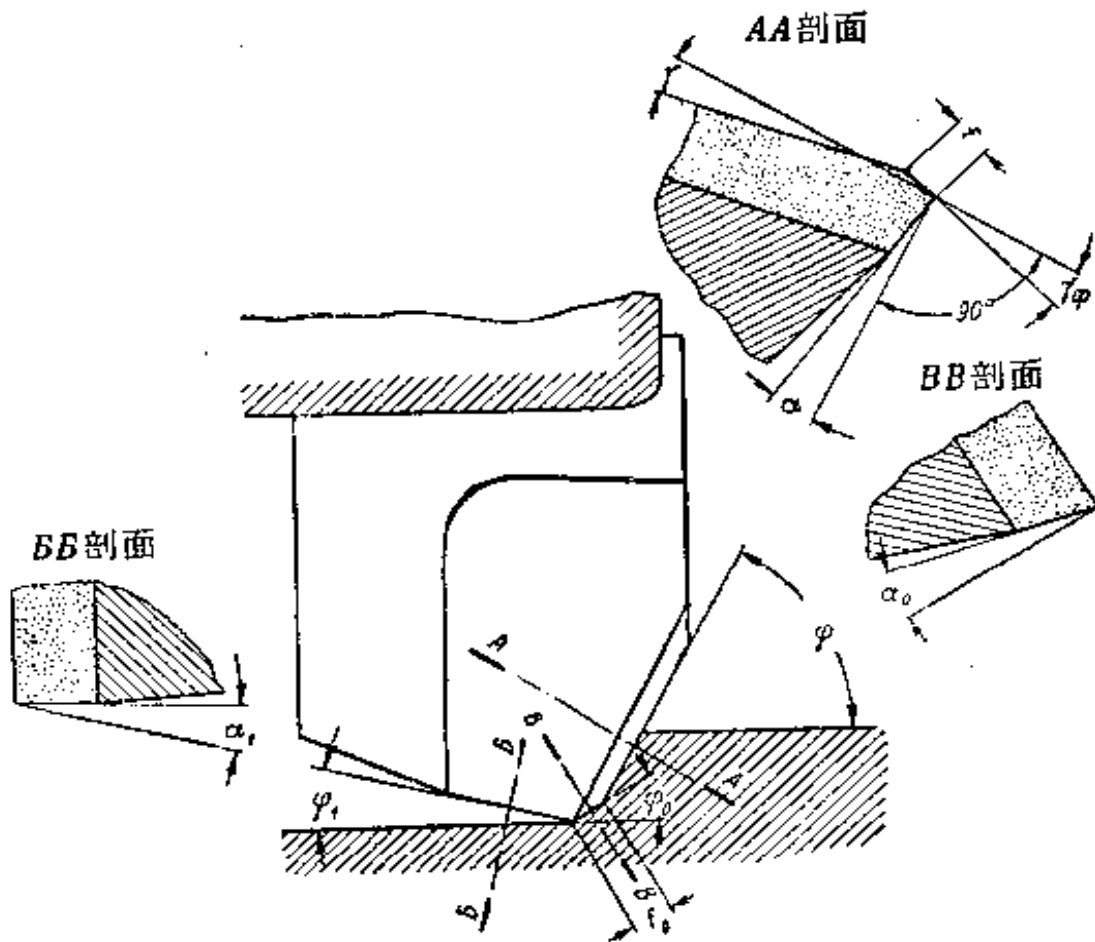


图133 端铣刀刀齿的几何参数

1. 在后隙面磨损量相同而倒棱宽度 $f \leq 1.5$ 毫米时,铣刀耐用度随着倒棱宽度的减小而下降。

2. 倒棱宽度 $f$ 对于切屑的排出条件和变形程度发生强烈的影响。随着 $f$ 从0增大到0.5毫米,切屑的变形就增大。在倒棱较

窄时 ( $f \leq 0.2$  毫米), 切屑就靠在带有正前角的前倾面部位上; 这时切屑的变形就象沿整个前倾面都是保有正前角  $\gamma$  时的情况一样; 这时的倒棱对于切屑的变形几乎不发生影响。

当倒棱宽度  $f > 0.5$  毫米时, 切屑就只靠在带有负前角的前倾面部位上, 所以这时切屑受到强烈的变形。

3. 为了减小切屑的变形, 最好是采取负前角倒棱的宽度在  $0.1 \sim 0.3$  毫米范围以内。但在这样的倒棱宽度下, 切削刃会提早发生崩碎, 因为硬质合金刀片在这情况下是受到弯曲变形, 而不是压缩变形(压缩变形是硬质合金所最能忍受的)。

4. 双前倾面(复前倾面)的用途不是在于减小在这里具有次要意义的切屑变形和切削力, 而是在于提高刀具耐用度。

И.И. 格魯陀夫和 С.И. 沃耳柯夫得出了結論, 在用硬质合金端铣刀进行鋼的高速铣削时, 必需在整个前倾面上采用负前角。采用带有正主前角和倒棱(宽度小于1.5毫米)负前角的双前倾面, 会使铣刀耐用度下降。

显然, 在进行未淬火鋼的高速端铣时所查明的、应用双前倾面铣刀的无效性, 在加工淬火鋼时就該表现得更加深刻。

值得指出, НИВТН<sup>[37]</sup> 推荐在进行鋼的高速端铣时采用双前倾面, 并且主前角比倒棱前角大  $5^\circ$ 。对于淬火鋼的加工,  $\gamma = -5^\circ$ , 而  $\gamma_\phi = -10^\circ$ , 倒棱宽度  $f = 1.5$  毫米。就象在第三章中所述, 这样的前倾面几何形状比之平前倾面, 保証能够稍微提高硬质合金刀片可能重磨的次數。

### 主切削刃斜角 $\lambda$

在用硬质合金端铣刀进行鋼的高速铣削时, 主切削刃斜角  $\lambda$  的基本用途是强化(加强)刀刃。在铣刀刀齿切入被加工材料的瞬間(图134), 角  $\lambda$  影响到刀齿切削刃承受冲击部位的位置。在  $\lambda = 0^\circ$  以及任何前角  $\gamma$  值之下, 最初的冲击是沿整个切削刃或平行于切削刃而分布; 在  $\lambda < 0^\circ$  时, 是刀齿的齿尖首先切入被加工金属; 而在  $\lambda > 0^\circ$  时, 冲击是发生在距离刀齿齿尖大約等于铣削深度的

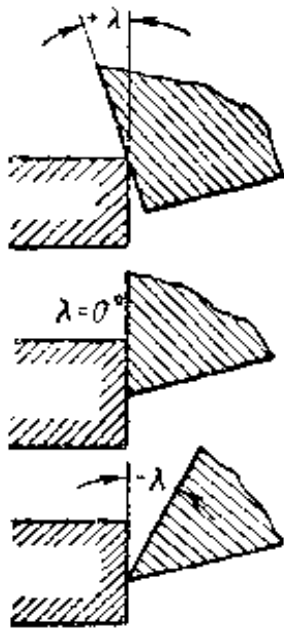


图 134 在端铣刀刀齿切入被加工零件时，切削刃承受最初冲击部位的位置与主切削刃斜角 $\lambda$ 的符号的关系简图

地方，因此，硬质合金刀片的工作部分避免了提早崩碎或刀齿齿尖崩缺。

在用硬质合金端铣刀进行钢的高速铣削时，应当只采用正的主切削刃斜角 $\lambda$ ，虽然随着角 $\lambda$ 的正值的增大，切屑变形程度和消耗功率就增大，而切屑排出也更困难。

对于角 $\lambda$ 值发生影响的主要是切削条件，即在有冲击或没有冲击的条件下工作。角 $\lambda$ 也与被加工材料的物理-机械性能以及硬质合金的强度有关。角 $\lambda$ 应当随着被加工材料强度的提高以及硬质合金强度的降低而增大。

图135所示是硬质合金T15K6单齿端铣刀( $D=200$ 毫米)的耐用度与主切削刃斜角 $\lambda$ 值的关系，这是根据实验数据<sup>[63]</sup>绘制出来的。在 $t=3$ 毫米、 $B=100$ 毫米、 $l=100$ 毫米、 $v=81.6$ 米/分、 $s_z=0.122$ 毫米/齿的条件下，对于18XHMA号钢( $\sigma_{sp}=110\sim 120$ 公斤/毫米<sup>2</sup>)进行了试验。主切削刃斜角 $\lambda$ 在 $0\sim 39^\circ$ 范围内变化。实验是在对称切削的情况下进行的，没有施加冷却。

可以看出，角 $\lambda$ 的最佳值是在 $10\sim 20^\circ$ 范围以内，最大耐用度符合于 $\lambda=15\sim 16^\circ$ 。

B. H. 密茹叶夫<sup>[61]</sup>在 $-10\sim 45^\circ$ 范围内变化主切削刃斜角 $\lambda$ ，研究 $T=f(\lambda^\circ)$ 关系，也得出了大致相同的结果。实验是用硬质合金T15K6单齿端铣刀( $D=240$ 毫米)来进行的。在 $t=4$ 毫米、 $B=110$ 毫米、 $v=305$ 米/分和 $s_z=0.14$ 毫米/齿的条件下，加工20号钢。

实验证明(图136)，前角 $\gamma$ 的数值和符号对于角 $\lambda$ 的最佳值没有影响。对于 $\gamma=+10^\circ$ 和 $\gamma=-10^\circ$ 的铣刀来说，角 $\lambda$ 的最佳值都等于 $+10^\circ$ 。当角 $\lambda$ 值很大时( $\lambda>30^\circ$ )，铣刀耐用度急剧下



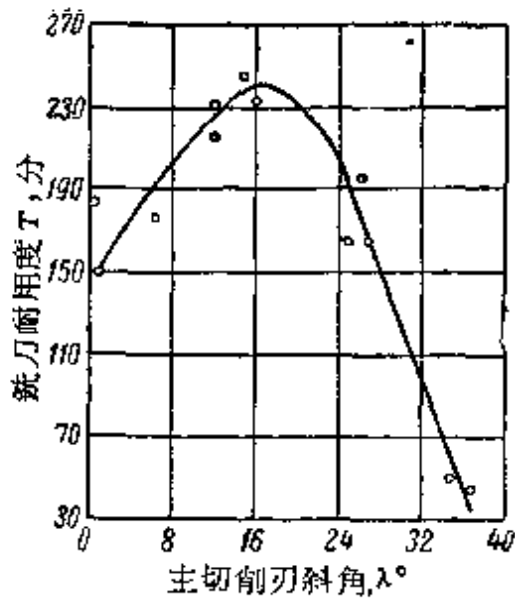


图 135 在进行 18XHMA 号钢 (抗拉强度极限  $\sigma_{\text{拉}} = 110 \sim 120$  公斤/毫米<sup>2</sup>) 的高速铣削时, 角  $\lambda$  对于端铣刀耐用度的影响。铣刀磨钝准则  $h = 1.75 \sim 1.90$  毫米 ( $\alpha = 4 \sim 5^\circ$ ,  $\gamma = -10^\circ$ ,  $\varphi = 90^\circ$ ,  $\varphi_0 = 45^\circ$ ,  $\varphi_1 = 3 \sim 5^\circ$ ,  $f_0 = 1.0 \sim 1.3$  毫米)

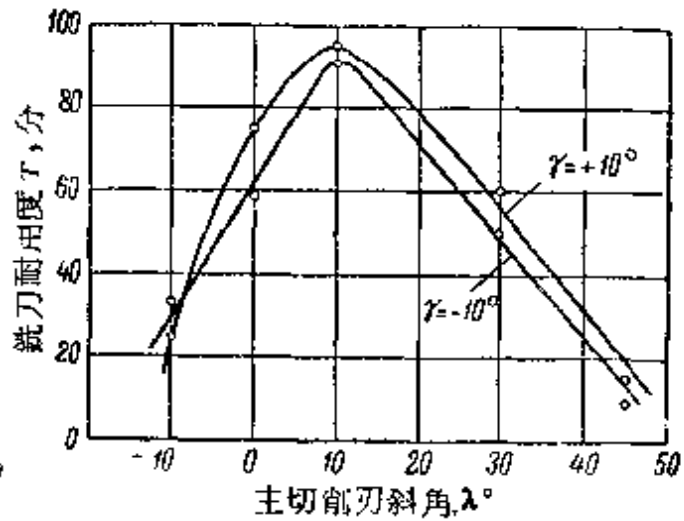


图 136 硬质合金 T15K6 端铣刀的主切削刃斜角对于铣刀耐用度的影响 ( $\alpha = 15^\circ$ ,  $\varphi = 75^\circ$ ,  $\varphi_0 = 40^\circ$ ,  $f_0 = 1$  毫米,  $\gamma = +10^\circ$  和  $-10^\circ$ )

降, 并且刀齿后隙面的磨损也过渡到副切削刃上。

随着角  $\lambda$  的增大, 切屑变形程度就增大, 这是表现在切屑纵向收缩的增加上面<sup>(13)</sup>。角  $\lambda$  从 0 增大到  $22^\circ$  时, 就使得切屑收缩从 1.6 增加到 2.0, 即增加 25% (图 137)。当角  $\lambda$  继续增大时, 切屑变形就急剧地增加: 角  $\lambda$  从  $22^\circ$  增大到  $37^\circ$  时, 就符合于切屑收缩从 2.0 增加到 4.2, 即增加到二倍以上。

切屑收缩这样急剧的增加就表示着, 切削条件随着主切削刃斜角的增大而恶化: 切屑变形程度以及切削

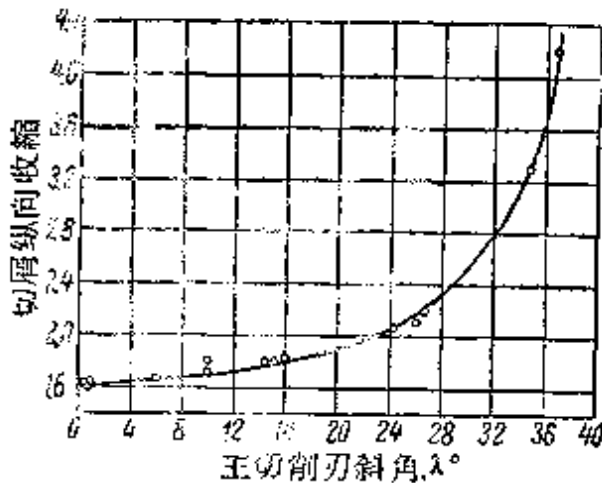


图 137 在加工 18XHMA 号钢时, 硬质合金 T15K6 端铣刀 ( $D = 200$  毫米) 的主切削刃斜角对于切屑纵向收缩的影响。切削用量:  $t = 3$  毫米,  $s_z = 0.122$  毫米/齿,  $v = 81.6$  米/分,  $B = 100$  毫米。切削部分的几何参数:  $\alpha = 4 \sim 6^\circ$ ,  $\gamma = -10^\circ$ ,  $\varphi = 90^\circ$ ,  $\varphi_0 = 45^\circ$ ,  $\varphi_1 = 3 \sim 5^\circ$ ,  $f_0 = 1.0 \sim 1.3$  毫米。

力和切削所消耗功率都增加。

П.П. 格魯陀夫和 С.И. 沃耳柯夫认为，由他們查明的、对于  $\sigma_{sp} = 110 \sim 120$  公斤/毫米<sup>2</sup> 的鋼的最佳主切削刃斜角值  $\lambda = 15^\circ$ ，应当为所有的鋼所采納。对于未淬火鋼以及淬火鋼的端銑，M.Н. 拉林<sup>(64)</sup> 和 НИВТН<sup>(27)</sup> 也采取  $\lambda = 15^\circ$ 。对于非对称銑削，M.П. 拉林則建議采取  $\lambda = 5^\circ$ 。

П.А. 馬尔凱洛夫<sup>(60)</sup> 持有另外一样的观点。根据他的意見則是，随着被加工鋼强度的提高，角  $\lambda$  就該减小：

鋼的抗拉强度极限 $\sigma_{sp}$ (公斤/毫米 <sup>2</sup> )	主切削刃斜角 $\lambda^\circ$
60~100	15
100~140	10
140~180	5

与銑削未淬火鋼相比，在銑削淬火鋼时，加强(强化)鈦鎢类硬质合金端銑刀的切削刃是具有更重要的意义的。在任何情况下，加工淬火鋼用端銑刀的主切削刃斜角都應該不小于在研究未淬火鋼銑削中所得角  $\lambda$  的最佳值。本书作者认为，在进行特殊研究以前，对于銑削淬火鋼來說，应当采取主切削刃斜角  $\lambda = 15^\circ$ 。在本书作者所推荐的切削用量中，規定的就是这个角  $\lambda$  值。

### 主后角 $\alpha$

主后角  $\alpha$  对于硬质合金端銑刀的耐用度发生显著的影响。研究証明，在用后角很小的硬质合金端銑刀进行鋼的銑削时，銑刀刀齿后隙面与切削表面之間就会发生剧烈的摩擦、銑刀发生强烈的磨損，并且还会引起振动而招致硬质合金刀片的崩刃。当后角很大时，銑刀刀齿的楔角就减小，硬质合金刀片工作部分的强度就下降，以致在刀齿后隙面变鈍很小时切削刃就发生提早崩刃和崩碎。

M.Н. 拉林<sup>(31)</sup> 从許多研究結果的总结得出了結論，最佳后角值主要是取决于最大切削厚度  $a_{max}$ 。切削厚度(每齿走刀量)愈

小，后角就应当愈大。当切削速度低于350米/分、被加工鋼的机械性能在 $\sigma_{sp}=40\sim 120$ 公斤/毫米<sup>2</sup>范围以内、以及前角 $\gamma$ 在 $+15^\circ\sim -15^\circ$ 范围以内时，它们对于最佳后角值的影响非常微小，以致实际上可以忽略不计。

我们转过来叙述实验数据。图138所示是已加工表面总长度与后角 $\alpha$ 值的关系，这是A.B. 谢戈列夫和B.H. 特卡切夫斯基<sup>[62]</sup>在进行40号碳鋼的高速

铣削研究工作中得出来的。试验是在铣削宽度 $B=90$ 毫米、铣削深度 $t=5$ 毫米、走刀量 $s_z=0.095$ 毫米/齿、切削速度 $v=200$ 米/分下，用直径为 $D=250$ 毫米的硬质合金T15K6端铣刀来进行的。由这图解可知，最佳主后角值是 $\alpha_{onm}=16\sim 20^\circ$ 。两位研究人员报导，对于受试验的其他鋼材，他们也得到了相似的结果。

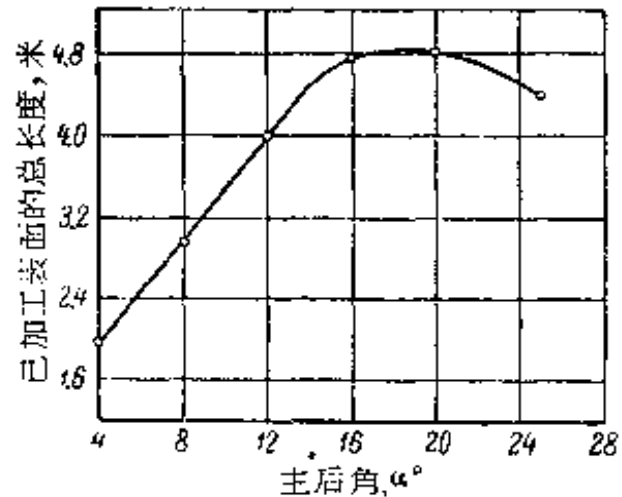


图138 在铣削 $\sigma_{sp}=57$ 公斤/毫米<sup>2</sup>的40号鋼时，硬质合金T15K6端铣刀的主后角对于已加工表面总长度的影响。A.B. 谢戈列夫和B.H. 特卡切夫斯基的数据( $\gamma_1=-10^\circ$ ,  $\gamma_2=-10^\circ$ ,  $\varphi=75^\circ$ ,  $\varphi_1=15^\circ$ ,  $\alpha_1=12^\circ$ ,  $r=1.5$ 毫米)

在进行18XBMA号鋼( $\sigma_{sp}=110\sim 120$ 公斤/毫米<sup>2</sup>)的高速端铣时，铣刀的最佳主后角值是 $\alpha_{onm}=15^\circ$ <sup>[63]</sup>。

图139所示是在高速铣削淬火鋼和未淬火鋼时<sup>[60]</sup>，表达鈦鎢类硬质合金端铣刀的总耐用度与主后角 $\alpha$ 值的关系的图解。由这图解可以看出，对于淬火30XPCA号鋼来说，最佳主后角 $\alpha$ 值的范围是 $\alpha_{onm}\approx 23^\circ\sim 28^\circ$ ，而对于两种牌号的未淬火鋼来说则是 $\alpha_{onm}=12^\circ$ 。

这样看来，前角 $\gamma$ 对于后角 $\alpha$ 值也发生影响。负前角值愈大，后角就愈大。这就说明了，在加工淬火鋼时所用后角 $\alpha$ 值比在加工未淬火鋼时的大得多的原因。第一种鋼是用前角 $\gamma=-22^\circ$ 的铣刀来加工的，可是其余两种未淬火鋼则是在 $\gamma=-5^\circ$ 的情况下

来进行铣削的。对于所有受试验的钢来说，每齿走刀量是大致相同的。

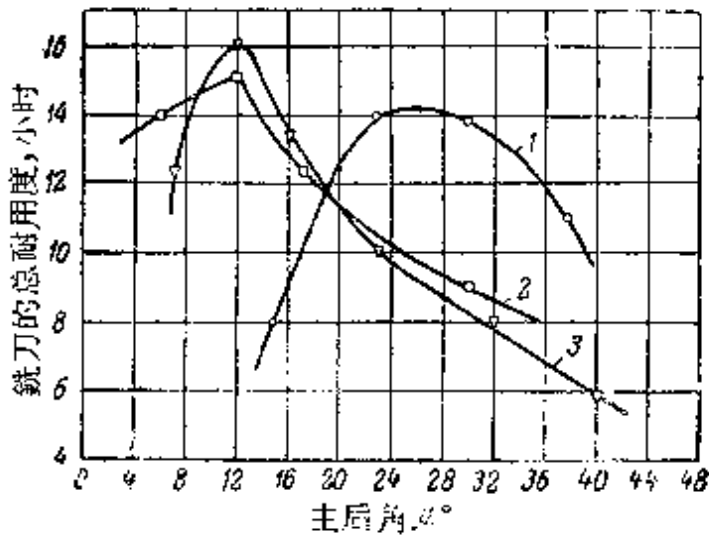


图 139 端铣刀的主后角对于铣刀的总耐用度的影响

1—硬度为  $H_{RC} = 51 \sim 54$  的淬火 30XPCA 号钢； $D=110$  毫米； $z=1$ ；T15K6； $\gamma=-22^\circ$ ； $\alpha=6^\circ$ ； $\varphi=60^\circ$ ； $\varphi_0=30^\circ$ ； $t=2$  毫米； $B=90$  毫米； $s_z=0.095$  毫米/齿； $v=136.7$  米/分； $h=1.2$  毫米；2—40XHMA 号钢 ( $\sigma_{sp}=70$  公斤/毫米<sup>2</sup>)； $D=90$  毫米； $z=1$ ；T30K4； $\gamma=-5^\circ$ ； $\lambda=15^\circ$ ； $\varphi=60^\circ$ ； $\varphi_0=30^\circ$ ； $t=3$  毫米； $B=70$  毫米； $s_z=0.1$  毫米/齿； $v=450$  米/分； $h=1.2$  毫米；3—30XPCA 号钢 ( $\sigma_{sp}=80$  公斤/毫米<sup>2</sup>)； $D=200$  毫米； $z=1$ ；T15K6； $\gamma=-5^\circ$ ； $\lambda=15^\circ$ ； $\varphi=60^\circ$ ； $\varphi_0=30^\circ$ ； $t=3$  毫米； $B=174$  毫米； $s_z=0.1$  毫米/齿； $v=286$  米/分； $h=1.0$  毫米

由于在用端铣刀进行钢的高速铣削时，被加工材料的物理-机械性能对于最佳切削厚度  $a_{max}$  和前角  $\gamma$  值发生影响，所以 П.А. 马尔凯洛夫建议依据淬火钢的抗拉强度极限来选择  $\alpha$  值：在  $\sigma_{sp} = 120$  公斤/毫米<sup>2</sup> 时选取  $\alpha = 16^\circ$ ，在  $\sigma_{sp} = 180$  公斤/毫米<sup>2</sup> 时选取  $\alpha = 20^\circ$ 。НИВТН<sup>[27]</sup> 也推荐采用这样的后角  $\alpha$  值。

М.Н. 拉林<sup>[31]</sup> 建议给加工未淬火钢和淬火钢用硬质合金端铣刀采取同样数值的主后角：当  $a_{max} > 0.08$  毫米时采取  $\alpha = 15^\circ$ ，而当  $a_{max} < 0.08$  毫米时则采取  $\alpha = 20^\circ$ 。

А.В. 谢戈列夫和 В.И. 特卡切夫斯基<sup>[63]</sup> 关于必须随着被加工钢强度的提高而减小端铣刀后角的指示，是与上述数据发生分歧的。

本书作者给淬火钢的端铣采取下列的主后角值：对于硬度为

$H_{Rc} = 38 \sim 49$  的鋼是采取  $\alpha = 15^\circ$ ，而对于硬度为  $H_{Rc} > 49$  的鋼則采取  $\alpha = 20^\circ$ 。

我們再来叙述一下主后角对于切削刃圓角半徑值的影响，以及主后角对于与刀具的尺寸磨損有关的加工精度的影响。

端銑刀的主后角的功用包括使切削刃圓角半徑减小，以便銑刀刀齿能以最小滑动角而切入被加工金属中去。从这个观点出发，在切下較薄切屑的情况下来实现淬火鋼的銑削时，就必须力求加大后角。另一方面，主后角的增大就会招致銑刀尺寸磨損的增大以及給定行程中加工精度的下降。

銑刀端面刃的后角取为  $\alpha_1 = 8 \sim 10^\circ$ ，与被加工鋼的机械性能无关。当角  $\alpha_1$  太大时，刀齿齿尖的强度就下降，而切削刃接头处发生崩刃的危險性就加大。

过渡切削刃的后角  $\alpha_0$  取为等于或略小于主后角  $\alpha$ 。

### 主偏角 $\varphi$

在同样的切削深度  $t$  和每齿走刀量  $s_z$  下，随着主偏角  $\varphi$  的减小，切削厚度  $a$  就减小而切削寬度  $b$  以及刀尖角則增大。結果，切削刃被加强，切削刃受热的强烈度减小，銑刀耐用度提高。

图140<sup>(10)</sup>表示出了主偏角  $\varphi$  对于硬质合金端銑刀耐用度的影响；銑刀耐用度随着角  $\varphi$  的减小而提高。

根据 II. A. 馬尔凱洛夫的数据，主偏角  $\varphi$ 、銑刀耐用度  $T$  与切削速度  $v$  之間的关系(对于切削厚度  $a \leq 0.11$  毫米/齿來說)可用下列等式来表示：

$$T = \frac{C_\varphi}{\sin \varphi} \text{分};$$

$$v = \frac{C'_\varphi}{(\sin \varphi)^{0.3}} \text{米/分}。$$

由这些公式可知，在一定的切削条件 ( $v$ 、 $s_z$ 、 $t$  等) 下，如果把主偏角  $\varphi = 60^\circ$  的端銑刀的耐用度当做 1，那末在同样的条件下， $\varphi = 30^\circ$  的銑刀的耐用度就可用系数 1.7 来表示，而  $\varphi = 20^\circ$

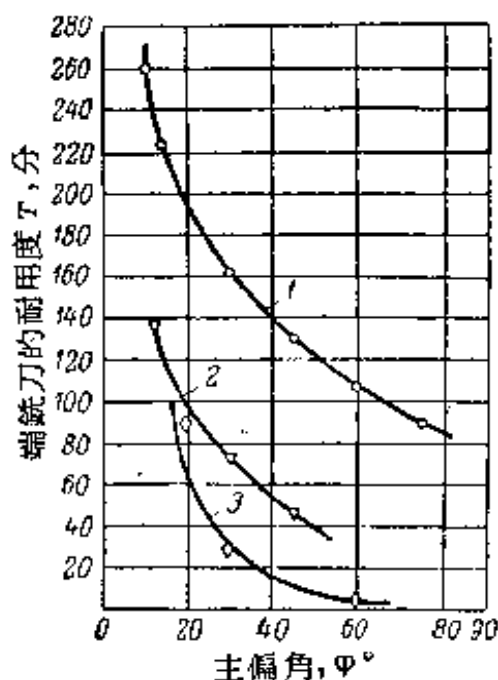


图 140 主偏角 $\varphi$ 对于端铣刀耐用度的影响

1—OXHM 号钢 ( $\sigma_{sp}=87$  公斤/毫米<sup>2</sup>);  $D=250$  毫米; T15K6;  $\gamma=-10^\circ$ ;  $\lambda=10^\circ$ ;  $t=1.5$  毫米;  $s_z=0.25$  毫米/齿;  $B=100$  毫米(Л.А. 罗日杰斯特温斯基的数据)

2—18XIIA 号钢 ( $\sigma_{sp}=110\sim 120$  公斤/毫米<sup>2</sup>);  $D=200$  毫米; T15K6;  $\gamma=-20^\circ$ ;  $\lambda=15^\circ$ ;  $t=1.5$  毫米;  $s_z=0.244$  毫米/齿;  $B=100$  毫米;  $v=197.6$  米/分(П.П. 格魯陀夫的数据)

3—30XΓCA 号钢 ( $\sigma_{sp}=75$  公斤/毫米<sup>2</sup>);  $D=150$  毫米; T15K6;  $\gamma=-5^\circ$ ;  $\lambda=15^\circ$ ;  $t=2$  毫米;  $s_z=0.26$  毫米/齿;  $B=110$  毫米;  $v=297$  米/分(П.А. 馬尔凯洛夫的数据)

偏角 $\varphi$ 較小的端铣刀时,就必需把用角 $\varphi=60^\circ$ 的铣刀在一次走刀内所能切下的余量减小很多。

还应当注意到,所需功率也是随着角 $\varphi$ 的减小而增大。例如,偏角 $\varphi=30^\circ$ 的端铣刀的功率比 $\varphi=60^\circ$ 的铣刀的大25~30%。

在加工淬火钢时,較小的偏角 $\varphi$ 可以在两级端铣刀上得到应

的铣刀的耐用度則可用系数 2.5 米表示。在同样的耐用度下,与主偏角 $\varphi=60^\circ$ 的铣刀相比, $\varphi=20^\circ$ 的铣刀的切削速度可以提高15%。

但是,在偏角很小的端铣刀的工作过程中,轴向切削力占有很大的份額,并且在机床-零件-刀具系統剛度不足的情况下,就会发生振动以及推出被加工零件。在许多场合里,振动和推出情况竟达如此严重,以致铣削过程成为不可能进行了。譬如,在切削速度 $v=280$ 米/分、走刀量 $s_z=0.15$ 毫米/齿、切削深度 $t=5$ 毫米、铣削宽度 $B=110$ 毫米下,用端铣刀( $D=150$ 毫米、 $z=8$ )进行30XΓCA号钢( $\sigma_{sp}=75$ 公斤/毫米<sup>2</sup>)的高速铣削时,轴向力的数值如下:当 $\varphi=60^\circ$ 时为800公斤,当 $\varphi=30^\circ$ 时为1550公斤,当 $\varphi=20^\circ$ 时则为2500公斤(60)。

这样看来,由于主偏角从 $60^\circ$ 减小到 $30^\circ$ 和 $20^\circ$ ,轴向力就相应地增大成二倍或三倍。因此,在采用

用。

A. B. 謝戈列夫和B. И. 特卡切夫斯基<sup>[63]</sup>根据自己的研究, 得出了另外一样的結果。图 141 表示出了已加工表面的总长度与角  $\varphi$  值的关系, 这是在  $t=5$  毫米、 $B=90$  毫米、 $s_z=0.095$  毫米/齿、 $v=200$  米/分下进行40号碳鋼( $\sigma_{sp}=57$ 公斤/毫米<sup>2</sup>)的高速銑削时得出来的。可以看出, 最佳主偏角值是在  $\varphi=60\sim 75^\circ$  范围内。当角  $\varphi$  值小于或大于这个范围时, 銑刀耐用度就下降。

图142所示是在加工 $\sigma_{sp}=90$ 公斤/毫米<sup>2</sup>的鉻鎳鉬鋼时角  $\varphi$  对于銑刀耐用度的影响。采用切削用量如下:  $t=3$  毫米,  $B=140$  毫米,  $s_z=0.105$  毫米/齿,  $v=125$  米/分。由这图解可知, 最佳主偏角值为  $\varphi=60^\circ$ 。当角  $\varphi$  向增大的方面或减小的方面变化时, 銑刀的耐用度都急剧地下降。

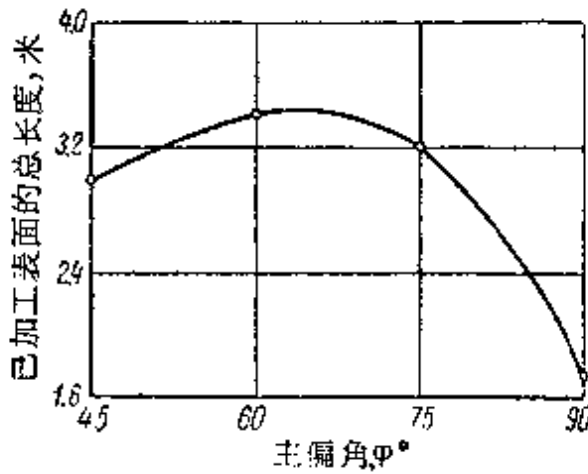


图 141 硬质合金 T15K6 端銑刀 ( $D=250$ 毫米) 的主偏角  $\varphi$  对于已加工表面总长度的影响 ( $\gamma_1=-10^\circ$ ,  $\gamma=-10^\circ$ ,  $\varphi_1=15^\circ$ ,  $\alpha=12^\circ$ ,  $\alpha_1=12^\circ$ ,  $r=1.5$ 毫米)

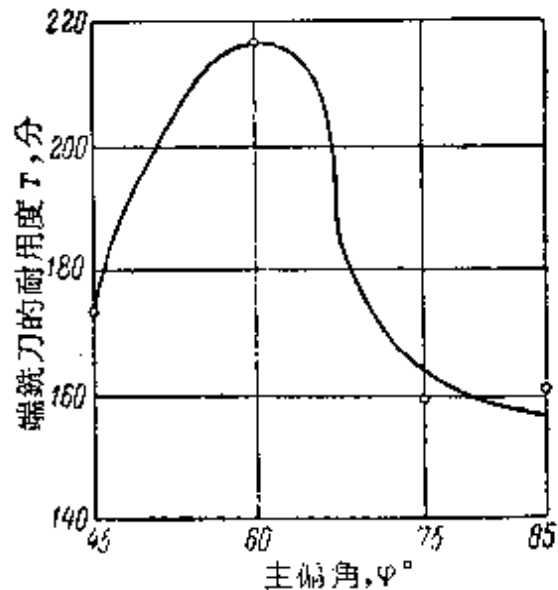


图 142 主偏角  $\varphi$  对于硬质合金 T15K6 端銑刀 ( $D=280$ 毫米) 耐用度的影响。銑刀切削部分的几何参数:  $\gamma_1=-10^\circ$ ,  $\gamma_2=-10^\circ$ ,  $\alpha=8^\circ$ ,  $\alpha_1=4^\circ$ ,  $\varphi_1=4^\circ$ ,  $f=1 \times 45^\circ$

不同研究人員們在  $T=f(\varphi)$  关系特征方面的分歧, 看来主要是由于进行实验时各自使用机床的刚度不同所致。还必须注意到, A. B. 謝戈列夫和 B. И. 特卡切夫斯基的实验所用的走刀量

( $s_z=0.095$  和  $0.105$  毫米/齿) 比 J.A. 罗日杰斯特温斯基、И.П. 格魯陀夫和 П. А. 馬尔凱洛夫的實驗所用的走刀量 ( $s_z=0.25$ 、 $0.244$  和  $0.26$  毫米/齿) 要小得多。在偏角較小时, 每齿走刀量較小就限定了是切下极薄的切屑, 特別是在銑刀切入金属中去的时刻更加如此。由于切削刃产生圓角 (与被加工金属塑性变形程度的加剧有关), 于是就使得銑刀后隙面磨損加快。

如所周知, 对于用較小的每齿走刀量来实现淬火鋼的銑削來說, А.В. 謝戈列夫和 В.И. 特卡切沃斯基的数据有很大的意义。

現在来叙述关于选择端銑刀的主偏角  $\varphi$  的實踐意見。M. H. 拉林<sup>[61]</sup>在銑削硬度为  $H_B=200\sim 500$  的鋼时采取  $\varphi=60^\circ$ 。И.П. 格魯陀夫和 С.И. 沃耳柯夫<sup>[63]</sup>对于硬度为  $H_B=179\sim 362$  的鋼、以及 НИВТН<sup>[27]</sup>对于未淬火鋼和淬火鋼, 也都是采取这样的角  $\varphi$  值。M. И. 克路欣<sup>[43]</sup>对于硬度为  $H_B=200\sim 350$  的鋼, 把主偏角加大到  $\varphi=75^\circ$ 。

总结这些数据, 可以推荐采用主偏角  $\varphi=60^\circ$  的硬质合金端銑刀来銑削淬火鋼。角  $\varphi=90^\circ$  的銑刀只应当在某些特殊场合里应用, 这是由于工艺上的必要性所引起的: 銑削凸肩或凸边附近的平面。

在所有上述文献来源中, 都推荐采取过渡切削刃的偏角  $\varphi_0 = \frac{\varphi}{2}$ , 而过渡切削刃的长度  $f_0=1.0\sim 2.0$  毫米。

### 副切削刃偏角 $\varphi_1$

随着副偏角  $\varphi_1$  的减小, 沿副后隙面的摩擦功就增大, 这就会促进振动的发生。然而这时参加切削工作的副切削刃长度增大, 而且刀尖角也增大。因此, 刀齿齿頂被加强, 导热情况由于主、副切削刃之間金属质量的增大而得到改善, 結果銑刀耐用度提高。随着角  $\varphi_1$  的减小, 切下金属层的残余截面就减小, 已加工表面光洁度就提高。

对于淬火鋼的端銑來說, 应当采用副偏角  $\varphi_1$  大約等于  $5^\circ$  的



銑刀。

在进行淬火鋼的端銑时，提高已加工表面光洁度的有效手段是采用带有偏角等于 $0^\circ$ 、长度等于1~3毫米的修光刃的銑刀（图143）。

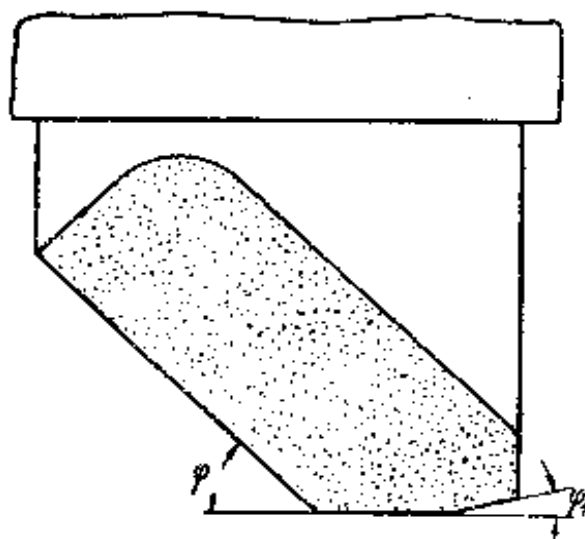


图 143 带有修光切削刃的端銑刀的刀齿

## 25. 各种因素对于銑刀耐用度和切削速度的影响

### 切削速度与銑刀耐用度的关系

在銑削淬火鋼时，切削速度与硬质合金端銑刀耐用度的关系特征，和車削时的一样：

$$v = \frac{C}{T^m}。$$

实验数据証明，在用硬质合金端銑刀进行高速銑削时，对于淬火鋼比对于未淬火鋼具有稍微小些的相对耐用度指数  $m$  值。根据許多研究工作的平均数据得出，对于未淬火合金鋼來說  $m = 0.30$ ，而对于淬火鋼來說  $m = 0.25$ 。这些数据是属于鈦鎢类硬质合金(T15K6、T30K4等)端銑刀的。

銑削淬火鋼时的相对耐用度指数值比車削时的大得多。

在本书所推荐的切削用量中(附录 II)，相对耐用度指数  $m$  是取为等于0.25。

### 淬火鋼的机械性能对于切削速度的影响

和車削时一样，在用硬质合金刀具来銑削鋼料时，被加工材料的机械性能对于切削速度的影响，是随着被加工材料从一个硬度(抗拉强度极限)区域过渡到下一个更高硬度区域而逐步增大。

切削速度与被加工鋼的抗拉强度极限的关系，可由下列方程式来表示：

$$v = \frac{C_{\sigma}}{\sigma_{\sigma p}^{n_v}}$$

根据 П. А. 馬尔凱洛夫<sup>[60]</sup>和 НИБТН<sup>[27]</sup>的数据，表达被加工材料机械性能对于切削速度的影响程度的指数 $n_v$ 的数值如下：

对于 $\sigma_{\sigma p} = 60 \sim 125$ 公斤/毫米<sup>2</sup>的鋼， $n_v = 1.0 \sim 1.1$ ；

对于 $\sigma_{\sigma p} = 125 \sim 180$ 公斤/毫米<sup>2</sup>的鋼， $n_v = 2.0$ 。

可以看出，被加工材料的机械性能对于切削速度的影响程度，在淬火鋼方面比在未淬火鋼方面的要大得多。

如果把在一定条件下对于 $\sigma_{\sigma p} = 120$ 公斤/毫米<sup>2</sup>的淬火鋼的切削速度当做1，那末在同样条件下对于 $\sigma_{\sigma p} = 150$ 公斤/毫米<sup>2</sup>的淬火鋼的切削速度就可用系数0.63来表示，而对于 $\sigma_{\sigma p} = 200$ 公斤/毫米<sup>2</sup>的鋼則可用系数0.36来表示。

在切削用量中(附录 II)，是采取了下列的 $v \sim \sigma_{\sigma p}$ 关系中的指数 $n_v$ 值：对于 $\sigma_{\sigma p} = 120 \sim 210$ 公斤/毫米<sup>2</sup>的鋼( $H_{R_{0.2}} = 38 \sim 60$ )， $n_v = 2.0$ ；对于 $\sigma_{\sigma p} > 210$ 公斤/毫米<sup>2</sup>的鋼( $H_{R_{0.2}} > 60$ )， $n_v = 7.0$ 。

### 装备端銑刀用硬质合金的牌号对于切削速度的影响

在进行淬火鋼的端銑时，硬质合金的化学成分对于切削速度发生重大的影响。随着碳化鈦含量的提高，硬质合金的切削性能就提高。

在鈦錫类硬质合金 T30K4、T15K6、T14K8、T5K10 中，切削性能最高的是 T30K4，最低的是 T5K10。

根据实验数据<sup>[60]</sup>得知，硬质合金 T30K4 可以采用的切削速

度大于硬质合金 T5K10 的 1.7 倍。

每齿走刀量对于铣刀耐用度和切削速度的影响

在端铣刀耐用度与每齿走刀量之间，存在着下列关系：

$$T = \frac{C_s}{s_z^{\nu T}}$$

式中  $T$ ——铣刀耐用度(分)；

$s_z$ ——铣刀每齿走刀量(毫米/齿)。

对于  $\sigma_{sp} = 170 \sim 180$  公斤/毫米<sup>2</sup> 的 30XГЧА 号钢的这个关系示于图 144 上<sup>[60]</sup>。在  $t = 2$  毫米、 $B = 90$  毫米、 $v = 112.6$  米/分下，用硬质合金 T15K6 端铣刀 ( $D = 110$  毫米) 进行铣削。可以看出，在对数坐标系统中， $T = f(s_z)$  关系表现为一折线。这折线由两条直线构成，其拐点符合于走刀量  $s_z = 0.1$  毫米/齿。每齿走刀量  $s_z$  对于铣刀耐用度的影响，在拐点右方比在拐点左方表现得更为剧烈。

在对于不同强度的钢的铣削过程的许多研究工作中，得出了特征相似的  $T - s_z$  关系。随着被加工钢的机械性能 ( $\sigma_{sp}$ 、 $\Pi_{\text{H}}$ ) 的提高，表达  $T = f(s_z)$  关系的折线上发生拐转时的走刀量  $s_z$  就减小。

在铣削淬火钢时，走刀量较小的区域具有实际意义。根据图 144 来说，这个走刀量较小的区域(直线 1)表现成下列关系(相对

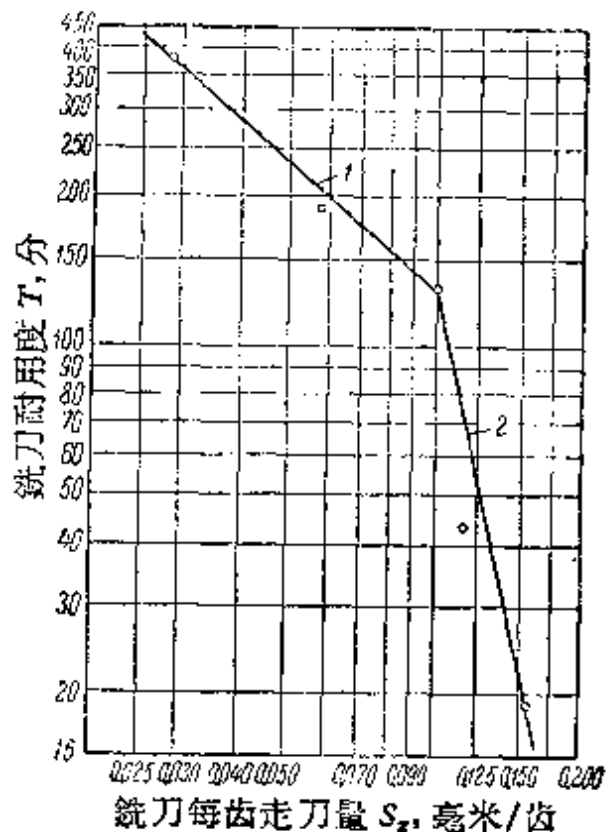


图 144 在加工  $\sigma_{sp} = 170 \sim 180$  公斤/毫米<sup>2</sup> 的淬火 30XГЧА 号钢时，各齿走刀量  $s_z$  对于硬质合金 T15K6 端铣刀耐用度  $T$  的影响。П. А. 马尔凯洛夫的数据

耐用度指数  $m=0.3$ ):

$$T = \frac{C_s}{s_z^{0.93}} \text{分},$$

$$v = \frac{C'_s}{s_z^{1.28}} \text{米/分}。$$

对于第二个每齿走刀量区域来说(直綫 2), 这些关系具有如下形式:

$$T = \frac{C_s}{s_z^{4.1}} \text{分},$$

$$v = \frac{C'_s}{s_z^{1.23}} \text{米/分}。$$

只有在  $T-s_z$  关系中  $s_z$  的幂指数小于相对耐用度指数  $m$  的倒数 (即小于  $\frac{1}{m}$ ) 的条件下, 应用第二个区域的走刀量才是合理的。

下列因素对于  $s_z$  值的影响最大:

- 1) 所需的已加工表面光洁度;
- 2) 切削厚度  $a_{max}$ ;
- 3) 铣刀切削部分的硬质合金的牌号;
- 4) 被加工钢的机械性能;
- 5) 铣刀的结构和几何参数;
- 6) 机床-零件-刀具系统的刚度。

已加工表面光洁度随着每齿走刀量  $s_z$  的减小而提高。在同样的每齿走刀量  $s_z$  下, 铣削淬火钢比未淬火钢能得出较高的表面光洁度。

每齿走刀量  $s_z$  与切削厚度  $a$  之間存在的关系如下:

$$s_z = \frac{a}{\sin \varphi},$$

式中  $\varphi$ ——端铣刀的主切削刃偏角。

对于铣刀耐用度发生基本影响的不是走刀量  $s_z$ , 而是切削厚度  $a$ ; 在走刀量  $s_z$  相同, 但切削厚度  $a$  不同的情况下, 铣刀耐用度可能发生很大的变化, 对于第二个走刀量区域来说, 变化到相

差十倍。

在選擇切削厚度時應當注意到，為了銑削過程的正常進行，必須保證使切削厚度  $a_x$  大於銑刀刀齒切削刃圓角半徑  $\rho$  (圖145)。當瞬時切削層厚度小於切削刃圓角半徑時 ( $a_x < \rho$ )，切削刃就不可能深入被加工金屬，而沿某一弧綫滑動，並不切下切屑，結果是切削刃受到比較強烈的磨損。隨着銑刀的逐漸變鈍，切削刃圓角半徑  $\rho$  就增大。

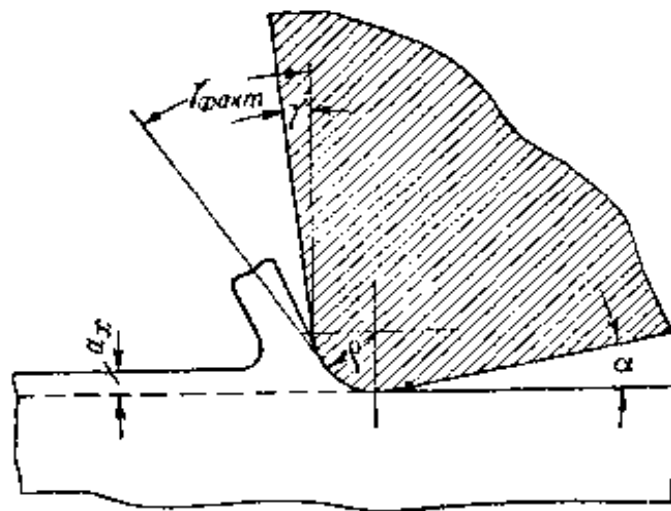


圖 145 在切削厚度較小時，端銑刀切削刃的切入簡圖

在進行鋼的端銑時，為了使銑刀的切入過程能夠正常地進行起見，切削厚度應當不小於  $a = 0.025 \sim 0.030$  毫米。這在主偏角  $\varphi = 60^\circ$  時，就符合於走刀量  $s_z = 0.03 \sim 0.035$  毫米/齒。

由圖 145 還可以看出，在切削厚度較小時，切屑就不是沿銑刀刀齒的前傾面排出，而是沿圓角半徑等於  $\rho$  的切削刃本身排出。結果，真實前角  $\gamma_{\phi_{akm}}$  得到了較大的負值，並且切削條件變得不利了。

裝備銑刀切削部分用硬質合金的抗彎強度愈高（硬質合金的含鈷量愈高），可以採取的每齒走刀量就愈大。每齒走刀量隨着被加工鋼機械性能的提高而減小。

隨着銑刀剛度和機床-零件-卡具系統剛度的提高以及主偏角  $\varphi$  的減小，每齒走刀量  $s_z$  就可增大。

現在列举出文献中关于淬火鋼端銑用每齿走刀量的数据。A. B. 謝戈列夫和 B. И. 特卡切夫斯基<sup>[63]</sup>推荐采取  $s_z$  小于 0.06 毫米/齿, ИИВТН<sup>[67]</sup> 則推荐  $s_z = 0.03 \sim 0.09$  毫米/齿。这里所說的是指利用硬质合金 T15K6 的場合。根据 И. И. 格魯陀夫和 С. И. 沃耳柯夫<sup>[63]</sup> 的数据, 对于装备同样硬质合金的銑刀来說, 最大切削厚度  $a_{max} = 0.040 \sim 0.065$  毫米, 这在銑刀主偏角  $\varphi = 60^\circ$  时就符合于  $s_z = 0.045 \sim 0.075$  毫米/齿; 对于装备硬质合金 T5K10 的銑刀来說, 最大切削厚度  $a_{max}$  可以增大 25~35%。

表 67 所示是, 在 615 型、A662 型以及类似銑床上用主偏角  $\varphi = 60^\circ$  的端銑刀来工作时, 走刀量  $s_z$  的推荐数值。这些数值是根据淬火鋼的硬度和装备銑刀用硬质合金的牌号来划分的。

表 67 在加工淬火鋼时, 銑刀每齿走刀量  $s_z$  的数值

硬质合金牌号	淬火鋼的硬度 $H_{RC}$		
	38~46	47~54	55~62
走刀量 $s_z$ (毫米/齿)			
T15K6	0.09~0.07	0.08~0.06	0.06~0.04
T30K4	0.08~0.06	0.07~0.05	0.05~0.03

在剛度較小的机床(6B12 型、6H12 型以及类似型別)上工作时, 所列走刀量应当减小 15%; 在剛度較大的机床(6A54 型、A664 型以及类似型別)上工作时, 所列走刀量則可增大 15~20%。在利用硬质合金 T14K8 和 T5K10 时, 走刀量  $s_z$  可以增大 10~15%。

#### 切削深度对于銑刀耐用度和切削速度的影响

在进行未淬火鋼的端銑时, 切削深度  $t$  (即在一次走刀中所切下金属层的厚度) 对于硬质合金銑刀耐用度的影响比切削速度和每齿走刀量的小得多。

在端銑刀耐用度  $T$  与切削深度  $t$  之間存在着下列关系:

$$T = \frac{C_t}{t^{x_T}} \text{分。}$$

不同研究人員們對於未淬火鋼得出的冪指數  $x_T$  值，在很大的範圍內變動——從 0.20 變動到 0.68。根據 П. А. 馬爾凱洛夫的數據，對於硬度為  $H_{RC} = 51 \sim 54$  的淬火 30XTCА 號鋼來說，這個指數等於 0.82。

淬火鋼的  $T-t$  關係具有如下形式：

$$T = \frac{C_t}{t^{0.82}} \text{分。}$$

採取相對耐用度指數  $m = 0.3$ ，則有：

$$v = \frac{C'_t}{t^{0.25}} \text{米/分。}$$

這樣看來，在進行淬火鋼的端銑時，切削深度  $t$  對於切削速度的影響大致與每齒走刀量  $s_z$  對於切削速度的影響相近。這是根據下述情況而來的：在  $v-s_z$  關係（第 234 頁）和  $v-t$  關係中， $s_z$  和  $t$  的冪指數幾乎相等。所提到的關係是屬於較小走刀量區域的（ $s_z \leq 0.1$  毫米/齒）。對於較大走刀量區域來說， $s_z$  的冪指數幾乎是  $t$  的冪指數的五倍大（1.23 對 0.25）。

然而在銑削淬火鋼時，一般也是以採用較大的切削深度來工作較為有利。實際上切削深度不應當超過  $t = 3 \sim 4$  毫米。在必須保證達到較高的加工精度時，應當進行兩次走刀。在銑削帶有厚氧化皮的鋼鍛件和鋼鑄件時，必須這樣來選擇切削深度，使得銑刀刀齒無論在什麼地方也不會伸出到零件的粗糙表面以上來，否則就會招致硬質合金刀片的崩刃。

### 銑削寬度和端銑刀直徑對於端銑刀 耐用度和切削速度的影響

當銑削寬度  $B$  增大時，銑刀耐用度就下降，因為這時銑刀刀齒在金屬中通過路程增長。在銑削寬度不變時，銑刀耐用度也隨着銑刀直徑  $D$  的減小而下降。

一般是研究銑刀耐用度与銑削宽度对銑刀直徑的比值 $\frac{B}{D}$ 的关系。比值 $\frac{B}{D}$ 愈大，端銑刀的耐用度就愈低。

根据实验数据，在用硬质合金端銑刀进行鋼的銑削时，切削速度 $v$ 与比值 $\frac{B}{D}$ 之间的关系可以用下列公式来表示：

$$v = \frac{C}{\left(\frac{B}{D}\right)^{0.2}} \text{米/分。}$$

研究工作和工厂实践証明，在 $B = (0.55 \sim 0.65) D$ 并且銑刀作对称配置的条件下进行鋼的端銑是最为有利的。据此，在實踐中是按下列条件来选定銑刀直徑：

$$D = (1.5 \sim 1.8) B \text{ 毫米。}$$

II. A. 馬尔凱洛夫建議根据机床功率来选定端銑刀直徑：

銑床功率 $N$ (千瓦)	小于3.5	3.5到5.5	5.5到7.5	7.5到12.0
端銑刀最大直徑 $D$ (毫米)	110	150	200	250~300

#### 銑刀刀齿数目对于銑刀耐用度和切削速度的影响

在用硬质合金端銑刀进行鋼的高速銑削的一些著作中，建議在选定切削速度时不用考虑銑刀刀齿数目。对此的解釋是，端銑刀刀齿数目对于端銑刀耐用度的影响非常微小，以致实际上可以忽略。

A. B. 謝戈列夫和B. И. 特卡切夫斯基<sup>(62)</sup>加工 $\sigma_{sp} = 70$ 公斤/毫米<sup>2</sup>的鉻鉬鋼，研究了切削速度对于刀齿数目不同的端銑刀耐用度的影响。試驗是在 $t = 3$ 毫米、 $B = 90$ 毫米、 $s_z = 0.13$ 毫米/齿的条件下，用硬质合金T15K6銑刀( $D = 265$ 毫米)来进行的。实验証明，六齿銑刀的耐用度与三齿、单齿銑刀的耐用度差别很小。

#### 切削速度的綜合公式

在进行淬火鋼的端銑时，确定切削速度用的公式有下列几个：



И.А.馬尔凱洛夫的公式:

$$v = \frac{C_v}{t^{0.3} \cdot s_z^{0.25} \cdot s_z^{0.30} \cdot \left(\frac{B}{D}\right)^{0.34}} \text{米/分,}$$

式中  $C_v$ ——常系数。随着被加工鋼的抗拉强度极限  $\sigma_{sp}$  从120增大到180公斤/毫米<sup>2</sup>,  $v$  在219~170范圍内变化。

П.П.格魯陀夫和С.И.沃耳柯夫的公式:

$$v_{300} = \frac{C_{v_{300}} \cdot D^{0.2}}{t^{0.00} \cdot s_z^{y_v} \cdot B^{0.2}} \text{米/分,}$$

在  $s_z = 0.04 \sim 0.08$  毫米/齿时, 式中的  $C_{v_{300}} = 650$  而  $y_v = 0.1$ ; 在  $s_z > 0.08$  毫米/齿时, 式中的  $C_{v_{300}} = 305$  而  $y_v = 0.4$ 。

НИВТН的公式:

$$v_{300} = \frac{C_{v_{300}}}{t^{0.5} \cdot s_z^{0.3} \cdot \left(\frac{B}{D}\right)^{0.2}} \text{米/分。}$$

И.А.馬尔凱洛夫的公式是属于較小走刀量区域的 ( $s_z < 0.1$  毫米/齿)。这里  $s_z$  的指数值 ( $y_v = 0.36$ ) 与第234頁上所示  $v-s_z$  关系中  $s_z$  的指数值 ( $y_v = 0.28$ ) 有差别, 这是由于淬火鋼的强度范围不一样所致。

根据对于文献数据的分析, 本书作者采取下列的切削速度公式:

$$v_{300} = \frac{C_{v_{300}}}{t^{0.25} \cdot s_z^{0.30} \cdot \left(\frac{B}{D}\right)^{0.30}} \text{米/分。} \quad (13)$$

表68中列出了常系数  $C_{v_{300}}$  的数值。

表 68 系数  $C_{v_{300}}$

被加工鋼	$\sigma_{sp}$ (公斤/毫米 <sup>2</sup> )	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220
的特性	$H_{RC}$	38	41	44	47	49	51	54	56	58	60	62
系数 $C_{v_{300}}$ 的数值		70	59.5	51	44	39	35	31.5	28	25	22.5	16

对于  $\sigma_{sp} = 120$  公斤/毫米<sup>2</sup> ( $H_{RC} = 38$ ) 的鋼，在  $t = 3$  毫米、 $B = 90$  毫米、 $D = 150$  毫米以及两个每齿走刀量  $s_z$  值下，計算符合于 300 分钟銑刀耐用度的切削速度  $v_{300}$ ，得到的結果如下：

	$s_z = 0.09$ 毫米/齿	$s_z = 0.04$ 毫米/齿
根据 П. А. 馬尔凱洛夫的公式	$v_{300} = 118$ 米/分	$v_{300} = 154$ 米/分
根据 П. П. 格魯陀夫和 С. И. 沃耳柯夫的公式	$v_{300} = 150$ 米/分	$v_{300} = 168$ 米/分
根据公式(13)	$v_{300} = 121$ 米/分	$v_{300} = 157$ 米/分
根据 НИВТН <sup>[27]</sup> 的公式	$v_{300} = 134$ 米/分	$v_{300} = 172$ 米/分

可以看出，本书作者采取的公式所給出的結果与 П. А. 馬尔凱洛夫的公式所給出的重合。这些結果与按 П. П. 格魯陀夫和 С. И. 沃耳柯夫的公式以及 НИВТН 的公式算出的切削速度值稍有差別(平均相差 10%)。

## 26. 切削力和有效功率

讓我們引述 П. А. 馬尔凱洛夫<sup>[60]</sup> 在用硬质合金端銑刀进行未淬火 30XГСНА 和 30XГСА 号鋼 ( $\sigma_{sp} = 75 \sim 80$  公斤/毫米<sup>2</sup>) 的高速銑削时，研究切削力和功率所得到的数据。这位研究工作者提出了一些系数，使得可以根据他对于未淬火鋼所得出的一些关系，来确定出进行不同硬度淬火鋼的端銑时的圓周切削力和有效功率的值。

实验是用直径  $D = 200$  毫米的单齿端銑刀来进行的。銑刀刀齿后隙面磨損取做  $h = 1.5$  毫米。除开用来研究銑刀个别几何参数的实验之外，在其余实验中銑刀的几何参数一律采用如下： $\alpha = 16^\circ$ ， $\gamma = -5^\circ$ ， $\lambda = 15^\circ$ ， $\varphi = 60^\circ$ ， $\varphi_1 = 15^\circ$ ， $\varphi_0 = 30^\circ$ ， $f = 1.5$  毫米。測量了最大圓周切削力  $P_{z_{max}}$ 。

我們来叙述研究結果。

1. 随着銑刀刀齿数目  $z$  的增大以及銑削寬度对銑刀直径的比值  $\frac{B}{D}$  的增大，最大圓周力  $P_{z_{max}}$  与平均圓周力  $P_z$  之間的差数

就减小。如果说在单齿铣刀和  $\frac{B}{D} = 0.15$  的条件下最大圆周力是平均圆周力的21倍大，那末在  $z = 10$  ( $D = 200$ 毫米) 和  $\frac{B}{D} = 0.7$  的条件下这两个力的比值就等于1.2。

2. 前角  $\gamma$  在  $+10^\circ \sim -5^\circ$  范围以内变化时，对于最大圆周力不发生影响。在前角从  $-5^\circ$  变化到  $-20^\circ$  时，力  $P_{z_{max}}$  就增大。 $\gamma = -20^\circ$  时的力  $P_{z_{max}}$  比  $\gamma = -5^\circ$  时的大20%。

3. 主切削刃斜角  $\lambda$  在  $+30^\circ \sim -10^\circ$  范围以内变化时，对于力  $P_{z_{max}}$  值不发生影响。

4. 主偏角对于  $P_{z_{max}}$  值的影响很大。这力的最小值符合于  $\varphi = 60^\circ$ 。角  $\varphi$  从  $60^\circ$  值向减小或增大方面变化时，都会招致力  $P_{z_{max}}$  的增大。

5. 力  $P_{z_{max}}$  随着铣刀刀齿磨损的增大而增大。当磨损  $h = 1.5 \sim 2.0$  毫米时，力  $P_{z_{max}}$  比铣刀刚开始工作时大40~50%。

6. 切削速度对于力  $P_{z_{max}}$  值发生影响。当切削速度变化11倍时(从50变化到550米/分)，这力便减小20%。

7. 当每齿走刀量  $s_z$  增大成5倍时(从0.06增大到0.30毫米/齿)，力  $P_{z_{max}}$  就增大成3.6倍。

8. 最大圆周力与切削深度之间(切削深度在  $t = 1 \sim 10$  毫米范围内变化)存在着正比关系。

9. 每齿走刀量  $s_z$  对于铣床走刀机构传动所需功率的影响最大。

铣削深度  $t$  对于这个功率的影响程度要低得多，而铣刀直径  $D$  和铣削宽度  $B$  的影响就更加微小了。

10. 与主传动的有效功率相比，铣床走刀传动的有效功率  $N_e$  是很小的。走刀传动的有效功率的相对值，如下列数据所示：

主传动的 $N_e$ (千瓦)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
走刀传动的 $N_e$ (主传动的 $N_e$ 的%)	12	10	8	6.5	5.5	4.5	4	4	4	3.5	3.5	3

11. 端铣刀刀齿变钝程度对于机床主传动所需功率发生强烈

的影响。如果把使用新刃磨好的铣刀来工作时的主传动功率当做 1，那末当刀齿在不同变钝程度下所需功率就可用下列系数来表示：

磨损 $h$ (毫米)	1.5	2.0~2.3	5.3
系数 $K$	1.25	1.35	1.65

本书作者采取下列 И.А. 馬尔凱洛夫的公式，来确定在使用棱形刀齿的硬质合金端铣刀进行钢的高速铣削时的有效功率：

$$N_e = C_N \cdot v^{0.9} \cdot t \cdot s_z^{0.8} \cdot z \cdot \frac{B}{D} \text{ 千瓦。} \quad (14)$$

对于棱形刀齿的分级铣刀来说，这公式具有如下的形式：

$$N_e = \frac{C_N \cdot v^{0.9} \cdot a \cdot s_z^{0.8} \cdot z \cdot \frac{B}{D}}{i} \text{ 千瓦，}$$

式中  $a$ ——铣刀一次行程中从被加工零件切下的余量(毫米)；  
 $i$ ——铣刀的级数。

为了根据淬火钢的抗拉强度极限来确定常系数  $C_N$  值，本书作者采取下列公式：

$$C_N = 0.034 \cdot \frac{\sigma'_{sp}}{\sigma_{sp}}$$

式中  $\sigma'_{sp}$ ——给定的钢的强度极限(公斤/毫米<sup>2</sup>)；  
 $\sigma_{sp} = 120$  公斤/毫米<sup>2</sup> (硬度为  $H_{RC} = 38$  的钢，其  $C_N = 0.034$ )。

铣床主传动的总功率可以按下列近似公式来确定：

1) 在机床的走刀传动没有单独的电动机时

$$N = \frac{1.1 N_e}{\eta} \text{ 千瓦；}$$

2) 在机床的走刀传动拥有单独的电动机时

$$N = \frac{N_e}{\eta} \text{ 千瓦，}$$

式中  $\eta$ ——机床的效率。

## 27. 已加工表面的光洁度

在进行鋼的端銑时，采用硬质合金銑刀比采用高速鋼銑刀能达到更高的表面光洁度。在这里是由于应用較高切削速度的緣故而促使表面光洁度提高的。

除切削速度外，銑刀每轉走刀量  $s_0$  和銑刀副偏角  $\varphi_1$  对于表面不平度高度发生重大的影响。

图146所示是用鈦鎢类硬质合金銑刀进行未淬火鋼的端銑时，不平度高度与走刀量  $s_0$  之間的关系。曲綫1是在  $t=3$  毫米、 $B=110$  毫米和  $v=315$  米/分下，用  $D=200$  毫米、 $z=8$  和  $\varphi=60^\circ$  的銑刀所做实验的結果<sup>[60]</sup>。这曲綫說明，当走刀量  $s_0$  从0.1增大到1.24毫米/轉时，已加工表面光洁度就下降一級有余(从  $\nabla\nabla 66$  下降到  $\nabla\nabla 5a$ )。

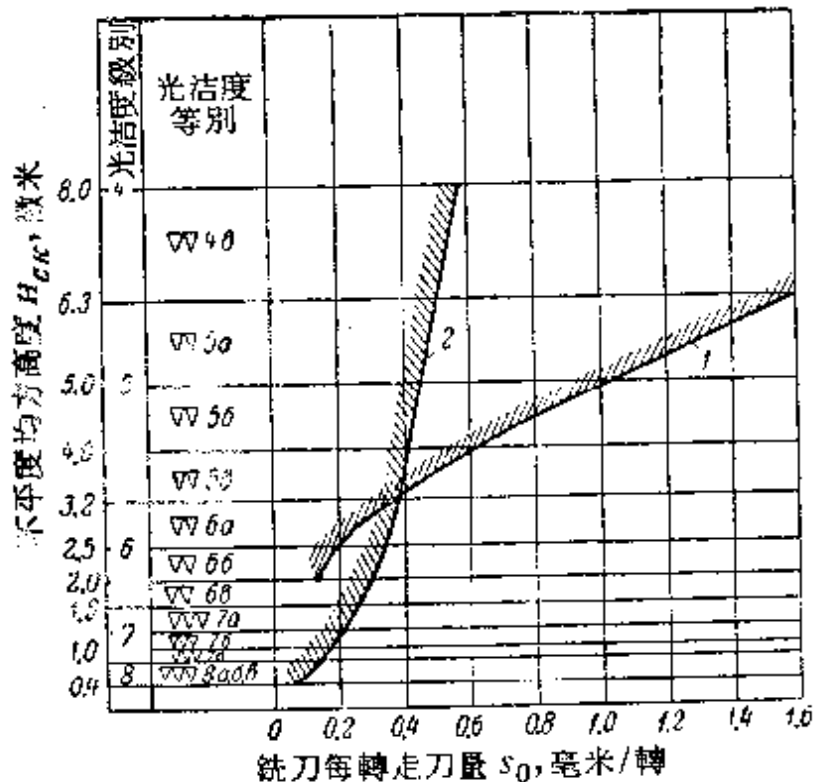


图 146 在进行未淬火鋼的端銑时，走刀量对于已加工表面光洁度的影响

1—П.А.馬尔凱洛夫对于  $\sigma_{\sigma p} = 60 \sim 70$  公斤/毫米<sup>2</sup> 的 30 XPCA 号鋼所得出的实验数据；2—ИВТИИ 对于  $\sigma_{\sigma p} = 70$  公斤/毫米<sup>2</sup> 的鋼所得出的数据

И.А.馬尔凱洛夫証明，加工淬火鋼时达到的表面光洁度比加工未淬火鋼时达到的高一两級。他推荐根据給定的表面光洁度来选定端銑刀的每轉走刀量如下：

表面光洁度等級	走刀量 $s_0$
▽▽5	0.35~1.60
▽▽6a	0.20~0.35
▽▽6b	0.15~0.20

这些走刀量是預定在采用 $z=8$ 以及刀齿的徑向和軸向偏摆不大于0.03~0.04毫米的端銑刀来加工未淬火鋼时予以考虑的。

НИБТН<sup>[27]</sup>对于未淬火鋼和淬火鋼所推荐的走刀量 $s_0$  (表69)，是預定在銑刀的端面偏摆小于0.02毫米、刀齿后隙面磨損 $h=0.8\sim 1.4$ 毫米、副偏角 $\varphi_1=5^\circ$ 时予以考虑的。根据НИБТН的数据，走刀量 $s_0$ 与未淬火鋼( $\sigma_{sp}=70$ 公斤/毫米<sup>2</sup>)表面不平度高度的关系，如图146曲綫2所示。可以看出，НИБТН所得出的走刀量 $s_0$ 与表面光洁度的关系，只是在不大的走刀量范围以内和И.А.馬尔凱洛夫的数据(曲綫1)一致。

表 69 在进行鋼的端銑时，НИБТН根据給定的已加工表面光洁度所推荐的走刀量 $s_0$

光洁度等級 (ГОСТ 2789-51)		未 淬 火 鋼			淬 火 鋼
符 号	$H_{CK}$ (微米)	抗拉強度极限 $\sigma_{sp}$ (公斤/毫米 <sup>2</sup> )			
		70	90	110	
		走刀量 $s_0$ (毫米/轉)			
▽▽5	从3.2到6.3	0.35~0.50	0.40~0.60	0.50~0.75	0.60~0.90
▽▽6	从1.6到3.2	0.20~0.35	0.25~0.40	0.30~0.50	0.35~0.60
▽▽▽7	从0.8到1.6	0.15~0.20	0.15~0.25	0.20~0.30	0.22~0.35
▽▽▽8	从0.4到0.8	0.15	0.15	0.15~0.20	0.15~0.22

虽然上述两条关系曲綫具有不同的特征，但是其他許多数据

都証实，在用較小的走刀量  $s_0$  来进行淬火鋼的端銑时，可以得到符合于 8 級的表面光洁度。

研究工作得出了下列結論：

1. 已加工表面光洁度随着被加工鋼强度的提高而提高（表 69）。与加工未淬火鋼时相比，在加工淬火鋼时可以使用大些的走刀量  $s_0$  而达到同样的（給定的）表面光洁度等級。譬如，在  $s_0 = 0.22 \sim 0.35$  毫米/轉的条件下加工时，淬火鋼的表面光洁度符合于 7 級，而  $\sigma_{\sigma} = 70$  公斤/毫米<sup>2</sup> 的未淬火鋼的表面光洁度則仅为 6 級。

2. 随着副偏角  $\varphi_1$  的减小，微觀不平度高度就减小。在采用  $\varphi_1 = 2^\circ$  的銑刀时，表 69 中列举的走刀量  $s_0$  就可以增大成二倍。

3. 端銑刀刀齿的前角  $\gamma$  以及主切削刃斜角  $\lambda$ （在  $0 \sim 15^\circ$  范围以內），对于微觀不平度高度不发生影响；在使用  $\lambda > 15^\circ$  的銑刀来工作时，微觀不平度高度稍有增大。后角  $\alpha$  以及主偏角  $\varphi$ （在  $45 \sim 75^\circ$  范围以內），对于表面光洁度的影响不显著。

4. 在端銑刀的工作初期，即当其刀齿磨損还不显著时，所得表面光洁度比随后銑刀磨損增大时所得到的高得多。

在选择淬火鋼端銑的切削用量时，应当利用表 69 中关于这类鋼的数据。

## 第五章 淬火鋼的钻削

在生产中采用硬质合金钻头进行淬火鋼的钻削，是和淬火鋼的車削同时甚至更早开始的。然而与車削不同，钻削在文献中闡述很少。目前，关于这方面的資料只有 B.Γ. 列文<sup>(16)</sup>的著作以及机床制造部 ИИВТН<sup>(17)</sup>拟定的金属高速切削用量定額标准中关于选择切削速度的非常簡要的数据。可是已經研究出了一些装备硬质合金的钻头結構<sup>(18)</sup>，在加工淬火鋼时表現得很好。

1956年簡略地发表了 B.A. 伊格納托夫对于淬火工具鋼(牌号 XBI、3XB8 和 P18)的钻削过程的研究結果<sup>(17)</sup>。

**钻头結構** 图 147 所示是装备硬质合金的直槽钻头的結構。这种钻头对于淬火鋼零件上的孔加工，得到了广泛的应用。这种钻头比麻花钻头有許多优点。工作部分的长度較小以及钻身的橫截面显著地較大，这就使得結構的剛度提高，而钻身对于在切削过程中产生的振动的吸收能力也提高，防护了硬质合金刀片。由于采用直槽，使得钻头的制造簡化了。直槽钻头的其余結構尺寸和麻花钻头的一样。直徑  $D < 10$  毫米的钻头是做成带有圆柱形尾部的，直徑  $D = 10 \sim 30$  毫米的钻头則是做成带有圓錐形尾部的。

为了钻削淬火鋼板材，采用全苏工具科学研究所<sup>(19)</sup>設計的、装有硬质合金的斜槽钻头(图 148 和 149)。钻头的排屑槽具有不大的长度。因此，斜槽钻头結構的特征是比較厚实和剛度較高。斜

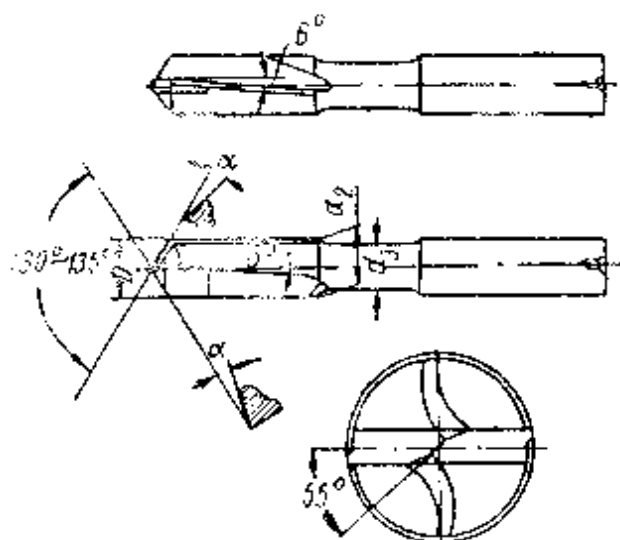


图 147 装有硬质合金的直槽钻头的結構



槽对钻头轴綫所成的斜角在  $10 \sim 20^\circ$  范围内变动，与钻头直径有关。钻身直径小于钻头直径，这就使得沿外径磨削钻头时十分方便。

全苏工具科学研究所的指导资料<sup>[10]</sup>规定了两种结构方案：

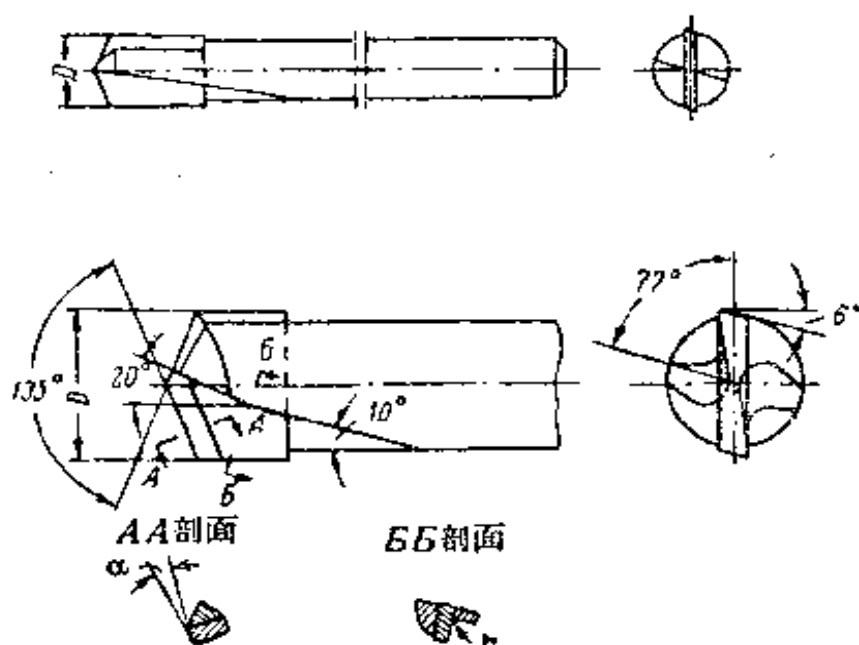


图 148 直径  $D = 2.5 \sim 10.5$  毫米、装有硬质合金的斜槽钻头的结构

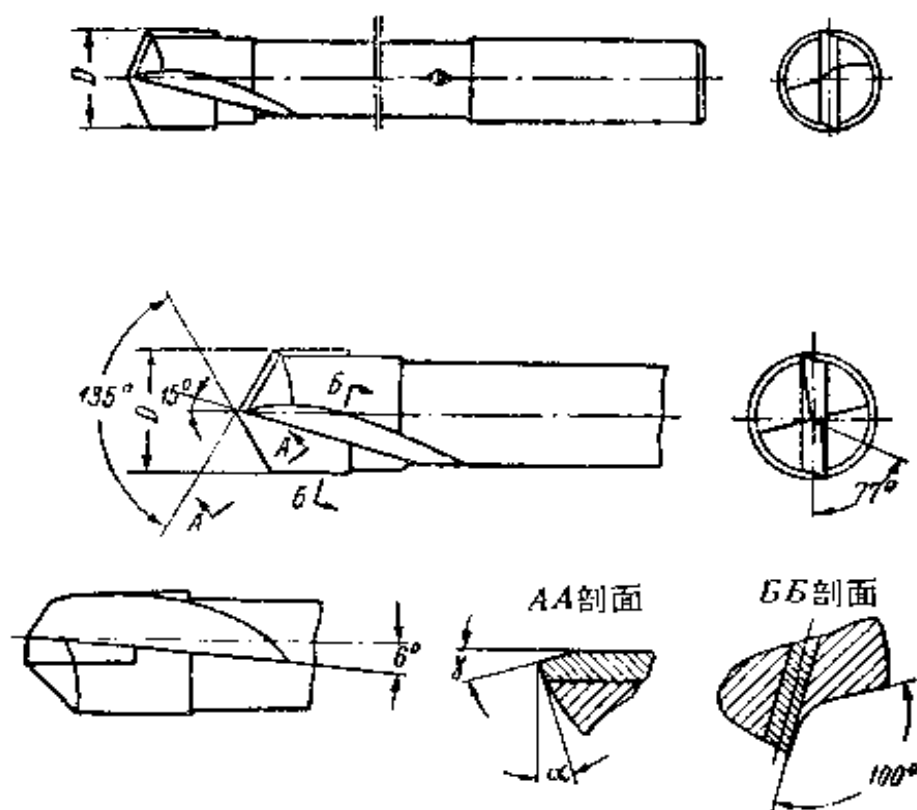


图 149 直径  $D = 11 \sim 20$  毫米、装有硬质合金的斜槽钻头的结构

短钻头和长钻头。第二个方案中规定的钻头长度大约是第一个方案中规定的二倍。

为了进行高硬度淬火合金钢的钻削，镶装硬质合金刀片的三面刃钻头(图150)得到了应用。三面刃钻头是由圆柱形尾部和硬质合金三面刃镶装刀片式切削部分来组成的。硬质合金镶装刀片的

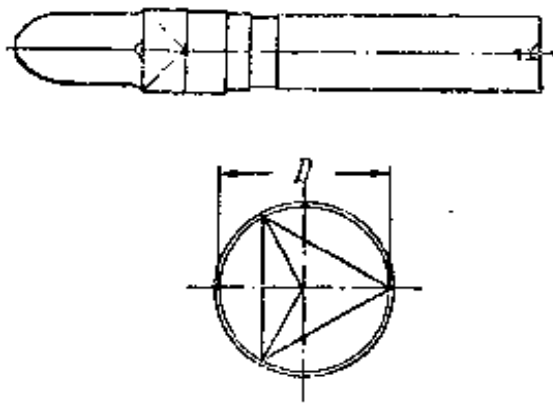


图 150 镶装硬质合金刀片的三面刃钻头的结构

的切削部分方面具有向中心收斂的倒圆面刃，而相反方面則具有圓錐端部以插入钻头尾部的錐孔中去。这结构是极简单的，在制造钻头时不会发生困难。只要求保证镶装硬质合金刀片在刀体(钻身)中的配合正确即可。镶装硬质合金刀片的三面刃钻头应用于直径  $D = 3 \sim 20$  毫米的孔加工。

在B.C.拉柯沃斯基等人的著作《机械制造中的硬质合金》<sup>[10]</sup>的表156、158、159和160中，列举出了直槽钻头(图147)、斜槽钻头(图148和149)以及镶装硬质合金刀片的三面刃钻头(图150)的结构要素的尺寸。

**硬质合金牌号** B.Γ.列文<sup>[65]</sup>试验过下列硬质合金牌号：BK3、BK8、BK12、BK15和T21K8。装备硬质合金T21K8和BK3的钻头，由于脆性较高，在开始切削后很快就发生崩刃。装备硬质合金BK8的钻头的耐用度结果较好。

在B.A.伊格纳托夫试验过的硬质合金T5K10、T15K6、BK6和BK8中，也是以BK8为较好。切削用量(附录Ⅲ)就是预定以硬质合金BK8为对象的。

**钻头切削部分的几何参数** B.Γ.列文推荐采用钻头外缘前角  $\gamma = -15^\circ$ 。B.A.伊格纳托夫对于  $H_{RC} = 62$  的钢采取  $\gamma = -15^\circ$ ，对于  $H_{RC} = 55$  的钢采取  $\gamma = -10^\circ$ ，对于  $H_{RC} = 50$  的钢采取  $\gamma = -5^\circ$ ，而对于  $H_{RC} \leq 40$  的钢则采取  $\gamma = 0^\circ$ 。全苏工具科学研究所对于淬火钢的数据<sup>[10]</sup>，规定角  $\gamma = 0^\circ \sim -5^\circ$ 。

本书作者对于硬度为  $H_{Rc} = 35 \sim 65$  的鋼采取前角  $\gamma = 0^\circ \sim -10^\circ$ 。提出的切削用量就是以这样的前角值作为对象的。

根据全苏工具科学研究所的数据，钻头的后角  $\alpha$  取做等于  $8^\circ$ 。

**钻头磨钝准则** 钻削淬火鋼时装备硬质合金的钻头的磨损特征和钻削未淬火鋼时的一样：沿横刃和后隙面发生磨损。钻头也沿前倾面发生磨损，但这磨损不大。本书作者采取下列磨损  $h$  值（图151），作为装备硬质合金 BK8 的钻头的磨钝准则（这与B.A.伊格納托夫的数据是符合的）：

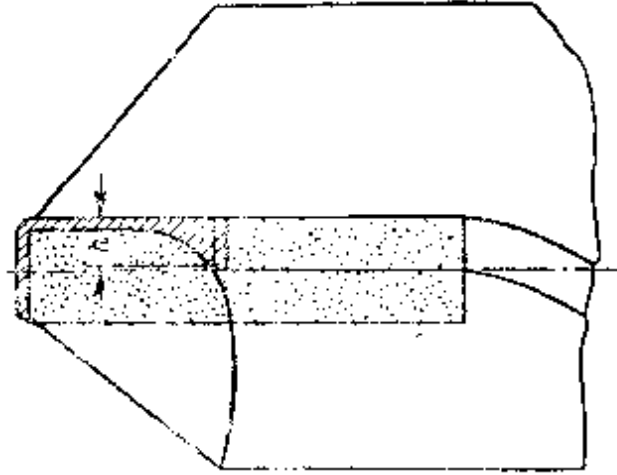


图 151 钻头磨损简图

钻头直径 $D$ (毫米)	磨损 $h$ (毫米)
10~14	0.4
16~20	0.6
24~30	1.0

**走刀量** 走刀量  $s$  值可以根据下列公式计算出来：

$$s = C_s \cdot D^{0.84} \text{ 毫米/轉,} \quad (15)$$

式中  $D$ ——钻头直径(毫米)；

$C_s$ ——常系数。

对于硬质合金BK8，采取下列的系数  $C_s$  值：

被加工鋼的硬度 $H_{Rc}$	$C_s$ 值
35~45	0.007
46~56	0.005
57~65	0.004

根据公式(15)计算出来的走刀量经过化整后列举在表70中。

应当注意到，小直径钻头的走刀量  $s$  值较小。走刀量  $s = 0.03 \sim 0.06$  毫米/轉可以在 2Г53型摇臂钻床上实现，手动操作时的走刀量较小。

表 70 在加工  $H_{RC}=35\sim 65$  的淬火鋼时, 装备硬质合金 BK8 的钻头的走刀量

被加工鋼的 硬 度 $H_{RC}$	钻 头 直 徑 $D$ (毫米)							
	10	12	14	16	20	24	28	30
	走 刀 量 $s$ (毫米/轉)							
35~45	0.050	0.055	0.065	0.070	0.085	0.100	0.110	0.120
46~56	0.035	0.040	0.045	0.055	0.065	0.075	0.085	0.090
57~65	0.030	0.035	0.040	0.045	0.050	0.060	0.065	0.070

**切削速度** 对于硬度为  $H_{RC}=50$  的淬火 3XB8 号鋼, B.A. 伊格納托夫得出了下列的切削速度公式(在采用硬质合金 BK8 钻头来加工时):

$$v = \frac{C_v \cdot D^{0.2}}{T^{0.24} \cdot s^{0.5}} \text{ 米/分。}$$

根据这个公式, 对于直徑  $D=10\sim 30$  毫米的钻头, 切削速度  $v \approx 32$  米/分。根据 B.Γ. 列文的数据, 对于同样硬度的淬火鋼, 在同样的钻头耐用度下(采用硬质合金 BK8 钻头来加工), 切削速度  $v \approx 20$  米/分。

B.Γ. 列文得出的切削速度比 B.A. 伊格納托夫的低, 这是由于在 B.Γ. 列文做完研究工作以后的时期內, 硬质合金 BK8 的质量有所提高的緣故(其他牌号的硬质合金的质量当然也有所提高)。

本书作者采取了 B.A. 伊格納托夫提出的切削速度水准。对于硬度为  $H_{RC}=35\sim 65$  的淬火鋼采取了所述公式。

在附录 III 中推荐的切削速度是根据下列公式計算出来的:

$$v_{30} = \frac{C_{v_{30}} \cdot D^{0.2}}{s^{0.5}} \text{ 米/分。} \quad (16)$$

对于常系数  $C_{v_{30}}$  是采取了下列数值:

被加工鋼的硬度 $H_{RC}$	$C_{v_{30}}$ 值
35~45	7.9
46~56	4.2
57~65	2.7

**軸向力** 为了确定軸向力，本书作者採納了B.A.伊格納托夫給硬度为  $H_{RC} = 62$  的淬火P18号鋼提出的公式，但已略予改变：

$$P_o = C_P \cdot D \cdot s^{0.5} \text{ 公斤。} \quad (17)$$

系数  $C_P$  值列举如下：

被加工鋼的硬度 $H_{RC}$	$C_P$ 值
35~45	230
46~56	250
57~65	300

这里所取的  $C_P$  值是介乎 B.A.伊格納托夫和B.Γ.列文的数据之間。 $C_P$  值与淬火鋼硬度的关系是根据 B.Γ.列文的数据来采取的。

**扭矩** 为了确定扭矩，採納了B.A.伊格納托夫給硬度为  $H_{RC} = 62$  的淬火P18号鋼提出的公式，但已略予改变：

$$M_{KP} = C_M \cdot D^{2.2} \cdot s^{0.7} \text{ 公斤·米。} \quad (18)$$

系数  $C_M$  值列举如下：

被加工鋼的硬度 $H_{RC}$	$C_M$ 值
35~45	0.038
46~56	0.044
57~65	0.051

$C_M$  值与淬火鋼硬度的关系是根据B.Γ.列文的数据来采取的。

**工作中的間歇** 在钻削硬度高于  $H_{RC} = 40$  的淬火鋼时，钻头必須周期地从被加工孔中退出。否則，在钻头的槽中发生变形的熾热切屑往往会焊在槽壁上。钻头从孔中退出，就可保証使切屑从钻头槽中釋放出来。在钻削硬度低于  $H_{RC} = 40$  的鋼时，切屑不会焊在钻头槽壁上，所以切削可以不断地进行。

被加工材料的硬度愈高，則钻下金属的热度愈剧，上述的切屑焊着現象就出現得次数愈多。随着钻头直徑的减小，钻头从被加工孔中的取出次数就增加。表71中列出了对于每10毫米钻削深度的钻头取出次数。取出钻头时切削过程的間歇持續时间是5~6

秒。

表 71 钻头取出次数

被加工鋼的硬度 $H_{RC}$	钻头直径 $D$ (毫米)				
	10	16	20	21	30
	对于每10毫米钻削深度的钻头取出次数				
45~60	3	3	2	2	2
60以上	6	6	4	4	4

在向切削区域输入电流时进行淬火鋼的钻削 B.A.伊格納托夫对于淬火鋼钻削过程的研究結果証明了下列各点:

1. 在加工具有正常微觀組織 (沒有粗大碳化物或較大碳化物积聚的碳化物不均匀性) 的淬火鋼时, 借向切削区域輸入低电压最佳电流的方法, 可以提高硬质合金钻头的耐用度。

2. 应用电流的效果取决于被加工鋼的硬度、鋼的組織、切削用量以及其他因素。在一定的条件下, 效果可能是很显著的。

如果說在加工硬度为  $H_{RC}=50$  的鋼时, 由于向切削区域輸入最佳电流而使得钻头耐用度的提高可用系数1.5来表示, 那末在加工硬度为  $H_{RC}=62$  的鋼时这个系数就等于2.5。

随着切削厚度的减小, 輸入电流时的工作效果就提高。当被加工鋼材的組織不利时 (如一部分鎳鉻鋼), 采用电流所收到的效果非常微小。

3. 随着切削速度  $v$  和走刀量  $s$  的提高, 最佳电流值就下降。

4. 在不通电流的情况下, 钻削硬度为  $H_{RC}=62$  的淬火 XBI' 号鋼时, 切削速度在  $v=12.8 \sim 51.3$  米/分範圍內变化的結果, 起初是使得軸向力  $P_o$  和扭矩  $M_{kp}$  稍微增大, 然后是使得  $P_o$  和  $M_{kp}$  显著地减小。

与  $v=12.8$  米/分时的数据相比, 当  $v=51.3$  米/分时軸向力  $P_o$  减小75% 而扭矩  $M_{kp}$  則减小30%。

在 $v=12.8$ 米/分时，向切削区域输入最佳电流使得轴向力 $P_0$ 降低61.5%。

5.在钻削硬度为 $H_{RC}=62$ 的淬火XBT号钢时，已加工表面光洁度符合于▽▽▽7和▽▽▽8。由于采用了最佳电流，表面光洁度能够提高一級。

6.在钻削淬火钢时，孔会发生收缩，即已加工孔直径小于钻头直径。在输入电流的情况下工作时，这种收缩就减小。

## 第六章 淬火鋼的鉸削

### 28. 鉸刀結構和工艺装备

#### 鉸刀結構

实验研究<sup>①</sup>和生产經驗証明，加工淬火鋼用硬质合金鉸刀的結構应当与加工未淬火鋼用鉸刀有些差別。与全苏工具科学研究所設計的鉸刀不同<sup>[57、58]</sup>，在切削部分和校准部分之間必須要有过渡部分，这过渡部分对鉸刀軸綫的斜角 $\varphi_0 = 1^\circ 30' \sim 2^\circ$ ，长度 $l_0 = 1.0 \sim 1.5$ 毫米(图152)。这样就可以使得遭受最强烈磨損的切削刃部段离开校准部分远些。

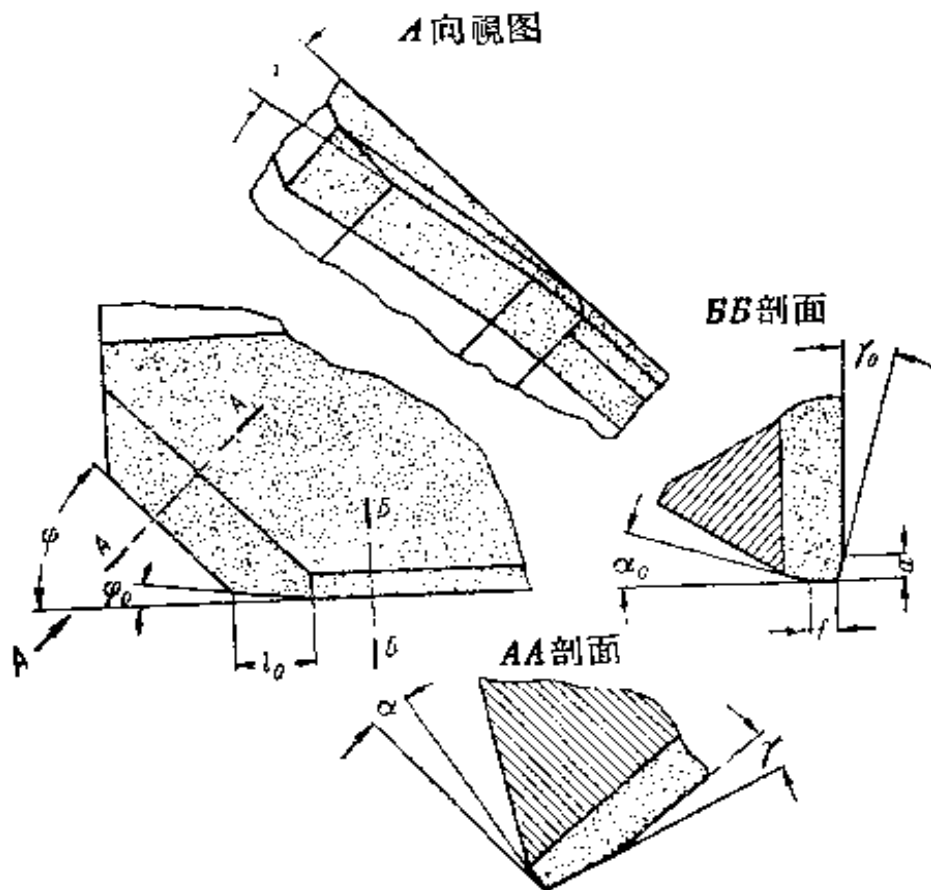


图 152 鉸刀切削部分的几何参数

① 在引言中已經指出，与車削和銑削过程不同，文献中关于鉸削和鏢削淬火鋼的数据只有 K. 中. 罗曼諾夫的著作<sup>[65]</sup>以及机床制造部 HHTII 推荐的切削用量<sup>[66]</sup>。本章和第七章中引述的实验数据是从 K. 中. 罗曼諾夫的研究工作中得来的。



鉸刀的結構应当規定是要采用导向器来工作（必要时鉸刀也可在沒有导向器的情况下使用）。这时，在导向套中的导向应当不是按刀具的工作部分而是按后导部来实现。后导部的直徑应当大于鉸刀工作部分的直徑。这样就可防止硬质合金切削刃的崩刃，而这种崩刃現象在鉸刀通过导向套时是經常发生的（由于鉸刀的偏摆以及鉸刀軸綫与导向套軸綫不重合）。

但是，与按工作部分实现定向的鉸刀相比，在这里由于后导部直徑增大而引起了鉸刀长度增大的必要性。因此，降低了机床-零件-刀具系統的剛度，增大了发生振动的危險性。

成功的解决办法是采用过渡套(图 162)。在把鉸刀引近被加工零件时，过渡套就进入导向套中，并且在整个鉸削时期內都保留于其中。

在采用工作部分直徑大于后导部直徑的鉸刀来鉸削长度大于三倍直徑的孔时，应用过渡套是合理的。

所述鉸刀結構的前导部直徑小于其工作部分的直徑，这两直徑的差值超过鉸削余量与被加工孔的軸綫的可能歪曲量的总和。

图153所示是推荐应用于淬火鋼加工的六齿鉸刀，这鉸刀带有双重的导部以及从內部供給冷却液。

研究証明，在把鉸刀从孔中引出时已加工表面上出現纵向划伤的原因，是由于鉸削后孔的收縮，也就是由于已加工孔直徑比鉸刀直徑小。

与采用高速鋼鉸刀进行鋼的加工时所用切削速度相比，在这里应用了較高的切削速度，因而造成划伤的出現。使鉸刀刀齿对于鉸刀軸綫配置成 $3^\circ$ 的角度，就象全苏工具科学研究所的設計中所規定的那样，并不能避免被加工孔的划伤。将鉸刀公差界限的通用配置方式改变一下，就可保証消除上述缺陷。

对于直徑較小(小于30毫米)的鉸刀，即在带有硬质合金刀片的鑲装刀齿的固定发生困难的时候，可以采用把硬质合金刀片钎焊在刀体上的鉸刀。

嵌入式刀具，从直徑40毫米开始，制成装配結構的。对于装

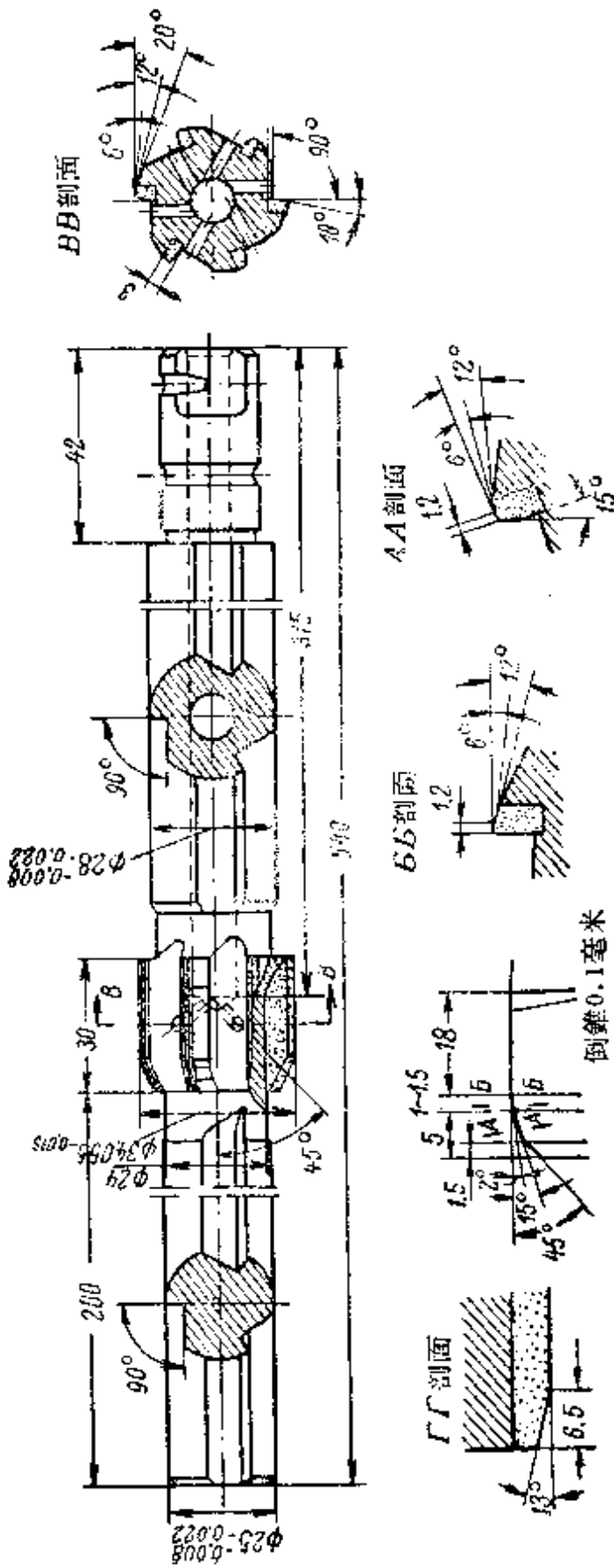


图 153 带有前导部和后导部以及从内部供给冷却液的硬质合金 T15K6 铰刀

配结构的铰刀的基本要求是保证刀齿能作轴向和径向推移。这是完全必要的，因为铰刀不仅沿切削部分而且也沿校准部分发生磨损。此外，当铰刀沿切削部分变钝时，校准部分上切削刃会形成细微崩刃，这就使得在沿切削部分重新刃磨一两次以后，必须沿导向边(沿直径)来磨削铰刀。当铰刀沿直径不超出磨损公差范围时，也应当沿导向边来进行磨削。

已经研究拟定了几种借机械方法固定硬质合金刀片的铰刀(和铰钻)的结构。但是这些结构还没有超出实验阶段，因此在生产中还没有得到广泛应用。

在借机械方法把硬质合金刀片固定到铰刀(和铰钻)上时，刀具的维护费用就可显著地下降，因为这时有关制造镶装刀齿的费用已经免去了。但是，在借机械方法固定时，硬质合金的耗用情况是不经济的，因为这时不能充分利用硬质合金刀片并且在刀具装配过程中刀片经常破裂。

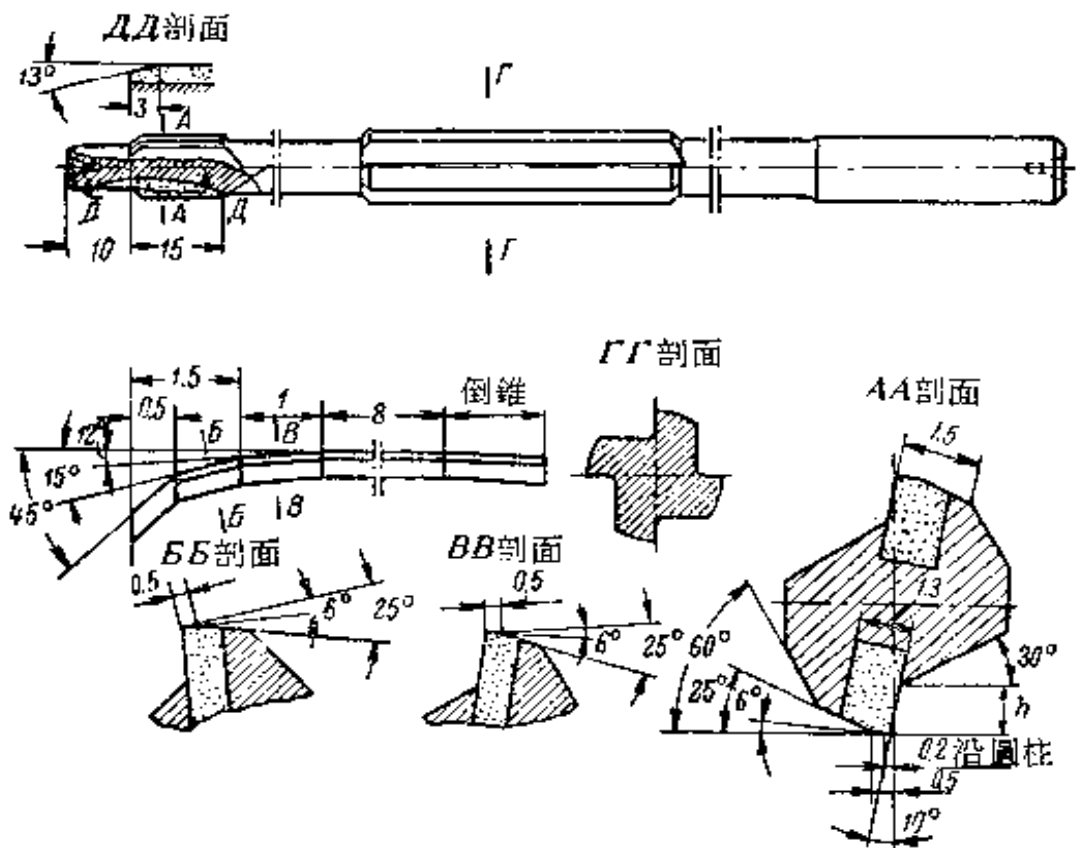


图 154 带有后导部和圆柱形尾部的、装备硬质合金的、直径 $D=6\sim 9$ 毫米铰刀的结构

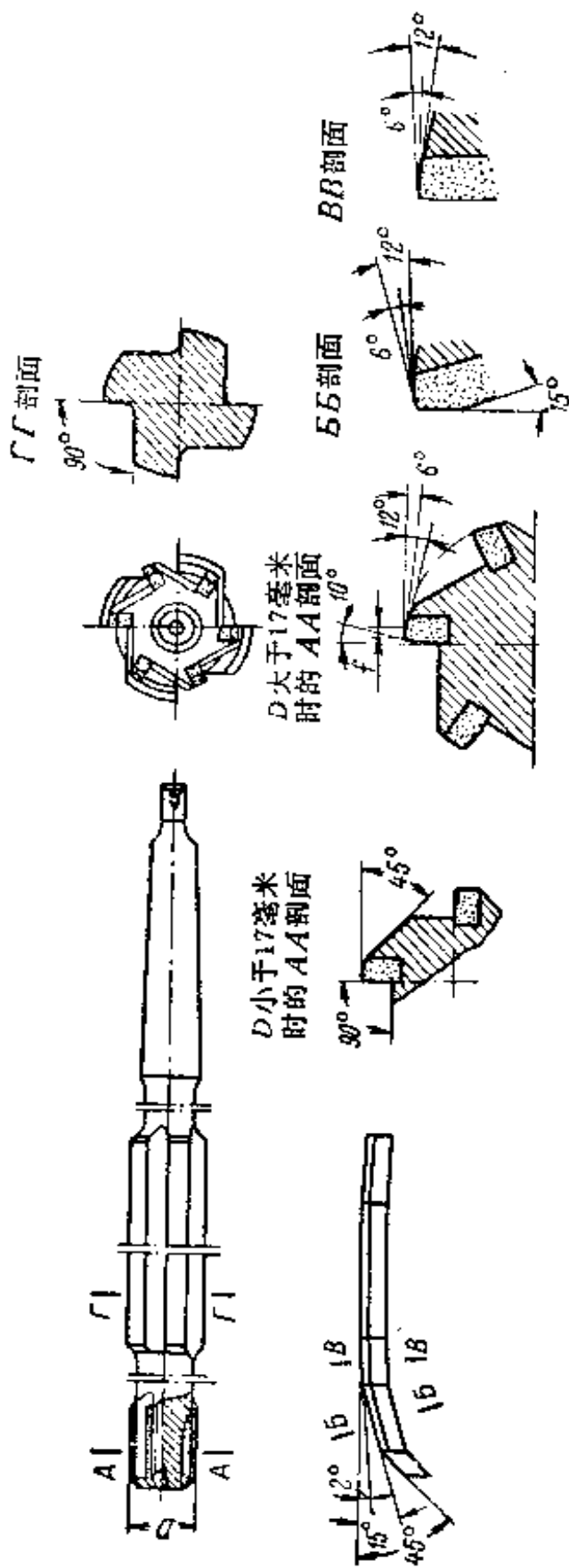


图 155 带有后导部和圆锥形尾部的、装备硬质合金的、直径  $D$  = 10~30毫米铰刀的结构

鉸削淬火鋼的實踐表明，採用借機械方法固定硬質合金刀片的鉸刀是不合理的。

可以推薦採用如圖154~157所示的、裝備硬質合金的鉸刀，來加工淬火鋼。

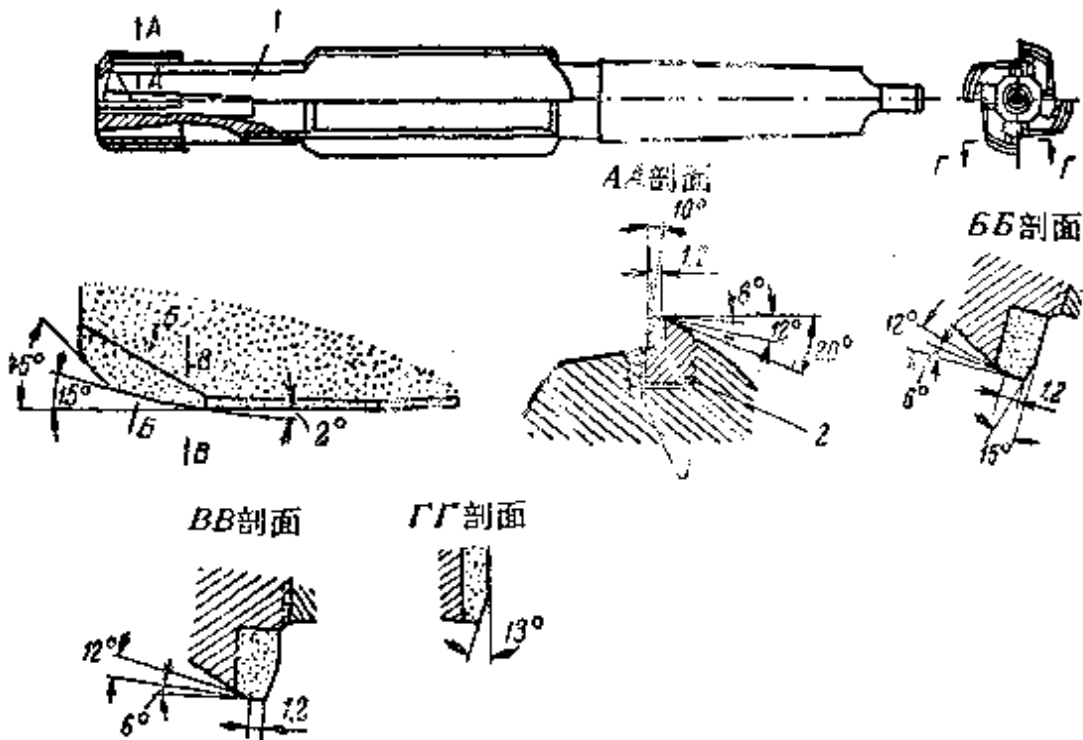


圖 156 帶有后導部和圓錐形尾部的、採用硬質合金鑲裝刀齒的、直徑 $D=25\sim 50$ 毫米的鉸刀的結構

1—刀體；2—鑲裝刀齒；3—楔

固定鑲裝刀齒試驗證明，裝配式鉸刀所採用的結構，保證能夠可靠地夾緊刀齒，並且可以把刀齒精確地調節到給定的直徑上。在鑲裝刀齒2的支承表面上(圖156、157)，沿軸向，制有鋸齒紋。在刀體1的槽的后壁上，也有這樣的縱向鋸齒紋。刀齒和刀體槽依靠這些鋸齒紋互相結合，限制了刀齒沿徑向的位移。刀齒的對面與刀齒銜接的楔3表面上的徑向鋸齒紋，把刀齒和楔結合在一起，同時限制了刀齒的軸向移動。

把刀齒調節到鉸刀的需要直徑的辦法，是將刀齒相對於楔移置一個鋸齒紋。嗣后，將刀齒和楔一起安置在具有軸向斜度的鉸刀刀體槽中。在切削過程中，在走刀力的作用下，鑲裝刀齒和楔就緊密地楔牢於刀體槽中。

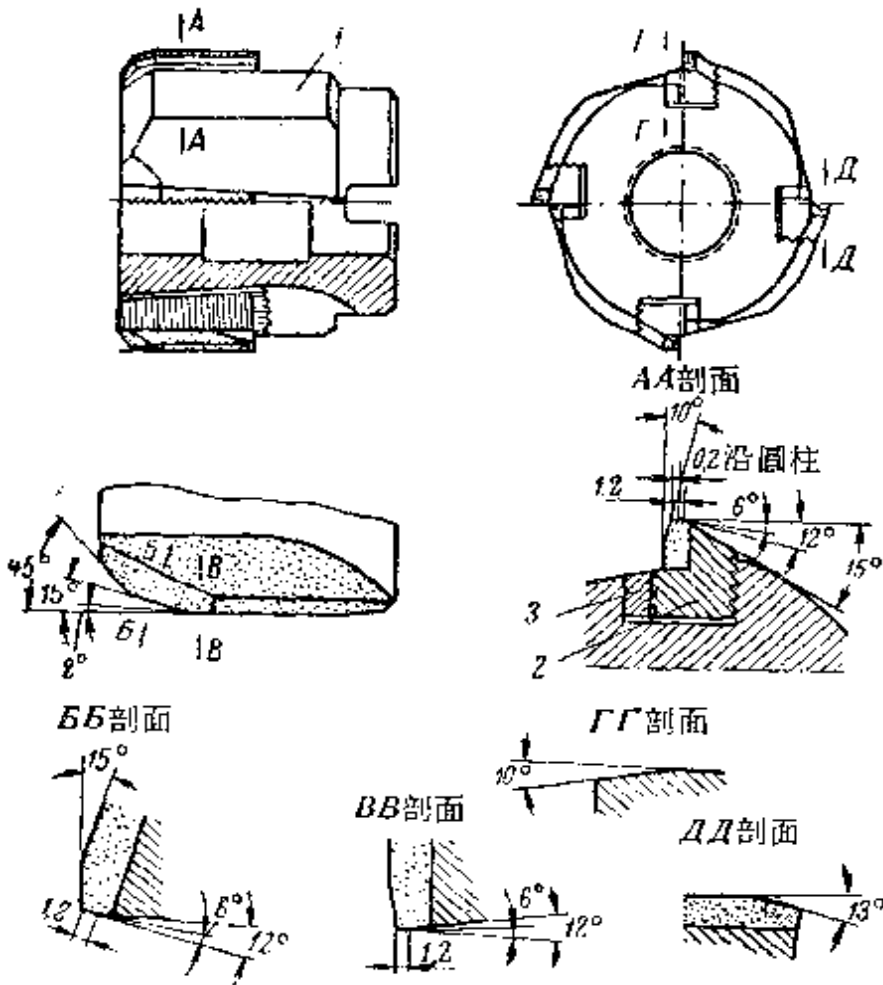


图 157 采用硬质合金镶装刀齿的、直径 $D=40\sim 80$ 毫米的、嵌入式铰刀的结构

1—刀体；2—镶装刀齿；3—楔

这种结构保证了镶装刀齿在铰刀刀体中的可靠固定，无需对刀体槽、刀齿和楔作什么特殊精确的修合。

### 公差配置方式

由于在铰削淬火合金钢时不是发生孔的扩展而是发生孔的收缩，所以基本上应当是相对于被加工孔的公差来改变铰刀的公差配置方式。K. Ф. 罗曼诺夫提出了如图158b所示的公差配置方式；图158a所示是高速钢铰刀和硬质合金铰刀通用的公差制度。

在图 158 上采纳了下列符号：

- $\Delta$ ——被加工孔的公差；
- $AB$ ——铰刀直径的上偏差；

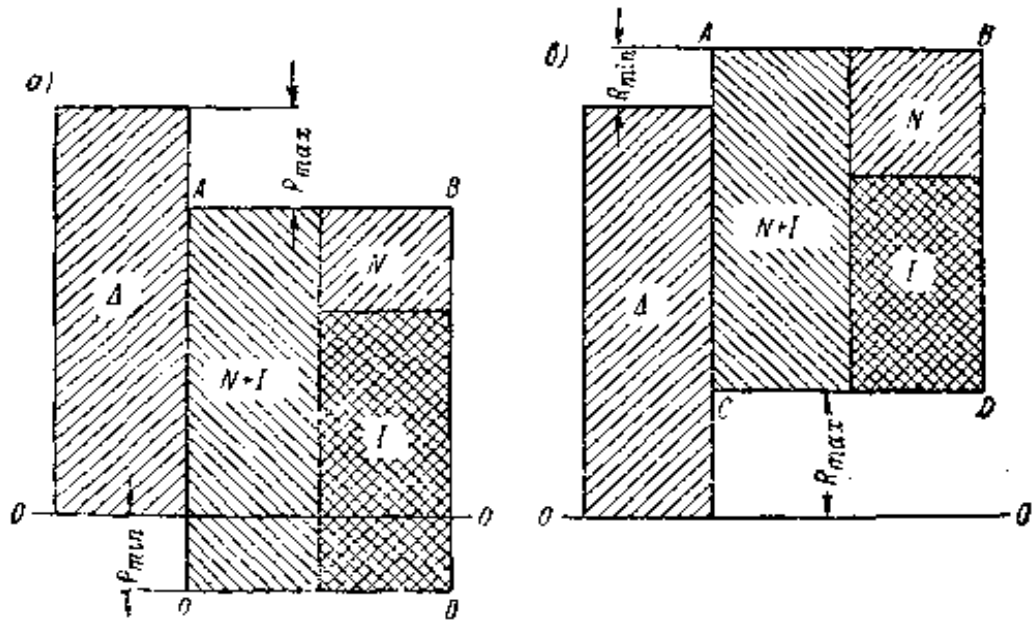


图 158 铰刀的公差配置方式

a—高速钢铰刀和硬质合金铰刀通用的公差配置方式；b—在铰削硬度为  $H_{RC} = 49 \sim 54$  的淬火合金钢时，K. 中. 罗曼诺夫推荐的硬质合金铰刀的公差配置方式

$CD$ ——铰刀直径的下偏差；

$N + I$ ——铰刀的总公差；

$N$ ——铰刀制造不精确度的公差；

$I$ ——铰刀磨损的公差；

$P_{max}$ ——孔的最大扩展量；

$P_{min}$ ——孔的最小扩展量；

$R_{max}$ ——孔的最大收缩量；

$R_{min}$ ——孔的最小收缩量。

## 工艺装备

**导向套** 与用高速钢铰刀铰削未淬火钢相比，铰削淬火钢是在较高的切削速度下进行。铰削淬火钢的实践证明，在采用具有刚性导向套的导向器（对于铰刀的后导部或后导部和前导部）来工作时，会招致铰刀和导向套的提早报废。甚至在只有不大的偏斜时，铰刀的导向部就会滞住在套内。

回转式导向套则没有这个缺点。已证明为正确的结构，如图

159 所示。軸向力由位于外套 1 上部槽中的鋼球 8 来承受。內套 2 从下面借墊圈 6 (它进入外套 1 的槽中) 和彈簧圈 7 来夾緊。因此，造成了密封擋圈，防止鋼球 5 沾污。固定于內套 2 的凸边上的护环 3，对于鋼球 8 起到同样的作用。圖 159 所示的裝置，其鋼球 5 和 8 的接觸面具有 1:20 的錐度。

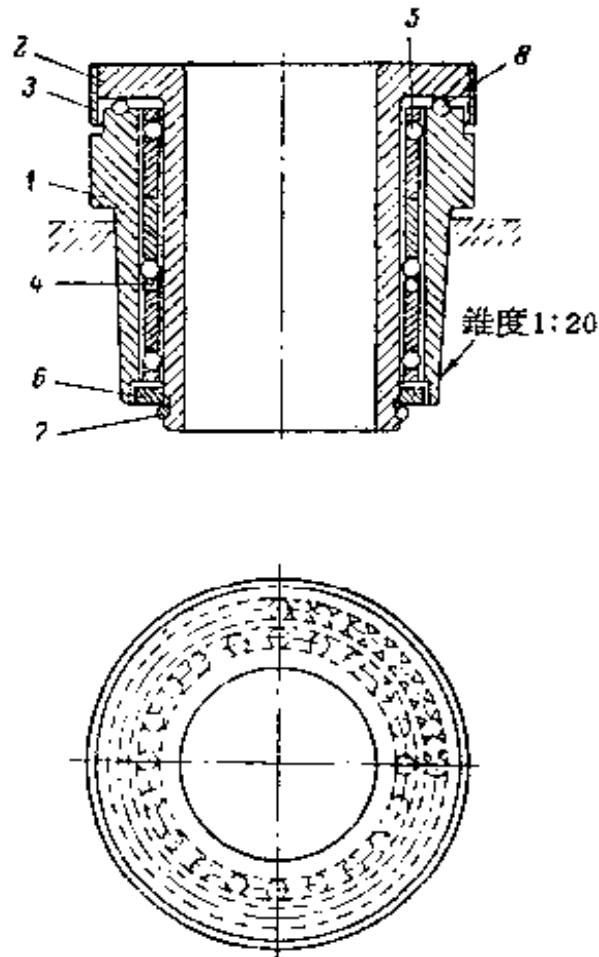


圖 159 利用鋼球的回轉式導向套

1—外套；2—內套；3—护环；4—隔離圈；5和8—鋼球；  
6—墊圈；7—彈簧圈

**冷却液的供給** 圖 160 所示是鉸削深度小于二倍直徑的孔，以及較小直徑的孔用的裝置簡圖，这时冷却液是通过管形环来供給。这种管形环已經单独地表示在圖 161 上了。

圖 162 所示是帶有从內部供給冷却液到鉸刀切削刃上去的鉸削裝置，这裝置应用于直徑大于 25 毫米和深度大于二倍直徑的孔的鉸削。鉸刀夾緊在特殊夾头中 (圖 163)，冷却液通过这夾头而供給到鉸刀上。冷却液通过夾緊在套筒 4 中的接管嘴 6，再通过



本体 1 上所钻好的孔而供給到內腔。然后，冷却液又从內腔进入铰刀的内槽。內腔同时也用来夹紧铰刀。

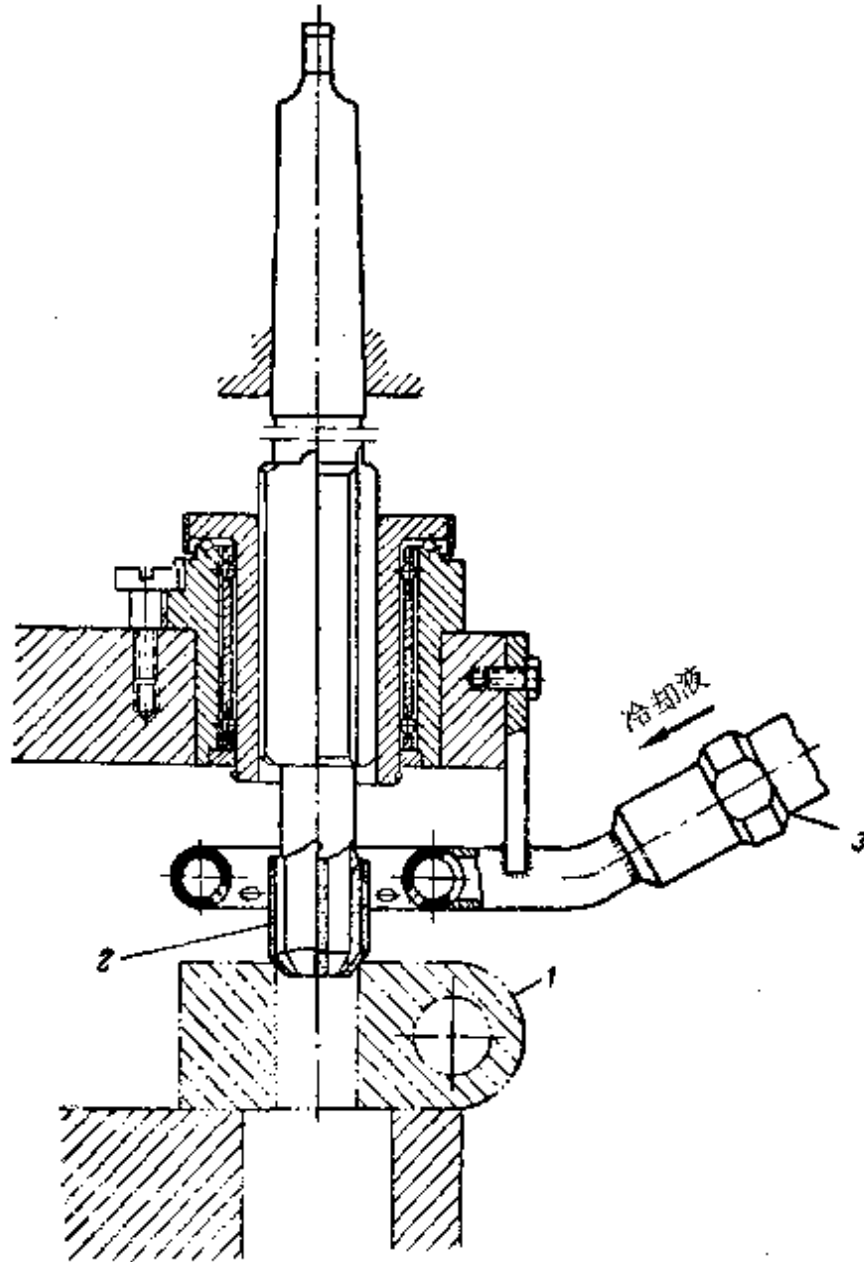


图 160 冷却液通过特殊环来供給的铰削装置簡图

1—被加工零件；2—铰刀；3—供給冷却液用的管形环

为了用嵌入式铰刀来进行較大直径的孔的内冷却铰削，代替上述的夹头，如图164所示的心轴得到了应用。

在K.Φ.罗曼諾夫<sup>[68]</sup>著书的附录5中，列举了如图154~157所示，直径 $D=6\sim 80$ 毫米的铰刀的结构要素的尺寸。其中还列举了在硬度为 $H_{R0}=49\sim 54$ 的淬火合金鋼上加工各級精度

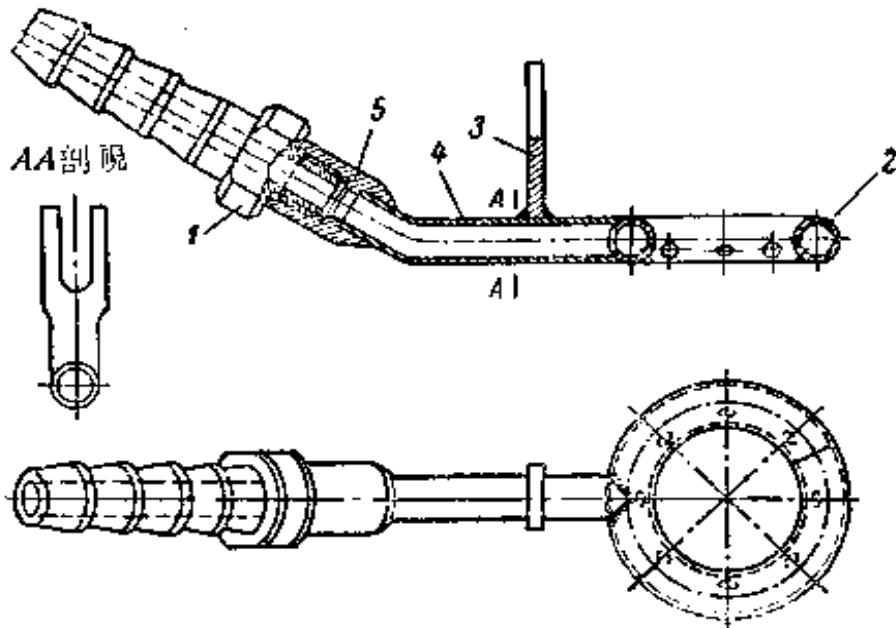


图 161 供給冷却液用的管形环

1—接管嘴；2—环；3—支柱；4—连接管；5—套

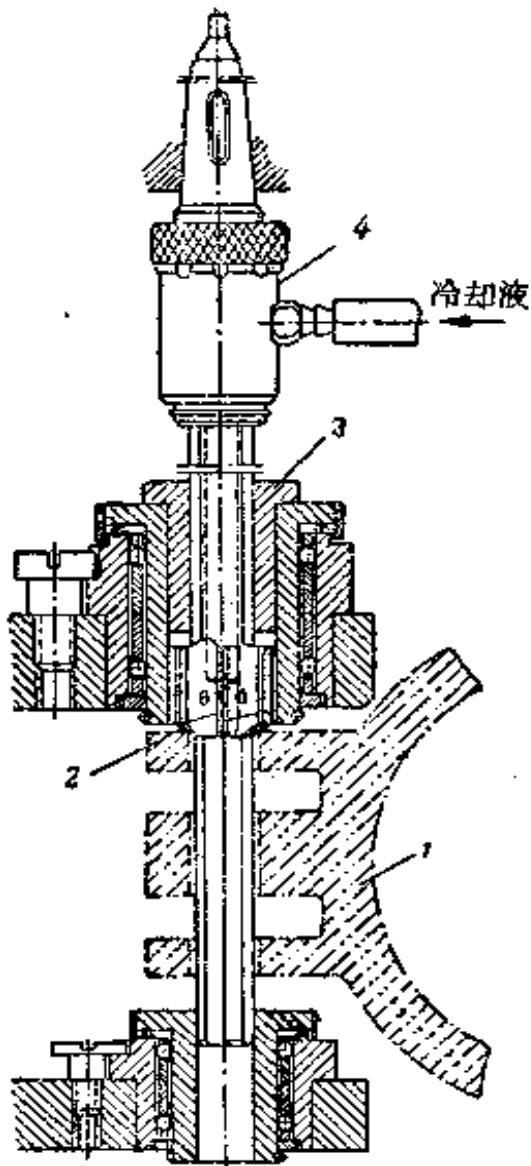


图 162 从内部供給冷却液的鉸削装置簡图

1—被加工零件；2—鉸刀；3—过渡套；4—夹头

图 163 固定从内部供给冷却液的  
铰刀用的夹头

- 1—本体; 2—销子; 3—弹簧圈; 4—套  
筒; 5—垫片; 6—接管嘴; 7—填料  
函; 8—内环; 9—钢球; 10—外环;  
11—螺帽; 12—开缝螺帽; 13—螺帽;  
14—销子

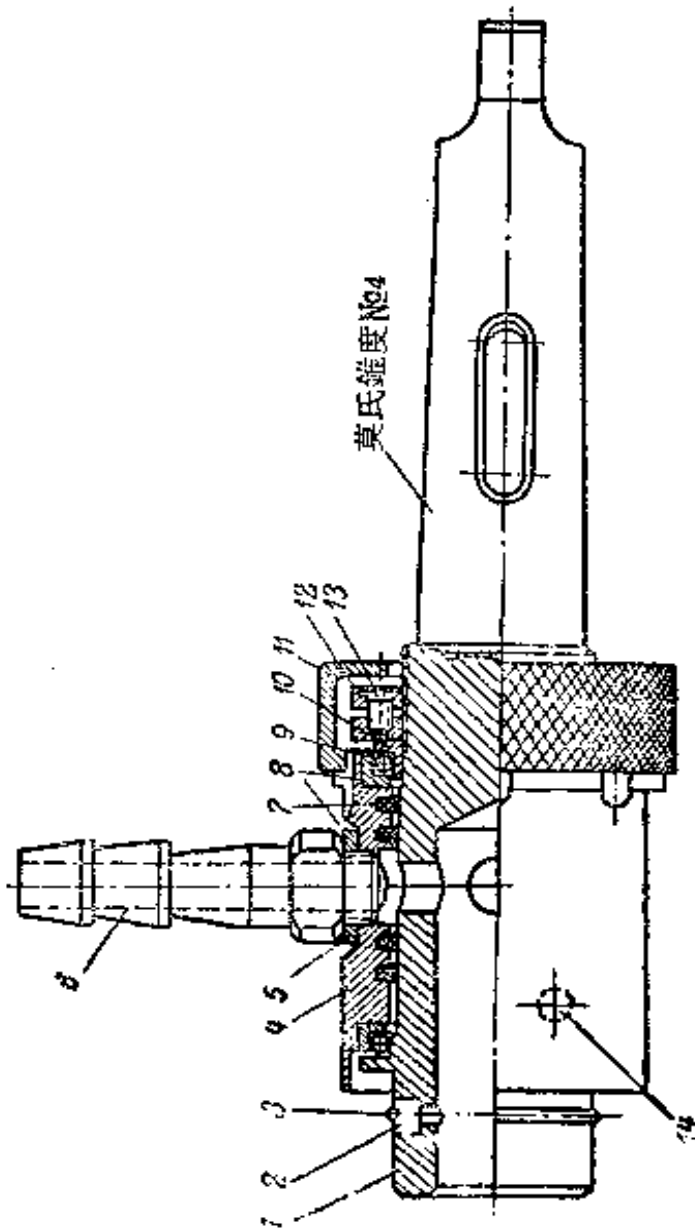
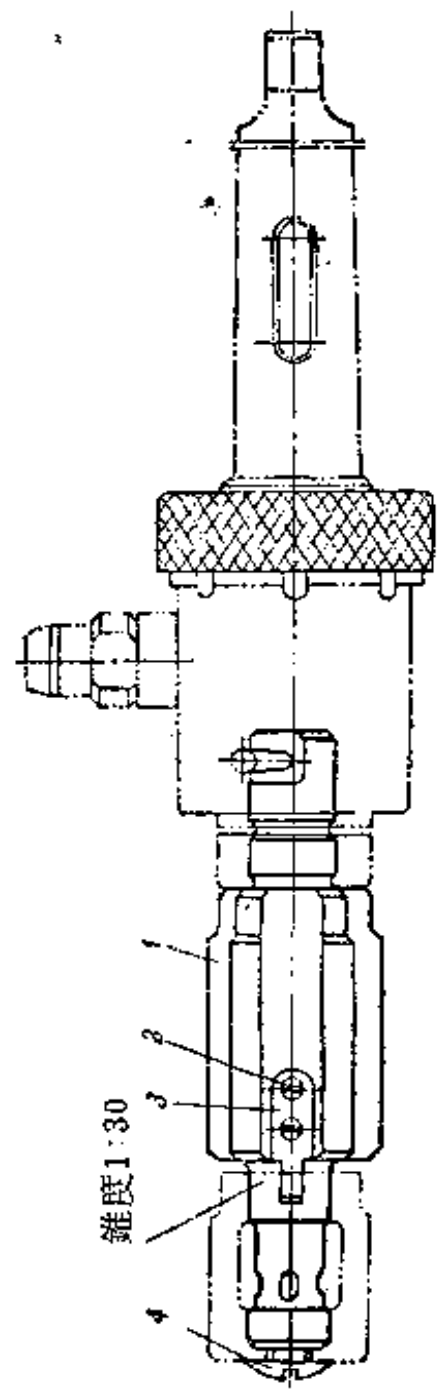


图 164 嵌入式内冷却铰  
刀的心轴

- 1—本体; 2和4—螺钉;  
3—键



的孔时所用装备硬质合金T15K6的铰刀的制造尺寸。那些制造尺寸是根据图1586的公差配置方式来考虑的。预定孔的最小收缩量 $R_{min}=5$ 微米，而最大收缩量(平均值)则为 $R_{max}=15\sim 20$ 微米。在这里是打算采用带有回轉套的导向器来工作的。

加工较小硬度( $H_{Rc}<49$ )的淬火钢用的铰刀，也可以采纳上述制造尺寸。对于较大硬度( $H_{Rc}>54$ )的淬火钢来说(其加工所用切削速度低于硬度为 $H_{Rc}=49\sim 54$ 的钢)， $R_{min}$ 和 $R_{max}$ 值应当借实验办法来确定。

在上述K.Φ.罗曼诺夫著书的附录4和6中，包含了内冷却铰刀用回轉式导向套和夹头的结构要素的尺寸。

## 29. 铰刀切削部分的几何参数和装备铰刀 所用硬质合金的牌号

研究了铰刀切削部分的下列几何参数对于铰刀耐用度的影响：前角 $\gamma$ ，后角 $\alpha$ ，切削部分的斜角 $\varphi$ ，切削刃对铰刀轴线的斜角 $\lambda$ (图152)。

试验了几种不同的钛钴类硬质合金。实验是在加工硬度为 $H_{Rc}=49\sim 54$ ( $\sigma_{sp}=160\sim 180$ 公斤/毫米<sup>2</sup>)的淬火合金钢的情况下进行的。

### 前角 $\gamma$ 和后角 $\alpha$ 对于铰刀耐用度的影响

实验时，前角在 $\gamma=0\sim -15^\circ$ 范围内变化，而后角则在 $\alpha=6\sim 15^\circ$ 范围内变化。切削深度 $t=0.2$ 毫米，走刀量 $s=0.275$ 毫米/转，切削速度 $v=50$ 米/分。由图165可知，前角和后角的最佳值是 $\gamma=-15^\circ$ 和 $\alpha=6^\circ$ 。随着后角 $\alpha$ 从 $15^\circ$ 减小到 $6^\circ$ ，铰刀耐用度就提高。继续减小后角 $\alpha$ ，将会招致切削过程的恶化：轴向力和扭矩显著地增大。

铰刀耐用度随着前角 $\gamma$ 负值的增大(楔角 $\beta$ 增大)而提高。在这里，前角的功用是在于加强(强化)切削刃，而不是在于便利切屑形成过程的进行。

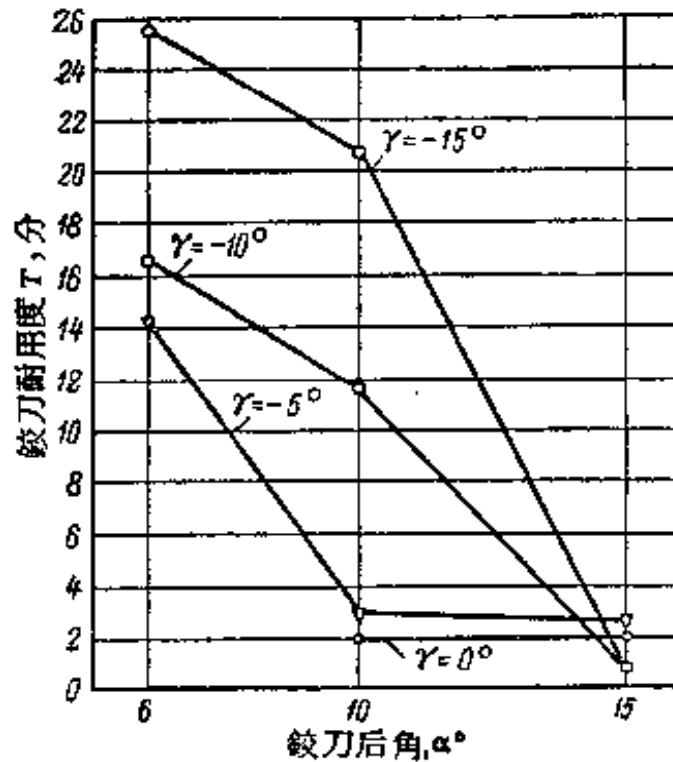


图 165 铰刀前角 $\gamma$ 和后角 $\alpha$ 对于铰刀耐用度的影响。用装备硬质合金T15K6的铰刀，加工硬度为 $H_{R0} = 49 \sim 54$ 的淬火钢

为了简化铰刀的制造，应当只在切削部分上制出负前角 $\gamma = -15^\circ$ 。对于铰刀的校准部分，推荐采取前角 $\gamma = -5^\circ \sim -10^\circ$ 。借此可使切屑朝着孔的未加工表面的方向顺利地排出。

#### 铰刀切削部分的斜角 $\varphi$ 对于铰刀耐用度的影响

研究了切削部分的斜角 $\varphi = 5^\circ$ 、 $10^\circ$ 和 $45^\circ$  (图166a) 以及 $\varphi = 15^\circ$ 和 $\varphi_0 = 1^\circ 30' \sim 2^\circ$  (图166b) 的情况。当 $\varphi = 5^\circ$ 时，在铰刀刚刚切入金属中去而开始工作的时候，出现振动；切屑迅即粉碎，这就使排屑遭到困难；铰刀耐用度足够地高—— $T = 19.3$ 分钟。当 $\varphi = 10^\circ$ 时，所得已加工表面光洁度比 $\varphi = 5^\circ$ 时的差些；铰刀耐用度则低得多—— $T = 7.2 \sim 0.6$ 分钟；铰刀刀齿的切削刃发生崩刃。当 $\varphi = 45^\circ$ 时，所得已加工表面光洁度不超过7级；在开始切削后，切削刃迅即发生崩刃。当 $\varphi = 15^\circ$ 和 $\varphi_0 = 1^\circ 30' \sim 2^\circ$ 时，得到了最好的结果；已加工表面光洁度符合于11级，铰刀耐用度也高( $T = 11.7 \sim 25.5$ 分钟)。

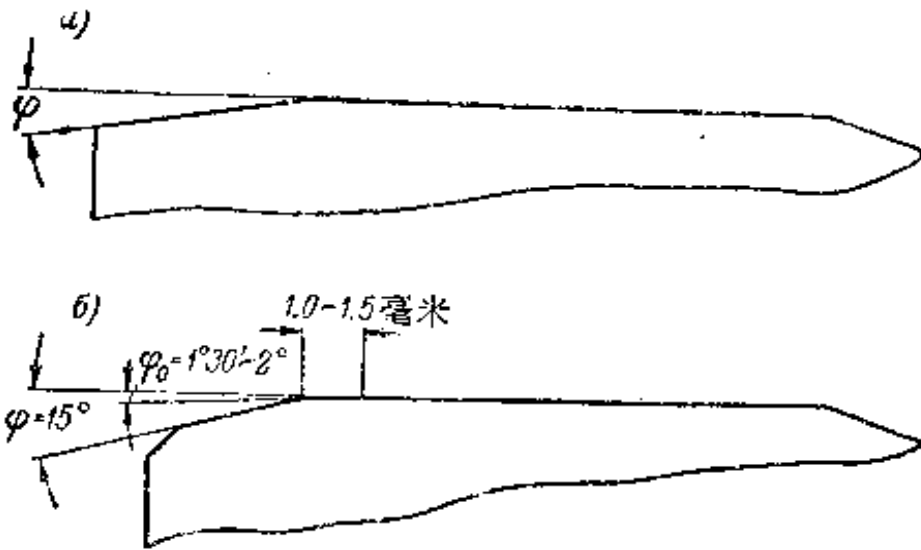


图 166 铰刀切削部分的斜角

为了铰削淬火钢，推荐采用如图166b所示的铰刀切削部分的斜角 $\varphi$ 和过渡部分的斜角 $\varphi_0$ 。

切削刃斜角 $\lambda$ 对于铰刀耐用度的影响

沿铰刀刀齿切削部分进行特殊偏磨，使之对铰刀轴綫成一斜角 $\lambda$  (图152)，可以促使切屑朝着孔的未加工表面方向排出。但是，这会削弱切削刃，而切削部分的正前角会得到变动值。

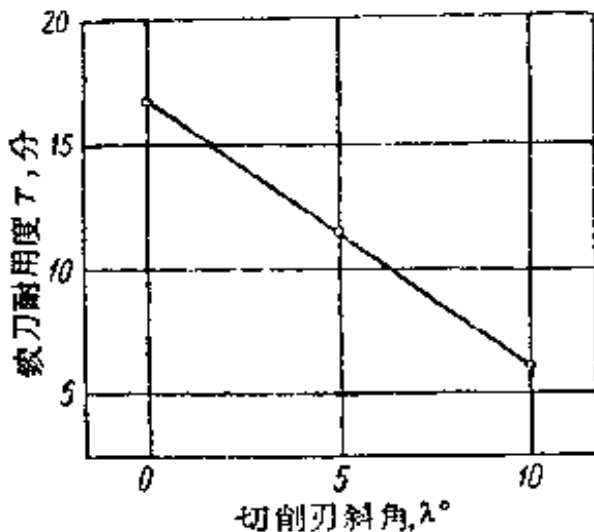


图 167 切削刃斜角 $\lambda$ 对于铰刀耐用度的影响。铰刀切削部分的几何参数： $\alpha=6\sim 8^\circ$ ， $\gamma=-5^\circ$ ， $\varphi=15^\circ$ ， $\varphi_0=1^\circ 30' \sim 2^\circ$ ，校准部分的倒棱宽度 $f=0.15\sim 0.20$ 毫米

沿铰刀刀齿切削部分进行特殊偏磨，使之对铰刀轴綫成一斜角 $\lambda$  (图152)，可以促使切屑朝着孔的未加工表面方向排出。但是，这会削弱切削刃，而切削部分的正前角会得到变动值。

試驗了装备硬质合金Ti5K6的、切削刃斜角 $\lambda=0、5$ 和 $10^\circ$ 的铰刀。在 $t=0.2$ 毫米、 $s=0.275$ 毫米/轉和 $v=50$ 米/分的条件下进行加工。查明了偏磨是不合理的。最大耐用度符合于 $\lambda=0^\circ$  (图167)。

### 硬质合金牌号对于铰刀耐用度的影响

实验证明，在铰削淬火钢时，应当采用钛钴类硬质合金 T15K6 和 T15K6T。与硬质合金 T15K6 相比，硬质合金 T15K6T 可以采用较高的切削速度来工作。装备钴类硬质合金的铰刀的耐用度要低得多。

采用耐磨性特高的硬质合金 T30K4 和 T60K6 来铰削淬火钢的企图没有得到成功。这两种硬质合金在应用于车刀和铣刀上时，得出了很好的结果。铰刀的刚度比车刀和铣刀的低。因此，铰削时伴有振动，使得装备脆性较高的硬质合金 T30K4 和 T60K6 的铰刀的切削刃发生崩刃。

## 30. 铰刀磨损及其磨钝准则

### 铰刀磨损

装备硬质合金的铰刀是沿切削部分和校准部分发生磨损。铰刀切削部分的磨损主要是沿其刀齿的后隙面发生（图 168）。由于过渡刃的角  $\varphi_0$  显著地小于角  $\varphi$ ，所以使得切削刃磨损最大的部位（位于切削刃的急转点上）离开已加工表面远些。

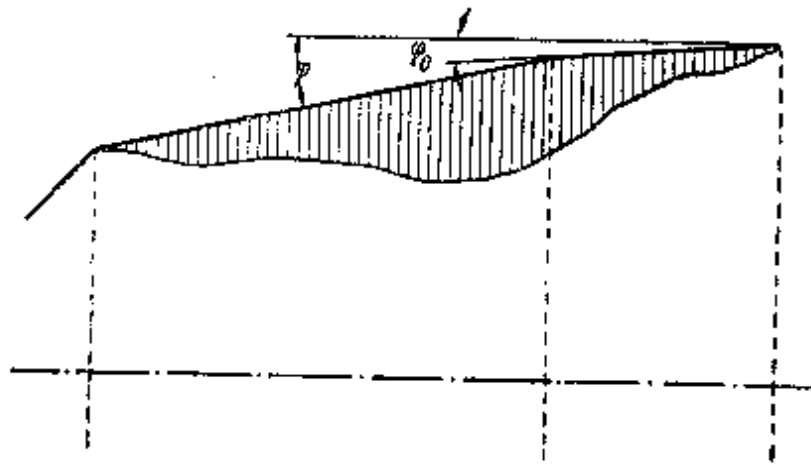


图 168 在加工淬火钢时，铰刀切削部分的磨损简图

铰刀沿校准部分直径的磨损决定着铰刀的使用期限，所以具有重要的意义。实验证明，切削速度对于校准部分磨损的影响最大。对于装备硬质合金 T15K6 的铰刀所做的试验表明 ( $t=0.2$  毫

米、 $s=0.275$ 毫米/轉)，随着切削速度 $v$ 从8.3增大到50米/分，鉸刀校准部分的磨損就减小。这些試驗的結果列举在表72中。

表 72 在加工硬度为 $HRC=49\sim 54$ 的淬火鋼时，  
硬质合金鉸刀的磨損

切削速度 $v$ (米/分)	在耐用度 $T$ 时期 内，鉸刀沿校准 部分直径的磨損 (微米)	已加工孔 的数目	单位磨損 $h_{y0}$ ① (微米)	該单位磨損对 $v=$ 50米/分时单位磨 損的比值
8.3	28	39	0.718	13.00
13.4	38	78	0.487	8.85
19.9	13	130	0.100	1.82
32	12	137	0.088	1.60
50	8	144	0.055	1.00

① 鉸刀每加工一个孔时的磨損，称为单位磨損。

可以看出，单位磨損随着切削速度的逐漸增大而减小，并且在切削速度小于 $v\approx 20$ 米/分范围内的磨損比在切削速度 $v=20\sim 50$ 米/分范围内的磨損减小得较为剧烈些。 $v=19.9$ 米/分时的单位磨損是 $v=50$ 米/分时的1.82倍，而 $v=8.3$ 米/分时的单位磨損是 $v=50$ 米/分时的13倍。从校准部分的单位磨損着眼来考虑时，最好是在切削速度高于20米/分的条件下进行工作。

### 鉸刀磨鈍准則

在选择鉸刀磨鈍准則时应当考虑到，这种刀具是用来赋予被加工孔以最終的尺寸和所需表面光洁度的。采用高速鋼鉸刀来工作时所用的准則，不完全能应用于装备硬质合金的鉸刀。譬如，在这里就不采用象超出公差范围的被加工孔的扩展量这样的准則。在用硬质合金鉸刀进行淬火鋼的高速加工时，代替孔的扩展而发生孔的收縮。

已加工表面光洁度也不能作为磨鈍准則。与高速鋼鉸刀对立，硬质合金鉸刀的特征是当磨損增大到 $h=0.7\sim 0.8$ 毫米以内



时表面光洁度不下降。

和車削时一样，在鉸削淬火鋼时，作为显明的刀具磨鈍准则，可以利用皺褶状切屑的生成。图 169 所示是在硬质合金鉸刀 ( $t=0.2$ 毫米、 $s=0.275$ 毫米/轉、 $v=31.2$ 轉/分) 变鈍程度不同的情况下所得到的三段切屑。上面的一段切屑是在鉸削第一个孔时得到的；中間的一段切屑是在加工第 85 个孔时得到的，这时鉸刀切削部分刀齿后隙面的磨損为  $h=0.15 \sim 0.2$  毫米；下面的一段切屑符合于磨損  $h=0.30 \sim 0.35$  毫米，这切屑是在加工第 120 个孔时得到的。

因为鉸刀磨損到  $h=0.3 \sim 0.35$  毫米时就会得到容易識別出来的皺褶状切屑，所以这个准则在生产条件下可能得到广泛采用。

在利用这个准则时必需注意照顾到，已加工孔的尺寸不致小于那最小极限尺寸。

已經研究了孔的收縮和已加工表面光洁度与鉸刀在不同切削速度下工作持續时间的关系。实验是在  $t=0.2$  毫米、 $s=0.27$  毫米/轉和  $v=8.3 \sim 51.5$  米/分的条件下进行的。实验証明，当切削速度高于 20 米/分时，孔的收縮和表面光洁度实际上与鉸刀工作持續时间无关。孔的收縮量約为 0.02 毫米。当切削速度低于 20 米/分时，孔的收縮量与鉸刀工作时间成比例地增大，而表面光洁度則剧烈地发生波动，但是这光洁度是随着鉸刀工作持續时间的增大而下降。

上述数据肯定了在用硬质合金鉸刀加工淬火合金鋼时采用較高切削速度的合理性。

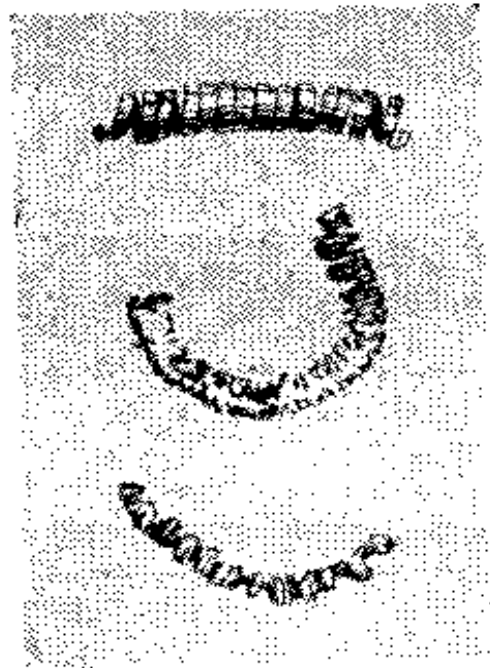


图169 在加工硬度为  $H_{RC}=49 \sim 54$  的淬火合金鋼时，硬质合金 T15K6 鉸刀变鈍程度对于排出切屑的形状的影响

## 31. 耐用度关系

## 切削速度与铰刀耐用度的关系

表73和图170所示，是在加工硬度为 $H_{RC}=49\sim 54$ 的淬火合金钢时，确定切削速度 $v$ 与铰刀耐用度 $T$ 之间的关系的结果。试验了装备硬质合金T15K6和T60K6的铰刀（直径为14和28毫米），采用了成分如下的乳浊液来冷却：混水油料10%，硫化油5%，粗制碳酸钠0.2%，水——余量。

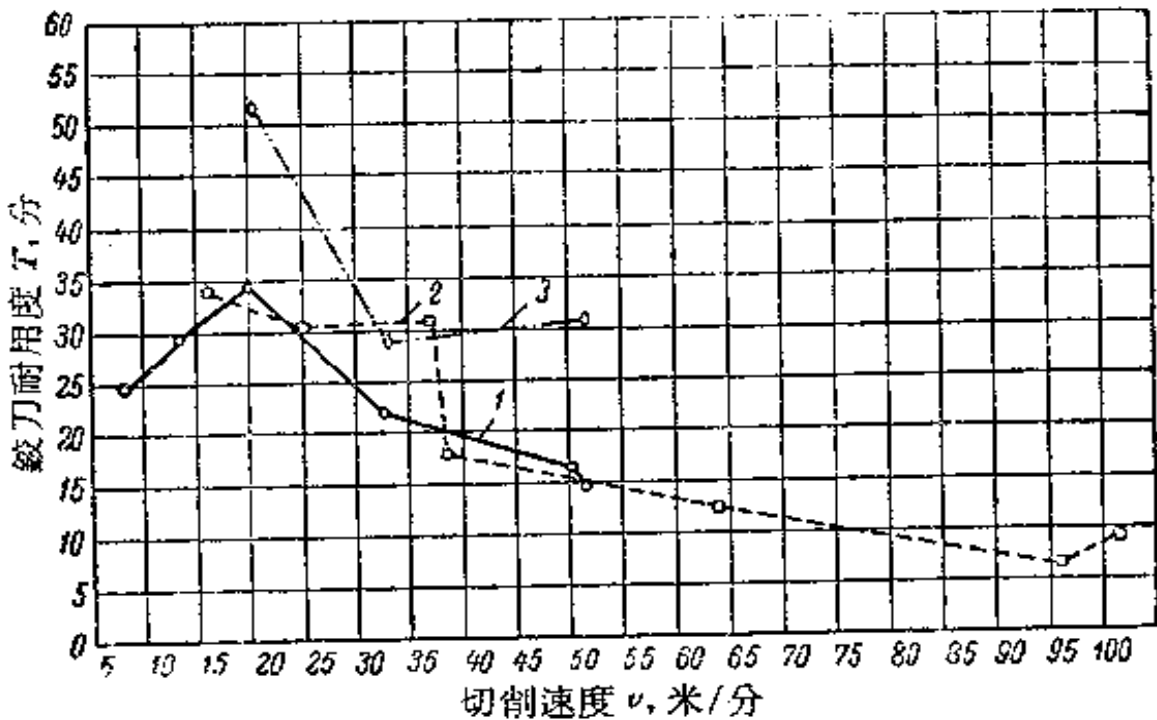


图170 在加工硬度为 $H_{RC}=49\sim 54$ 的淬火合金钢时 ( $t=0.2$ 毫米、 $s=0.275$ 毫米/转)，切削速度 $v$ 对于铰刀耐用度 $T$ 的影响

- 1—装备硬质合金T15K6的、 $D=14$ 毫米的铰刀；
- 2—装备硬质合金T15K6的、 $D=28$ 毫米的铰刀；
- 3—装备硬质合金T60K6的、 $D=14$ 毫米的铰刀

由图上曲线可以看出，对于受试验的两种硬质合金牌号来说，刀具耐用度都是随着切削速度的增大而下降。对于这个规律性来说，装备硬质合金T15K6的、直径为14毫米的铰刀，在切削速度 $v=8.3\sim 19.9$ 米/分范围内，表现出是例外的。在这里，耐用度是随着切削速度的增大而提高。

表 73 在较削硬度为  $H_{RC}=49\sim 54$  的淬火钢时，  
切削速度对于刀具耐用度的影响

铰刀直径 $D$ (毫米)	硬质合金 牌 号	切 削 用 量			铰刀耐用度 $T$ (分)
		切削深度 (毫米)	走刀量 (毫米/转)	切削速度 $v$ (米/分)	
14	T15K6	0.2	0.275	8.3	24.5
				13.6	29.5
				19.9	34.5
				32.6	22
				50.2	12
				50.4	21.5
	T60K6	0.2	0.275	51.4	14.5
				20.6	51.5
				32.8	29
				51.6	31
28	T15K6	0.25		16.2	31
				24.9	30.5
				37.2	31
				38.4	17.5
				64.0	12.5
				96.0	6.5
				101.5	8.5

表 74 所示是方程式  $v = \frac{C}{T^m}$  中的相对耐用度指数  $m$  值。

表 74 在较削硬度为  $H_{RC}=49\sim 54$  的淬火钢时的  
相对耐用度指数  $m$  值

硬质合金牌号	铰刀直径 $D$ (毫米)	实 验 特 征	指 数 $m$
T15K6	14	对于 $v > 20$ 米/分	0.85
		对于 $v < 20$ 米/分	-2.55
	28	耐用度 $T < 10$ 分钟的实验除外所有 实验都考虑到了	1.0 1.3

对于  $D = 14$  毫米的铰刀来说，切削速度  $v > 20$  米/分有实际意义。随着切削速度的增大，加工过程的生产率就提高（图171）。生产率是在受试验铰刀刀齿切削部分的磨损量相同时（ $h = 0.3$  毫米）的耐用度期限以内确定出来的。

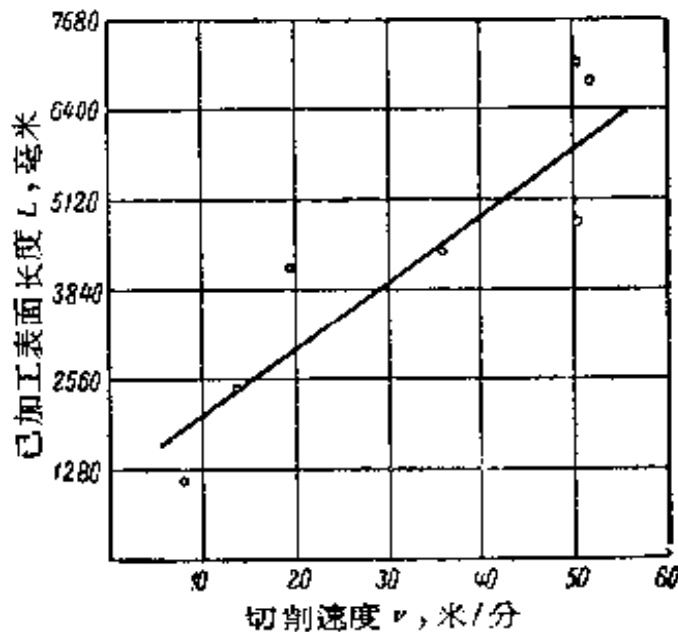


图 171 铰削长度  $L$  与切削速度  $v$  的关系。用装备硬质合金 T15K6 的、直径为 14 毫米的铰刀，加工硬度为  $H_{RC} = 49 \sim 54$  的淬火钢

在较小的切削速度下进行加工时，表面光洁度就恶化，并且铰刀校准部分的单位磨损和孔的收缩都会增大。

应该指出，在同样的切削速度下，直径为 28 毫米的铰刀的耐用度比直径为 14 毫米的铰刀的稍高一些。

在铰削淬火钢时，应当采用高于 20 米/分的切削速度。

#### 走刀量对于铰刀耐用度的影响

表 75 所示是在加工硬度为  $H_{RC} = 49 \sim 54$  的合金淬火钢时，表达走刀量对于硬质合金 T15K6 铰刀（直径为 14 和 28 毫米）耐用度的影响的实验数据。实验是在使用冷却液的情况下进行的，冷却液是 10% 混水油料的苏打水溶液并加有 5% 的硫化油。

试验时所得已加工孔的圆锥度、椭圆度、收缩量和表面光洁

度都在公差範圍以內。

表 75 在加工硬度为  $HRC=49\sim 54$  的淬火鋼时，  
鉸刀耐用度  $T$  与走刀量  $s$  的关系

鉸刀直徑 $D$ (毫米)	切 削 用 量				鉸刀耐用度	
	$t$ (毫米)	$s$ (毫米/轉)	$n$ (轉/分)	$v$ (米/分)	已加工孔 的数目	$T$ (分)
14.62	0.20	0.100	1140	52.5	46	13
14.84		0.100		53	118	33.5
14.72		0.195		53	124	18
15.20		0.195		54.5	85	12
14.34		0.275		51.5	144	14.5
14.10		0.275		50	212	21.5
14.00		0.275		50	115	11.5
14.00		0.275		50	251	25.5
15.18		0.400		54.5	148	10
15.00		0.400		53.5	96	6.5
15.23		0.575		54.5	117	6
25.39		0.25		0.100	725	57.5
28.01	0.275		64	78		12.5
27.19	0.275		61.5	111		18
27.18	0.400		61.5	113		12.5

图 172 所示是直徑为 14 和 28 毫米的鉸刀的耐用度与走刀量的关系。可以看出，耐用度随着走刀量的增大而下降。

图 173 所示的图解，表达了在不同走刀量下，切削速度与鉸刀耐用度的关系。試驗时采用了机器油来冷却。可以看出，随着走刀量的增大，切削速度就下降。图解还表明，对于所試驗的走刀量来说，切削速度的增大会导致鉸刀耐用度的下降，并且这个規律性对于  $s=0.1$  毫米/轉是在切削速度  $v>31.6$  米/分时起作用，而对于  $s=0.3$  毫米/轉則是在  $v>30.8$  米/分时起作用。在更小的切削速度下，起作用的是相反的規律性：鉸刀耐用度随着

① 原书作  $v=30.8$ ，从图 173 上看， $v>30.8$  更恰当些——譯者。

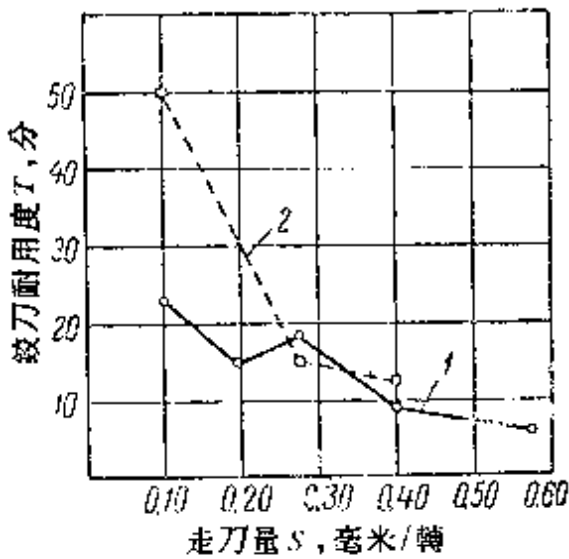


图 172 在加工硬度为  $H_{RC}=49\sim 54$  的淬火鋼时，走刀量  $s$  对于鉸刀耐用度  $T$  的影响

1—直徑为 14 毫米的鉸刀 ( $t=0.1$  毫米、 $v=50$  米/分)；  
2—直徑为 28 毫米的鉸刀 ( $t=0.25$  毫米、 $v=60$  米/分)

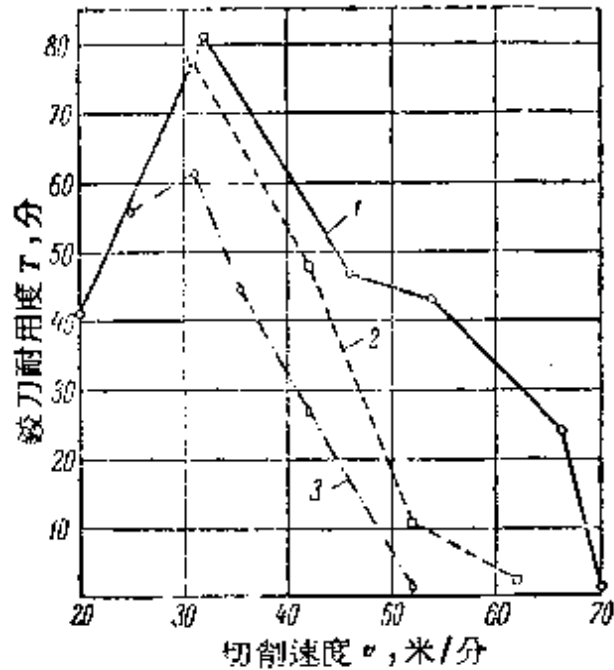


图 173 在不同走刀量  $s$  下 ( $t=0.1$  毫米)，切削速度  $v$  与鉸刀耐用度  $T$  的关系。加工硬度为  $H_{RC}=49\sim 54$  的淬火鋼，用机器油来冷却

1— $s=0.1$  毫米/轉；2— $s=0.2$  毫米/轉；3— $s=0.3$  毫米/轉

切削速度的增大而提高。

对于直徑为 14 毫米的鉸刀来說，可以用下列关系式把走刀量  $s$  和鉸刀耐用度  $T$  联系起来：

$$s = \frac{1.96}{T^{0.81}}$$

实验証明，在走刀量  $s > 0.2$  毫米/轉的情况下，保証能在已加工表面光洁度方面得到稳定的結果。对于  $D=14$  毫米的鉸刀，推荐采用走刀量小于 0.4 毫米/轉；对于  $D=28$  毫米的鉸刀，推荐采用  $s$  小于 0.6~0.7 毫米/轉。

为了防止排出切屑在鉸刀刀齿之間的槽内压成一团，这种現象在走刀量  $s \geq 0.4$  毫米/轉时是可能发生的（向上排屑很困难），鉸刀刀体应当經过热处理以保証达到硬度  $H_{RC}=45\sim 50$ ，而鉸刀刀齿之間的槽应当經过抛光。

### 切削深度对于铰刀耐用度的影响

表76和图174所示是在加工硬度为 $H_{RC}=49\sim 54$ 的淬火合金钢时，切削深度对于硬质合金T15K6铰刀耐用度的影响的实验数据。

表 76 在加工硬度为 $H_{RC}=49\sim 54$ 的淬火钢时，  
铰刀耐用度 $T$ 与切削深度 $t$ 的关系

铰刀直径 $D$ (毫米)	切削用量				铰刀耐用度	
	$s$ (毫米/转)	$n$ (转/分)	$v$ (米/分)	$t$ (毫米)	已加工孔 的数目	$T$ (分)
14.10	0.275	1140	50.5	0.05	300	30.5
15.00			54	0.10	196	20
15.10			54	0.15	130	13
14.34			51.5	0.20	144	14.5
14.01			50	0.20	212	21.5
14.01			50.5	0.20	115	11.5
14.01			50.5	0.20	251	25.5
15.23			54.5	0.25	163	16.5
14.89			53	0.30	189	19.5
28.32			0.275	725	64.5	0.15
28.01	64	0.25			78	12.5
27.19	61.5	0.25			111	18
25.67	58.5	0.35			93	15

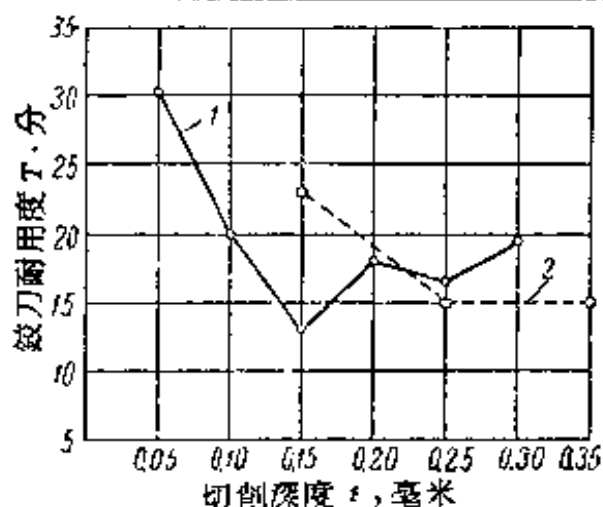


图174 在加工硬度为 $H_{RC}=49\sim 54$ 的淬火合金钢时，切削深度 $t$ 对于铰刀耐用度 $T$ 的影响

1— $D=14$ 毫米的铰刀；2— $D=28$ 毫米的铰刀

可以看出，切削深度  $t$  对于铰刀耐用度  $T$  的影响不大（指在  $t > 0.10$  毫米而言）。

切削深度  $t$  与铰刀耐用度  $T$  之间的关系，可以用下列等式来表示：

$$t = \frac{4.05}{T^{1.12}}。$$

用硬质合金铰刀进行淬火钢的加工与用高速钢铰刀进行未淬火钢的加工，是有根本的差别的。在用高速钢铰刀进行未淬火钢的加工时，为了保证得到所需的表面光洁度，给精铰所留的余量是要使沿前一道工序所生成的冷作硬化层来进行切削。在淬火钢

**表 77 高硬度淬火合金钢零件上孔的加工工艺和钻削后的工艺余量**

孔的直径 $D$ (毫米)	钻削后直 径的余量	各 工 序 的 工 艺 次 序
小于18	0.3~0.6	1. 热处理 2. 精铰
	0.6~2.0	1. 热处理 2. 镗削，沿直径留出铰削余量0.3~0.4毫米 3. 精铰
	2.0~4.0	1. 热处理 2. 预镗 3. 镗削，沿直径留出铰削余量0.3~0.4毫米 4. 精铰
大于18	0.3~0.6	1. 热处理 2. 精铰
	0.6~3.0	1. 热处理 2. 镗削，沿直径留出铰削余量0.4~0.5毫米 3. 精铰
	3.0~6.0	1. 热处理 2. 预镗 3. 镗削，沿直径留出铰削余量0.4~0.5毫米 4. 精铰



的情况下，在前一加工过程中就没有强化材料的必要性。因此，创造了显著简化孔加工工艺过程的可能性。表77所示是K.Φ.罗曼诺夫推荐的淬火合金钢零件上孔的加工工艺与孔的直径、钻削后所需工艺余量的关系。

可以看出，沿直径的最大铰削余量为0.6毫米。除开在需要中间工序即铰削的场合以外（需要铰削的场合如：有孔的焊接接头、部件装配、几个孔一同进行最后加工等），淬火钢零件的孔加工工艺过程都是由下列工序组成：钻削并留出铰削余量；热处理；精铰。

切削部分斜角 $\varphi = 15^\circ$ 的铰刀沿直径的最小铰削余量为0.14毫米。在更小的余量下，铰刀的切削部分就不参加工作，而由斜角 $\varphi_0 = 1^\circ 30' \sim 2^\circ$ 的过渡切削部分来实现切削。这时，当铰刀进入被加工孔中去的时刻，铰刀有发生破碎的危险。

实验证明，在铰削高硬度淬火钢零件上的孔时，表面光洁度与沿直径的余量大小（在0.2~0.7毫米范围内变化时）无关。

#### 切削速度的综合公式

在铰削硬度为 $H_{RC} = 49 \sim 54$ 的淬火合金钢零件上的孔时，确定切削速度用的方程式如下：

$$v = \frac{14D^{0.4}}{T^{0.85} t^{0.75} s^{1.04}} \quad (19)$$

式中  $v$ ——切削速度(米/分)；  
 $D$ ——铰刀直径(毫米)；  
 $T$ ——铰刀耐用度期限(分)；  
 $t$ ——切削深度(等于余量的一半)(毫米)；  
 $s$ ——走刀量(毫米/转)。

用直径为14和28毫米的铰刀所做实验(表75和76)说明，切削速度随着铰刀直径的增大而提高。在生产条件下用直径为34、55和61毫米的铰刀所做的试验，也证实了这个规律性。

硬度为  $H_{RC} = 35 \sim 38$  的淬火鋼的可加工性

实验証明，在鉸削硬度为  $H_{RC} = 35 \sim 38$  的淬火合金鋼时， $T-v$  关系的特征与鉸削硬度为  $H_{RC} = 49 \sim 54$  的鋼时一样。表达这个关系的曲綫的拐点符合于切削速度  $v \approx 70$  米/分；在拐点右边，鉸刀耐用度随着切削速度的增大而下降。

位于拐点右边的切削速度区域，具有实际意义。与位于拐点左边的切削速度区域相比，在位于拐点右边的切削速度下可以得到較高的已加工表面光洁度而鉸刀校准部分的磨損强烈度则下降。

研究証明，在充分供給冷却液并且切削速度約为  $v = 70 \sim 120$  米/分的条件下加工硬度为  $H_{RC} = 35 \sim 38$  的淬火合金鋼时，发生孔的收縮。

在鉸削硬度为  $H_{RC} = 35 \sim 38$  的淬火鋼时，确定切削速度用的綜合公式具有如下的形式：

$$v = \frac{39D^{0.4}}{T^{0.4} \cdot t^{0.19} \cdot s^{0.43}} \text{米/分。} \quad (20)$$

### 32. 各种因素对于鉸削后的尺寸精度和表面光洁度的影响

鉸刀校准部分长度  $l$  和导向边寬度  $f$  的影响

表78和图175所示是表达硬质合金 T15K6 鉸刀（直徑为14毫

表 78 鉸刀校准部分长度对于孔的尺寸精度和表面光洁度的影响

鉸刀校准部分长度 $l$ (毫米)	圆 柱 度 (微米)	圆 錐 度 (微米)	收 縮 量 (微米)	表面光洁度 $H_{CK}$ (微米)
2	3.8	5.1	19.2	0.60
5	5.2	5.4	5.4	0.74
9	2.4	5.1	18.5	0.44
12	3.3	7.3	12.1	0.50

米)校准部分长度  $l$  对于加工精度 (孔的收缩量、椭圆度和圆锥度) 以及已加工孔表面光洁度的影响的实验数据。试料是硬度为  $H_{RC} = 49 \sim 54$  的淬火钢。铰刀的导向边宽度  $f = 0.15 \sim 0.20$  毫米。

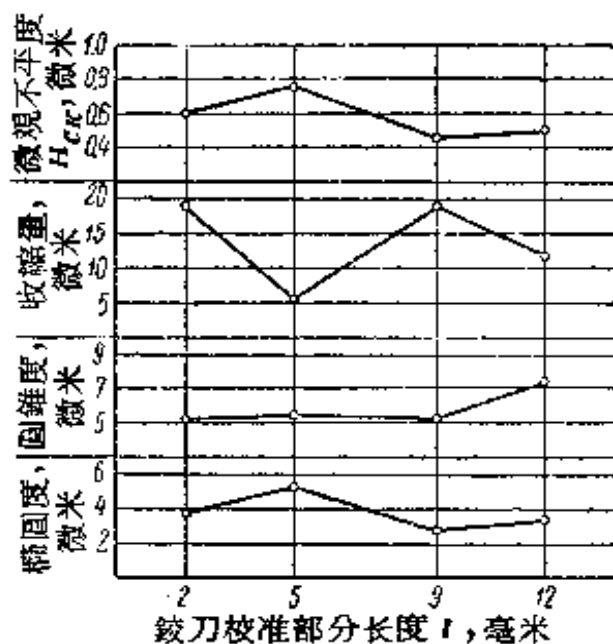


图 175 硬质合金 T15K6 铰刀 ( $D = 14$  毫米) 校准部分长度对于已铰削孔的椭圆度、圆锥度、收缩量以及表面光洁度的影响。加工硬度为  $H_{RC} = 49 \sim 54$  的淬火合金钢

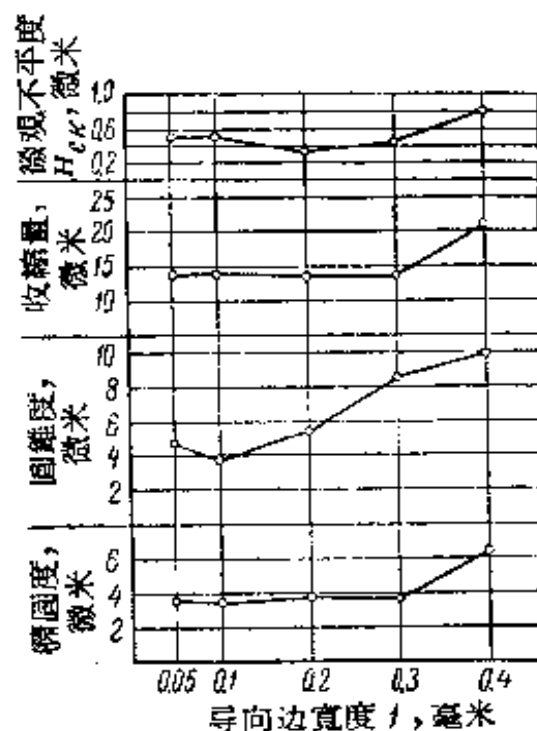


图 176 硬质合金 T15K6 铰刀 ( $D = 14$  毫米) 导向边宽度对于已铰削孔的椭圆度、圆锥度、收缩量以及表面光洁度的影响。加工硬度为  $H_{RC} = 49 \sim 54$  的合金淬火钢

表 79 铰刀导向边宽度对于已加工孔的尺寸精度和表面光洁度的影响

导向边宽度 $f$ (毫米)	椭圆度 (微米)	圆锥度 (微米)	收缩量 (微米)	表面光洁度 $H_{RC}$ (微米)
0.05	3.5	4.7	14	0.50
0.10	3.4	3.7	14	0.49
0.20	3.9	5.3	13	0.30
0.30	3.7	8.5	12.6	0.42
0.40	6.2	9.9	21	0.80

可以看出，橢圓度、圓錐度和表面光潔度方面的最佳結果是在校準部分長度等於 9 毫米時得到的； $l=5$  毫米的鉸刀給出了最小的收縮量。對於  $D=14$  毫米的鉸刀來說，校準部分長度應當不小於 9 毫米。考慮到重新刃磨的需要，最好是採取  $l=15$  毫米。

表 79 和圖 176 所示是為了確定硬質合金 T15K6 鉸刀（直徑為 14 毫米）導向邊寬度  $f$  對於已加工孔的尺寸精度和表面光潔度的影響特征的試驗結果。

實驗數據證明，橢圓度和圓錐度方面的較佳結果是在導向邊寬度  $f=0.1$  毫米時得到的；在  $f=0.2$  毫米時得出孔的收縮量最小而  $H_{ck}$  值也最小。據此，應當推薦採用導向邊寬度  $f=0.1\sim 0.2$  毫米。

為了保證硬質合金鉸刀的正常工作，推薦在校準部分上做出  $3\sim 5$  微米的倒錐。這樣就可減小軸向力和扭矩。

#### 潤滑冷卻液的影響

在鉸削淬火合金鋼 ( $H_{Rc}=49\sim 54$ ) 零件上的孔時，為了查明最佳的潤滑冷卻液，曾經試驗過下列幾種液體：

- 1) 5% 混水乳化液；
- 2) 10% 混水乳化液；
- 3) 硫化油；
- 4) 機器油；
- 5) 錠子油；
- 6) 10% 混水乳化液 + 2% 硫化油。

對於用鉸刀加工過的孔，檢驗了擴展量、橢圓度、圓錐度以及表面光潔度。在切削速度  $v=50$  米/分、切削深度  $t=0.2$  毫米以及走刀量在  $s=0.2\sim 1.1$  毫米/轉範圍內變化的情況下進行加工。在採用錠子油和 10% 混水乳化液 + 2% 硫化油作為潤滑冷卻液時，得到了較好的結果。從工作安全的觀點出發來考慮，由於切削速度使排出切屑的溫度較高，所以應該偏重採用第二種液體。

為了確定所選用液體的效率，進行了施用這種液體和不施用

冷却液的比較試驗。这时，檢驗了已加工孔的扩展量、橢圓度、圓錐度以及表面光洁度，此外，还檢查了鉸刀刀齿切削部分沿后隙面的磨損以及校准部分沿直徑的磨損。实验結果如图177~182所示。图177上的曲綫表示切削速度对于孔的表面光洁度的影响；图178、179和180上的曲綫则表示切削速度对于鉸削以后孔的扩展量、圓錐度和橢圓度的影响。可以看出，与不施用冷却液时比較，在施用冷却液时所得表面光洁度較高，而孔的扩展量、圓錐度和橢圓度則較小。

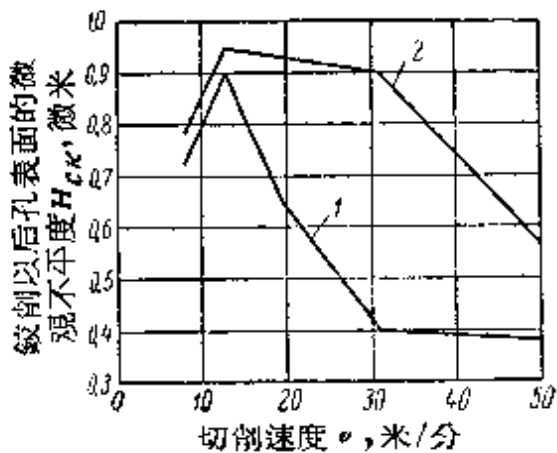


图 177 在不同切削速度下，冷却液对于鉸削以后孔的表面光洁度的影响。在  $t=0.15$  毫米， $s=0.195$  毫米/轉下，加工硬度为  $H_{RC}=49\sim 54$  的淬火合金鋼，鉸刀装备硬质合金 T15K6

1—施用10%混水乳化液+2%硫化油作为冷却液；2—不施用冷却液

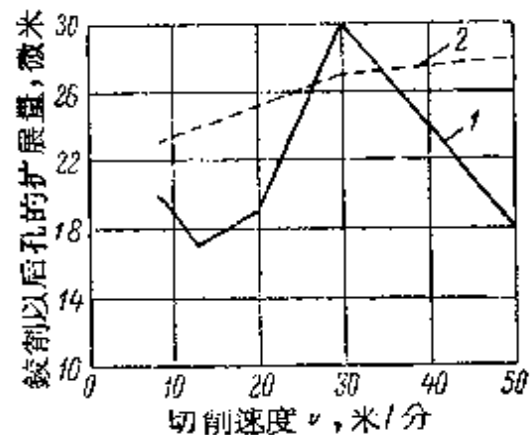


图 178 在不同切削速度下，冷却液对于鉸削以后孔的扩展量的影响。在  $t=0.15$  毫米， $s=0.195$  毫米/轉下，用硬质合金 T15K6 鉸刀，加工硬度为  $H_{RC}=49\sim 54$  的淬火合金鋼

1—施用10%混水乳化液+2%硫化油作为冷却液；2—不施用冷却液

不施用冷却液，在切削速度高于 20 米/分下进行鉸削时，切削区域内会产生較高的温度，这对于表面金属层的质量可能发生坏影响。此外，这时鉸刀校准部分也会发生强烈的磨損。

实验还証明，如果将液体中硫化油的含量从 2 增大到 5%，就可促使鉸刀校准部分的磨損强烈度下降(图181)。由图182可以看出，潤滑冷却液中硫化油的百分含量对于鉸刀刀齿切削部分后隙面的磨損强烈度的影响很小。

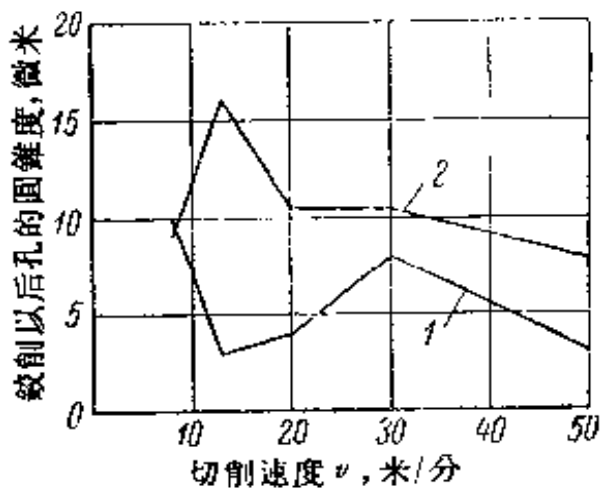


图 179 在不同切削速度下，冷却液对于铰制以后孔的圆锥度的影响。在  $t=0.15$  毫米、 $s=0.195$  毫米/转下，用硬质合金 T15K6 铰刀，加工硬度为  $H_{RC}=49\sim 54$  的淬火合金钢  
1—施用10%混水乳化液+2%硫化油作为冷却液；2—不施用冷却液

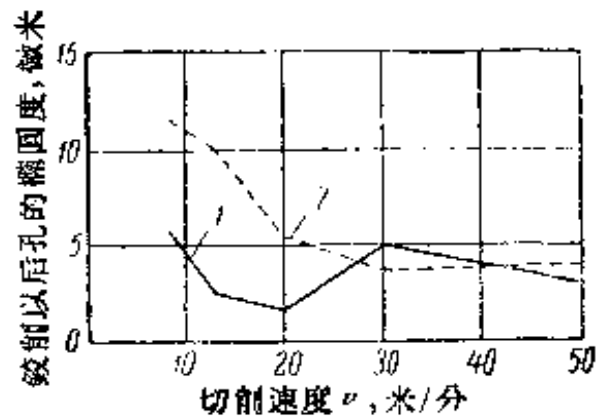


图 180 在不同切削速度下，冷却液对于铰制以后孔的椭圆度的影响。在  $t=0.15$  毫米、 $s=0.195$  毫米/转下，用硬质合金 T15K6 铰刀，加工硬度为  $H_{RC}=49\sim 54$  的淬火合金钢  
1—施用10%混水乳化液+2%硫化油作为冷却液；2—不施用冷却液

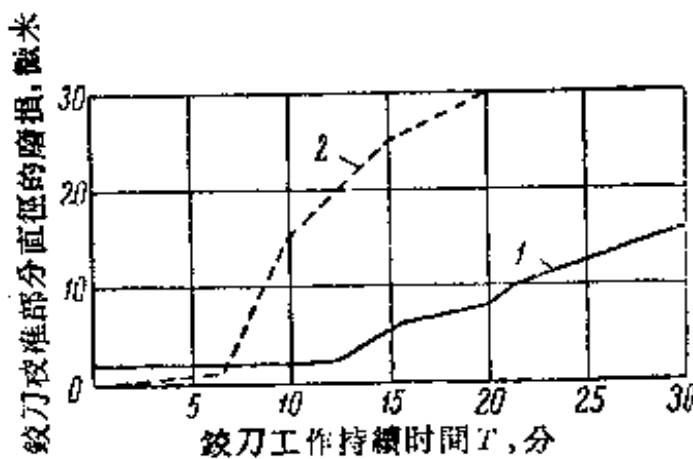


图 181 润滑冷却液成分对于铰刀校准部分直径磨损强烈度的影响。在  $t=0.2$  毫米、 $s=0.275$  毫米/转、 $v=50$  米/分下，用硬质合金 T15K6 铰刀，加工硬度为  $H_{RC}=49\sim 54$  的淬火合金钢  
1—施用10%混水乳化液+5%硫化油作为冷却液；2—施用10%混水乳化液+2%硫化油作为冷却液

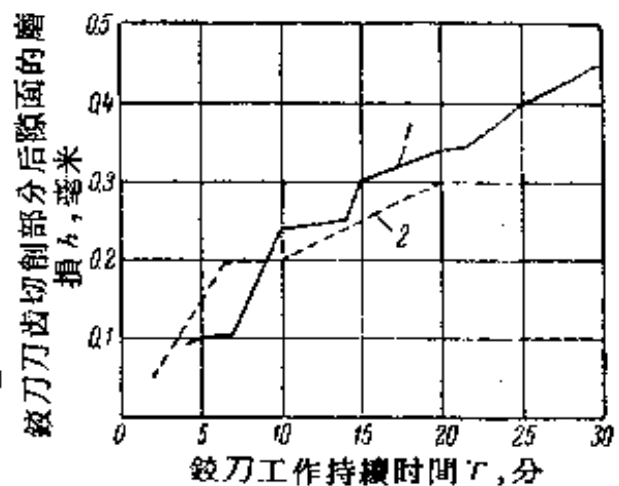


图 182 润滑冷却液成分对于铰刀刀齿切削部分后隙面磨损强烈度的影响。在  $t=0.2$  毫米、 $s=0.275$  毫米/转、 $v=50$  米/分下，用硬质合金 T15K6 铰刀，加工硬度为  $H_{RC}=49\sim 54$  的淬火合金钢  
1—施用10%混水乳化液+5%硫化油作为冷却液；2—施用10%混水乳化液+2%硫化油作为冷却液

在鉸削高硬度淬火合金鋼零件上的孔时，应当认为施用潤滑冷却液乃是必須的，而在采用10%乳化液苏打水(0.2%苏打)溶液(并用5%硫化油來活化)时，得到的結果較好。

### 切削用量对于鉸削以后孔的收縮量的影响

图183、184和185上的图解，表示切削速度 $v$ 、走刀量 $s$ 和切削深度 $t$ 对于鉸削以后孔的收縮量的影响。这些实验数据是用直徑为14毫米的硬质合金T15K6鉸刀加工硬度为 $H_{RC} = 49 \sim 54$ 的淬火合金鋼时得出来的。图解上的中綫( $\bar{X}$ )表达已鉸削孔直徑的算术平均偏差。虛綫表示孔尺寸分散范围的理論极限。可以看出，孔尺寸分散范围的理論极限的位置很是靠近其分散范围的实际极限。

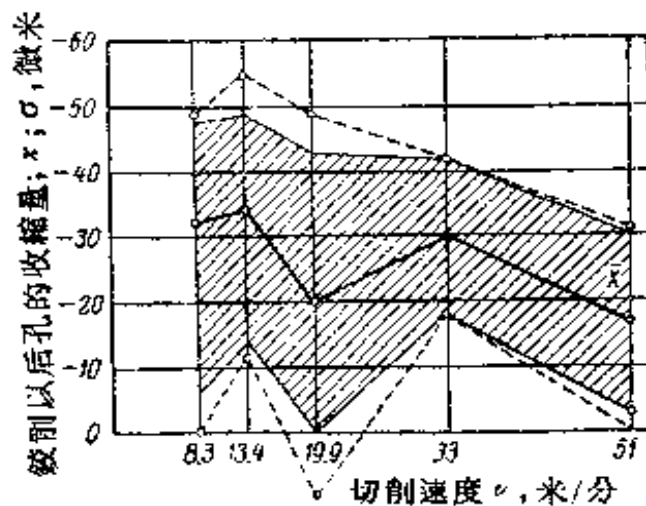


图 183 切削速度对于鉸削以后孔的收縮量的影响。在 $t=0.2$ 毫米、 $s=0.275$ 毫米/轉下，加工硬度为 $H_{RC} = 49 \sim 54$ 的淬火合金鋼

研究这些图解可以得出結論：与走刀量和切削深度相反，切削速度对于鉸削以后孔的收縮量以及实验点的分散范围发生显著的影响。与切削速度低于20米/分时相比，在切削速度高于20米/分时，分散范围显著地縮小了(图183)。在 $v=33$ 米/分时，孔尺寸的分散范围具有最小值。但是，在这个切削速度下，已鉸削孔直徑的算术平均偏差是比較大的。在 $v=51$ 米/分时，这个偏差要小得多。

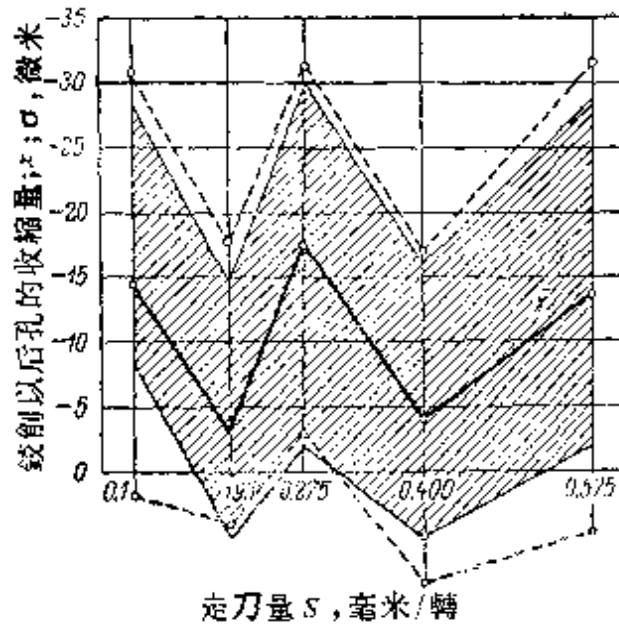


图 184 走刀量对于鉸削以后孔的收縮量的影响。在  $f=0.2$  毫米、 $v=50$  米/分下，加工硬度为  $H_{RC}=49\sim 54$  的淬火合金鋼

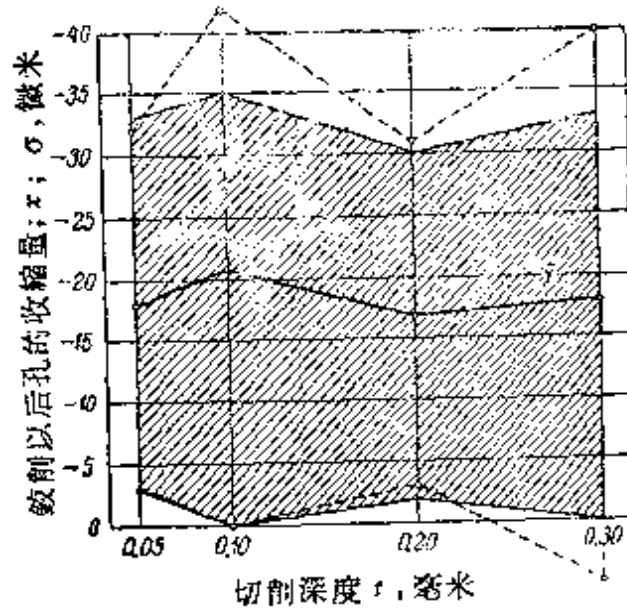


图 185 切削深度对于鉸削以后孔的收縮量的影响。在  $s=0.275$  毫米/轉、 $v=52$  米/分下，加工硬度为  $H_{RC}=49\sim 54$  的淬火合金鋼

对于淬火合金鋼來說，在切削速度高于20米/分的情况下所得鉸削以后孔的收縮量較小。利用导向器可以把已加工孔尺寸分散范围的极限縮減到5~20微米。



## 第七章 淬火鋼的鏢削

**鏢钻的結構和工艺装备** 在用鏢钻来加工淬火鋼零件上的孔时，与用鉸刀时一样，应当使用导向器。刀具沿后导向套或沿前导向套和后导向套来实现导向。双导向是应用于下列場合里：孔的长度大于其直徑的二倍；加工几个同軸的孔；預加工孔的軸綫对于导向套的軸綫显著地偏位。

鏢钻用的导向器也应当具有回轉套。在工作时，借平滑心軸之助，来实现鏢钻在导向器中的固定。

装备硬质合金的装配式鏢钻的結構与装配式鉸刀的結構相似，其与后者不同的地方仅在于切削部分的几何参数的大小。

在鏢削淬火鋼时，应当采用在鉸削时給出最好結果的潤滑冷却液，这就是：10%乳化液苏打水溶液 + 5%硫化油。

在附录 V 中列举的、鏢削淬火鋼用的切削用量，保証能达到  $\nabla\nabla 6$  級已加工表面光洁度和 4 級尺寸精度。

图 186 所示是装备硬质合金 T15K6 的、双导向內冷却鏢钻的結構。图 187 所示是航空工艺与生产組織科学研究所設計的、带后导部的鑲装刀齿式鏢钻。这些鏢钻結構在加工淬火鋼时表現得很好。

**鏢钻切削部分的几何参数和装备鏢钻用硬质合金的牌号** 实验証明，对于加工硬度为  $H_{RC} = 49 \sim 54$  的淬火合金鋼来說，鏢钻应当具有前角  $\gamma = -15^\circ$  和后角  $\alpha = 10^\circ$  (图 188)。在切削部分斜角  $\varphi = 60^\circ$  和过渡部分斜角  $\varphi_0 = 15^\circ$  时，鏢钻最剧烈的磨损不是发生在校准部分向切削部分过渡的地点，而是发生在主切削刃和过渡切削刃相結合的地方 (图 189)。切削刃对于鏢钻軸綫的斜角是做  $\lambda = 0^\circ$ 。

負的主前角  $\gamma$  和徑向前角  $\gamma_0$ ，是借特殊的偏磨来形成 (图 190)。点 A 表示切削部分上主切削刃和过渡刃相結合的地方，点

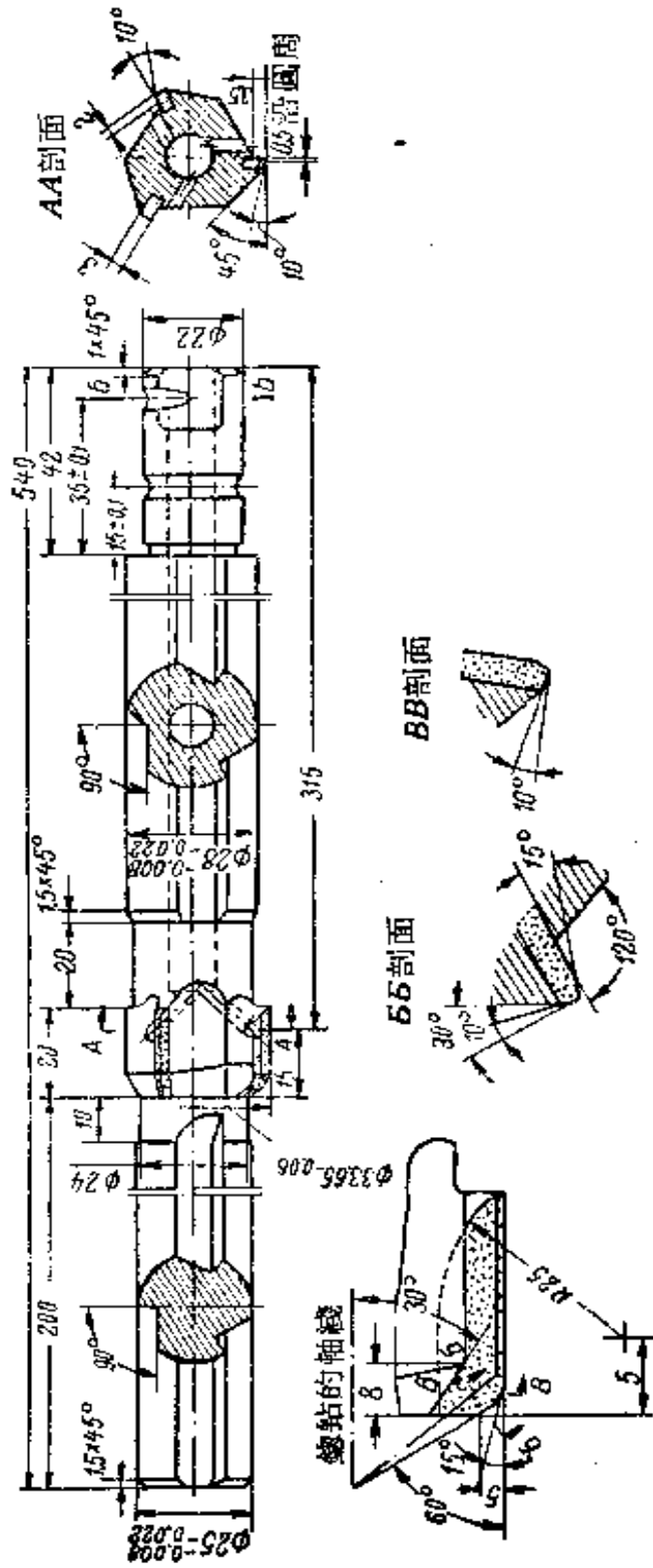


图 186 装备硬质合金T15K6的、带前导部和后导部的内冷却黏结

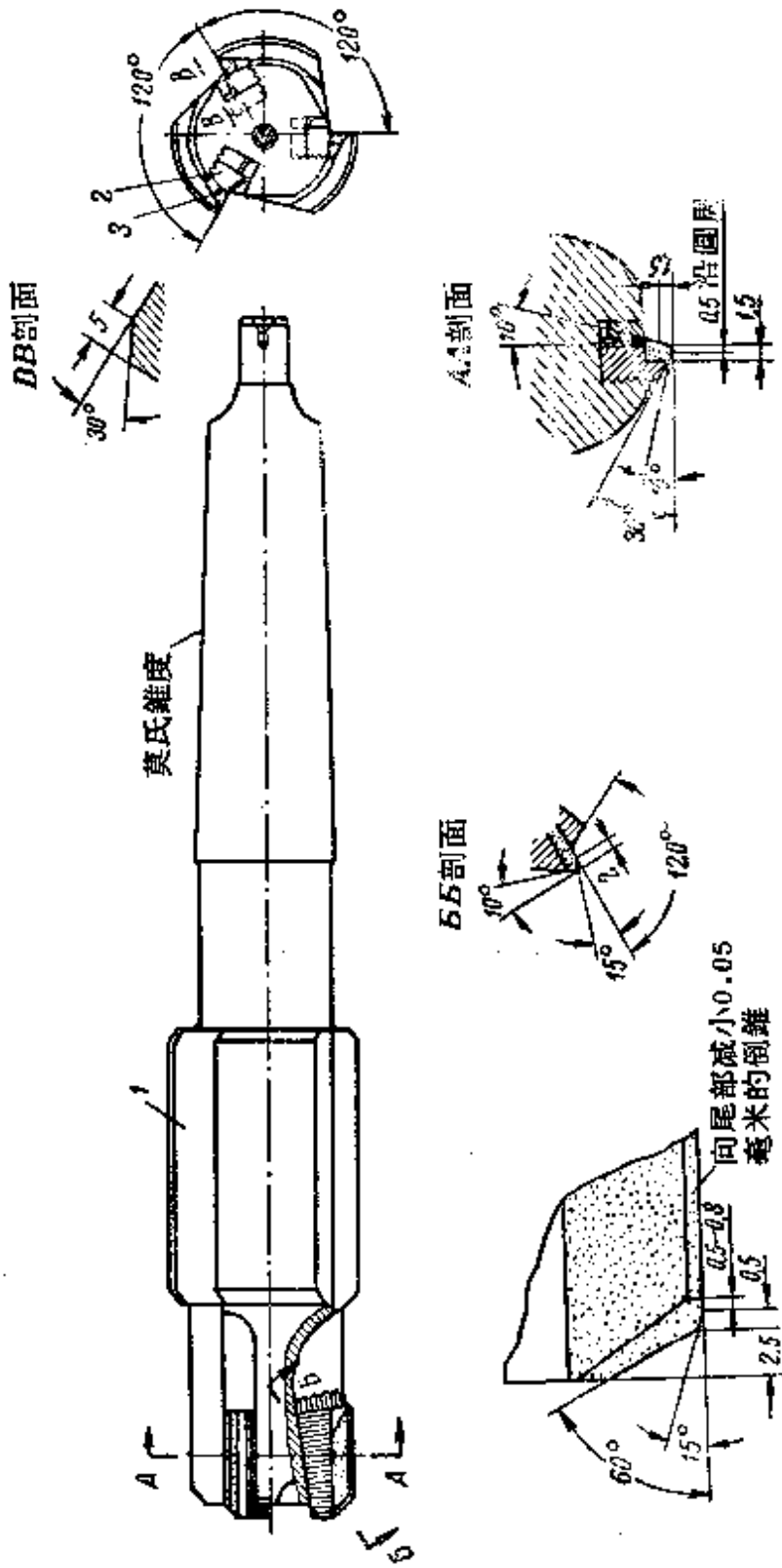


图 187 航空工艺与生产組織科学研究所設計的、带后  
导部和錐尾的装配式镗钻

1—钻身；2—镗装刀齿；3—楔

$B$  表示校准部分上导向边和过渡刃相结合的地方，而点  $C$  则表示前倾面上倒棱和导向边相交的地方。图 190a 所示是正确的偏磨方式；图 190b 和 190c 所示是不正确的偏磨方式：在第一种情况下形成了没有偏磨的切削刃；在第二种情况下导向边被切下去了。

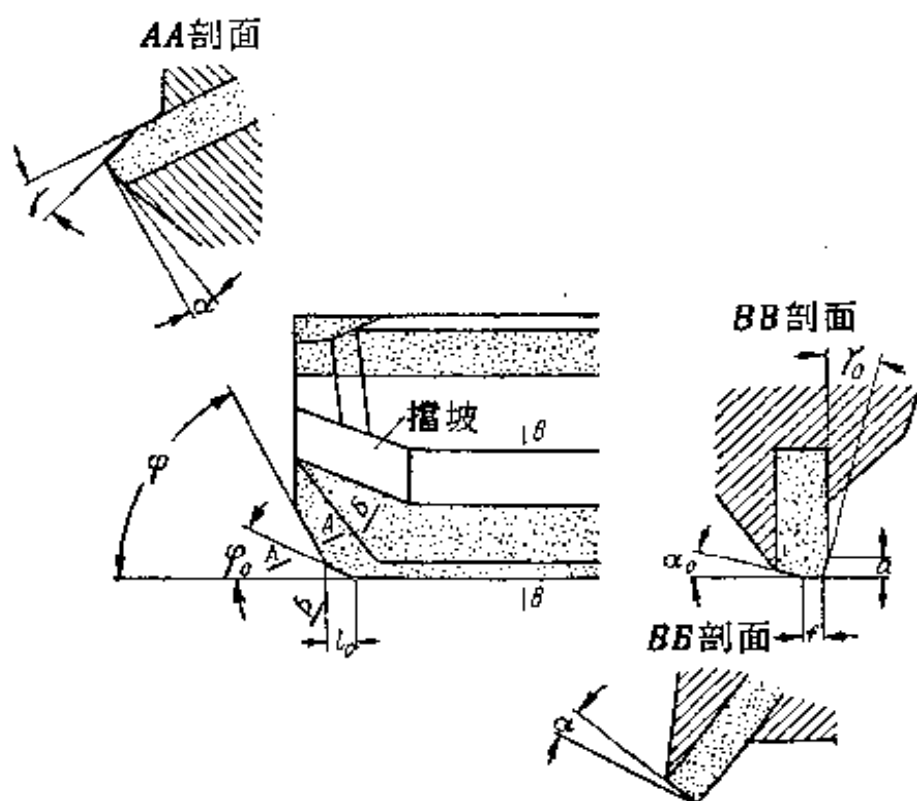


图 188 铰钻切削部分的几何参数

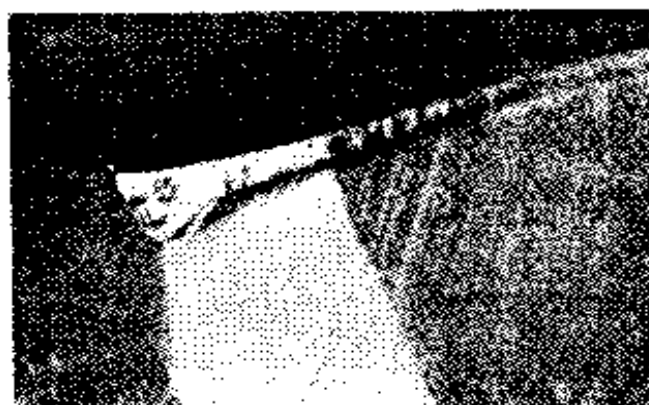


图 189 在加工硬度为  $H_{RC}=51$  的淬火合金钢时，硬质合金 T15K6 铰钻切削部分的后隙面磨损

形成负前角的偏磨，还可以促使切屑向前方排出，即向未加工表面方向排出。为了同样的目的，在铰钻前一刀齿的后隙面上

制出「擋坡」(图188)。因此,在較大速度下垂直于主切削刃排出的切屑(呈直带状)碰到擋坡,于是被卷曲并被导向前方。

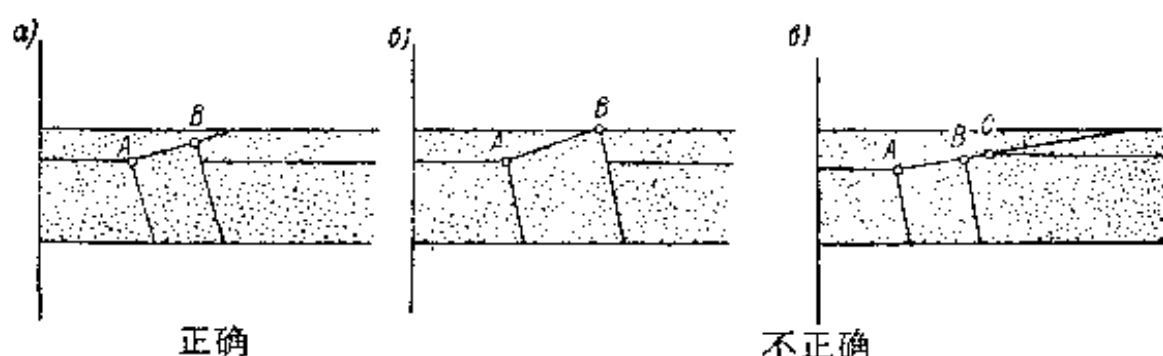


图 190 鋸鑽前傾面的特殊偏磨

图191所示图解表达切削速度 $v$ 与硬质合金(T15K6和T5K10)鋸鑽耐用度 $T$ 的关系。在切削深度 $t=0.65$ 毫米、走刀量 $s=0.4$ 毫米/轉下,进行了硬度为 $H_{RC}=51$ 的淬火鋼的加工。鋸鑽直徑 $D=25$ 毫米。可以看出,硬质合金T15K6鋸鑽的耐用度比硬质合金T5K10鋸鑽的高。对于鋸削淬火合金鋼來說,应当采用硬质合金T15K6和T15K6T鋸鑽。

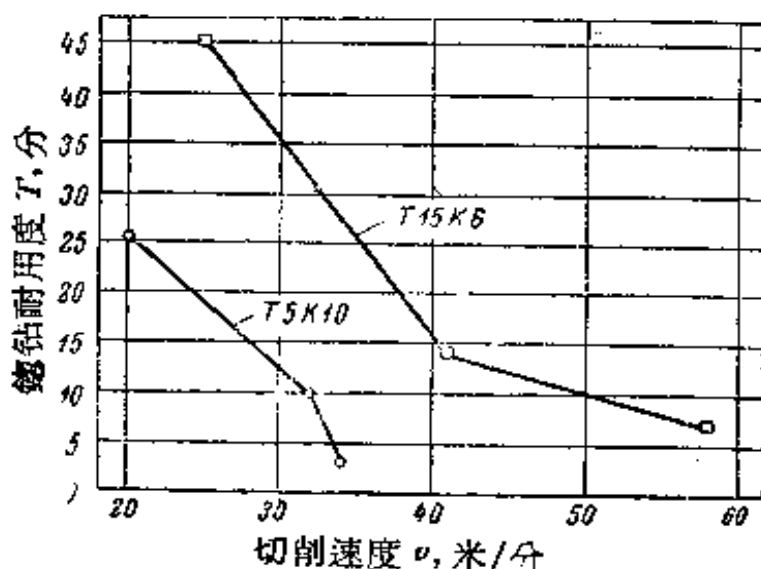


图 191 切削速度 $v$ 与硬质合金(T15K6和T5K10)鋸鑽耐用度 $T$ 的关系

**鋸鑽的磨損和磨鈍准則** 在加工淬火鋼時,鋸鑽的磨損一般說來是和鉸刀一樣的。鋸鑽磨損最劇烈的地方是在主切削刃和過渡切削刃的交點處(图 189)。磨損是沿後隙面發生,沿前傾面的

磨損是不显著的。

图192所示是鏢钻工作持續时间与鏢钻的后隙面磨損 $h$ 、鏢削以后孔的圓錐度、橢圓度的关系的实验数据。試驗是在 $t=0.65$ 毫米、 $s=0.4$ 毫米/轉、 $v=60$ 米/分下，用硬质合金 T15K6 鏢钻米进行的。可以看出，磨損剧烈地增长到数值 $h=0.6$ 毫米，然后保持稳定；当达到 $h=0.7$ 毫米的时候，切削刃就开始发生崩刃。鏢钻的后隙面磨損对于已加工孔的圓錐度、橢圓度的影响很小。孔的表面光洁度并不会由于鏢钻磨損 $h$ 的增大而下降。

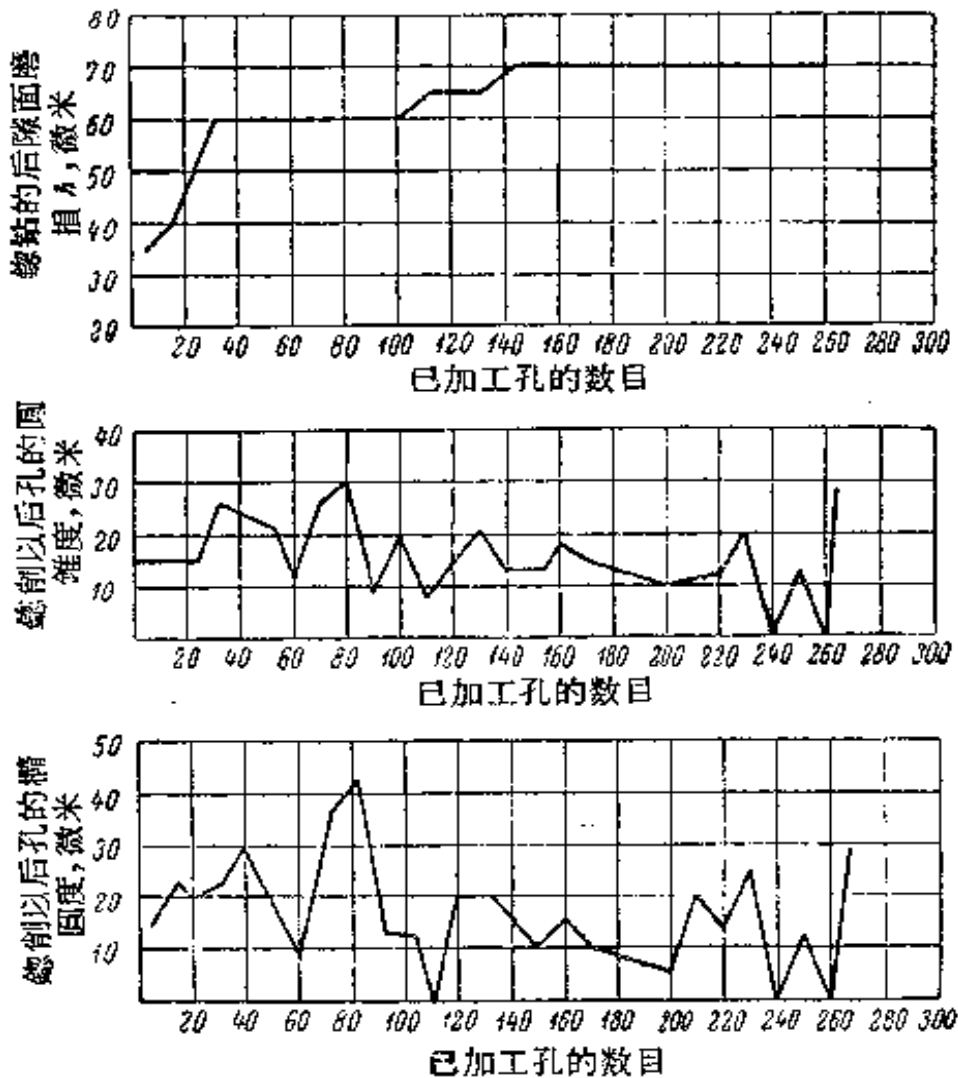


图 192 在加工硬度为  $H_{RC}=51$  的淬火鋼时，鏢钻的后隙面磨損、鏢削以后孔的圓錐度、橢圓度与鏢钻工作持續时间的关系

实验証明，鏢钻的后隙面磨損随着切削速度的增大而增大。在 $t=0.65$ 毫米、 $s=0.4$ 毫米/轉下，用硬质合金 T15K6 鏢钻(其切

削部分的几何参数为 $\gamma = -15^\circ$ 、 $\alpha = 10^\circ$ 、 $\varphi = 60^\circ$ 、 $\varphi_0 = 15^\circ$ ) 加工硬度为 $H_{RC} = 51$ 的淬火钢时, 在工作15分钟以后, 后隙面的磨损是:  $h = 0.5$ 毫米——对于切削速度 $v = 20.7$ 米/分;  $h = 0.8$ 毫米——对于 $v = 41.2$ 米/分。

对于装备钛钴类硬质合金的镗钻, 在加工淬火合金钢时, 采取后隙面磨损 $h = 0.7$ 毫米作为磨钝准则。与车削和铰削时一样, 在镗削时也可以把皱褶状排出切屑的获得当做刀具磨钝的明显特征。

在镗削硬度为 $H_{RC} = 38 \sim 51$ 的淬火合金钢零件上的孔时, 引用下列方程式来确定切削速度:

$$v = \frac{C_v \cdot D^{0.6}}{T^{0.15} \cdot t^{0.3} \cdot s^{0.6}} \text{米/分}, \quad (21)$$

式中  $D$ ——镗钻直径(毫米);  
 $T$ ——镗钻耐用度期限(分);  
 $t$ ——切削深度(毫米);  
 $s$ ——走刀量(毫米/转);  
 $C_v$ ——常系数。

采取常系数 $C_v$ 值如下:

钢的硬度 $H_{RC}$	$C_v$ 值
51	10
45	15.5
38	23

## 第八章 在淬火鋼上切制螺紋

本章叙述本书作者对于在硬度为 $H_{RC} = 65$ 的淬火鋼C上切制螺紋过程所做研究工作的結果。这项研究工作的安排，是由于有一个机械制造厂在掌握这种加工过程时发生了困难而引起的。在生产条件下，切制螺紋的特征如下：

- 1) 被加工材料——硬度为 $H_{RC} = 60$ 的淬火鋼；
- 2) 英制外螺紋，8扣/吋，螺紋凹处（絲間）的底部沿半徑制成圓角，切制长度 $l = 20$ 毫米；
- 3) 設備——ДИП-200型螺紋車床；
- 4) 刀具——装备硬质合金BK8的杆状螺紋車刀，其切削要素未經研磨，前角 $\gamma = 0^\circ$ ；但是刀尖安装得低于車床頂針綫，使得車刀在切削过程中的前角 $\gamma = -5^\circ$ ；
- 5) 切削用量：切削速度 $v = 8$ 米/分，切制一个零件的走刀次数 $i = 30 \sim 35$ 。車刀耐用度 $T = 2$ 分钟。切制一个零件（ $l = 20$ 毫米），平均花費7~8把車刀（刃磨車刀7~8次）。

在實驗室条件下，对于特殊准备好的、长度 $L \approx 1150$ 毫米、直徑 $D \approx 200$ 毫米的鋼料，进行了試驗研究。鋼料淬火成硬度为 $H_{RC} = 65$ 。

从鋼料上切下厚度为55毫米的圓片，借洛氏硬度計，檢驗了被研究材料的硬度。在离开圓片中心30、44、79和88毫米的四个点上，确定出硬度数值。圓片直徑 $D = 198$ 毫米。在所有的点上，硬度都同样是 $H_{RC} = 65$ 。

然后，又在鋼料本身上测定了这材料的硬度，証明这材料的可硬性很深。

研究了三种螺紋：12、8和6扣/吋。沿鋼料的长度，做出了寬20和40毫米的圈帶。在每两道相邻的圈帶之間都車出了退刀槽。图193所示是帶有螺紋的鋼料的一部分。



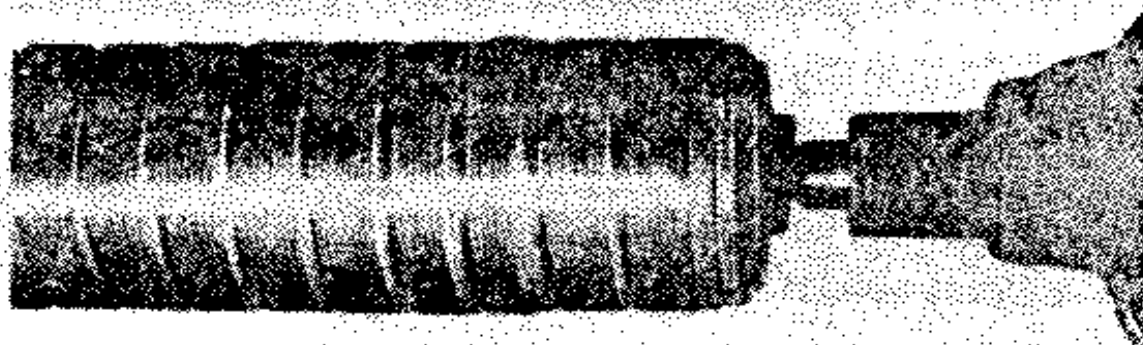


图 193 硬度为  $H_{RO}=65$  的、带有螺紋的鋼料C的一部分

采用装备硬质合金BK8、T15K6和T21K8的杆状螺紋車刀(图194)，作为刀具。大部分的实验是在ДИП-300型机床上进行的，其余的实验则是在ДИП-400型机床上进行的。

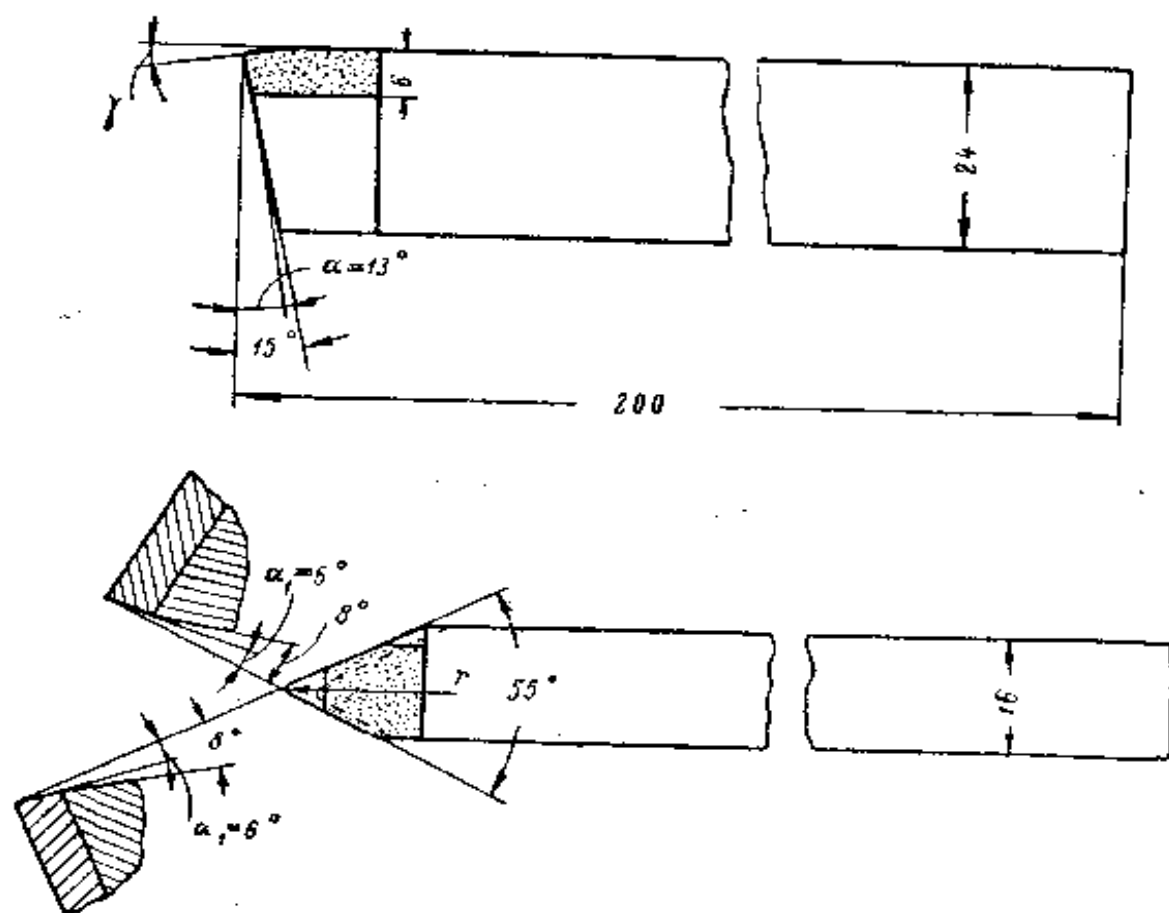


图 194 螺紋車刀

这个过程无疑是最困难的金属机械加工(切削)过程之一。被加工材料的硬度很高，接近于刀具的硬度，加之，走刀量又较大

(对于6扣/吋的螺紋來說，走刀量超过4毫米/轉)，而刀尖圓角半徑又較小(刀尖是硬质合金刀具切削部分的最易損坏的部分)。車刀是在«非自由切削»的条件下工作，当刀具切削部分的整个型面都参加切削时(在精加工行程中)。

研究所得結果証明，与工厂实践情况相比，可以显著地提高这个加工过程的生产率。

### 33. 車刀的磨鈍准則

可以采取車刀后隙面的磨損量和排出切屑状态的变化，作为車刀的磨鈍准則。

**車刀后隙面的磨損** 被研究过程的特征是，車刀后隙面曲綫部位的磨損最大。这在用整个型面来工作的光車刀，表現得很是清晰。

粗車刀在工作时，其右切削刃几乎是不参加切削的，所以粗車刀后隙面的磨損特征与外圓車刀的相似。

車刀的允許磨損量与装备車刀用硬质合金的牌号有关。与硬质合金T21K8、T15K6相比，硬质合金BK8的韌性較大，所以后者的允許磨損量要大得多而且不必顾虑車刀切削刃的崩刃問題。

图195所示是已工作到正常磨鈍的T21K8車刀。这車刀如果不停止工作的話，就要发生崩刃。这車刀后隙面曲綫部位的磨損达到 $h=0.27$ 毫米。几何参数同样的BK8車刀工作到正常磨鈍时的磨損是 $h=0.5$ 毫米。两种車刀都是用整个型面来工作的。

在已工作到正常磨鈍的T15K6車刀上(图196)，即在磨損 $h=0.52$ 毫米时，也沒有崩刃的痕迹。显然硬质合金T15K6在耐用度方面比硬质合金T21K8优越，原因是T15K6車刀拥有負前角( $\gamma = -5^\circ$ )。

**排出切屑状态的变化** 随着車刀的逐步变鈍，排出切屑的状态就发生变化。在开始切削时，刀具还没有怎么变鈍，带状切屑不稳地排出，呈螺旋带状，其与車刀前倾面接触的外表面是十分

光滑的。随着車刀的逐步变钝，切屑就失去螺旋的形状，并且其外表面变成特有的皱褶状。



图 195 已工作到正常磨钝的T21K8車刀。車刀切削部分的几何参数： $\alpha=13^\circ$ ， $\alpha_1=6^\circ$ ， $\gamma=0^\circ$ ， $\lambda=0^\circ$ ， $r=0.4$ 毫米



图 196 已工作到正常磨钝的T15K6車刀。車刀切削部分的几何参数： $\alpha=13^\circ$ ， $\alpha_1=6^\circ$ ， $\gamma=-5^\circ$ ， $\lambda=0^\circ$ ， $r=0.4$ 毫米

图197所示是在T15K6粗車刀的不同变钝阶段上得到的一些切屑。車刀到达完全磨钝时的工作持续时间为 $T=6.6$ 分钟。上方的切屑相当于 $T=1.6$ 分钟，中央的切屑相当于 $T=4.4$ 分钟，下方的切屑则相当于 $T=6.2$ 分钟。图198所示是在光車刀的后一变钝阶段上得到的一些同样的切屑。光車刀切削部分的几何参数与上述粗車刀的相同。与粗車刀相反，光車刀是用整个型面来工作并取下三角形截面的切屑。

根据所做的实验，可以作出下列结论。

在淬火鋼上切削螺紋时，車刀后隙面的磨損量和排出切屑状态的变化，可以作为車刀的磨钝准则。

排出切屑状态的变化，即得到皱褶状切屑，乃是在生产条件下合用的、比较显明的車刀磨钝准则。

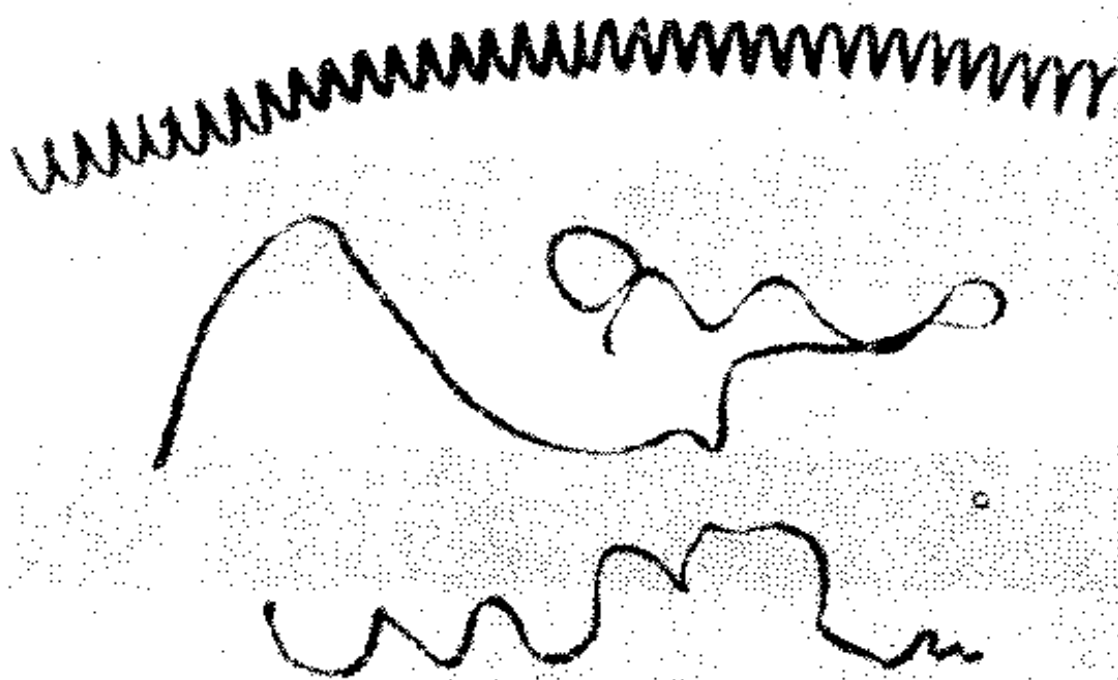


图 197 車刀变鈍程度对于排出切屑形状的影响 ( $\alpha=13^\circ$ ,  $\alpha_1=6^\circ$ ,  $\gamma=0^\circ$ ,  $\lambda=0^\circ$ ,  $r=0.4$ 毫米)。上方切屑相当于車刀开始工作; 下方切屑相当于車刀正常磨鈍



在采用車刀后隙面的磨損量作为車刀磨鈍准則时，有一缺点，即車刀必需停止工作。

本书作者在自己的研究工作中綜合地利用了这两种磨鈍准則：为了作业的目的，利用«排出切屑的状态»；为了檢查的目的，利用«車刀后隙面的磨損量»。

車刀后隙面的正常磨損采取如下数值：

1) 对于粗車刀， $h=0.3\sim 0.5$ 毫米（較小的数值属于 T15K6 和 T21K8 車刀，較大的数值則属于 BK6 車刀）；

2) 对于光車刀， $h=0.2$ 毫米。

### 34. 最佳走刀次数的确定

确定走刀次数的实验帶有綜合的特性。已經解决了在最少走刀次数下得到十分完善螺紋的任务，同时研究了許多因素对于車刀耐用度以及对于整个切削过程的影响。

在螺紋車床上切制螺紋时，規定把橫向走刀量  $s$ ，叫做車刀每次走刀的切入量。可以用各种不同的方式，来实现切入（图 199）。

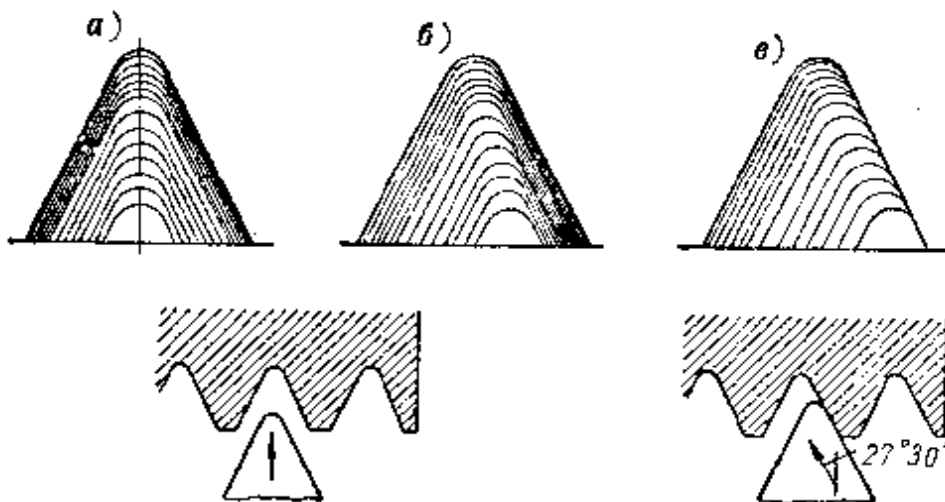


图 199 在切制螺紋时，車刀实现橫向走刀(沿切削深度方向)的不同方式

在沿垂直于被切制零件軸綫的方向切入时(图 199a)，車刀是处在最不利的条件下，因为这时車刀的整个型面都参加切削工

作。这种方式应当在螺紋最后精加工的几次走刀时应用。

在图1996所示的車刀切入方式中，車刀的右切削刃几乎是完全不工作的。这是借車刀沿垂直于零件軸綫方向作出所需移动之外，还朝車床床头方面，即朝左边«挪动»，来达到这种切入方式的。

图1996所示是車刀成一角度的切入方式。为此目的，車床刀架的上滑板应当回轉一角度：在切制公制螺紋时回轉 $30^\circ$ 角度，而在切制英制螺紋时則回轉 $27^\circ 30'$ 角度。在这种切入方式中，車刀的右切削刃也是不工作的。后两种切入方式只可以应用于螺紋的粗切。

在我們的研究工作中，应用了所有三种切入方式。螺紋的最后精加工，是按照第一种方式进行的(图199a)；在进行螺紋的粗切时，应用了第二和第三种方式(图1996和e)。

下面叙述所得試驗結果。除去刀尖圓角半徑 $r$ 以外，所有車刀都具有同样的几何参数： $\alpha=13^\circ$ ， $\alpha_1=6^\circ$ ， $\gamma=0^\circ$ ， $\lambda=0^\circ$ 。

在切制长度 $l=20$ 毫米、切削速度 $v=8.5$ 米/分下，进行了切制8扣/吋螺紋的實驗。粗車刀的刀尖圓角半徑 $r=0.6$ 毫米，光車刀的則是 $r=0.4$ 毫米。試驗过了硬质合金BK8、T15K6、T21K8。在粗切的各次走刀中，車刀按第二种方式实现切入；在精切的各次走刀中，車刀則是按第一种方式切入。

在九段圈带上全部切制了螺紋；为此，車刀刃磨了十八次，或者说，每一段圈带平均使用了两把車刀（一把粗車刀和一把光車刀）。切制九段圈带的总走刀次数为：a)在 $s_1=0.10$ 毫米下粗切151次；b)在 $s_1=0.10$ 毫米下精切59次。因此，对于每一段圈带，平均进行了17次粗切和7次精切的走刀行程。粗車刀的耐用度平均为 $T=6.3$ 分钟，而光車刀的則是 $T=3.1$ 分钟。

光車刀的耐用度比粗車刀的低，原因是光車刀的刀尖半徑 $r$ 較小及其工作条件比較沉重(光車刀的整个型面都参加切削)。

實驗数据表明了橫向走刀量 $s_1$ 和硬质合金牌号对于車刀耐用度的影响特征。如果說，在 $s_1=0.10$ 毫米时，BK8粗車刀( $r$

=0.6毫米)的平均耐用度为6.3分钟;那末,在 $s_1=0.15$ 毫米时,其平均耐用度则等于1.5分钟;并且在 $s_1=0.15$ 毫米时,車刀急剧地变钝以及沿刀尖发生了崩刃。硬质合金 T21K8 由于脆性较高而使得耐用度很低。

在切削长度 $l=20$ 毫米、切削速度 $v=8.5$ 米/分下,进行了切削12扣/吋螺紋的試驗。粗車刀的 $r=0.4$ 和 $0.6$ 毫米,而光車刀的 $r=0.3$ 毫米。按图1996所示的方式实现車刀的切入,但有两段圈带为例外,在这两段圈带上是按照第三种方式(图1996)来实现粗車刀的切入。在十一段圈带上全部切削了螺紋,为此,使用了三十一把車刀,其中十八把为粗車刀而十三把为光車刀。

对于每一段圈带,平均需用三把車刀,其中大約有50%是粗車刀。在切削每一段圈带时,平均需要二十二次走刀行程,其中有九次粗切和十三次精切。每把車刀的耐用度平均是:粗車刀的 $T=5.1$ 分钟,光車刀的 $T=5.0$ 分钟。

这样看来,在这个試驗中,光車刀的耐用度表现成与粗車刀的相同( $T \approx 5$ 分钟)。但是,粗車刀是在 $s_1=0.10$ 毫米下工作,而光車刀则是在 $s_1=0.05$ 毫米下工作。在同样的 $s_1$ 值下,粗車刀的耐用度就比光車刀的高,因为粗車刀的刀尖圓角半徑比光車刀的大。值得指出,粗車刀在切削12扣/吋螺紋时的耐用度比同样車刀在切削8扣/吋螺紋时的耐用度低。在同样的横向走刀量 $s_1=0.10$ 毫米下,車刀在切削12扣/吋( $s=2.12$ 毫米)螺紋时的平均耐用度 $T=5.1$ 分钟,而在切削8扣/吋( $s=3.17$ 毫米)螺紋时的 $T=6.3$ 分钟。

这个看来不相适应的情况(車刀耐用度应当随着螺距的减小而提高),可以由半徑 $r$ 对于耐用度发生急剧影响来解释。半徑 $r$ 从0.6毫米(切削8扣/吋螺紋用的粗車刀)减小到0.4毫米(切削12扣/吋螺紋用的粗車刀)就导致了車刀耐用度的下降,虽然螺距已从3.17减小到了2.12毫米。

实验数据表明, T15K6和BK8車刀的耐用度大致是一样的。在 $r=0.6$ 毫米、 $s_1=0.10$ 毫米时,在四段圈带上得出BK8車刀

的耐用度 $T=5.3$ 和 $6.0$ 分钟，而T15K6車刀的 $T=6.6$ 分钟。

图1996和1998所示的两种切入方式得出了大致同样的结果。BK8車刀( $r=0.4$ 毫米、 $s_1=0.10$ 毫米)在按图1996的方式切入时的耐用度 $T=4.7$ 、 $7.9$ 和 $7.3$ 分钟(三段圈带)，而BK8車刀在按图1998的方式切入时的耐用度 $T=6$ 分钟。

在切制长度 $l=40$ 毫米、切削速度 $v=7$ 米/分下，进行了切制6扣/吋螺紋的實驗。一部分實驗是用 $r=0.8$ 毫米的粗車刀来进行的；在其余的實驗里車刀的 $r=0.6$ 毫米。粗車刀按两种方式切入。在七段圈带上全部切制了螺紋。

借十七把粗車刀和八把光車刀，在六段圈带上全部切制了螺紋。因此，切制每一段圈带( $l=40$ 毫米)平均使用了兩把粗車刀和一把光車刀，进行了二十二次粗切行程和十六次精切行程。每把車刀的耐用度平均是：粗車刀的 $T=6.3$ 分钟，光車刀的 $T=9.3$ 分钟。

有两段圈带是在 $s_1=0.05$ 毫米下实现后面的几次切制行程，这就影响到光車刀的平均耐用度(所有其余的切制行程，粗切和精切一样，都是在 $s_1=0.10$ 毫米下实现的)。这样一来，与切制8扣/吋和12扣/吋螺紋时不同，在切制6扣/吋螺紋时光車刀的耐用度不逊于粗車刀。这是由于光車刀同样具有較大的半径( $r=0.6$ 毫米)。

切制6扣/吋螺紋的車刀的耐用度显得比切制8扣/吋和12扣/吋螺紋的車刀的更高，这是因为6扣/吋螺紋是在 $v=7$ 米/分下切制的，而8扣/吋和12扣/吋螺紋則是在 $v=8.5$ 米/分下切制的。这就証实了前面作出的关于硬质合金BK8和T15K6的切削性能大致相等的結論。

表80中包含为了在二十六段圈带上全部切制12、8和6扣/吋螺紋时所需走刀次数方面的系統化数据。可以看出，切制每一段圈带时平均所需走刀次数为：对于12扣/吋螺紋是22次，对于8扣/吋螺紋是24次，对于6扣/吋螺紋是38次。

由于車刀在徑向力 $P_r$ 的作用下而被推出，所以車刀的真实



表 80 在切制 12、8 和 6 扣/吋螺紋时的真实走刀次数

螺 紋	切制 长度 (毫米)	圈带 №	真实 切制 深度 (毫米)	真 实 走 刀 次 数						总 計  i	
				粗 切			精 切				
				車刀 半徑 r (毫米)	$s_1$ (毫米)	i	車刀 半徑 r (毫米)	$s_1$ (毫米)	i		
12扣/吋  s=2.12 毫米	20	51	1.22	0.6	0.10	10	0.3	0.05	12	27	
				0.4	0.10	5					
				0.4	0.10	14	0.3	0.05	10	24	
				0.6	0.10	8	0.3	0.05	9	20	
				0.4	0.10	3					
				0.4	0.10	11	0.3	0.05	9	20	
				0.4	0.10	11	0.3	0.05	8	19	
				0.6	0.10	9	0.3	0.05	9	18	
				0.6	0.10	9	0.3	0.05	8	17	
				0.6	0.10	9	0.3	0.05	9	18	
				0.4	0.10	3	0.3	0.05	22	25	
0.4	0.10	3	0.3	0.05	22	25					
0.4	0.10	3	0.3	0.05	22	25					
平均数据 (每一段圈带)				和0.4	0.10	9	0.3	0.05	13	22	
8扣/吋  s=3.17 毫米	20	30	1.90	0.6	0.10	19	0.4	0.10	5	24	
				0.6	0.10	19	0.4	0.10	5	21	
				0.6	0.10	17	0.4	0.10	7	24	
				0.6	0.10	15	0.4	0.10	7	22	
				0.6	0.10	15	0.4	0.10	6	21	
				0.6	0.10	16	0.4	0.10	9	25	
				0.6	0.10	17	0.4	0.10	7	24	
				0.6	0.10	17	0.4	0.10	8	25	
				0.6	0.10	16	0.4	0.10	8	24	
				平均数据 (每一段圈带)				0.6	0.10	17	0.4
6扣/吋  s=4.23 毫米	40	65	2.58	0.8	0.10	16	0.6	0.10	21	37	
				0.8	0.10	27	0.6	0.10	15	46	
							0.6	0.05	4		
				0.6	0.10	17	0.6	0.10	15	29	
				0.6	0.10	33	0.6	0.10	15	48	
							0.6	0.10	10		
				0.6	0.10	22				37	
							0.6	0.05	5		
			0.6	0.10	7						
		70				0.6	0.05	5	32		
平均数据 (每一段圈带)				和0.6	0.10	22	0.6	0.05	和0.10	16	38

表 81 在徑向力  $P_y$  的作用下, 車刀的推出量

圈帶	螺 紋	真實走刀次數 $i$			車刀公稱加深量(毫米)			車刀實 深 量 (毫米)	車刀總 推出量 (毫米)	車刀總 推出量 與車刀 公稱加 深量之 比 (%)
		在 $s_1 =$ 0.10 毫米時	在 $s_1 =$ 0.05 毫米時	總計	在 $s_1 =$ 0.10 毫米時	在 $s_1 =$ 0.05 毫米時	總計			
51	12扣/吋	15	12	27	1.5	0.60	2.10	1.22	0.88	42
52		14	10	24	1.4	0.50	1.90		0.68	36
53		11	9	20	1.1	0.45	1.55		0.33	21
54		11	9	20	1.1	0.45	1.55		0.33	21
56		11	8	19	1.1	0.40	1.50		0.28	19
57		9	9	18	0.9	0.45	1.35		0.13	10
58		9	8	17	0.9	0.40	1.30		0.08	6
59		9	9	18	0.9	0.45	1.35		0.13	10
77		3	22	25	0.3	1.10	1.40		0.18	13
78		3	22	25	0.3	1.10	1.40		0.18	13
79	3	22	25	0.3	1.10	1.40	0.18	13		
平均數據(每一段圈帶)							1.42		0.20	14
30	8扣/吋	24	—	24	2.4	—	2.40	1.90	0.50	21
31		24	—	24	2.4	—	2.40		0.50	21
32		24	—	24	2.4	—	2.40		0.50	21
33		22	—	22	2.2	—	2.20		0.30	14
34		21	—	21	2.1	—	2.10		0.20	10
35		25	—	25	2.5	—	2.50		0.60	24
36		24	—	24	2.4	—	2.40		0.50	21
38		25	—	25	2.5	—	2.50		0.60	24
45	24	—	24	2.4	—	2.40	0.50	21		
平均數據(每一段圈帶)							2.37		0.47	20
64	6扣/吋	44	5	49	4.4	0.25	4.65	2.58	2.07	45
65		37	—	37	3.7	—	3.70		1.12	30
66		42	4	46	4.2	0.20	4.40		1.82	41
67		29	—	29	2.9	—	2.90		0.32	11
68		48	—	48	4.8	—	4.80		2.22	46
69		42	5	47	4.2	0.25	4.45		1.87	42
70		27	5	32	2.7	0.25	2.95		0.37	12
平均數據(每一段圈帶)							3.98		1.40	35

加深量(切入量)小于走刀开始时的预定加深量。表81中列举了切制二十七段圈带的车刀推出量。《车刀真实加深量》(第9栏)是借直接测量螺纹外径和内径的办法来确定的。《总推出量》(第10栏)是由《公称加深量》(第8栏)减去《车刀真实加深量》而获得。而《公称加深量》则为真实走刀次数与车刀公称(预定)横向走刀量(每一次走刀以内)的乘积。车刀推出量的平均数据中没有考虑圈带51和52,因为它们是不可作为指标的。

可以看出,车刀的推出量是很大的,并且推出量随着螺距的增大而急剧地增大。由于车刀被推出,使得切制6扣/吋螺纹时的真实走刀次数比由螺纹深度和给定车刀横向走刀量所限定的走刀次数大35%。依靠减小车刀刀尖圆角半径 $r$ ,可以减小车刀推出量,但是这时刀具耐用度下降。

实验数据是在ДIII-300型机床上工作时得出来的,这机床的刀架拥有足够的刚度。本书作者认为,在确定走刀次数时,应当从车刀推出量的平均值出发(表81),但在切削6扣/吋螺纹时为例外,其推出量可以取做1.0毫米。表82所示是对于被研究螺纹的推荐走刀次数。

表 82 在硬度为  $H_{RC}=65$  的钢 C 上切制 12、8 和 6 扣/吋  
螺纹时的推荐走刀次数

螺 纹	粗切行程, 车刀按图 199b 和 6 的方式切入			精切行程, 车刀按 图 199a 的方式切入			总走刀次数
	车刀的 $r$ (毫米)	$s_1$ (毫米)	$i$	车刀的 $r$ (毫米)	$s_1$ (毫米)	$i$	
12扣/吋	0.4	0.10	10	0.3	0.05	8	18
8扣/吋	0.6	0.10	19	0.4	0.05	10	29
6扣/吋	0.6	0.10	26	0.6	0.10	6	40
				0.6	0.05	8	

## 結 論

1. 为了在淬火鋼上切制螺紋，需要較多的走刀次数，走刀次数随着螺距的增大而成比例地加多。需要較多的走刀次数，是由于被加工材料的硬度較高、硬质合金的脆性較高、車刀的推出量較大而引起的。較大的車刀推出量，是由于徑向力  $P_y$  的絕對值和相对值較大所决定的。

2. 随着淬火鋼硬度的下降，所需走刀次数就减少。

3. 在淬火鋼上切制螺紋的工作，应当安排在刀架剛度較高的机床上来进行。

### 35. 横向走刀量对于車刀耐用度的影响

上述实验数据，部分地闡明了車刀横向走刀量  $s_1$  与車刀耐用度  $T$  的关系方面的問題。为了作出彻底的研究，在切制长度  $l=20$  毫米、切削速度  $v=8.5$  米/分下，粗切 8 扣/吋螺紋，进行了确定  $T \sim s_1$  关系的特殊实验。車刀按图 1996 的方式实现切入。横向走刀量在  $s_1=0.06 \sim 0.12$  毫米范围内变化。車刀的几何参数如下： $\alpha=13^\circ$ ， $\alpha_1=6^\circ$ ， $\gamma=0^\circ$ ， $\lambda=0^\circ$ ， $r=0.6$  毫米。

表 83 所示是在不同走刀量  $s_1$  下，車刀耐用度的平均值。可以看出，在淬火鋼上切制螺紋时，横向走刀量对于車刀耐用度发生显著的影响。在  $v=8.5$  米/分下，比較上可以被接受的耐用度 ( $T > 10$  分钟) 是在  $s_1=0.06$  毫米时得到。在  $s_1=0.09 \sim 0.10$  毫米时，車刀耐用度就低于 10 分钟。随着  $s_1$  的进一步增大，車刀耐用度就下降到失去实际意义的水平。这时应当考虑到， $s_1=0.06 \sim 0.10$  毫米的数据是属于获得正常磨钝的車刀，可是在  $s_1 > 0.10$  毫米时，車刀却是产生了剧烈的磨钝并且切削刃发生了崩刃。

硬质合金 BK8 和 T15K6 表现出了大致同样的切削性能。硬质合金 T21K8 車刀由于脆性較高而使耐用度低得多，并且它的磨钝还伴随着切削刃的崩刃。

在切制长度  $l=40$  毫米、 $v=7$  米/分下，进行了切制 6 扣/吋

螺紋的實驗，借以確定走刀量  $s_1$  對於車刀耐用度的影響。車刀的幾何參數與前述一組實驗中的一樣。橫向走刀量在  $s_1 = 0.15 \sim 0.20$  毫米範圍內變化。表84所示是車刀耐用度的平均數據。

**表 83 在不同的橫向走刀量  $s_1$  值下，切制 8 扣/吋螺紋時車刀的平均耐用度(切制長度  $l=20$  毫米、 $v=8.5$  米/分)**

$s_1$ (毫米)	硬質合金牌號	$T$ (分)
0.06	BK8	13.3
0.09		8.0
0.10		7.0
0.12		2.3
0.15		1.5
0.06	T15K6	13.7
0.10		6.6
0.15		0.9
0.10	T21K8	4.9

**表 84 在不同走刀量  $s_1$  值下，切制 8 扣/吋螺紋時車刀的平均耐用度(切制長度  $l=40$  毫米、 $v=7$  米/分)**

$s_1$ (毫米)	硬質合金牌號	$T$ (分)	$s_1$ (毫米)	硬質合金牌號	$T$ (分)
0.15	BK8	1.7	0.10	T15K6	6.7
			0.15		2.2
0.20		1.2	0.20		1.3

可以看出，在切削速度  $v=7$  米/分下切制 6 扣/吋螺紋時，具有實際意義的是  $s_1 \leq 0.10$  毫米的橫向走刀量。硬質合金 BK8 和 T15K6 具有同樣的切削性能。

車刀切入方式對於車刀耐用度的影響，還沒有研究。但是根據工作中所得到的經驗以及對於有關 12 扣/吋螺紋的實驗數據的分析，人們可以作出結論，圖1996和 8 所示的兩種切入方式中的

一种并不比另一种优越。这一点是可以理解的，只要注意到在两种情况下車刀都是在同样的条件下工作，即它们的右切削刃都是几乎不参加切削的。

在按图199a的方式工作时，車刀的耐用度就下降，因为这时車刀必須用自己的整个型面在《非自由切削》的沉重条件下工作。

### 結 論

1. 在硬度为  $H_{Rc} = 65$  的淬火鋼上切削螺紋时，車刀的横向走刀量对于車刀的耐用度发生显著的影响。

在切削速度  $v = 8.5 \sim 7$  米/分、車刀刀尖圓角半徑  $r = 0.6$  毫米下切削 8 和 6 扣/吋螺紋时，实际上可以被接受的车刀耐用度要在走刀量  $s_1 \leq 0.10$  毫米时才能得到。

2. 当切削速度下降到  $v < 7$  米/分时，車刀耐用度就得以提高。

3. 硬质合金 BK 8 和 T15K6 具有同样的切削性能。

4. 只有在精切即进行螺紋的最后精加工时，才应当采用图 199a 所示的車刀切入方式。

### 36. 刀尖圓角半徑和前角对于車刀耐用度的影响

实验数据证明，刀尖圓角半徑  $r$  对于車刀耐用度发生剧烈的影响。随着半徑  $r$  的增大，車刀耐用度就提高。这半徑  $r$  乃是限制淬火鋼螺紋(12扣/吋螺紋、螺距  $s \approx 2.12$  毫米、螺紋凹部圓角半徑  $r \approx 0.3$  毫米)切削过程的应用范围的基本因素。由于现代硬质合金具有明显的脆性，所以在高硬度淬火鋼上切削凹部半徑  $r < 0.3$  毫米的螺紋是很难实现的事。

光車刀应当具有前角  $\gamma = 0^\circ$ 。車刀的前角大于或小于  $0^\circ$ ，都会招致被切削螺紋型面的歪曲。按图 199b 和 c 所示方式来实现切入的粗車刀的前角可以具有負值 ( $\gamma < 0^\circ$ )。这个問題在后面研究。

为了确定前角对于車刀耐用度的影响，进行了一些实验。用

BK8 車刀在长度  $l=40$  毫米上以及用 T15K6 車刀在长度  $l=20$  毫米上，在切削速度  $v=8.5$  米/分和横向走刀量（按图 199 $\theta$  的方式切入） $s_1=0.08$  毫米的条件下，切制了 8 扣/吋的螺紋。車刀的几何参数如下： $\alpha=13^\circ$ ， $\alpha_1=6^\circ$ ， $\lambda=0^\circ$ ， $r=0.4$  毫米。前角在  $\gamma=+6^\circ \sim -6^\circ$  范围内变化。

表 85 和图 200 所示是車刀耐用度与車刀前角数值的关系。BK8 車刀的耐用度已經折算成切制长度  $l=20$  毫米。考虑到了車刀正常磨鈍的实驗。

表 85 車刀耐用度与車刀前角  $\gamma$  值的关系

BK8 車 刀		T15K6 車 刀	
$\gamma^\circ$	$T$ (分)	$\gamma^\circ$	$T$ (分)
+6	5.0	+6	4.4
+4	5.4	+4	5.0
+3	9.6	+2	8.4
-3	13.0	-2	10.8
-6	16.0	-4	12.6
		-6	13.5

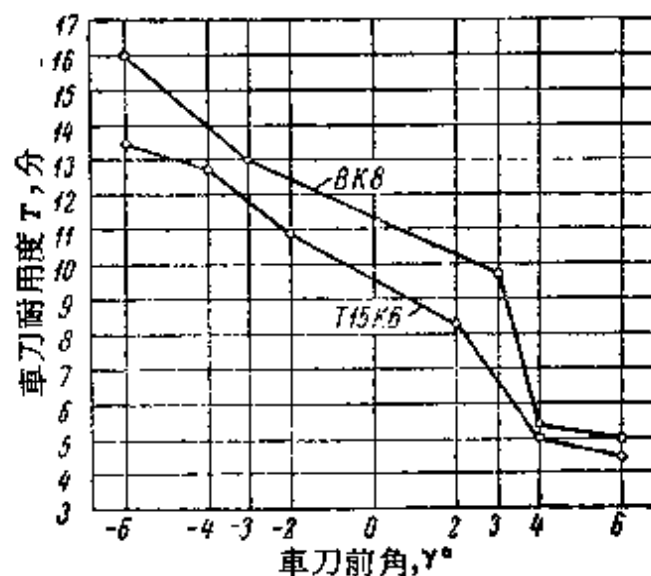


图 200 車刀前角  $\gamma$  对于車刀耐用度  $T$  的影响  
在  $s_1=0.08$  毫米、 $v=8.5$  米/分下，加工硬度为  $H_{Rc}=65$  的鋼 C。8 扣/吋螺紋。切制长度  $l=20$  毫米。車刀几何参数： $\alpha=13^\circ$ ， $\alpha_1=6^\circ$ ， $\lambda=0^\circ$ ， $r=0.4$  毫米

可以看出，車刀耐用度随着前角的增大而降低。在角 $\gamma$ 具有較大的正值时，T15K6車刀的磨鈍伴随着其刀尖处的崩刃。

徑向力 $P_r$ 随着角 $\gamma$ 的减小而增大，由于这个緣故以及由于車刀被推出，使必需增加走刀次数。从这个观点出发，应当认为采用較大負前角的車刀是沒有好处的。本书作者认为，粗車刀应当刃磨成前角 $\gamma = -3^\circ$ 。

### 37. 硬质合金的选择

試驗了三种硬质合金：錳类硬质合金BK8、以及鈦錳类硬质合金T15K6和T21K8。实验数据証明，硬质合金BK8和T15K6具有大致同样的切削性能。硬质合金T21K8的切削性能較低，这是由于它的脆性較高所致。

这里所得到的結果与第三章(淬火鋼的車削)的結果不同。在进行淬火鋼的車削时，显然硬质合金T15K6和T21K8比硬质合金BK8优越。这是由于在車削时外圓車刀的半徑 $r$ 比螺紋車刀的大得多。鈦錳类硬质合金(特别是T21K8)的脆性首先是显現在車刀切削部分的最易受损伤的部位，即刀尖部位。硬质合金BK8的韌性較高，所以比硬质合金T21K8优越得多。

硬质合金T15K6的优点是能够比硬质合金BK8得到更高的已加工表面质量。現在的研究已經証实，苏联出产的硬质合金保証可以在淬火硬度几乎是最大极限的結構鋼上切制大螺距的螺紋。

在高硬度淬火鋼上切制12、8和6扣/吋螺紋时，应当采用硬质合金BK8和T15K6。硬质合金BK8可以推荐用于粗切行程，而硬质合金T15K6則用于精切行程。

### 38. 車刀切削要素的研磨对于車刀耐用度的影响

图201說明了螺紋車刀的研磨对其耐用度的影响。实验是用T21K8車刀进行的。按图199a的方式，在长度 $l = 40$ 毫米上，精切8扣/吋螺紋。用切削要素研磨过和未研磨过的相同車刀来进行試驗。根据实验数据应当得出結論，車刀的研磨可以提高其耐用



度。应当注意到这样一个情况，那就是，与车削淬火钢相比，在淬火钢上切制螺纹时研磨切削要素的效果是较小的。对此的解释可以是，在精切螺纹时，螺纹车刀的刀尖承受着较大的载荷，而螺纹车刀刀尖的研磨质量又是不高的，因为研磨是用手工进行的。可是外圆车刀的直线切削刃，由于是在研磨机床上使用对于前倾面和后隙面特殊预备好的卡具来进行研磨，所以结果是平整而光滑。

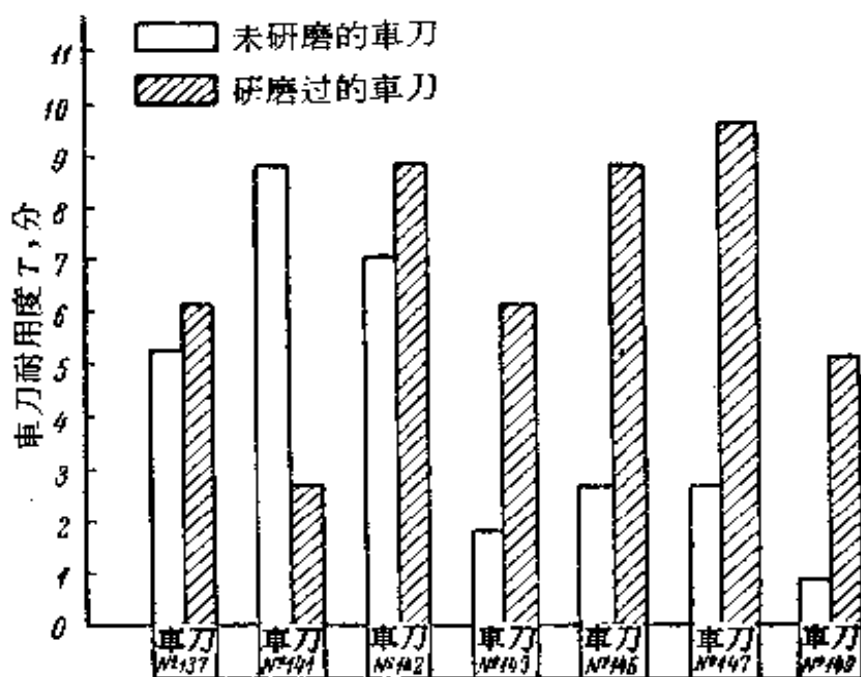


图 201 车刀的研磨对其耐用度的影响

在 $s_1=0.10$ 毫米、 $v=8.5$ 米/分下，加工硬度为 $H_{RC}=65$ 的钢C。切制长度 $l=40$ 毫米。T21K8车刀的几何参数： $\alpha=13^\circ$ ， $\alpha_1=6^\circ$ ， $\gamma=0^\circ$ ， $\lambda=0^\circ$ ， $r=0.4$ 毫米

对于用一个切削刃来工作的粗车刀来说，研磨的效果与车削时外圆车刀相似地提高。

### 39. 切削速度与车刀耐用度、螺距、 横向走刀量的关系

被研究过程的特点是低切削速度和车刀耐用度。这是由被加工材料的高硬度、较大的走刀量数值（螺距）以及较小的刀尖圆角半径值来决定的。在这项研究工作中所得到的车刀耐用度，是

大大地超过了在本章开始时所指出的实际生产的成績。然而，車刀耐用度的水平低，就决定了必需研究切削速度与車刀耐用度之間的关系，以便查明提高耐用度的条件。表86中包含了在不同横向走刀量 $s_1$ 值下为了确定 $T-v$ 关系所做实验的結果。

**表 86 切削速度与車刀耐用度、螺距、横向走刀量的关系**  
(硬度为  $H_{RC}=65$  的鋼 C, 切制长度  $l=40$  毫米, BK8 車刀)

圈 带 №	螺 紋	螺距 $s$ (毫米)	車刀的横向 走刀量 $s_1$ (毫米)	走刀次数 $i$	切削速度 $v$ (米/分)	車 刀 耐 用 度 $T$ ① (分)			
182	8扣/吋	3.17	0.05	18	8.5	16			
				16		15			
				19		17			
183			0.05	24	7.5	24			
				28		28			
				27		27			
184			0.05	44	53	45	6.5	52	
								62	
								53	
185			0.08	13	13	12	8.5	12	
								12	11
186	0.08	18	23	22	7.0	20			
						25			
						24			
187	0.08	29	32	35	6.5	34			
						38			
						41			
188	0.10	8	9	8	8.5	7			
						8	8		
							7		
189	0.10	15	14	16	7.0	16.5			
						15.5			
						17.5			
190	0.10	28	26	30	6.0	36			
						33			
						38			
191	6扣/吋	4.23	0.10	13	7.0	10			
				14		11			
				11.5		9			

續表

圖 帶 №	螺 紋	螺距 $s$ (毫米)	車刀的橫向 走刀量 $s_1$ (毫米)	走刀次數 $i$	切削速度 $v$ (米/分)	車 刀 耐 用 度 $T$ ① (分)
192	6扣/吋	4.23	0.10	20	6.0	16
				22		17
				18		14
193			0.10	38	5.0	30
				41		32
				35.5		28
194	8扣/吋	3.17	0.05	4	15	2
				2		1
				1		2
195			0.10	1	15	0.5
				2		1
				2		1
196			0.05	1	23	0.5
				0.5		0.2
				0.5		0.2
197	12扣/吋	2.12	0.05	—	50	0
				—		0
				—		0
198			0.05	—	80	0
				—		0
				—		0

① 在車刀剎那間就磨鈍和崩刃的場合里，用零來表示耐用度。

可以看出，降低前述試驗中所用切削速度，就可提高車刀耐用度。車刀耐用度隨着切削速度的增大而下降。在  $v=23$  米/分時，甚至對於12扣/吋螺紋 ( $s_1=0.05$ 毫米、 $r=0.6$ 毫米) 所得出的車刀耐用度數值也是沒有實際意義的。切削速度  $v>23$  米/分，就會招致車刀的剎那間磨鈍和崩刃。

圖202所示是在不同  $s_1$  值下的  $T-v$  關係。上面的三條圖綫屬於8扣/吋螺紋，而下面的一條圖綫則屬於6扣/吋螺紋。表87所示是在不同的  $s_1$  和  $s$  值下，30分鐘車刀耐用度時的切削速度值 ( $v_{30}$ ) 和相對耐用度指數  $m$  值。

切削速度與車刀耐用度的關係由下列方程式來表示：

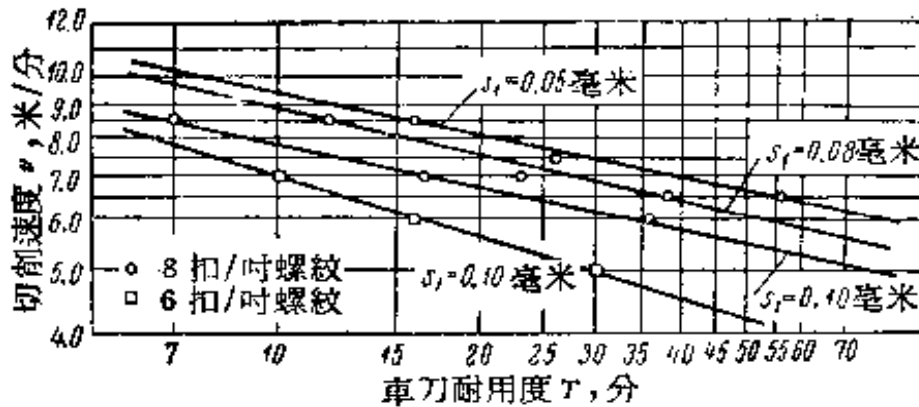


图 202 在不同的螺距  $s$  值和横向(車刀沿切削深度方向)走刀量  $s_1$  值下, 切削速度  $v$  与車刀耐用度  $T$  的关系。加工硬度为  $H_{RC} = 65$  的鋼 C。8 和 6 扣/吋螺紋。BK8 車刀的几何参数:  $\alpha = 13^\circ$ ,  $\alpha_1 = 6^\circ$ ,  $\gamma = 0^\circ$ ,  $\lambda = 0^\circ$ ,  $r = 0.6$  毫米

表 87 在不同  $s_1$  和  $s$  值下的  $v_{30}$  和  $m$  值

螺 紋	螺 距 $s$ (毫米)	$s_1$ (毫米)	$v_{30}$ (米/分)	$m$
8 扣/吋	3.17	0.05	7.4	0.19
		0.08	6.7	0.25
		0.10	6.2	0.21
6 扣/吋	4.23	0.10	5.0	0.32

$$v = \frac{C}{T^m} \circ$$

指数  $m$  值与螺距有关。对于 8 扣/吋螺紋来說, 指数  $m = 0.19 \sim 0.25$ ; 对于 6 扣/吋螺紋来說,  $m = 0.32$ 。

根据表 86 的数据, 繪制了切削速度  $v_{30}$  与車刀横向走刀量  $s_1$  的关系图解, 如图 203 所示。这个关系由下列方程式来表示:

$$v_{30} = \frac{C}{s_1^{0.25}} \circ$$

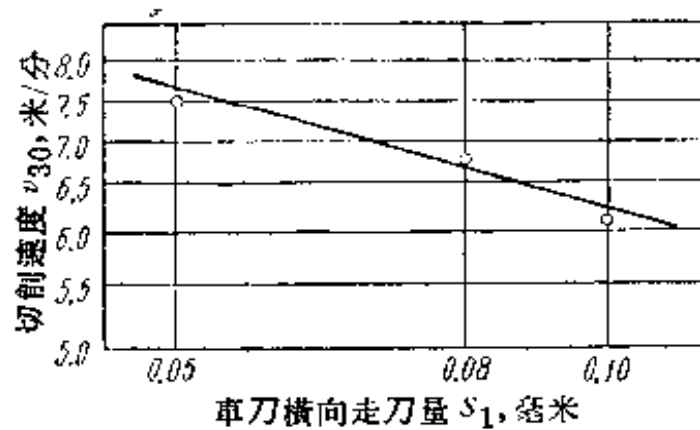


图 203 切削速度  $v_{30}$  与車刀橫向走刀量  $s_1$  的关系。8 扣/吋螺紋。加工硬度为  $H_{RC}=65$  的鋼 C。BK 8 車刀的几何参数:  $\alpha=13^\circ$ ,  $\alpha_1=6^\circ$ ,  $\gamma=0^\circ$ ,  $\lambda=0^\circ$ ,  $r=0.6$  毫米

图 204 所示是在  $s_1=0.10$  毫米下, 切削速度  $v_{30}$  与螺距  $s$  的关系。对于 8 和 6 扣/吋螺紋,  $v_{30}$  值是由表 87 取来的; 对于 12 扣/吋螺紋,  $v_{30}$  值則是由一車刀的实驗数据得来的, 該車刀在  $v=8.5$  米/分时的耐用度为  $T=18$  分钟。根据这个图解, 可以用下列方程式把  $v_{30}$  和  $s$  联系起来:

$$v_{30} = \frac{C'}{s^{0.6}}$$

联系  $v_{30}$ 、 $s$  和  $s_1$  的方程式具有如下的形式:

$$v_{30} = \frac{C_v}{s^{0.6} \cdot s_1^{0.25}} \text{ 米/分,} \quad (22)$$

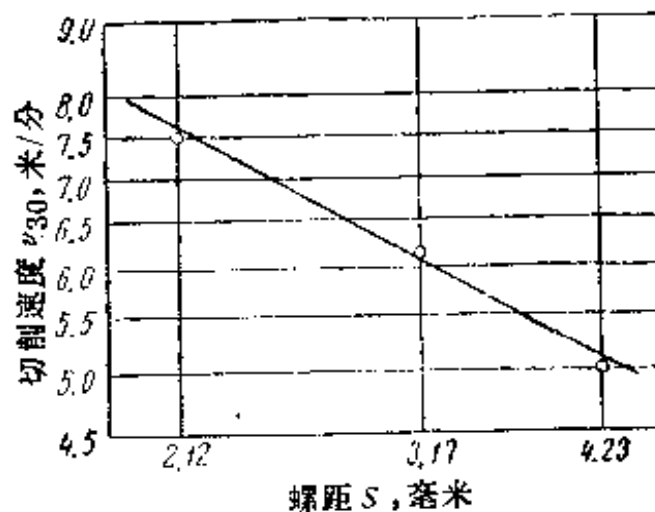


图 204 切削速度  $v_{30}$  与螺距  $s$  的关系。在  $s_1=0.10$  毫米下, 加工硬度为  $H_{RC}=65$  的鋼 C。BK 8 車刀的几何参数:  $\alpha=13^\circ$ ,  $\alpha_1=6^\circ$ ,  $\gamma=0^\circ$ ,  $\lambda=0^\circ$ ,  $r=0.6$  毫米

式中  $C_0$ ——常系数，等于7.0。

应当注意到，方程式(22)只是对于粗切行程、在車刀半徑  $r=0.6$ 毫米时，才是正确的。此外， $s_1$ 的幂指数(0.25)是对于8和/吋螺紋得出来的；对于别的螺紋和别的  $r$  米說， $s$  和  $s_1$ 的指数可以是另一值。

方程式(22)具有較大的理論意义和較小的实际意义，因为在研討过程中所采用的切削速度范围是非常狹窄的。这方程式可以确定淬火鋼螺紋切制的某些特点。

現在列举出 НИБТН 推荐的、在未淬火結構鋼上粗切螺紋时适用的、切削速度与各个影响因素的关系方程式<sup>[10]</sup>：

$$v = \frac{158470 \cdot T^{0.23}}{T^{0.3} \cdot s^{0.3} \cdot \sigma^{1.50}}$$

将这个方程式与方程式(22)比較，就証明，在淬火鋼上切制螺紋时螺距对于切削速度的影响比在未淬火鋼上切制螺紋时大得多。这是应当得出的結論，因为未淬火鋼的  $s$  的幂指数值比淬火鋼0的这个值小得多。

所得出的結果符合于本书作者对于車削所作出的結論：在加工淬火鋼时走刀量对于切削速度的影响比在加工未淬火鋼时剧烈些。

## 結 論

1. 在淬火鋼上切制螺紋时，切削速度与車刀耐用度的关系服从切削原理中关于刀具耐用度随着切削速度的提高而下降的基本規律。

2. 在硬度为  $H_{RC} = 65$  的淬火鋼上切制  $s = 2.0 \sim 4.0$  毫米的螺紋，要在較低的切削速度  $v < 10$  米/分的条件下实现。采用較高的切削速度，就会使車刀迅速磨鈍和崩刃。

3. 对于上述螺紋來說，在橫向走刀量  $s_1 \leq 0.10$  毫米、 $v = 7.0 \sim 8.5$  米/分下，車刀耐用度  $T \approx 10$  分钟。

降低切削速度到  $v = 5 \sim 6$  分钟，可以达到提高車刀耐用度至

$T=30\sim 60$ 分钟的指标。这样看来,只要降低切削速度  $20\sim 25\%$ 、也就是增加机动时间  $20\sim 25\%$ ,就可以提高車刀耐用度成  $3\sim 6$  倍。

4.在淬火鋼上切制螺紋时,随着螺距  $s$  和車刀横向走刀量  $s_1$  的增大,切削速度就要降低。

与未淬火鋼不同,在淬火鋼上切制螺紋时,螺距比車刀横向走刀量对于切削速度的影响較大。

#### 40. 总 結

1.本章中叙述的资料扩大了关于硬质合金的切削性能的概念。苏联硬质合金拥有这样高的切削性能,以致可以在硬度为几乎是最大的( $H_{R_{0.05}}=65$ )淬过火的結構鋼上切制螺距超过 4 毫米的螺紋。

本书作者所得結果的意义,并不会由于所研討过程的生产率很低而受到貶抑。应当考虑到,在硬度較低的淬火鋼上切制螺紋时,这过程的生产率就可提高。

2.硬质合金的脆性限制着充分利用其高切削性能的可能性,这个脆性同时也是限制着淬火鋼螺紋切制过程的应用范围的因素。螺距  $s\approx 2$  毫米的螺紋是下限。这项研究工作实际上証明了在硬度为  $H_{R_{0.05}}=65$  的鋼上切制螺距  $s\approx 4$  毫米的螺紋的可能性。为了确定这过程的应用范围的上限,必需进行螺距  $s> 4$  毫米的螺紋的研究。显然,切制这样的螺紋就需要采用切削速度  $v< 5$  米/分。

3.本书作者拟定出了在硬度为  $H_{R_{0.05}}=35\sim 65$  的淬火鋼上切制 12、8 和 6 扣/吋螺紋的切削用量,列举在附录 VI 中。

4.将本书作者所得結果与第 294~295 頁所列工厂数据对比,表明后者是过低的。应当指出,工厂数据还是属于硬度較低的( $H_{R_{0.05}}=60$ )淬火鋼的。

实际情况是,在工厂条件下,采用切削速度  $v=8$  米/分,在长度  $l=20$  毫米上完整地切制出 8 扣/吋螺紋,平均需要花費  $30\sim$

35次走刀和7~8把車刀。本书作者根据实验数据所推荐的切削用量，规定在这情况下只需24次走刀和两把車刀而已。

工厂車刀耐用度这样低，这主要是由于車刀刃磨质量低并且切削要素未經研磨。車刀的优良刃磨和强制研磨，乃是正确进行淬火鋼螺紋切制过程的最重要的条件。



## 第九章 关于淬火鋼机械加工时的 物理現象的某些見解

本章叙述有关金属高速切削的物理实质問題上的某些总结和見解，这是根据对于淬火鋼加工过程的分析而得出来的。

### 41. 淬火鋼的高速切削

現在，用高速鋼車刀車削鋼料时的切削速度一般不超过80米/分，用硬质合金車刀时則允許切削速度达到300~400米/分。先进的高速切削革新者还采用了更高的切削速度。

用装备硬质合金的刀具在这样高的切削速度下加工金属，叫做“金属的高速切削”。

在本书作者和其他研究人員的实验中，車削淬火鋼的切削速度本身的绝对值是低于高速切削普通（未淬火）鋼时所采用的切削速度。然而，若考虑到淬火鋼的硬度比普通鋼的高而且鋼的硬度对于所容許的切削速度发生剧烈的影响，显然就可以了解到，在淬火鋼的实验中所以进行的是高速切削。

我們来提出上述情况的根据。由本书作者所拟定的切削用量（附录 I）可以看出，对于用T15K6車刀在切削深度 $t=1.0$ 毫米和走刀量 $s=0.2$ 毫米/轉的条件下車削硬度为 $H_{RC}=41$ 的淬火鋼 A 來說，切削速度为 $v_{s_0}=82$ 米/分。

經受普通热处理——調质（在 $840\sim 860^\circ$ 时淬火于油中，随后在 $580\sim 600^\circ$ 回火）的鋼 A（OXH3M号鋼）的硬度为 $H_{RC}\approx 28$ （ $H_B\approx 277$ ）。这样看来，淬火状态的鋼 A 的硬度比普通状态的这种鋼的硬度高13个单位（洛氏 C 制）。由图77可以看出，当淬火鋼的硬度在 $H_{RC}=41\sim 54$ 范围内提高13个单位时，常数 $C_{v_{s_0}}$ 就从50下降到22，即下降成 $1/2.27$ 。

对于我們感兴趣的硬度范围采取同样的相互关系，可以得

出，在同样的  $t$  和  $s$  下加工未淬火状态的鋼 A (硬度为  $H_{Rc} = 28$ ) 时，切削速度就可增大成 2.27 倍而达到  $v_{s_0} = 82 \times 2.27 = 186$  米/分的水平，即符合高速切削的水平。实际情况是，根据黑色金属的高速切削用量<sup>[47]</sup>，对于  $\sigma_{sp} = 85$  公斤/毫米<sup>2</sup> 的合金鋼來說，在切削深度  $t = 1.0$  毫米和走刀量  $s = 0.2$  毫米/轉下，切削速度  $v_{s_0} = 197$  米/分。引用較小耐用度 ( $T = 60$  分钟) 的修正系数  $K_T = 1.08$  和較大硬度 ( $H_{Rc} = 28$ ;  $\sigma_{sp} = 100$  公斤/毫米<sup>2</sup>) 的修正系数  $K_H = 0.87$ 。于是求得切削速度  $v_{s_0} = 197 \times 1.08 \times 0.87 = 185$  米/分。

根据上述見解可以肯定，在偉大卫国战争以前很久，在苏联利用負前角硬质合金車刀所做淬火鋼方面的工作中，已經采用了符合于金属高速切削的速度。

## 42. 淬火鋼机械加工的表面质量

我們首先叙述表面质量对于机器零件使用性能的影响概念的科学研究的綜合数据<sup>[47]</sup>。机器零件的使用性能是取决于其耐磨性和疲劳强度。

«表面质量»的概念，包括已加工表面的几何特征和表面金属层的物理-机械性能。在切削过程中，表面层受到非常显著的塑性变形。因此，表面层金属的性能与待加工材料的原始性能有重大的差别。表面层金属受到了强化(冷作硬化)，其硬度提高了并在其中引起了内应力。

### 表面质量对于机器零件耐磨性的影响

**表面微观几何形状的影响** 研究工作証明，表面微观几何形状对于机器零件耐磨性发生显著的影响。为了使得摩擦偶件能够成功地和持續地工作，偶合表面应当具有一定的最佳微观不平度高度。如果微观不平度高度比其最佳值大或小，就会导致摩擦零件的耐磨性降低和磨損加快。在第一种情况下，发生磨損增大的原因是由于过大的微观不平度的迅速磨損、压潰和切断；在第二

种情况下，则是由于滑油被挤出和分子联结作用，以及过分光洁的摩擦表面的咬紧作用所致。

**金属强化的影响** 表面层的强化(冷作硬化)可以显著地减小摩擦零件的磨损。存在着各种不同的关于强化对于磨损过程的影响的假说。但是在评价咬紧磨损作为最剧烈和最危险的磨损方式这一点上，所有研究人员们的意见都是一致的，都认为在正常工作的机器中是完全不允许发生的。可以设想，摩擦零件表面层金属的预先强化(这会降低表面层本身的塑性)能够显著地减小摩擦表面金属的共同塑性变形量并且防止或减小金属的咬紧现象。

钢样品对淬火 Y8 号钢圆盘的干摩擦实验证明，所有在机械加工过程中预先受到了冷作硬化的样品，在其磨损场合里，磨损量都比微观不平度相同但在磨损前预先在真空中退火以消除了冷作硬化的样品的磨损量小。

与摩擦表面的最佳微观几何形状并列，存在着摩擦零件表面层的最佳显微硬度。如果在零件表面层中造成对于给定摩擦条件来说的最佳显微硬度，那末磨损就能达到最小并且摩擦零件表面层的显微硬度在磨损过程中就能保持不变。

如果在零件制成后，其表面层的显微硬度小于最佳显微硬度，那末在零件的磨合时期内就会发生剧烈的磨损，一直持续到表面层的塑性变形提高其显微硬度至最佳值为止。

如果在零件制成后，其表面层的显微硬度大于最佳显微硬度，那末表面层的正常磨损就能逐步地去除显微硬度过高的金属层，此后便在摩擦活性层内形成最佳显微硬度。

实验<sup>[70]</sup>证明，零件的耐磨性与金属表面层内的残余应力无关。

### 表面质量对于机器零件疲劳强度的影响

机器零件由于金属疲劳而发生破坏时是发生在其表面的。因此，机器零件的疲劳强度在很大程度上取决于其表面微观几何形状和表面层的物理状态。

**表面微观几何形状的影响** 在循环载荷和变向载荷条件下工作的零件表面上，由于存在着个别缺陷和微观不平度，这就会促进应力集中现象，使得应力数值超过金属的疲劳限度。在这情况下，表面缺陷和加工划痕就成为引起表面层金属连续性遭到次微观破坏的发源地，也是作为形成疲劳裂纹起因的表面层破裂的发源地。

对于承受循环载荷的零件来说，随着表面微观不平度高度的增大，零件的疲劳强度就明显地下降。反之，微观不平度高度的减小则会导致疲劳限度的提高。

由表88可以看出，从抛光过渡到粗车，就会使零件的疲劳强度下降10~20%，而对于高强度钢来说则是下降30%。

**表 88 鋼样品表面光洁度对其抗弯持久强度极限的影响**

表面加工特征	鋼的强度极限 $\sigma_{sp}$ (公斤/毫米 <sup>2</sup> )		
	47	95	142
	持久强度极限 (%)		
細抛光	100	100	100
粗抛光	95	93	90
精抛光和精车	93	90	88
粗磨或粗车	90	80	70

随着鋼的强度的提高，微观不平度高度对于鋼的疲劳强度的影响就急剧地加强。这种影响往往可以是超过那种由于增大鋼的强度而来的、对于疲劳强度的积极影响。

在冲击载荷条件下工作的零件的使用期限和承受变向载荷的零件的使用期限，是同样剧烈地与零件表面微观不平度数值有关。例如，承受冲击载荷作用的鋼零件的微观不平度高度从8减小到5.7微米，就使得零件使用期限提高了60%。

在接触施加载荷时，淬火机器零件的疲劳强度与表面光洁度的相互关系的程度，就象在冲击载荷时的一样。在这些情况下，

工作表面的微觀不平度造成了显著的接触应力，使零件的使用期限下降。

**表面层强化的影响** 金属的强化，能够提高机器零件的疲劳强度。此外，在零件表面层中造成强化(冷作硬化)外皮，就能够阻止已有疲劳裂紋的长大和新疲劳裂紋的产生。实验証明，具有强化外皮的零件，在承受应力超过疲劳限度的循环载荷下，不是在零件表面上，而是在强化外皮以下的表面层的深处产生疲劳裂紋。与沒有冷作硬化时相比，在强化层下面疲劳裂紋的发生和发展要在較高的应力和較多的载荷循环次数下才会出現。

**残余应力的影响** 根据 И.В. 庫德利雅沃采夫的研究，可以作出下列結論：

1. 只有当用来制造机器零件的金属具有不同的抗拉强度和抗压强度时，在零件中所引起的残余应力才会影响到零件的疲劳强度。

2. 残余拉伸应力使疲劳强度降低的程度比同样数值的残余压缩应力使疲劳强度提高的程度来得低些。

根据 С.В. 謝联先的数据，对于高硬度鋼來說，由于压缩应力而使疲劳限度得到的提高达到50%，由于拉伸应力而使疲劳限度受到的降低則为30%。

3. 残余应力对于抗弯、抗拉和抗压持久强度极限变化的影响較大，而对于抗扭持久强度极限的影响則較小。

4. 残余应力对于持久强度极限的影响程度不仅与残余应力的数值和符号有关，而且也与残余应力的特性有关。体积残余应力对于持久强度极限的影响最大，而綫性残余应力对于持久强度极限的影响最小。

实验証明，当零件表面上有缺口、粗加工划伤和其他应力集中点时，表面残余压缩应力的积极影响就显示得特別有力。随着表面层中残余拉伸应力的产生，零件的疲劳强度就明显地下降。

对于重要机器零件的表面质量的較高要求，引起了一些特殊强化工艺方法的問世：用滚輪和滚珠来滚輾，噴珠硬化，各种鍍

复等。

但是，要达到这些强化工艺的目的，可以通过利用淬火鋼机械加工(使用硬质合金刀具或陶瓷刀具)过程所具有的可能性来达到。

第三章第17节中所列举的实驗数据可以証实，在淬火合金結構鋼机械加工时所得已加工表面微觀几何形状和表面层物理-机械性能，保証使机器零件在其耐磨性和疲劳强度方面能够达到較高的使用性能。

鋼在淬火时获得高硬度，由于在鋼的机械加工过程中所产生的冷作硬化，使零件表面层的硬度受到进一步的提高。E.A. 別洛烏索娃(第166~167頁)的实驗証明，硬度为 $H_{R0} = 50 \sim 65$ 的淬火合金鋼在車削时得到了显著的强化，表面层金属冷作硬化程度为1.4~1.1。

显然，在接触加载荷的条件下，这样的零件(其金属具有这样高的耐磨性)的使用期限必将是足够地长。看来，在这里不需要采用特殊的强化工序了。

用硬质合金刀具，在較小的走刀量下实现淬火鋼的加工所得已加工表面的光洁度，保証不逊于已磨削表面的光洁度。随着淬火鋼硬度的提高，获得高表面光洁度的条件就愈宽松。淬火鋼表面层在机械加工过程中受到了提高的高硬度，再加上在这表面层中所形成的残余压縮应力，綜合起来，就决定了淬火鋼制零件的疲劳强度指标是很高的。对待在接触加载荷时工作的机器零件，也是这样。

讓我們把用硬质合金刀具加工淬火鋼与磨削淬火鋼，在金属表面层质量方面，进行一下对比。研究工作<sup>[30, 47, 71]</sup>証明，在用硬质合金刀具加工时得到了显著較好的結果。

在淬火鋼車削后所形成的强化层中，沒有发生組織轉变<sup>[30]</sup>。这强化层的硬度，从已加工表面上的最大值均匀地减小到金属在淬火时所获得的原始值。强化层均匀地沿整个已加工表面分布，并且重复这表面的輪廓。

在磨削淬火鋼时<sup>[47, 71]</sup>，由于产生瞬时的高温，所以在金属表面层中发生組織变化。結果，在磨削后往往发现被加工零件截面的硬度不均匀：在表面淬火层上面有一强烈回火金属层，随着深度的增加，这回火金属层就通过所有回火阶段而逐渐过渡到原始的淬火組織。

磨削后表面层中由于金属組織轉变所引起的应力状态，在个别情况下会导致磨削裂紋的出現。

在下述情况下也常常会出现磨削裂紋，即采用了很高的磨削用量，以致显著地发热了。这时，由于发热还会使金属发生局部微觀組織变化，大家知道这叫做磨削燒伤。燒伤部位的組織与基底金属的組織不同而具有較低的硬度( $H_{RC} = 45 \sim 55$  代替正常的  $H_{RC} = 61 \sim 64$ )；燒伤深度可达几毫米。

近来的研究工作<sup>[47]</sup>証明，在被加工零件的回轉速度較高和纵向走刀量較大的情况下，进行淬火鋼的高速磨削时（砂輪回轉速度  $v_{sp} = 50$  米/秒，代替普通磨削时所采用的  $v_{sp} \approx 25$  米/秒），所得金属表面层质量比之普通磨削时有所提高：表面层組織变化区域的尺寸减小。但是，在这情况下，用硬质合金刀具来加工也有重大的优越性。

在淬火鋼机械加工表面质量方面迄今所做的研究工作，还不能认为足以用来編纂出实践的推荐意見。然而根据这些工作可以作出一个結論，这就是，用硬质合金刀具（和陶瓷刀具）加工淬火鋼在表面质量方面与磨削淬火鋼有竞争能力。

### 43. 車削淬火鋼时的切屑特征和刀瘤

**切屑特征** 本书作者在变化范围寬闊的所有切削用量下 ( $t = 0.1 \sim 2.4$  毫米、 $s = 0.5 \sim 0.61$  毫米/轉、 $v = 6 \sim 81.5$  米/分)，进行硬度变化范围为  $H_{RC} = 41 \sim 65$  的淬火鋼的車削研究工作中，一律是得到了带状切屑。在高切削速度 ( $v = 81.5$  米/分) 和低切削速度 ( $v = 6$  米/分) 下，都得到这种带状切屑。H.C. 洛鳴克研究了硬度为  $H_{RC} = 50 \sim 69$  的合金淬火鋼的精車，他也是得到了带状切

屑。K.Φ. 罗曼諾夫在鉋削淬火鋼的實驗中，也是得到了這種切屑。

由普通(未淬火)鋼的切屑形成理論得知，在加工塑性金屬時，較高的切削速度、刀具上較大的正前角和較小的切削厚度會促進帶狀切屑的形成。

有相當一部分關於高硬度淬火鋼的實驗，是用負前角刀具和低切削速度來進行的。從上述理論的觀點出發來說，這些實驗的條件是不利於得到帶狀切屑的。

這些被研究鋼料的特征是抗拉強度極限較高而相對延伸率較低。如果把金屬和合金劃分為脆性的(沒有明顯的塑性變形就遭到破壞)和塑性的(可以經受相當的塑性變形而不破壞的金屬和合金)，那末就應當把未淬火狀態的被研究鋼歸屬於塑性金屬。淬火狀態的被研究鋼正好占有脆性和塑性金屬的中間位置，而高硬度淬火鋼(例如鋼C)則是典型的脆性材料了。

這樣看來，進行淬火鋼研究的條件，在理論上決定了所要得到的與其說是帶狀切屑，還不如說是擠裂切屑。實際上呢，在絕大多數的實驗中都是形成了帶狀切屑。

在加工高硬度淬火鋼時得到帶狀切屑，這就証實了Я.В. 佛利德曼和B.Я. 格羅靜(第一章)關於脆性材料在一定應力狀態下會顯示出塑性的見解。

在切削過程中，被切下金屬層是處在這樣一種應力狀態下，其特征使象高硬度淬火鋼之類的脆性材料顯示出塑性性能。

**刀瘤** 在加工塑性金屬時，在切削過程中車刀上會形成刀瘤。研究人員Я.Г. 烏薩切夫對這現象首先作出了解釋，他還提出了一項揣測：刀瘤能夠在車刀上造成最有利於加工給定材料的前角 $\gamma$ ，因而促使切削過程變得輕快些。同時也存在着另外的觀點：刀瘤使得切屑形成比較困難，在已加工表面上生成不光滑部位和裂縫。

在本書作者的實驗中，在所有被研究的切削用量下和被加工材料的硬度範圍內，都沒有產生刀瘤，並且這時所得表面質量是



特別高的。

加工淬火鋼時沒有刀瘤，這是與淬火鋼占有塑性和脆性金屬的中間位置有關的。大家知道，在切削脆性金屬時，是不產生刀瘤的。

在加工淬火鋼時得到較高的表面光潔度，是由于形成帶狀切屑和切削過程進行中不產生刀瘤。

#### 44. 關於車削淬火鋼時車刀前角和後角的討論

大約在25年以前，硬質合金作為刀具材料開始得到應用。在硬度、耐磨性、而尤其是耐熱性方面，硬質合金比高速鋼優越得多，這就給硬質合金在機械製造生產中廣泛應用創造了有利的基礎。然而，多年來，硬質合金只得到了十分有限的應用——用在加工鑄鐵的時候較多，而用在加工鋼料的時候很少。這是由于硬質合金的脆性較高，在切削過程中容易發生刀具切削刃的崩刃。這在較大的程度上是歸屬於加工鋼料時所用的鈦鎢類硬質合金的。

過去，在金屬切削加工的理论和实践，有一些被认为是不可动摇的原则，那就是，车刀应当具有正前角，而后角则应当是不大的，并且后角应当随着被加工材料硬度的提高而减小。对于硬钢的加工来说，曾经推荐赋予车刀以不大于 $6^\circ$ 的后角。

这些对于高速钢刀具来说一般是正确的原则，已被机械地推广到硬质合金刀具上面来了。结果，如上所述，钛钨类硬质合金车刀切削刃的崩刃就成为加工钢料时的普遍现象。这就在相当程度上动摇了生产人员对于硬质合金的信任，阻碍了硬质合金在生产中的广泛推广。

从30年代的中期起，苏联机械制造业以不断增长的速度发展着，这就提出了新的技术任务。为了解决这些新的技术任务中的许多问题，对于切削刀具的迫切要求提高了。其中，高硬度特殊淬火钢切削加工的问题就是有现实意义的。那时认为，淬火钢只能采用磨削加工法才行。借高速钢刀具来实现淬火钢加工过程的

可能性，当然不用說，更加是不存在的了。問題是在許多場合里，被加工材料(淬火鋼)的硬度比刀具的还要高。这里可以說的只有硬质合金了。

加工淬火鋼的最初的實驗，是用具有正前角的硬质合金車刀来进行的。實驗的結局是不得手的，車刀的切削刃几乎在剛开始切削时就发生崩刃。这种情况提醒研究人員，使他們想到，將車刀前傾面刃磨成与通用角度相反的角度，借以强化車刀的切削刃。根据后来所規定的術語，这样的車刀就叫做負前角車刀。具有这样的几何形状的車刀表現出了良好的結果。實踐証明了任何硬度的淬火鋼的切削加工的可能性。

實驗中所用切削速度显著地高于那时用硬质合金車刀加工低硬度普通鋼所用切削速度，这是很有意义和很重要的。这可以作为証据来认为，在用負前角硬质合金車刀加工未淬火鋼时，切削速度可以比通用的数值提高很多。

这样，就在金属高速切削方面初步迈进了，而金属高速切削乃是現代机械制造技术的重大成就之一。

硬质合金車刀采用負前角的概念，是在研究淬火鋼的加工时产生的，这不是偶然的事。与切削具有普通机械性能的鋼(未淬火鋼)时相比，在加工淬火鋼时一些物理現象进行得更为突出而切削过程的一些規律也表現得更为清晰。

上述有关淬火鋼的實驗結果，早在1938~1940年的苏联文献中就已經发表了<sup>[28, 72, 73]</sup>。在战后时期內，出現了П.П.格魯陀夫<sup>[29]</sup>、B.A.克利沃烏霍夫<sup>[30]</sup>、A.Я.馬耳金<sup>[31]</sup>、H.C.洛噶克<sup>[32]</sup>、H.H.卓列夫<sup>[33, 74]</sup>等人在淬火鋼加工方面的非常有价值的著作。

必須指出，在上述研究人員的著作发表以后的許多年內，关于硬质合金刀具采用負前角的問題並沒有引起科学工作者的注意。与此同时，在工业上用負前角加工淬火鋼則得到了实际应用。

由于广泛发展高速加工法的关系，才对这个問題产生了加倍

的兴趣。出现了大量的有关负前角对于切削过程的影响的科学研究著作。在某些著作中，负前角被认为是成功地进行切削过程的必要前提，而与现代硬质合金的脆性无关。

必须指出这个观点的错误程度。负前角车刀有一些重大的缺点。使用负前角车刀就会使机床的载荷提高。所有切削分力都增大，径向力  $P_y$  增大得特别剧烈，这直接影响到加工精度。在第三章中曾经指出，在所允许的切削速度方面，负前角一般只比正前角拥有不大的优越性，然而负前角能保证切削刃有必要的强度。没有这一点的话，在加工淬火钢时利用钛钨类硬质合金车刀实际上是不可能的，因为硬质合金刀片会崩刃。

车刀的负前角应当看做是现代硬质合金质量还不够高的补偿物。随着硬质合金脆性的逐步消除，赋予车刀以负前角的必要性就会下降，不仅在加工未淬火钢而且在加工淬火钢时都是这样。在第二章中曾经指出，关于创造抗弯强度占据现有牌号硬质合金和高速钢的中间位置的新硬质合金的实验工作，已在进行中。

我们转到关于后角的问题上来。就象已经指出的那样，不久以前还认为，加工硬钢用车刀的后角应当不大于  $6^\circ$ 。本书作者在车削淬火钢时所做的试验，导致了相反的结论。事实证明，随着后角的增大，车刀耐用度显著地提高。硬度为  $H_{RC} = 65$  的淬火钢的加工，已经成功地采用后角  $\alpha = 25^\circ$  的车刀来实现。大家知道，在精加工淬火钢和未淬火钢时，现在已经广泛地应用着加大的后角。

#### 45. 车削淬火钢时切削力的理论研究

实验研究证明，与加工未淬火钢相比，淬火钢车削过程的特征是切削力  $P_x$ 、 $P_y$  和  $P_z$  拥有另一样的相互关系。加工淬火钢的这个特点，在 H. H. 卓列夫的著作中<sup>[74]</sup>得到了理论解释。H. H. 卓列夫关于加工淬火钢时切削力的见解，阐述于后。

图205所示是在直角自由切削 ( $\gamma = 0^\circ$ ) 条件下，作用在切削要素工作刃面上的力的简图。在前倾面 OB 上，作用着法向力  $N$  和切

向力  $F$ ，它們的合力是  $R$ 。在后隙面  $OA$  上，作用着法向力  $N'$  和切向力  $F'$ ，它們的合力是  $R'$ 。力  $R$  和  $R'$  合在一起，成为切削力  $P$ 。在自由切削时，这切削力  $P$  照例是借其在軸綫  $z$  和  $y$  上的投影  $P_z$  和  $P_y$  表达出来。因为力  $P$  在軸綫  $z$  和  $y$  上的投影等于力  $R$  和  $R'$  在相同軸綫上的投影的和，所以

$$P_z = P_z'' + P_z';$$

$$P_y = P_y'' + P_y';$$

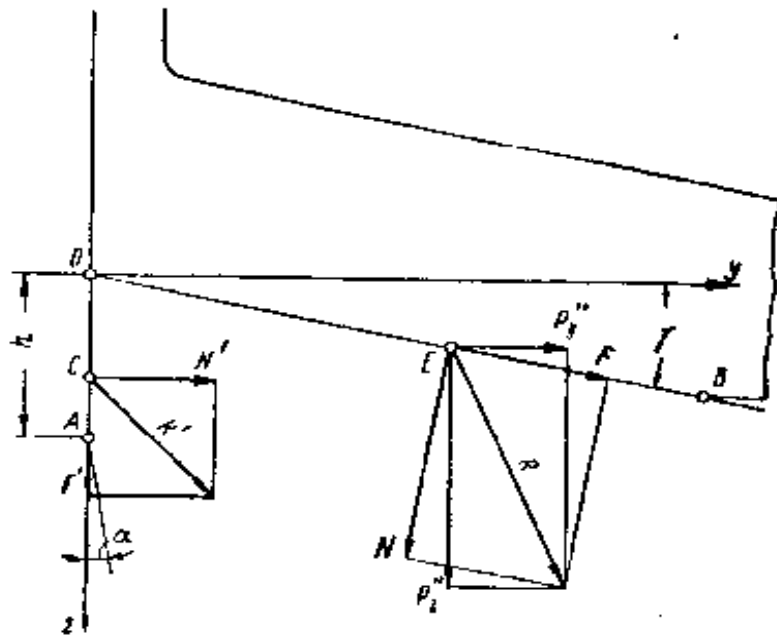


图 205 作用在車刀前傾面和后隙面上的力的簡图

式中  $P_z''$  和  $P_y''$  —— 力  $R$  在軸綫  $z$  和  $y$  上的投影或作用在前傾面上的力的垂直投影和水平投影；

$P_z'$  和  $P_y'$  —— 力  $R'$  在軸綫  $z$  和  $y$  上的投影或作用在后隙面上的力的垂直投影和水平投影，并且  $P_z' = F'$  以及  $P_y' = N'$ 。

作用在后隙面上的諸力之間存在着下列关系：

$$F' = \mu' \cdot N',$$

式中  $F'$  —— 切向力；

$N'$  —— 法向力；

$\mu'$  —— 摩擦系数。

在切削过程中，切削要素的后隙面与被加工材料接触，如果

刃瘤或停滞区域不阻碍这种接触的话。这时，后隙面上承受着法向和切向的单位接触载荷  $q'_N$  和  $q'_T$ ，它们是由法向力  $N'$  和切向力  $F'$  对于磨损倒稜面积  $f$  的比值来决定的。法向单位载荷，是由于在切削表面下方的被加工材料层的弹性反应的结果而引起的。切向单位载荷，是被加工材料与切削要素后隙面之间的摩擦的后果。法向和切向单位载荷的总和，分别地成为后隙面上的法向力和切向力。

如果在前倾面上没有停滞区域或者停滞区域的发展很微弱，那末后隙面上的力主要地就是与被加工材料表面层的屈服点、后隙面的接触长度和宽度、后隙面上的摩擦系数有关。后隙面上的力随着屈服点和后隙面接触尺寸的增大而增大，并且随着摩擦系数的增大而减小。

如果在切削要素的前倾面上剧烈地发展了停滞区域而尤其是刃瘤的话，那末后隙面与被加工材料的接触条件就会发生重大的变化。这时，后隙面上的力就变得与一些能够决定前倾面上停滞现象的发展的因素(切削速度、切削厚度等)的作用有关了。

刃瘤对于后隙面接触条件的作用与停滞区域的作用相似，但是显示得更为剧烈。刃瘤可以从切削刃凸出到如此的地步，以致使得所形成的切削表面不再接触到后隙面了，并且后隙面将完全摆脱接触载荷。

与前倾面上的力相反，后隙面上的力是不参加切屑形成过程的。作用在前倾面和后隙面上的力的性质是不同的，因此，许多因素对于这些力的数值的影响是不同的。例如，前角和切削厚度就是强烈地影响到作用在前倾面上的力，但是却微弱地影响到作用在后隙面上的力。后隙面接触宽度则是微弱地影响到作用在前倾面上的力，但是却强烈地影响到作用在后隙面上的力。

既然作用在切削要素后隙面和前倾面上的力是在不同程度上与各种不同因素或同样一些因素有关，那末这些力的相互关系就可能在非常广阔的范围内变化。在较大的切削厚度下用后隙面磨损很小的刀具来加工软材料时，后隙面上的力与前倾面上的力相

比乃是微不足道的。反之，在較小的切削厚度下用后隙面磨損較大的刀具來加工硬度較高的材料時，后隙面上的力就可能超過前傾面上的力。

切削力乃是作用在前傾面和后隙面上的力的總和。切削力的變化規律可能是各式各樣的，依據作用在刀具工作刃面上的力的相互關係而定。在大多數情況下，前傾面上的力比后隙面上的力大得多，並且切削力的變化是取決於前傾面上的力的變化，因而也就是取決於切削收縮的變化。在某些情況下呢，当后隙面上的力超過前傾面上的力時，切削力的變化可能與前傾面上的力的變化不一致，因而也就與切屑收縮的變化不一致。

在用后隙面磨損很大的刀具加工淬火鋼時，后隙面上的力就是切削過程的重要因素。與加工未淬火鋼時相反，在這裡，在刀具后隙面上的力的作用決定着切削力變化規律的一般特征，而切屑形成過程和刀具前傾面上的力則起着次要的作用。

比較在不同刀具磨損程度下的切削力，乃是實驗地確定作用在后隙面上的力的方法之一。后隙面上的力與借測力儀測得的切削力之間，存在着下列關係：

$$P'_x = \Delta P_x \frac{h}{\Delta h};$$

$$P'_y = \Delta P_y \frac{h}{\Delta h};$$

$$P'_z = \Delta P_z \frac{h}{\Delta h},$$

式中  $P'_x$ 、 $P'_y$ 、 $P'_z$ ——后隙面上的力；

$\Delta P_x$ 、 $\Delta P_y$ 、 $\Delta P_z$ ——在不同后隙面磨損倒稜寬度下的切削力的增量；

$h$ 和 $\Delta h$ ——磨損倒稜寬度及其增量。

因為在恆定的切削深度下，車刀后隙面磨損倒稜的面積是與它的寬度成比例的，所以上述方程式可以表達成如下形式：

$$P'_x = \Delta P_x \frac{f}{\Delta f}; \quad (23)$$

$$P'_y = \Delta P_y \frac{f}{\Delta f}; \quad (24)$$

$$P'_z = \Delta P_z \frac{f}{\Delta f}; \quad (25)$$

式中  $f$  和  $\Delta f$  —— 磨損倒稜面积及其增量。

H. H. 卓列夫所做的实验証明，在加工淬火鋼时，在車刀后隙面上产生很大的力。对于高硬度的鋼来說，作用在后隙面上的力大大超过作用在前傾面上的力。

图206、207和208所表达的是，在加工硬度分别为  $H_{RC} = 35$ 、46和65的淬火 40XHM2 号、40XHM3 号和 9XC3 号鋼时，磨損倒稜面积对于切削力的影响。表89所示是在磨損倒稜面积  $f = 1.8$  毫米<sup>2</sup> 时，表达作用在后隙面和前傾面上的力的相互关系 (比值) 的数据。

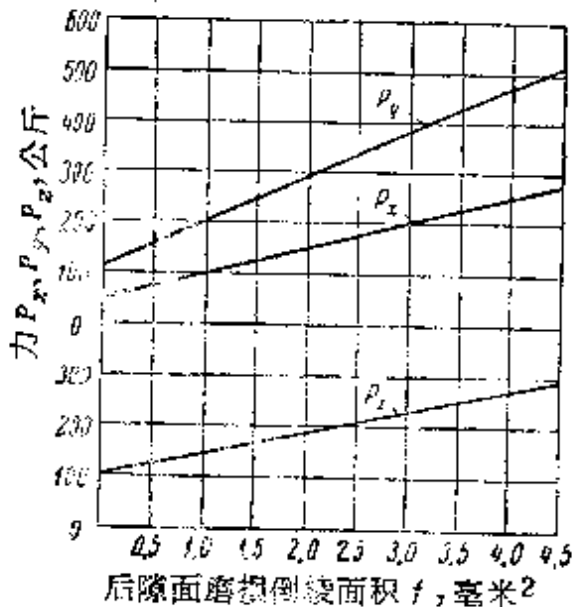


图 206 在車削硬度为  $H_{RC} = 35$  的淬火 40XHM2 号鋼时，后隙面磨損倒稜面积对于切削力的影响。切削用量： $l = 2$  毫米， $s = 0.156$  毫米/轉， $v = 75$  米/分。BK6 車刀的几何参数： $\alpha = 12^\circ$ ， $\gamma = -10^\circ$ ， $\lambda = 0^\circ$ ， $\varphi = 30^\circ$ ， $\varphi_1 = -10^\circ$ ， $r = 0.5$  毫米

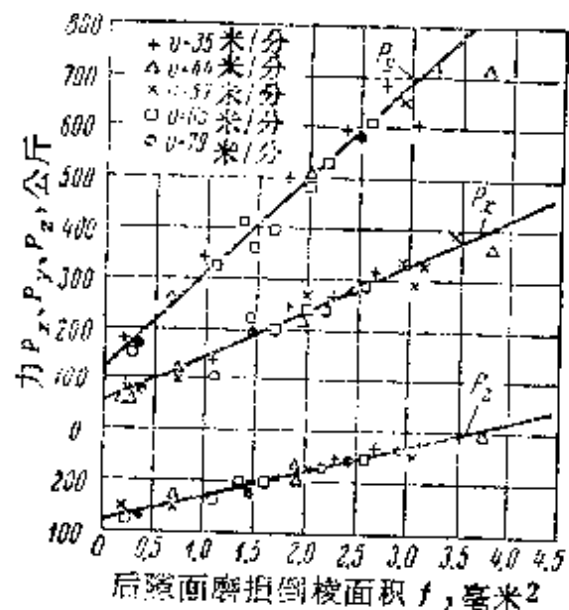


图 207 在  $l = 2$  毫米、 $s = 0.156$  毫米/轉和不同的切削速度下車削硬度为  $H_{RC} = 46$  的淬火 40XHM3 号鋼时，后隙面磨損倒稜面积对于切削力的影响。BK6 車刀的几何参数： $\alpha = 12^\circ$ ， $\gamma = -10^\circ$ ， $\lambda = 0^\circ$ ， $\varphi = 30^\circ$ ， $\varphi_1 = -10^\circ$ ， $r = 0.5$  毫米

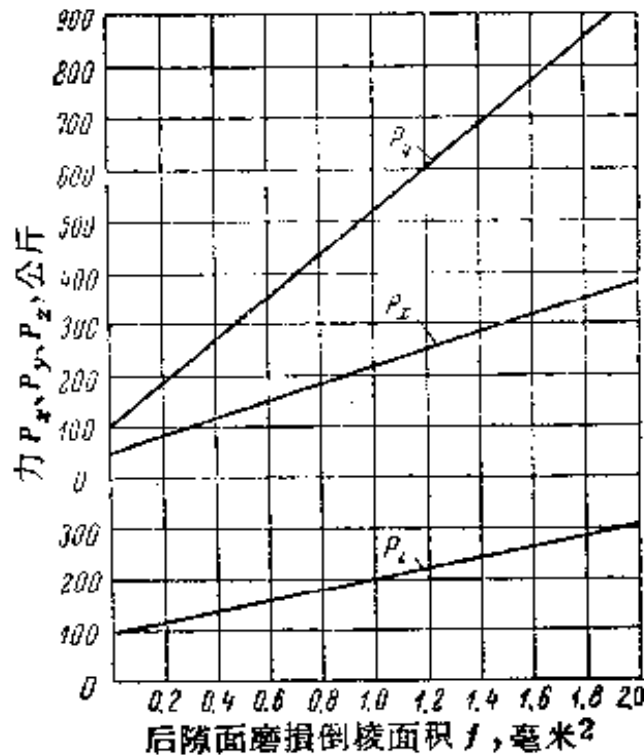


图 208 在車削硬度为  $H_{RC}=65$  的淬火 9XC3 号鋼时，后隙面磨損倒棱面积对于切削力的影响。切削用量： $t=1$  毫米； $s=0.156$  毫米/轉； $v=12$  米/分。BK6 車刀的几何参数： $\alpha=12^\circ$ ； $\gamma=-20^\circ$ ； $\lambda=0^\circ$ ； $\varphi=30^\circ$ ； $\varphi_1=10^\circ$ ； $r=0.5$  毫米

表 89 在車削淬火鋼时作用在車刀后隙面和前傾面上的力的相互关系  
(后隙面磨損倒棱面积  $f=1.8$  毫米<sup>2</sup>)

鋼的名称	鋼的 硬度 $H_{RC}$	$P_x$	$P_y$	$P_z$	$\frac{P_x}{P_z}$	$\frac{P_y}{P_z}$							$\frac{P'_x}{P''_x}$	$\frac{P'_y}{P''_y}$	$\frac{P'_z}{P''_z}$
							(公斤)								
40XHM2	35	140	270	175	0.80	1.54	90	155	75	50	115	100	1.80	1.35	0.75
40XHM3	46	215	460	210	1.02	2.19	160	340	90	55	120	120	2.90	2.80	0.75
9XC3	65	350	850	285	1.23	2.98	300	750	185	50	100	100	6.00	7.50	1.85

力  $P_x$ 、 $P_y$ 、 $P_z$  值由图解(图 206~208)来确定，而后隙面上的力  $P'_x$ 、 $P'_y$ 、 $P'_z$  值則根据公式(23)~(25)来确定。前傾面上的力  $P''_x$ 、 $P''_y$ 、 $P''_z$  值就是切削力值与后隙面上相应的力值之間的差：

$$P''_x = P_x - P'_x;$$

$$P''_y = P_y - P'_y;$$



$$P''_z = P_z - P'_z。$$

我們引述对于9XC3号鋼的力 $P'_y$ 和 $P''_y$ 的計算，作为例子。利用公式(24)。

由图208得知：对于 $f=1.8$ 毫米<sup>2</sup>來說，力 $P_y=850$ 公斤；而对于 $f=1.0$ 毫米<sup>2</sup>來說， $P_y=515$ 公斤。

$$\Delta P_y = 850 - 515 = 335 \text{ 公斤；}$$

$$\Delta f = 1.8 - 1.0 = 0.8 \text{ 毫米}^2；$$

$$P'_y = \Delta P_y \cdot \frac{f}{\Delta f} = 335 \times \frac{1.8}{0.8} = 750 \text{ 公斤；}$$

$$P''_y = P_y - P'_y = 850 - 750 = 100 \text{ 公斤。}$$

根据上述数据，可以作出一系列的結論。首先，肯定了这样一个原則：对于淬火鋼來說，特点是徑向力 $P_y$ 和軸向力 $P_z$ 的相对值較高，并且这些相对值随着鋼的硬度的提高而增大。此外，力 $P_y$ 比切向力 $P_x$ 大得多。

作用在后隙面上的徑向力 $P'_y$ 和軸向力 $P'_z$ 大大超过作用在前傾面上的徑向力 $P''_y$ 和軸向力 $P''_z$ 。这个超过的程度是随着鋼的硬度的提高而增大。对于低硬度和中等硬度的淬火(40XHM2和40XHM3号)鋼來說，后隙面上的切向力是小于前傾面上的切向力。但是对于高硬度的9XC3号鋼來說，与此相反，后隙面上的力 $P'_z$ 則是作用在前傾面上的力 $P''_z$ 的1.85倍。随着淬火鋼硬度的提高，后隙面上的徑向力 $P'_y$ 就增大，但是作用在前傾面上的徑向力 $P''_y$ 則稍微减小。

淬火鋼的硬度对于作用在后隙面上的力的影响特征，在分析后隙面上的法向单位載荷 $q'_N$ 和切向单位載荷 $q'_F$ 时，得以較完全地显示出来。表90中列举了 $q'_N$ 和 $q'_F$ 值，以及摩擦系数 $\mu'$ 值。

由表90可以看出，对于淬火鋼來說，車刀后隙面上的单位載荷是非常大的。为了作比較起見，我們指出，对于硬度为 $H_B=97\sim 185$ 的未淬火碳鋼來說，单位法向載荷 $q'_N$ 是在37~61公斤/毫米<sup>2</sup>範圍內变化。我們还应注意，后隙面上的摩擦系数 $\mu'$ 随着淬火鋼硬度的提高而减小。

表 90 在加工淬火鋼时，后隙面上的法向单位載荷  $q'_N$  和切向单位載荷  $q'_F$

鋼 号	$H_{RC}$	$q'_N$ (公斤/毫米 <sup>2</sup> )	$q'_F$ (公斤/毫米 <sup>2</sup> )	$\frac{q'_F}{q'_N} = \mu'$
40 XHM1	20	59	33	0.56
40 XHM2	35	107	38	0.35
40 XHM3	46	207	47	0.23
40 XHM5	58	295	80	0.27
9 XG3	65	445	110	0.25

图 209 說明淬火鋼的硬度对于后隙面上单位接触載荷值、摩擦系数值的影响。可以看出，随着鋼的硬度的提高，切向单位載荷  $q'_F$  和法向单位載荷  $q'_N$  都增大，并且是后者增大得更为剧烈些。

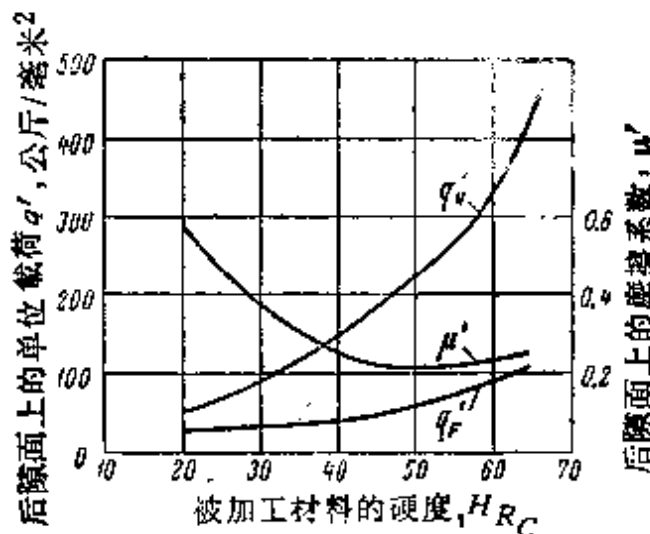


图 209 淬火鋼的硬度对于車刀后隙面上单位法向載荷  $q'_N$ 、单位切向載荷  $q'_F$  和摩擦系数  $\mu'$  的影响。試驗是在車刀前傾面上不产生刀瘤和发展的停滞区域的切削用量下进行的

И.И. 卓列夫根据实验数据，认为在加工淬火鋼时徑向力  $P_r$  超过切向力  $P_t$  的事实，应当由刀具后隙面上受到了較大的力的作用来解釋。后隙面上的法向力  $N'$  大于切向力  $F'$ ，而力  $N'$  是决定着力  $P_r$  值的，力  $F'$  則是影响到力  $P_t$  值的。随着被加工材料硬度的提高，法向力  $N'$  和切向力  $F'$  两者都增大，但是前者比后者增大得更为剧烈些。

結果，比值  $\frac{N'}{F'}$  就增大，因而比值  $\frac{P_r}{P_t}$  也增大。車刀后隙面磨損增大的影响也是这样。

現在我們轉到確定切削力用公式的結構的問題上來。在車削淬火鋼時，切削厚度對於切削力的影響，是隨着刀具後隙面磨損的增大而下降的。這可以由圖210和211看出，這兩圖表示出了力 $P_x$ 和 $P_y$ 與走刀量 $s$ 和刀具磨損 $h$ 的關係。實驗是用BK6車刀對於硬度為 $H_{RC}=58$ 的40XHM5號鋼進行的。

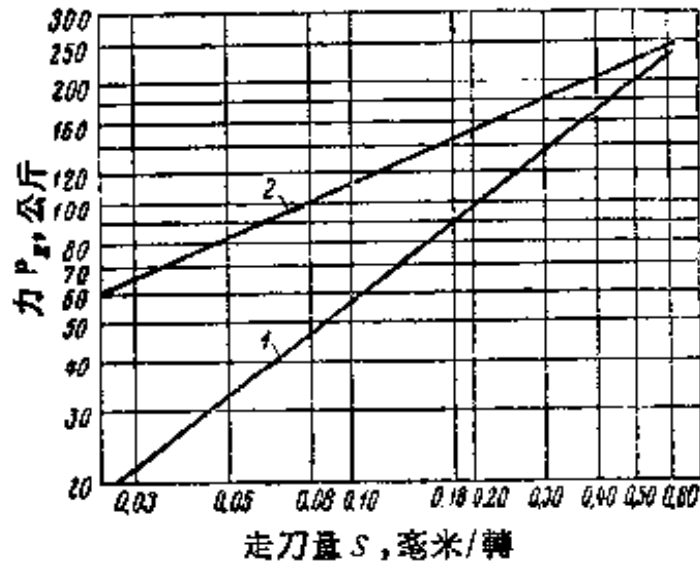


圖 210 在  $t=1$  毫米、 $v=17$  米/分下車削硬度為  $H_{RC}=58$  的 40XHM5 號鋼時，走刀量  $s$  對於切向力  $P_x$  的影響。BK6 車刀的幾何參數： $\alpha=12^\circ$ ， $\gamma=-10^\circ$ ， $\lambda=0^\circ$ ， $\varphi=30^\circ$ ， $\varphi_1=10^\circ$ ， $r=0.5$  毫米  
1—後隙面磨損  $h=0$ ；2—磨損  $h=0.25$  毫米

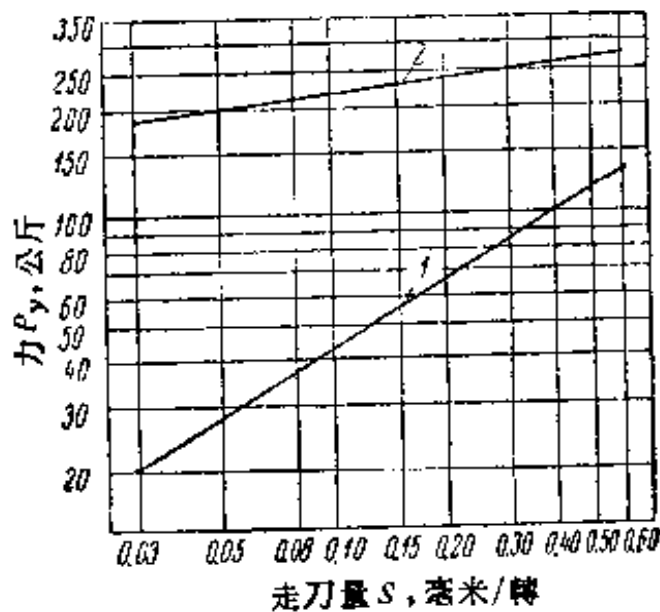


圖 211 在  $t=1$  毫米、 $v=17$  米/分下車削硬度為  $H_{RC}=58$  的 40XHM5 號鋼時，走刀量  $s$  對於徑向力  $P_y$  的影響。BK6 車刀的幾何參數： $\alpha=12^\circ$ ， $\gamma=-10^\circ$ ， $\lambda=0^\circ$ ， $\varphi=30^\circ$ ， $\varphi_1=10^\circ$ ， $r=0.5$  毫米  
1—後隙面磨損  $h=0$ ；2—磨損  $h=0.25$  毫米

切削力与走刀量  $s$  的关系(图210和211)可以借常用形式的公式表达出来:

当車刀后隙面磨損面积的寬度  $h=0$  时,

$$P_z = C_{P_z} \cdot s^{0.8}, \quad P_y = C_{P_y} \cdot s^{0.9};$$

当  $h=0.25$  毫米时,

$$P_z = C_{P_z} \cdot s^{0.15}, \quad P_y = C_{P_y} \cdot s^{0.16}。$$

可以看出, 走刀量的幂指数与車刀后隙面磨損  $h$  有密切的关系, 因而切削力与走刀量的关系特征本身是随着  $h$  的变化而变化的。据此, H. H. 卓列夫认为公式 ( $P = C_P \cdot s^{y_P}$ ) 的常用形式对于淬火鋼來說是不能接受的, 并且提出了下列形式的公式来代替上述常用形式的公式, 即:

$$P_x = C_{P_x} \cdot s^{y_{P_x}} + q'_N \cdot f \cdot \sin \varphi_{cp};$$

$$P_y = C_{P_y} \cdot s^{y_{P_y}} + q'_N \cdot f \cdot \cos \varphi_{cp};$$

$$P_z = C_{P_z} \cdot s^{y_{P_z}} + q'_F \cdot f。$$

式中  $\varphi_{cp}$ ——平均主偏角。当过渡切削刃长度比較小的时候, 可以认为角  $\varphi_{cp}$  等于主偏角  $\varphi$ 。

上述方程式的右边由兩項組成, 第一項表达作用在車刀前傾面上的力, 而第二項則表达作用在后隙面上的力。当公式具有这样的結構时, 走刀量的幂指数就与刀具磨損量无关。

我們来詳細叙述一下車削淬火鋼时的单位切削力的問題。H. H. 卓列夫提出了下列确定单位切削力用的方程式:

$$p = C_{P_z} \cdot a^{x_{P_z}-1} + q'_F \cdot \frac{h}{a}。 \quad (26)$$

方程式(26)右边的第二項表示作用在車刀后隙面上的力对于单位切削力的影响。单位切削力随着磨損  $h$  的增大以及随着切削厚度  $a$  的减小而增大。在加工高硬度淬火鋼时, 由于接触载荷  $q'_F$  較大而切削厚度  $a$  又較小, 单位切削力  $p$  会达到很大的数值。适用于硬度为  $H_{RC} = 58$  的淬火 40XHM5 号鋼的、确定单位切削力用的公式, 具有如下形式:

$$p = 171a^{-0.3} + 80\frac{h}{a}$$

根据这个公式，对于三个切削厚度 $a=0.02$ ， $0.10$ 和 $0.50$ 毫米，繪制出表达磨損倒棱宽度对于单位切削力值的影响的图解，如图 212 所示。单位切削力 $p$ 在非常广闊的範圍內变化，从較小車刀磨損 ( $h=0.1$  毫米) 和較大切削厚度 ( $a=0.5$  毫米) 下的 210 公斤/毫米<sup>2</sup> 一直变化到較大磨損 ( $h=0.5$  毫米) 和較小切削厚度 ( $a=0.02$  毫米) 下的 2370 公斤/毫米<sup>2</sup>。

单位切削力在数值上是等于单位切削功，因此，公式(26) 可以看做是单位切削功的公式。这方程式右边的第一項表达出作用在車刀前傾面上的力的单位功，也就是所謂的单位切屑形成功。第二項則表达出后隙面上的力的单位功，也就是后隙面上的单位摩擦功。在車刀磨損很大时，后隙面上的单位摩擦功就成为切削功的主要部分。

例如，对于硬度为 $H_{RC}=58$  的淬火 40XHM5 号鋼來說，当 $a=0.1$  毫米和 $h=0.8$  毫米时，单位切削功等于 912 公斤/毫米<sup>2</sup>，而单位切屑形成功則等于 272 公斤/毫米<sup>2</sup>，即为前者的 30%。其余的 70% 則是落在后隙面上的单位摩擦功身上。

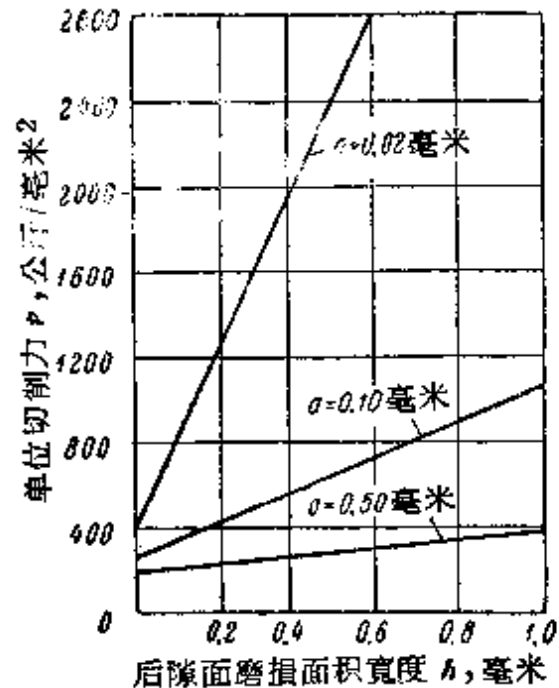


图 212 在 $v=17$  米/分下車削硬度为 $H_{RC}=58$  的 40XHM5 号鋼时，磨損倒棱宽度和切削厚度对于单位切削力的影响。BK5 車刀的几何参数： $\alpha=12^\circ$ ； $\gamma=-10^\circ$ ； $\lambda=0^\circ$ ； $\varphi=30^\circ$ ； $\varphi_1=10^\circ$ ； $r=0.5$  毫米

#### 46. 淬火鋼加工的热高速假說

由 H. И. 謝耳康諾戈夫<sup>(98)</sup> 提出的高速加工假說 (我們把它叫做淬火鋼加工的「热高速假說」)，在战后时期內得到了广泛的好

評。这假說被用来作为一般鋼而不仅是淬火鋼的高速切削的物理論据。在某些較晚发表的科学著作中，这一假說遭到了批駁。但是在有关淬火鋼的著作中，这假說繼續得到了好評。

### 假說的实质

图 213 所示是表达加热温度对于不同强度的鋼的抗拉强度的影响曲綫。上面的一条曲綫是属于  $\sigma_{s,p} = 160 \sim 180$  公斤/毫米<sup>2</sup>的

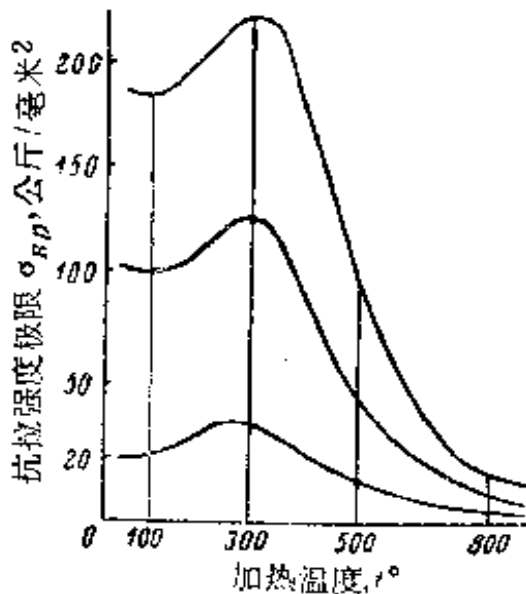


图 213 加热温度对于鋼的抗拉强度的影响

鋼。可以看出，在加热到  $t = 100^\circ$  以內时，强度极限  $\sigma_{s,p}$  是随着温度的上升而下降；当繼續加热时， $\sigma_{s,p}$  就逐漸增大，以致在  $t = 300^\circ$  时达到自己的最大值。再繼續提高温度的話，就会招致  $\sigma_{s,p}$  的急剧下降；到  $t = 800^\circ$  时， $\sigma_{s,p}$  近似地等于 20 公斤/毫米<sup>2</sup>。

此外，图 213 还表明，在室温下鋼的抗拉强度愈高，加热温度对于强度极限  $\sigma_{s,p}$  变化的影响

就显示得愈烈。

这一假說的拥护者們认为，对于淬火鋼加工来說，在被切削金属层的塑性变形的起始区域内，必需造成适当的温度，俾能保証使被加工材料机械性能的变化就象在把鋼借人工加热到  $700 \sim 800^\circ$  温度时所达到的变化一样。結果，刀具实际上所切削的不是那种可加工性低下的高硬度高强度的淬火鋼，而是一种可加工性优良的低硬度的塑性鋼了。

H. II. 謝耳康諾戈夫根据他自己对于淬火鋼車削过程所做“研究工作，提出了他自己的这一假說。他所研究过的淬火鋼是硬度为  $H_{RC} = 49 \sim 52$  的結構鋼(40号碳鋼和 XH 号合金鋼)以及硬度为  $H_{RC} = 56 \sim 64$  的工具鋼(Y7、Y10 和 P18)。实验是用硬质合金

BK8、BK6、T21K8 和謝尔貢尼特<sup>①</sup>車刀进行的。

H. И. 謝耳康諾戈夫作出的下列結論是最有意思的：

1) 淬火鋼的切削加工是脫离切削基本定律的：在一定切削速度限度以內，車刀耐用度不随切削速度的增大而降低，却反而是提高；

2) 在加工淬火鋼时，切削速度不随被加工材料硬度的提高而降低；

3) 只有在較高切削速度下，才能實現淬火鋼的加工。在精車淬火鋼时，应当采用不低于150米/分的切削速度。

### 假說的实验检查結果

本书作者为了确定 $T-v$ 关系所做的許多实验，駁倒了热-高速假說。已經确定，切削速度的微小增量就会引起車刀耐用度的剧烈下降。

在切削速度 $v=100\sim 150$ 米/分下，采用較小的切削深度 $t$ 值和走刀量 $s$ 值，来車削高硬度淬火鋼的多次企图，都沒有得到成功的結局——車刀在剎那間就磨鈍了和发生崩刃了。然而，对于硬度为 $H_{RC}=41$ 和65的鋼A和鋼C曾經进行了补充实验，以便确定切削速度对于車刀耐用度的影响特征以及在超高切削速度下加工淬火鋼的可能性。表91所示是关于硬度为 $H_{RC}=41$ 的鋼A的数据。实验是用研磨过的T21K8和BK8車刀进行的，它們的几何参数如下： $\alpha=6^\circ$ ； $\gamma=-5^\circ$ ； $\lambda=0^\circ$ ； $\varphi=45^\circ$ ； $\varphi_1=15^\circ$ ； $r=1.15$ 毫米。車刀工作到正常磨鈍时为止。

根据实验数据得出結論，在車削淬火鋼时，下列熟知的規律是有效的：車刀耐用度随着切削速度的增大而下降。

表92中包含对于硬度为 $H_{RC}=65$ 的鋼C的实验結果( $t=0.5$ 毫米， $s=0.14$ 毫米/轉)。采用研磨过的BK3、T15K6和T21K8車刀进行加工，这些車刀的几何参数均为： $\alpha=15^\circ$ ； $\gamma=-5^\circ$ ； $\lambda=0^\circ$ ；

<sup>①</sup> 謝尔貢尼特 (сергонит) 是早年出产的一种鈦鈷类硬质合金，其化学成分是：74%WC，18%TiC，8%Co。

$\varphi = 45^\circ$ ;  $\varphi_1 = 15^\circ$ ;  $r = 1.3$  毫米。

表 91 在車削硬度为  $H_{R0} = 41$  的鋼 A 时, 切削速度对于車刀耐用度的影响

車刀用硬质合金的牌号	切削深度 $t$ (毫米)	走刀量 $s$ (毫米/轉)	切削速度 $v$ (米/分)	車刀耐用度 $T$ (分)
BK8	1.0	0.31	150	1.3
	1.0	0.31	100	5.5
	1.15	0.31	50	53
	1.30	0.31	30	126
T21K8	0.30	0.225	171	0.3
	0.30	0.225	130	0.2
	0.30	0.225	108	72

表 92 在車削硬度为  $H_{RC} = 65$  的鋼 C 时, 切削速度对于車刀耐用度的影响

車刀用硬质合金的牌号	切削速度 $v$ (米/分)	車刀耐用度 $T$	实 驗 特 征
BK3	100 75	車刀耐用度为 几秒钟	車刀在剎那間就磨鈍并且 硬质合金刀片崩刃 排出切屑具有鮮紅色
T21K8	100 75		
T15K6	100 75		

車刀的后角加大了, 这应当是对于車刀的工作有益的。考虑到被加工材料的硬度 ( $H_{RC} = 65$ ), 切削速度  $v = 75 \sim 100$  米/分应当认为是非常高的。我們指出, 在对于硬度为  $H_{RC} = 65$  的鋼所推荐的切削用量中 (附录 I), 在采用硬质合金 T15K6 車刀、而  $t = 0.5$  毫米和  $s = 0.14$  毫米/轉时, 切削速度  $v_{0.0} = 8$  米/分。

試驗硬质合金牌号的特点是切削性能很高。

可以看出, 車刀耐用度是用秒来表示。在刚开始切削时, 剎



那間就发生車刀的磨鈍和崩刃。显然，在非常高的切削速度下切削硬度为  $H_{RC} = 65$  的鋼乃是不可能实现的事。

### 对于这假說的分析

讓我們相应于未淬火鋼和淬火鋼，来分析清楚这个热-高速假說。

**未淬火鋼的高速加工** 讓我們作出关于未淬火鋼高速切削著作的簡評，在这些著作中闡明了有关切削区域内的温度对于切下金属层的机械性能的影响方面的問題。

B. И. 魯卡維施尼柯夫<sup>[75]</sup>研究了加热温度对于鋼(0.42% C, 0.75% Ni, 0.28% Mn, 0.28% Si, 0.30% Cr)的可加工性的影响，这种鋼在「冷」状态下具有如下的机械性能指标： $\sigma_{0.2} = 60$  公斤/毫米<sup>2</sup>， $\delta = 18\%$ ， $H_B = 179$ 。实验是在  $t = 8$  毫米、 $s = 0.945$  毫米/轉、 $v = 24.5$  米/分下，用硬质合金 BK8 和 T21K8 車刀进行的。研究証明，在鋼从零度加热到  $560^\circ$  时，力  $P_z$  就从 1158 减小到 378 公斤，即减小成三分之一。

根据 B. M. 阿斯金納济和 Г. H. 巴巴特<sup>[75]</sup>的数据，在被加工鋼从零度加热到  $900^\circ$  时，单位切削力就降低成  $1/4.2$ 。

В. M. 伊奧弗<sup>[75]</sup>的数据証明，在刀具耐用度和加工过程的生产率方面，鎢鋼( $H_B = 320$ )在加热状态下加工的方法比普通加工方法来得优越。由于将被加工材料預先加热到  $700^\circ$ ，使車刀耐用度增大成 5 倍，而加工过程的生产率則增大成  $3.5 \sim 5$  倍。

И. И. 格魯陀夫<sup>[75]</sup>在分析上述数据后指出，在高速的「冷」切削与被加工材料預先加热的切削之間不能进行类比。在观察未加热鋼的切削过程时，在高切削速度下，切屑温度达到  $800^\circ$  以上，这时可能产生一种印象，认为在这里也是和在被加工材料接受人工加热时一样，切下金属层在变形以前或在变形过程中被加热到同样的温度，因而失去自己原来的机械性能，于是这就对于切削过程的运行及其生产率发生决定性的影响了。然而实际情况并不是这样的，因为在这場合里我們有权期待切削力降低成

1/3~5, 但是許多實驗都証明, 切削力只降低了20~40%。

根据 П. П. 格魯陀夫的意見, 切削力降低20~40%的原因不仅是由于切削区域内被加工材料机械性能的变化, 而且也是由于摩擦表面状态的变化。可以认为, 第二个因素在这里占有优势的意义。

A. A. 阿瓦柯夫<sup>[70]</sup>在最早就提出了一种想法: 仅仅根据被加工金属經受人工加热而达到在高速«冷»加工法时切削区域内所产生的同样温度, 是不能把人工加热鋼的切削加工与同样鋼在«冷»状态下的切削加工混为一談的。

在进行人工加热鋼的加工时, 車刀实际上势必以降低若干倍的单位切削力而切削着已軟化的金属。至于在高切削速度下加工«冷»金属的时候呢, 則金属的加热乃是局限于与刀具工作刃面直接接触的非常細小(在厚度方面)的部位以内。在两固体(車刀和切屑未軟化部分)之間形成被加工金属的薄层, 这薄层由于在切削过程中所放出的热量而获得較高的温度。

根据 A. A. 阿瓦柯夫的计算, 在切削深度  $t=3$  毫米、走刀量  $s=0.5$  毫米/轉、切削速度  $v=230$  米/分下車削  $\sigma_p=95$  公斤/毫米<sup>2</sup>的鋼时, 在0.0002秒钟内向切屑深处的渗热深度为24微米。

实验証明, 切屑的高温层厚度的增长是剧烈地落后于切屑本身厚度的增长, 并且对于薄切屑和对于厚切屑一样, 其高温层的厚度实际上是大致相同的。

在进行鋼的高速車削时, 往往观察到切屑透热至高温(切屑呈熾热状态而排出), 按照 A. A. 阿瓦柯夫的意見, 这应当解釋如下: 从与車刀前傾面接触中流出的切屑經受过了前傾面的摩擦作用。

下面引述 O. H. 弗里德施杰英<sup>[44]</sup>的研究数据, 它們表达出在高速切削未淬火鋼时被加工材料接触层的加热条件。他試驗时所用鋼的机械性能和組織, 列于表93中。

图214所示实验結果証明 ( $t=1.5$ 毫米、 $s=0.2$ 毫米/轉、高速鋼車刀的  $v=17\sim 150$ 米/分、硬质合金 T15K6 車刀的  $v=150\sim$

表 93 9. M. 弗里德施杰英研究用鋼的組織和機械性能

鋼號和符號	狀 態	組 織	$H_B$	抗彎強度極限 $\sigma_{6.2}$ (公斤/毫米 <sup>2</sup> )	相對伸長率 $\delta$ (%)	相對收縮率 $\psi$ (%)
10	正 火	鐵素体和薄片状珠光体細晶粒	121	41.8	36.6	68.0
40	正 火	薄片状珠光体和铁素体呈网状組織；細晶粒	179	63.9	25.1	44.0
40X-II	退 火	薄片状珠光体和铁素体呈网状組織；細晶粒	187	67.5	23.0	—
40X-3e	淬火和高温回火	粒状(点状)珠光体和极細顆粒的渗碳体	192	67.5	23.5	69.2
40XH	正火(轧制材料)	索氏体状和薄片状珠光体和铁素体呈局部断續的細网状；粗晶粒	248	85.5	15.3	33.0
30XII3	正 火	薄片状珠光体和铁素体呈顆粒状；有铁素体的成行性	207	—	—	—
35XTC-II3e	退 火	片状珠光体局部过渡到粒状；铁素体呈网状；混合晶粒	217	76.5	18.6	42.0
35XTC-II	退 火	片状珠光体和铁素体呈网状；混合晶粒	217	77.1	21.8	40.0
35XTC-3e	退 火	粒状珠光体	197	68.5	23.7	53.6
35XTC-YI	調质(淬火和回火)	索氏体	341	103.0	12.1	43.8

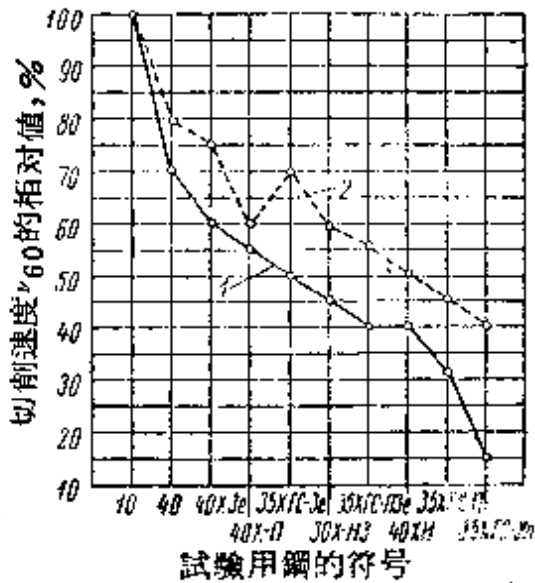


图 214 各种鋼的相对可加工性  
1—用高速鋼車刀进行車削；2—高速車削

550米/分)，在普通切削和高速切削下，各种鋼的  $v_{60}$  值的位置的次序乃是同样的，只有一个場合为例外。

在用高速鋼車刀进行各种鋼的車削时（这就是在被加工材料中不可能发生組織轉变的条件下进行車削，因为这时切削速度低，以致切削区域中的温度也低）以及在高速加工时所得相对可加工性指数之間符合得这样良好，这就証明，鋼的原有性能对于車刀耐用度的影响特征在高速

加工时也是保持着的。

因此，在高速加工未淬火鋼时，被切削金属沒有受到那种能够消除各种鋼的可加工性差別的組織轉变。这里所說各种鋼的可加工性差別乃是由它們在原始状态下的組織和性能特征来决定的。

根据表 94 所示的数据，可以作出一个最重要的結論，这就是鋼的各种不同組織对于在較低切削速度下工作，因而在切削区域内形成較低温度的高速鋼刀具耐用度的影响特征，在高速切削时仍是被保持着的。

表 94 对于不同組織的鋼的切削速度  $v_{60}$  的相对值 (%)

加工特征	鋼 号					
	40X-11	40X-3e	35X1C-11	35X1C-3e	35X1C-113e	35X1C-УП
用高速鋼車刀車削	100	109.5	100	125	147	50
高速車削	100	124	100	121	148	83

上述Э.И. 弗里德施杰英的数据是属于那样一些实验的，在那些实验中，采用了一定的后隙面磨损量作为硬质合金车刀的磨钝准则。

Э. И. 弗里德施杰英还在高速车削具有粒状珠光体、片状珠光体和铁素体组织的35XTC号钢时，研究了车刀前倾面的磨损特征。

实验证明，象后隙面磨损一样，车刀前倾面磨损强烈度与被加工材料在原始状态下的组织有关；在具有粒状珠光体组织时，月牙窝的深度和宽度就小得多。

这些实验数据可以作为证据来说明：在进行钢的高速切削时，与车刀前倾面直接接触着的切下金属层也没有受到组织转变。

Э. И. 弗里德施杰英以下列理论见解作为自己所做结论的根据。在高速加工未淬火钢时，切削温度完全够得上进行组织转变的需要。许多实验数据证明，切削温度至少达到了 $700\sim 800^{\circ}$ ，而切削刀具与切屑和被加工零件接触表面上的温度实际上还要更高些。问题是在用自然热电偶法（这是最常用的一种方法）测量切削温度时，往往是得到稍微偏低的结果。

但是，为了进行组织转变，需要一定的时间。研究证明，在温度为 $800^{\circ}\sim 850^{\circ}$ 的情况下，为了珠光体刚刚开始转变成奥氏体，所需时间至少为十分之几秒钟。可是，在高速切削下，被切削金属的加热持续时间仅为万分之几秒钟。例如，若接触长度 $l=2$ 毫米、切屑收缩系数 $\xi=2.0$ 、切削速度 $v=300$ 米/分，则接触时间

$$\tau = \frac{60l\xi}{1000v} = \frac{60 \times 2 \times 2}{1000 \times 300} = 0.0008 \text{秒。}$$

显然，在这样的加热条件下，在被切削金属层内不可能发生组织转变。

再者，在高速加工时，接触金属层的加热是以非常大的速度进行的。假定温差为 $500^{\circ}$ 而接触持续时间为 $0.0008$ 秒，则加热速

度为

$$v_{\text{назр}} = \frac{500 \times 60}{0.0008} = 37500000 \text{度/分。}$$

大家知道，随着加热速度的增大，珠光体转变成奥氏体的温度范围就提高。对于钢在高频电流的高速加热下的行为特征的研究证明，在高速加热时珠光体转变成奥氏体的过程是在显著超过临界点  $A_{c1}$  的温度下发生。加热速度愈高，这种过热程度就愈大。例如，在加热速度约为30000度/分时的最低淬火温度比缓慢加热时特有淬火温度区域大约超过200°。

因此，在类似于金属高速切削的条件下，钢的组织转变将在比其在普通热处理的条件下高得多的温度下发生。

И.И. 格鲁陀夫、А.А. 阿瓦柯夫、Э.И. 弗里德施杰英的数据驳倒了关于未淬火钢高速切削的热-高速假说。现在我们来叙述淬火钢。

**淬火钢的高速加工** 本书作者对于硬度为  $H_{Rc} = 65$  的钢 C 的实验数据(表46)是最有意思的。切削用量在宽泛的范围内变化：切削深度  $t$  从0.10到1.0毫米，走刀量  $s$  从0.05到0.28毫米/转，切削速度  $v$  从23.4到5.4米/分。在大多数实验中，车刀显示出具有可以接受的耐用度： $T = 10 \sim 60$ 分钟。

将实验数据进行分析整理后，得到下列切削速度与车刀耐用度间的关系式：

$$v = \frac{C}{T^m}$$

或

$$T = \frac{C'}{v^{\frac{1}{m}}}$$

这样看来，车刀耐用度是随着切削速度的提高而有规律地下降。这就表明，对于硬度非常高的淬火铬镍钼高合金钢(钢 C)来说，热-高速假说没有被证实。

关于硬度为  $H_{Rc} = 65$  的钢 C 的关系式  $T = \frac{C'}{v^{\frac{1}{m}}}$ ，乃是对于比

較低的切削速度範圍得出來的。

由圖61~64可以看出，對於硬度為 $H_{RC} = 59$ 的鋼B在較高的切削速度範圍 $v = 17.9 \sim 54$ 米/分下以及對於硬度為 $H_{RC} = 49$ 的鋼B在切削速度 $v = 30 \sim 75$ 米/分下，也得出了同樣特征的 $T-v$ 關係。

有人對此可能提出異議，即在更高的切削速度區域內這個假說可能得到証實。但是這種異議已被表91和92中列舉的實驗數據駁倒了。表92的數據證明，在切削速度 $v = 75 \sim 100$ 米/分下不可能實現硬度為 $H_{RC} = 65$ 的鋼C的加工，因為車刀在剎那間就磨鈍了。

由表91可以看出，在高切削速度下（ $v = 30 \sim 171$ 米/分）對於硬度為 $H_{RC} = 41$ 的鋼A的加工，也服從這條由方程式 $v = \frac{C}{T^m}$ 表達的切削理論的基本規律。

在И.И.格魯陀夫<sup>[39]</sup>和A.B.阿列克謝葉夫<sup>[72]</sup>關於淬火鋼的工作中，熱-高速假說沒有得到証實。

根據這些關於淬火鋼的資料可以作出結論，在這裡也和未淬火鋼高速加工時一樣，在切下金屬層中沒有發生組織轉變。這也被本書作者和И.И.格魯陀夫的實驗數據所証實，由這些數據可以看出，淬火鋼的硬度對其可加工性發生劇烈的影響。顯然，如果被加工材料在切削過程中受到了組織轉變（失去淬火），那末以鋼B為例，它的特征就應該是具有同樣的可加工性（由允許切削速度 $v_{s0}$ 來確定），而與它的硬度無關。然而事實上，却如表49所示，淬火硬度為 $H_{RC} = 59$ 的鋼B的可加工性比淬火硬度為 $H_{RC} = 49$ 的同樣鋼的可加工性低。

本書作者對於淬火鋼切削過程的觀察表明，只有在較高的切削速度（考慮到被加工材料的硬度而認定的較高的切削速度）、較小的切削厚度和車刀顯著變鈍的情況下，切屑才會呈熾熱狀態而從車刀排出。在較大的切削厚度和不高的切削速度下，切屑是具有普通的（「冷的」）狀態，並且只是直接貼靠車刀前傾面的切屑

窄带被加热到通紅的程度，而这也仅有在車刀剧烈变鈍时才会如此。对于淬火硬度为 $H_{RC}=65$ 的鋼C的許多实验使得可以确定，在車刀工作到很長時間下，切屑并没有被加热到通紅的程度，并且这时切削过程进行得很正常。

从未淬火鋼的高速加工来类推，利用B.Д.薩陀沃斯基、K.A.馬姿歇夫、B.Г.薩卓諾夫〔77〕研究所得数据可以說明，在淬火鋼加工时在切下金属层中不会发生組織轉变。这些作者指出，当淬火鋼在寬闊的加热速度范圍內加热时，馬丁体的分解大約在 $1000^{\circ}$ 和更高的温度范圍內进行，因而，例如在加热速度为200度/秒下，馬丁体分解的延續時間不少于0.5秒。可是，如果把被切削金属层的加热持續時間 $\tau$ 看或是等于切屑与車刀前傾面的接触時間的話，那末在切削速度 $v=100$ 米/分下(对于淬火鋼來說这是高切削速度)这時間 $\tau$ 仅为0.0024秒，而在 $v=30$ 米/分下則为0.008秒。

**关于A.Я.馬耳金的假說** 根据所做的理論研究和实验研究，A.Я.馬耳金发展了H.И.謝耳康諾戈夫的假說并且提出了他自己的假說。按照A.Я.馬耳金的假說，則认为«控制切削过程中的热量»乃是淬火鋼加工的基础。这一假說，近来，在有关淬火鋼切削的著作中遇到了〔80、88〕。

按照A.Я.馬耳金的意見，在正确利用切削过程中所生热量的条件下，可以成功地解决淬火鋼加工生产任务。为了极短時間地降低切屑形成区域内被加工材料的机械性能，这个热量是必需的。

根据A.Я.馬耳金的数据(图215)，仅仅依靠切屑对于車刀前傾面摩擦所生热量，就使得 $AB$ 部位的温度达到約 $1000^{\circ}$ 。按照一边限定的物体的温度場的热交換定律，在 $ABC$ 区域内可以期待的温度大約为 $500^{\circ}$ ；由于被切削金属的变形而出現的内摩擦，使得 $ABC$ 区域内的温度增加不少于 $150^{\circ}\sim 200^{\circ}$ 。結果，从車刀前傾面排出切屑的温度应当不低于 $650^{\circ}\sim 700^{\circ}$ 。

因为在切削过程中所形成的热量主要是与切削速度 $v$ 、切削



厚度 $a$ 、車刀前角 $\gamma$ 有关(决定着切削过程中温度场的状态),所以调节这些因素就可以保证在切屑形成区域内得到所需的温度。

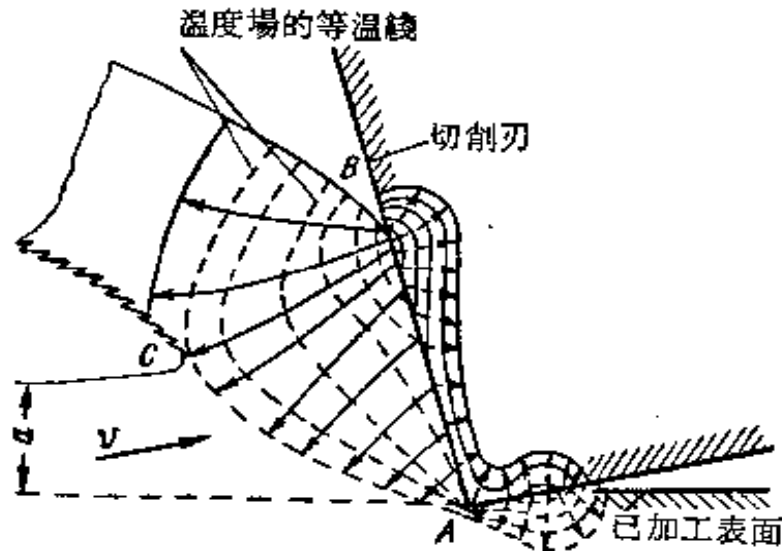


图 215 金属切削时主截面中温度场的简图

图216说明了A.Я.馬耳金假说的上述原理。曲线3表示在用硬质合金BK8車刀( $h=0.6$ 毫米)車削淬火OXH4M号鋼( $H_{RC}=51\sim 53$ )时,切削速度 $v$ 与車刀耐用度 $T$ 之间的关系。曲线1和2则表达鋼的强度极限 $\sigma_{sp}$ 和硬质合金PДН6的强度极限 $\sigma_{su}$ 与加

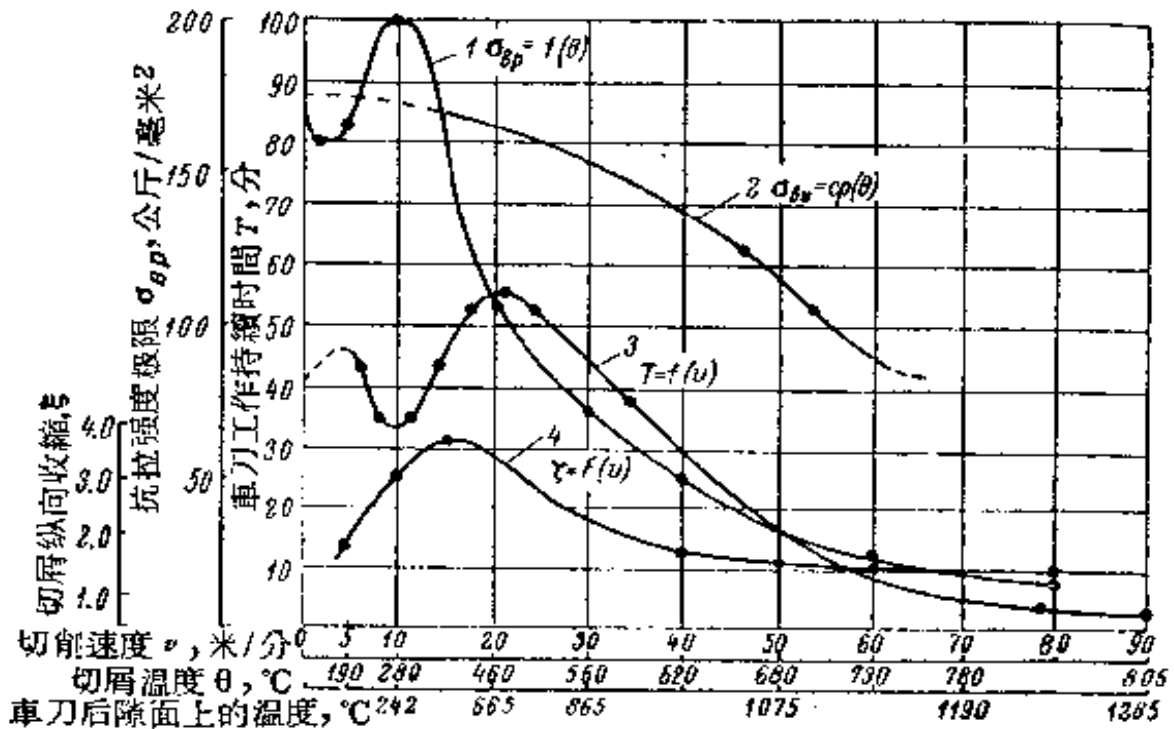


图 216 在車削硬度为 $H_{RC}=51\sim 53$ 的淬火鋼时,切削速度与車刀耐用度之间的关系。A.Я.馬耳金的数据

热温度  $\theta$  和  $\theta'$  的关系。切屑纵向收缩  $\xi$  与切削速度  $v$  的关系，如曲线 4 所示。

横坐标轴表示切削速度，而与之平行的另两条线则表示符合于这切削速度的切屑温度  $\theta$  值和车刀后隙面上的温度值。温度是借光学高温计来测量的。

可以看出，在切削速度  $v \approx 10$  米/分时切屑温度  $\theta = 300^\circ$ ，这符合于车刀耐用度  $T$  的最小值和被加工材料强度极限  $\sigma_{\sigma p}$  的最大值。A. Я. 馬耳金认为，车刀耐用度的最小值是取决于在这温度下被加工材料强度极限  $\sigma_{\sigma p}$  的提高。

这样看来，A. Я. 馬耳金的假说与 H. И. 謝耳康諾戈夫的假说一样，也是建立在这样一个概念之上：在切削过程中生成热量的作用下，待切下金属层在被车刀切削之前失去了自己原来的机械性能。

这个假说的错误性，已经被 И. И. 格魯陀夫、Э. И. 弗里德施杰英、本书作者以及其他研究人员们的数据肯定下来了。实际上，如果在切削区域内真的发生了被加工材料的软化，那末不同硬度的淬火钢就该具有同样的可加工性，因为在加热到  $700 \sim 800^\circ$  时（按照 A. Я. 馬耳金的意见，这样的温度在塑性变形开始区域内就产生出来了的），这些钢在抗拉强度和其他机械性能方面的差别将是很小的。

此外，随着切削速度的增大，切屑纵向收缩  $\xi$  就应该增大；但是与此相反，由图 216 曲线 4 可以看出，切屑纵向收缩  $\xi$  是随着切削速度的增大而减小。

#### 47. 被加工材料与刀具材料的硬度的相互关系

与切削普通（未淬火）钢相比，切削加工淬火钢的特点是刀具材料与被加工材料的硬度差较小。实际上，在用高速钢刀具来加工硬度为  $H_{RC} \leq 30$  ( $H_B \leq 286$ ) 的未淬火合金钢时，刀具材料 ( $H_{RC} \approx 64$ ) 与被加工材料的硬度差为  $H_{RC} \geq 34$ 。在用硬质合金刀具来加工这类钢时，上述硬度差还要更大些，例如对于硬质合金

T15K6 刀具來說就达到  $H_{RC} \geq 50^{(50)}$ 。

在加工淬火鋼时，刀具材料与被加工材料的硬度差下降成不大的数值。对于本书作者所研究淬火合金鋼 ( $H_{RC} = 41 \sim 65$ ) 來說，硬质合金 T15K6 ( $H_{RA} = 90$  或  $H_{RC} = 80$ ) 車刀与被加工材料的硬度差从洛氏 C 制的 39 变化到 15 单位。

在第三章和第八章中列举的實驗数据証明，采用装备所有被研究牌号的硬质合金、包括具有最低硬度  $H_{RC} \approx 73$  ( $H_{RA} = 86.5$ ) 的硬质合金 BK12 的車刀，都可以成功地实现淬火硬度为  $H_{RC} = 65$  的鋼 C 的車削。这样看来，BK12 車刀的硬度仅仅比被它加工的鋼的硬度高出洛氏 C 制 8 个单位。考虑到洛氏硬度計讀数的不精确度以及从一种硬度制到另一种硬度制的硬度換算表的不精确度，可以认为，硬度差在实际上是稍微大些。

可不可以认为車刀与被加工材料的上述硬度差已經足以实现切削过程了呢？这个問題是发生在高硬度淬火鋼方面，因为在切削非高硬度普通鋼和淬火鋼时刀具的硬度比被加工材料的硬度大得多。

上述硬度差 ( $H_{RC} \geq 8$ ) 乃是属于处在原始 («冷的») 状态下的刀具材料 (硬质合金 BK12) 与被加工材料 (淬火鋼 C) 的，并不考虑到切削过程中所发生的各种物理現象。由于热現象的关系，刀具材料和被加工材料原始的物理机械性能在切削过程中就要受到一定的改变。在往后的論述中，我們将从这样的前提出发：較高的切削温度仅仅使得与刀具前倾面接触的被加工材料的极薄层的强度特性稍微降低，但不会減輕刀具切削刃的工作条件。在切削温度的作用下受到降低的切削刃的硬度，在切削过程中应当老是超过被加工材料的原始硬度。

在上述情况下，BK12 車刀是在較低的切削速度下 ( $v = 9 \sim 13$  米/分、 $t = 0.5$  毫米、 $s = 0.14$  毫米/轉) 对于硬度为  $H_{RC} = 65$  的鋼 C 进行加工；切削区域内的温度是不高的。我們认为这温度可能約为  $200^\circ$ 。按照 H.Φ. 卡扎柯夫的数据 (表 13)，車刀切削刃的硬度在切削过程中从  $H_{RA} = 86.5$  下降到  $H_{RA} = 80$ ，这符合于

$H_{R_G} = 64$ 。

在切削过程中，刀具材料( $H_{R_G} = 64$ )与被加工材料( $H_{R_G} = 65$ )的硬度，这种不现实的相互关系，是由于H.Φ.卡扎柯夫的数据不够精确和切削温度实际上可能是低于 $200^\circ$ 来解释。无论如何都可以作出结论：为了实现切削过程，刀具的硬度必需稍微超过被加工材料的硬度。

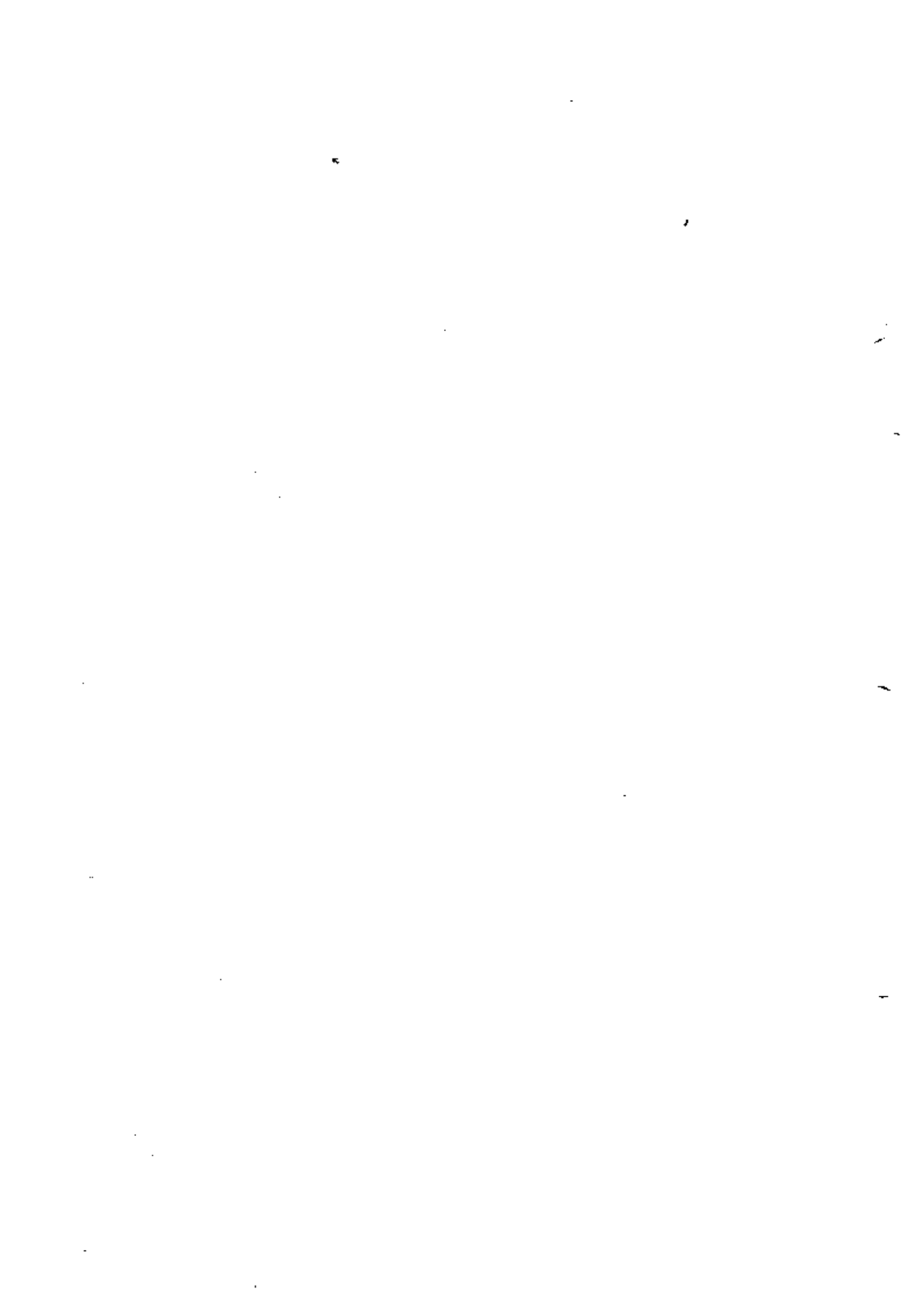
同时应当指出，与H.Φ.卡扎柯夫的数据相比，而尤其是与A.И.别坦聶李的数据相比时，P.基弗尔和И.施瓦茨柯夫的数据是具有较大的可靠性。如果以A.И.别坦聶李的数据为根据(表13)，那末就会得出更难想象的结果：被加工材料的硬度 $H_{R_G} = 65$ ，而刀具切削刃的硬度 $H_{R_G} = 54$ ( $H_{R_A} = 76$ )。可是切削过程则是确实实现了的。

由P.基弗尔和И.施瓦茨柯夫的数据应当得出结论：在这种情况下，刀具材料的硬度为 $H_{R_G} = 72$ ( $H_{R_A} = 84$ )。

最后应当指出，高硬度淬火钢的切削加工提出了一个在切削过程中被加工材料与刀具材料的硬度的相互关系的有趣问题。发展这个问题需要进一步的研究。

# 附 录

淬火合金結構鋼的車削、端銑、  
鉗削、鉸削、鏢削和切制螺紋的切削用量



## 附录 I

表 1 硬质合金 T15K6 車刀車削硬度为  $H_{RC}=38$  的淬火  
合金結構鋼时的切削速度、切削力和有效功率

車刀几何参数:  $\alpha=15^\circ$  (在  $s \leq 0.2$  毫米/轉时),  $\alpha=10^\circ$  (在  $s > 0.2$  毫米/轉时);  $\gamma=0^\circ$ ;  $\lambda=0^\circ$ ;  $\varphi=45^\circ$ ;  $\varphi_1=15^\circ$ ;  $r=1$  毫米。車刀用碳化硼膏研磨。

名 称	切削深度 $t$ (毫米)	走 刀 量 $s$ (毫米/轉)									
		0.05	0.10	0.15	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80
$v_{60}$ (米/分)	0.1	343	254	208	184	154	—	—	—	—	—
$P_z$ (公斤)		3	6	7	9	12	—	—	—	—	—
$N_e$ (千瓦)		0.17	0.25	0.24	0.28	0.30	—	—	—	—	—
$v_{60}$ (米/分)	0.2	288	212	175	154	12	—	—	—	—	—
$P_z$ (公斤)		6	9	13	17	23	—	—	—	—	—
$N_e$ (千瓦)		0.28	0.31	0.37	0.43	0.48	—	—	—	—	—
$v_{60}$ (米/分)	0.3	259	193	159	139	116	—	—	—	—	—
$P_z$ (公斤)		7	14	18	24	32	—	—	—	—	—
$N_e$ (千瓦)		0.31	0.44	0.48	0.54	0.61	—	—	—	—	—
$v_{60}$ (米/分)	0.5	—	170	140	122	102	90	—	—	—	—
$P_z$ (公斤)		—	21	30	38	52	65	—	—	—	—
$N_e$ (千瓦)		—	0.59	0.68	0.76	0.86	0.96	—	—	—	—
$v_{60}$ (米/分)	0.8	—	151	124	109	91	80	—	—	—	—
$P_z$ (公斤)		—	32	45	57	78	98	—	—	—	—
$N_e$ (千瓦)		—	0.81	0.92	1.01	1.16	1.28	—	—	—	—
$v_{60}$ (米/分)	1.0	—	143	117	102	86	76	69	—	—	—
$P_z$ (公斤)		—	40	56	70	95	120	143	—	—	—
$N_e$ (千瓦)		—	0.92	1.07	1.17	1.35	1.49	1.60	—	—	—
$v_{60}$ (米/分)	1.5	—	—	106	93	78	69	61	—	—	—
$P_z$ (公斤)		—	—	80	101	137	173	206	—	—	—
$N_e$ (千瓦)		—	—	1.38	1.52	1.73	1.95	2.06	—	—	—
$v_{60}$ (米/分)	2.0	—	—	—	85	71	63	58	53	—	—
$P_z$ (公斤)		—	—	—	132	178	224	267	310	—	—
$N_e$ (千瓦)		—	—	—	1.82	2.06	2.28	2.54	2.69	—	—
$v_{60}$ (米/分)	2.5	—	—	—	81	69	60	54	50	46	—
$P_z$ (公斤)		—	—	—	159	217	273	324	375	426	—
$N_e$ (千瓦)		—	—	—	2.12	2.42	2.67	2.82	3.06	3.22	—
$v_{60}$ (米/分)	3.0	—	—	—	—	65	58	51	48	44	41
$P_z$ (公斤)		—	—	—	—	255	323	383	445	503	565
$N_e$ (千瓦)		—	—	—	—	2.70	3.02	3.16	3.45	3.60	3.80

表 2 硬质合金T15K6車刀車削硬度为  $H_{RC}=41$  的 淬火  
合金結構鋼时的切削速度、切削力和有效功率

車刀几何参数:  $\alpha=15^\circ$  (在  $s \leq 0.2$  毫米/轉时),  $\alpha=10^\circ$  (在  $s > 0.2$  毫米/轉时),  $\gamma=0^\circ$ ,  $\lambda=0^\circ$ ,  $\varphi=45^\circ$ ,  $\psi_1=15^\circ$ ,  $r=1$  毫米。車刀用碳化硼膏研磨。

名 称	切削深度 † (毫米)	走 刀 量 $s$ (毫米/轉)									
		0.05	0.10	0.15	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80
$v_{60}$ (米/分)	0.1	274	203	167	147	123	—	—	—	—	—
$P_z$ (公斤)		3	6	8	10	13	—	—	—	—	—
$N_e$ (千瓦)		0.14	0.20	0.22	0.24	0.26	—	—	—	—	—
$v_{60}$ (米/分)	0.2	230	170	140	123	103	—	—	—	—	—
$P_z$ (公斤)		6	10	14	18	25	—	—	—	—	—
$N_e$ (千瓦)		0.23	0.27	0.32	0.36	0.42	—	—	—	—	—
$v_{60}$ (米/分)	0.3	207	154	127	111	93	—	—	—	—	—
$P_z$ (公斤)		8	15	20	26	35	—	—	—	—	—
$N_e$ (千瓦)		0.27	0.38	0.42	0.47	0.53	—	—	—	—	—
$v_{60}$ (米/分)	0.5	—	136	112	98	82	72	—	—	—	—
$P_z$ (公斤)		—	23	32	41	56	70	—	—	—	—
$N_e$ (千瓦)		—	0.51	0.59	0.66	0.75	0.83	—	—	—	—
$v_{60}$ (米/分)	0.8	—	121	99	87	73	64	—	—	—	—
$P_z$ (公斤)		—	35	49	62	84	106	—	—	—	—
$N_e$ (千瓦)		—	0.70	0.80	0.88	1.01	1.11	—	—	—	—
$v_{60}$ (米/分)	1.0	—	114	94	82	69	61	55	—	—	—
$P_z$ (公斤)		—	43	60	76	103	130	154	—	—	—
$N_e$ (千瓦)		—	0.80	0.93	1.02	1.17	1.30	1.39	—	—	—
$v_{60}$ (米/分)	1.5	—	—	85	74	62	55	49	—	—	—
$P_z$ (公斤)		—	—	86	109	148	187	222	—	—	—
$N_e$ (千瓦)		—	—	1.20	1.32	1.50	1.69	1.79	—	—	—
$v_{60}$ (米/分)	2.0	—	—	—	68	57	50	46	42	—	—
$P_z$ (公斤)		—	—	—	142	192	242	288	334	—	—
$N_e$ (千瓦)		—	—	—	1.58	1.79	1.98	2.18	2.30	—	—
$v_{60}$ (米/分)	2.5	—	—	—	65	55	48	43	40	37	—
$P_z$ (公斤)		—	—	—	172	234	295	350	405	460	—
$N_e$ (千瓦)		—	—	—	1.84	2.11	2.32	2.46	2.66	2.80	—
$v_{60}$ (米/分)	3.0	—	—	—	—	52	46	41	38	35	33
$P_z$ (公斤)		—	—	—	—	275	348	413	480	543	610
$N_e$ (千瓦)		—	—	—	—	2.35	2.63	2.74	3.00	3.12	3.30



表3 硬质合金 T15K6 車刀車削硬度为  $H_{R0} = 44$  的淬火合金

## 結構鋼时的切削速度、切削力和有效功率

車刀几何参数:  $\alpha = 15^\circ$  (在  $s \leq 0.2$  毫米/轉时),  $\alpha = 10^\circ$  (在  $s > 0.2$  毫米/轉时);  $\gamma = -3^\circ$ ;  $\lambda = 0^\circ$ ;  $\varphi = 45^\circ$ ;  $\varphi_1 = 15^\circ$ ;  $r = 1$  毫米。車刀用碳化硼膏研磨。

名 称	切削深度 $t$ (毫米)	进刀量 $s$ (毫米/轉)									
		0.05	0.10	0.15	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80
$v_{60}$ (米/分) $P_z$ (公斤) $N_e$ (千瓦)	0.1	212 4 0.11	157 7 0.17	129 6 0.18	114 10 0.20	95 14 0.22	—	—	—	—	—
$v_{60}$ (米/分) $P_z$ (公斤) $N_e$ (千瓦)	0.2	179 7 0.19	132 10 0.22	109 15 0.27	96 20 0.30	79 27 0.35	—	—	—	—	—
$v_{60}$ (米/分) $P_z$ (公斤) $N_e$ (千瓦)	0.3	155 8 0.22	120 16 0.32	99 21 0.35	86 28 0.39	72 37 0.44	—	—	—	—	—
$v_{60}$ (米/分) $P_z$ (公斤) $N_e$ (千瓦)	0.5	— — —	105 24 0.42	87 35 0.49	76 43 0.55	63 60 0.62	56 75 0.69	—	—	—	—
$v_{60}$ (米/分) $P_z$ (公斤) $N_e$ (千瓦)	0.8	— — —	94 37 0.58	77 52 0.66	68 66 0.73	57 90 0.84	50 114 0.92	—	—	—	—
$v_{60}$ (米/分) $P_z$ (公斤) $N_e$ (千瓦)	1.0	— — —	89 46 0.66	73 65 0.77	63 81 0.84	54 110 0.97	47 139 1.08	43 166 1.15	—	—	—
$v_{60}$ (米/分) $P_z$ (公斤) $N_e$ (千瓦)	1.5	— — —	— — —	66 93 1.00	58 117 1.10	48 159 1.25	43 200 1.40	38 238 1.49	—	—	—
$v_{60}$ (米/分) $P_z$ (公斤) $N_e$ (千瓦)	2.0	— — —	— — —	— — —	53 153 1.31	44 206 1.49	39 260 1.65	36 310 1.83	33 360 1.95	—	—
$v_{60}$ (米/分) $P_z$ (公斤) $N_e$ (千瓦)	2.5	— — —	— — —	— — —	50 184 1.53	43 252 1.74	37 316 1.92	34 375 2.03	31 435 2.20	29 495 2.32	—
$v_{60}$ (米/分) $P_z$ (公斤) $N_e$ (千瓦)	3.0	— — —	— — —	— — —	— — —	40 296 1.95	36 374 2.17	32 445 2.28	30 515 2.48	27 493 2.60	25 655 2.74

表4 硬质合金 T15K6 車刀車削硬度为  $H_{R\sigma} = 47$  的淬火合金结构

## 鋼时的切削速度、切削力和有效功率

車刀几何参数:  $\alpha = 15^\circ$  (在  $s \leq 0.2$  毫米/轉时),  $\alpha = 10^\circ$  (在  $s > 0.2$  毫米/轉时);  $\gamma = -3^\circ$ ,  $\lambda = 0^\circ$ ,  $\psi = 45^\circ$ ,  $\varphi_1 = 15^\circ$ ,  $r = 1$  毫米。車刀用碳化硼膏研磨。

名 称	切削深度 $t$ (毫米)	走刀量 $s$ (毫米/轉)										
		0.05	0.10	0.15	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	
$v_{60}$ (米/分) $P_z$ (公斤) $N_e$ (千瓦)	0.1	185 4 0.12	137 7 0.16	112 9 0.17	100 11 0.18	83 15 0.21	—	—	—	—	—	
$v_{60}$ (米/分) $P_z$ (公斤) $N_e$ (千瓦)	0.2	155 7 0.18	114 11 0.21	95 16 0.25	83 21 0.29	68 29 0.32	—	—	—	—	—	
$v_{60}$ (米/分) $P_z$ (公斤) $N_e$ (千瓦)	0.3	140 9 0.21	104 18 0.31	86 22 0.31	75 30 0.37	62 40 0.41	—	—	—	—	—	
$v_{60}$ (米/分) $P_z$ (公斤) $N_e$ (千瓦)	0.5	— — —	92 26 0.39	76 37 0.46	66 47 0.51	55 65 0.59	48 81 0.64	—	—	—	—	
$v_{60}$ (米/分) $P_z$ (公斤) $N_e$ (千瓦)	0.8	— — —	82 40 0.54	67 56 0.62	59 71 0.69	49 97 0.78	43 121 0.85	—	—	—	—	
$v_{60}$ (米/分) $P_z$ (公斤) $N_e$ (千瓦)	1.0	— — —	77 50 0.63	63 70 0.73	55 87 0.78	46 118 0.89	41 149 1.00	37 178 1.08	—	—	—	
$v_{60}$ (米/分) $P_z$ (公斤) $N_e$ (千瓦)	1.5	— — —	— — —	57 99 0.93	50 125 1.03	42 170 1.17	37 214 1.30	33 256 1.39	—	—	—	
$v_{60}$ (米/分) $P_z$ (公斤) $N_e$ (千瓦)	2.0	— — —	— — —	— — —	46 164 1.24	38 220 1.37	34 278 1.55	31 330 1.68	28 384 1.76	—	—	
$v_{60}$ (米/分) $P_z$ (公斤) $N_e$ (千瓦)	2.5	— — —	— — —	— — —	44 197 1.42	37 269 1.64	32 338 1.78	29 400 1.91	27 465 2.06	25 530 2.18	—	
$v_{60}$ (米/分) $P_z$ (公斤) $N_e$ (千瓦)	3.0	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	35 316 1.81	31 400 2.04	28 475 2.18	26 550 2.35	24 625 2.46	22 700 2.52

表5 硬质合金 T15K6 車刀車削硬度为  $H_{RC} = 50$  的淬火合金結構

## 鋼时的切削速度、切削力和有效功率

車刀几何参数:  $\alpha = 15^\circ$  (在  $s \leq 0.2$  毫米/轉时),  $\alpha = 10^\circ$  (在  $s > 0.2$  毫米/轉时);  $\gamma = -5^\circ$ ;  $\lambda = 0^\circ$ ;  $\varphi = 45^\circ$ ;  $\varphi_1 = 15^\circ$ ;  $r = 1$  毫米。車刀用碳化硼磨磨。

名 称	切削深度 $f$ (毫米)	走 刀 量 $s$ (毫米/轉)									
		0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50
$v_{60}$ (米/分) $P_z$ (公斤) $N_e$ (千瓦)	0.1	151 4 0.10	112 8 0.15	91 9 0.15	81 12 0.16	73 14 0.17	68 16 0.18	—	—	—	—
$v_{60}$ (米/分) $P_z$ (公斤) $N_e$ (千瓦)	0.2	127 8 0.17	93 12 0.18	77 17 0.21	68 22 0.25	61 26 0.26	56 30 0.28	—	—	—	—
$v_{60}$ (米/分) $P_z$ (公斤) $N_e$ (千瓦)	0.3	114 9 0.17	85 18 0.25	70 24 0.28	62 31 0.32	55 37 0.33	51 42 0.35	—	—	—	—
$v_{60}$ (米/分) $P_z$ (公斤) $N_e$ (千瓦)	0.5	— — —	75 28 0.35	61 39 0.39	54 50 0.44	49 59 0.47	45 68 0.50	42 76 0.52	40 85 0.56	—	—
$v_{60}$ (米/分) $P_z$ (公斤) $N_e$ (千瓦)	0.8	— — —	65 42 0.46	55 59 0.53	48 75 0.59	43 89 0.63	40 102 0.67	37 115 0.70	35 128 0.74	—	—
$v_{60}$ (米/分) $P_z$ (公斤) $N_e$ (千瓦)	1.0	— — —	63 53 0.55	51 74 0.62	45 92 0.68	41 109 0.73	38 124 0.77	35 141 0.81	33 157 0.85	31 174 0.89	30 187 0.92
$v_{60}$ (米/分) $P_z$ (公斤) $N_e$ (千瓦)	1.3	— — —	— — —	48 92 0.73	42 116 0.80	38 136 0.85	36 157 0.93	33 178 0.97	31 198 1.01	29 220 1.05	28 236 1.09
$v_{60}$ (米/分) $P_z$ (公斤) $N_e$ (千瓦)	1.5	— — —	— — —	47 105 0.81	41 132 0.89	37 156 0.95	34 180 1.00	32 203 1.07	30 227 1.12	28 250 1.15	27 270 1.20
$v_{60}$ (米/分) $P_z$ (公斤) $N_e$ (千瓦)	1.8	— — —	— — —	— — —	39 156 1.00	35 184 1.06	33 212 1.15	31 240 1.22	29 267 1.27	27 296 1.31	26 317 1.36
$v_{60}$ (米/分) $P_z$ (公斤) $N_e$ (千瓦)	2.0	— — —	— — —	— — —	37 173 1.05	34 202 1.13	31 233 1.18	30 262 1.29	28 293 1.35	26 326 1.39	25 350 1.44

表6 硬质合金 T15K6 車刀車削硬度为  $H_{RC} = 52$  的淬火合金

## 結構鋼时的切削速度、切削力和有效功率

車刀几何参数:  $\alpha = 15^\circ$  (在  $s \leq 0.2$  毫米/轉时),  $\alpha = 10^\circ$  (在  $s > 0.2$  毫米/轉时);  $\gamma = -5^\circ$ ;  $\lambda = 0^\circ$ ;  $\varphi = 45^\circ$ ;  $\varphi_1 = 15^\circ$ ;  $r = 1$  毫米。車刀用碳化硼磨磨。

名 称	切削深度 (毫米)	走 刀 量 $s$ (毫米/轉)									
		0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50
$v_{60}$ (米/分)	0.1	134	99	81	72	65	60	—	—	—	—
$P_z$ (公斤)		4	8	10	12	15	16	—	—	—	—
$N_e$ (千瓦)		0.09	0.13	0.13	0.14	0.16	0.16	—	—	—	—
$v_{60}$ (米/分)	0.2	112	83	68	60	54	50	—	—	—	—
$P_z$ (公斤)		8	12	18	23	27	32	—	—	—	—
$N_e$ (千瓦)		0.15	0.16	0.20	0.23	0.24	0.26	—	—	—	—
$v_{60}$ (米/分)	0.3	105	75	62	54	49	45	—	—	—	—
$P_z$ (公斤)		10	19	25	33	38	43	—	—	—	—
$N_e$ (千瓦)		0.17	0.23	0.25	0.29	0.31	0.32	—	—	—	—
$v_{60}$ (米/分)	0.5	—	66	55	48	43	40	37	35	—	—
$P_z$ (公斤)		—	29	41	52	62	71	80	89	—	—
$N_e$ (千瓦)		—	0.31	0.37	0.41	0.44	0.47	0.49	0.51	—	—
$v_{60}$ (米/分)	0.8	—	59	48	43	38	35	33	31	—	—
$P_z$ (公斤)		—	44	62	78	93	107	121	135	—	—
$N_e$ (千瓦)		—	0.43	0.49	0.55	0.58	0.62	0.66	0.69	—	—
$v_{60}$ (米/分)	1.0	—	56	46	40	36	34	32	30	28	27
$P_z$ (公斤)		—	55	77	96	114	130	148	165	182	196
$N_e$ (千瓦)		—	0.51	0.58	0.63	0.67	0.73	0.78	0.82	0.84	0.87
$v_{60}$ (米/分)	1.3	—	—	43	37	34	32	29	28	26	25
$P_z$ (公斤)		—	—	96	122	143	164	187	208	230	247
$N_e$ (千瓦)		—	—	0.68	0.74	0.80	0.86	0.89	0.96	0.98	1.01
$v_{60}$ (米/分)	1.5	—	—	41	36	33	30	28	27	25	24
$P_z$ (公斤)		—	—	110	138	163	188	212	237	262	282
$N_e$ (千瓦)		—	—	0.74	0.82	0.88	0.93	0.98	1.05	1.08	1.11
$v_{60}$ (米/分)	1.8	—	—	—	34	31	27	25	24	23	23
$P_z$ (公斤)		—	—	—	163	192	222	250	279	310	332
$N_e$ (千瓦)		—	—	—	0.91	0.98	1.06	1.10	1.15	1.22	1.26
$v_{60}$ (米/分)	2.0	—	—	—	33	30	28	26	24	23	22
$P_z$ (公斤)		—	—	—	181	211	244	274	306	340	366
$N_e$ (千瓦)		—	—	—	0.98	1.04	1.12	1.17	1.21	1.28	1.32

表7 硬质合金T15K6車刀車削硬度为  $H_{RO}=54$  的淬火合金  
結構鋼时的切削速度、切削力和有效功率

車刀几何参数:  $\alpha=15^\circ$  (在  $s \leq 0.2$  毫米/轉时),  $\alpha=10^\circ$  (在  $s > 0.2$  毫米/轉时);  $\gamma=-7^\circ$ ;  $\lambda=0^\circ$ ;  $\varphi=45^\circ$ ;  $\varphi_1=15^\circ$ ;  $r=1$  毫米。車刀用碳化硼膏研磨。

名 称	切削深度 $t$ (毫米)	走 刀 量 $s$ (毫米/轉)									
		0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50
$v_{60}$ (米/分)	0.1	120	89	73	65	58	54	—	—	—	—
$P_z$ (公斤)		4	8	10	14	16	17	—	—	—	—
$N_e$ (千瓦)		0.08	0.12	0.12	0.15	0.15	0.15	—	—	—	—
$v_{60}$ (米/分)	0.2	101	74	61	54	48	45	—	—	—	—
$P_z$ (公斤)		8	14	19	24	28	33	—	—	—	—
$N_e$ (千瓦)		0.13	0.17	0.19	0.21	0.22	0.25	—	—	—	—
$v_{60}$ (米/分)	0.3	91	68	56	49	44	41	—	—	—	—
$P_z$ (公斤)		10	20	26	34	40	46	—	—	—	—
$N_e$ (千瓦)		0.15	0.22	0.24	0.27	0.29	0.31	—	—	—	—
$v_{60}$ (米/分)	0.5	—	60	49	43	38	36	34	32	—	—
$P_z$ (公斤)		—	30	43	54	64	74	82	92	—	—
$N_e$ (千瓦)		—	0.30	0.35	0.38	0.40	0.44	0.46	0.48	—	—
$v_{60}$ (米/分)	0.8	—	53	43	38	34	32	30	28	—	—
$P_z$ (公斤)		—	46	64	81	97	111	125	140	—	—
$N_e$ (千瓦)		—	0.40	0.45	0.51	0.54	0.58	0.62	0.65	—	—
$v_{60}$ (米/分)	1.0	—	50	41	36	32	30	28	26	25	24
$P_z$ (公斤)		—	57	80	100	118	135	154	171	189	203
$N_e$ (千瓦)		—	0.47	0.54	0.59	0.62	0.67	0.71	0.73	0.78	0.80
$v_{60}$ (米/分)	1.3	—	—	38	33	30	28	26	25	24	23
$P_z$ (公斤)		—	—	100	126	148	170	193	216	238	256
$N_e$ (千瓦)		—	—	0.62	0.68	0.73	0.78	0.83	0.89	0.94	0.97
$v_{60}$ (米/分)	1.5	—	—	37	32.5	29	27	25	24	23	22
$P_z$ (公斤)		—	—	114	144	169	195	220	246	272	292
$N_e$ (千瓦)		—	—	0.69	0.77	0.81	0.87	0.91	0.97	1.03	1.06
$v_{60}$ (米/分)	1.8	—	—	—	31	28	26	24.5	23	21.5	20.5
$P_z$ (公斤)		—	—	—	169	199	230	260	290	321	344
$N_e$ (千瓦)		—	—	—	0.86	0.92	0.99	1.05	1.09	1.13	1.16
$v_{60}$ (米/分)	2.0	—	—	—	30	27	25	24	22	21	20.5
$P_z$ (公斤)		—	—	—	187	219	253	284	318	352	380
$N_e$ (千瓦)		—	—	—	0.92	0.97	1.04	1.12	1.15	1.21	1.28

表8 硬质合金T15K6車刀車削硬度为  $H_{RC}=56$  的淬火合金  
結構鋼时的切削速度、切削力和有效功率

車刀几何参数:  $\alpha=15^\circ$  (在  $s \leq 0.2$  毫米/轉时),  $\alpha=10^\circ$  (在  $s > 0.2$  毫米/轉时);  $\gamma=-7^\circ$ ;  $\lambda=0^\circ$ ;  $\varphi=45^\circ$ ;  $\varphi_1=15^\circ$ ;  $r=1$  毫米。車刀用碳化硼磨。

名 称	切削深度 $t$ (毫米)	走 刀 量 $s$ (毫米/轉)									
		0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50
$v_{60}$ (米/分)	0.1	110	82	67	59	53	49	—	—	—	—
$P_z$ (公斤)		4	8	10	13	16	18	—	—	—	—
$N_e$ (千瓦)		0.07	0.11	0.11	0.13	0.14	0.14	—	—	—	—
$v_{60}$ (米/分)	0.2	92	68	56	49	44	41	—	—	—	—
$P_z$ (公斤)		8	13	19	25	30	31	—	—	—	—
$N_e$ (千瓦)		0.12	0.15	0.18	0.20	0.22	0.23	—	—	—	—
$v_{60}$ (米/分)	0.3	83	62	51	44	40	37	—	—	—	—
$P_z$ (公斤)		10	21	27	35	41	47	—	—	—	—
$N_e$ (千瓦)		0.14	0.21	0.23	0.25	0.27	0.29	—	—	—	—
$v_{60}$ (米/分)	0.5	—	55	45	39	35	33	31	29	—	—
$P_z$ (公斤)		—	31	44	56	66	77	85	96	—	—
$N_e$ (千瓦)		—	0.28	0.33	0.36	0.38	0.42	0.43	0.46	—	—
$v_{60}$ (米/分)	0.8	—	48	40	35	31	29	27	25.5	—	—
$P_z$ (公斤)		—	47	66	84	99	115	129	144	—	—
$N_e$ (千瓦)		—	0.37	0.43	0.48	0.51	0.55	0.57	0.60	—	—
$v_{60}$ (米/分)	1.0	—	46	38	33	29	27.5	26	24	23	22
$P_z$ (公斤)		—	59	82	103	122	140	159	176	196	210
$N_e$ (千瓦)		—	0.44	0.51	0.56	0.58	0.63	0.68	0.70	0.74	0.76
$v_{60}$ (米/分)	1.3	—	—	35	30	28	26	24	22.5	21.5	20.5
$P_z$ (公斤)		—	—	103	131	153	176	200	224	247	265
$N_e$ (千瓦)		—	—	0.59	0.65	0.70	0.75	0.79	0.83	0.87	0.89
$v_{60}$ (米/分)	1.5	—	—	34	29.5	26.5	25	23	22	20.5	19.5
$P_z$ (公斤)		—	—	117	148	175	202	228	254	280	303
$N_e$ (千瓦)		—	—	0.65	0.72	0.76	0.83	0.86	0.92	0.94	0.97
$v_{60}$ (米/分)	1.8	—	—	—	28	25.5	23.5	22.5	21	20	19
$P_z$ (公斤)		—	—	—	175	206	238	269	300	332	356
$N_e$ (千瓦)		—	—	—	0.81	0.86	0.92	1.00	1.03	1.09	1.11
$v_{60}$ (米/分)	2.0	—	—	—	27	25	23	22	20	19	18.5
$P_z$ (公斤)		—	—	—	194	226	262	294	328	364	392
$N_e$ (千瓦)		—	—	—	0.86	0.93	0.99	1.06	1.08	1.14	1.19

表9 硬质合金T15K6車刀車削硬度为  $H_{RC}=58$  的淬火合金  
結構鋼时的切削速度、切削力和有效功率

車刀几何参数:  $\alpha=15^\circ$  (在  $s \leq 0.2$  毫米/轉时),  $\alpha=10^\circ$  (在  $s > 0.2$  毫米/轉时);  $\gamma=-7^\circ$ ;  $\lambda=0^\circ$ ;  $\varphi=45^\circ$ ;  $\varphi_1=15^\circ$ ;  $r=1$  毫米。車刀用碳化硼膏研磨。

名 称	切削深度 $t$ (毫米)	走 刀 量 $s$ (毫米/轉)										
		0.05	0.07	0.10	0.12	0.15	0.17	0.20	0.22	0.25	0.27	0.30
$v_{60}$ (米/分)	0.1	99	86	73	67	60	57	53	51	48	46	44.5
$P_z$ (公斤)		5	6	9	11	11	12	14	15	15	17	18
$N_e$ (千瓦)		0.08	0.09	0.11	0.11	0.11	0.11	0.12	0.12	0.12	0.13	0.13
$v_{60}$ (米/分)	0.2	84	74	62	56	51	48	45	42.5	40	38.5	37
$P_z$ (公斤)		9	12	14	17	20	21	26	27	30	32	35
$N_e$ (千瓦)		0.12	0.14	0.14	0.15	0.17	0.17	0.19	0.19	0.20	0.20	0.21
$v_{60}$ (米/分)	0.3	75	65	56	50	46	44	40	38	36	35	33.5
$P_z$ (公斤)		11	15	21	23	27	30	37	38	43	46	49
$N_e$ (千瓦)		0.13	0.16	0.19	0.19	0.20	0.22	0.24	0.24	0.26	0.27	0.27
$v_{60}$ (米/分)	0.4	—	60	51	46	43	40	37	36	34	32	31
$P_z$ (公斤)		—	20	26	30	36	39	47	50	55	59	64
$N_e$ (千瓦)		—	0.20	0.22	0.23	0.25	0.26	0.29	0.29	0.31	0.31	0.33
$v_{60}$ (米/分)	0.5	—	—	49	44	41	38	35	33	32	30.5	29.5
$P_z$ (公斤)		—	—	32	36	45	48	57	60	67	72	79
$N_e$ (千瓦)		—	—	0.26	0.26	0.30	0.30	0.33	0.33	0.35	0.36	0.38
$v_{60}$ (米/分)	0.6	—	—	47	43	39	37	34	32	30	29	28.5
$P_z$ (公斤)		—	—	28	42	53	57	66	71	79	85	91
$N_e$ (千瓦)		—	—	0.29	0.30	0.34	0.35	0.37	0.37	0.39	0.40	0.43
$v_{60}$ (米/分)	0.7	—	—	45	41	38	35	33	31	29.5	28.5	27.5
$P_z$ (公斤)		—	—	44	50	57	66	78	84	90	97	106
$N_e$ (千瓦)		—	—	0.33	0.34	0.36	0.38	0.42	0.43	0.44	0.45	0.48
$v_{60}$ (米/分)	0.8	—	—	44	39	36	34	32	30	28	27	26.5
$P_z$ (公斤)		—	—	49	58	68	76	87	96	107	113	119
$N_e$ (千瓦)		—	—	0.36	0.37	0.40	0.43	0.45	0.47	0.49	0.50	0.52
$v_{60}$ (米/分)	0.9	—	—	43	38.5	35.5	33	30	29	28	27	26
$P_z$ (公斤)		—	—	56	62	76	84	97	103	114	122	132
$N_e$ (千瓦)		—	—	0.39	0.39	0.44	0.45	0.48	0.49	0.53	0.54	0.56
$v_{60}$ (米/分)	1.0	—	—	41.5	37	34	32	30	28	27	26	25
$P_z$ (公斤)		—	—	61	69	85	91	107	114	126	134	144
$N_e$ (千瓦)		—	—	0.42	0.42	0.47	0.48	0.53	0.53	0.56	0.57	0.59

表 10 硬质合金T15K8車刀車削硬度为 $HRC=60$ 的淬火合金  
結構鋼时的切削速度、切削力和有效功率

車刀几何参数： $\alpha=15^\circ$  (在 $s \leq 0.2$ 毫米/轉时)， $\alpha=10^\circ$  (在 $s > 0.2$ 毫米/轉时)； $\gamma=-10^\circ$ ； $\lambda=0^\circ$ ； $\varphi=45^\circ$ ； $\varphi_1=15^\circ$ ； $r=1$ 毫米。車刀用碳化硼膏研磨。

名 称	切削深度 $t$ (毫米)	走 刀 量 $s$ (毫米/轉)										
		0.05	0.07	0.10	0.12	0.15	0.17	0.20	0.22	0.25	0.27	0.30
$v_{60}$ (米/分)	0.1	86	74	64	57	52	49	46	44	41	40	38.5
$P_z$ (公斤)		5	6	10	11	11	13	14	16	16	17	19
$N_e$ (千瓦)		0.07	0.07	0.10	0.10	0.10	0.10	0.11	0.11	0.11	0.11	0.12
$v_{60}$ (米/分)	0.2	72	62	53	45	44	42	38.5	36.5	34.5	33.5	32
$P_z$ (公斤)		10	13	14	17	21	22	27	29	32	33	37
$N_e$ (千瓦)		0.12	0.12	0.12	0.13	0.15	0.15	0.17	0.17	0.18	0.18	0.20
$v_{60}$ (米/分)	0.3	65	56	48	44	40	38	35	33	31	30	29
$P_z$ (公斤)		11	16	27	24	29	32	38	40	44	47	51
$N_e$ (千瓦)		0.12	0.15	0.17	0.17	0.19	0.20	0.22	0.22	0.23	0.23	0.25
$v_{60}$ (米/分)	0.4	—	52	45	40	37	35	32	31	29	28	27
$P_z$ (公斤)		—	21	27	32	38	41	49	52	57	62	67
$N_e$ (千瓦)		—	0.18	0.20	0.21	0.23	0.24	0.26	0.27	0.27	0.29	0.30
$v_{60}$ (米/分)	0.5	—	—	42	38	35	33	31	29	28	26.5	25.5
$P_z$ (公斤)		—	—	33	38	48	51	60	63	70	74	82
$N_e$ (千瓦)		—	—	0.23	0.24	0.28	0.28	0.30	0.30	0.32	0.32	0.34
$v_{60}$ (米/分)	0.6	—	—	40	37	34	31	29	28	26	25	24.5
$P_z$ (公斤)		—	—	40	44	55	60	70	74	82	89	95
$N_e$ (千瓦)		—	—	0.26	0.27	0.31	0.31	0.33	0.34	0.35	0.37	0.38
$v_{60}$ (米/分)	0.7	—	—	39	35	33	30.5	28	27	25.5	24.5	24
$P_z$ (公斤)		—	—	46	52	60	70	81	87	95	102	111
$N_e$ (千瓦)		—	—	0.30	0.30	0.32	0.35	0.37	0.38	0.40	0.41	0.44
$v_{60}$ (米/分)	0.8	—	—	38	34	31	29	27	26	24	23.5	23
$P_z$ (公斤)		—	—	51	60	71	81	90	100	111	117	124
$N_e$ (千瓦)		—	—	0.32	0.34	0.36	0.39	0.40	0.43	0.44	0.45	0.47
$v_{60}$ (米/分)	0.9	—	—	37	33	30.5	28.5	26	25	23.5	23	22.5
$P_z$ (公斤)		—	—	59	65	79	87	101	108	118	126	137
$N_e$ (千瓦)		—	—	0.35	0.35	0.39	0.41	0.43	0.44	0.45	0.48	0.51
$v_{60}$ (米/分)	1.0	—	—	36	32	29	28	25.5	24.5	23	22.5	21.5
$P_z$ (公斤)		—	—	63	71	89	95	111	119	131	139	150
$N_e$ (千瓦)		—	—	0.37	0.37	0.42	0.44	0.46	0.48	0.50	0.52	0.53



表 11 硬质合金T15K6車刀車削硬度为 $H_{RC}=62$ 的淬火合金  
結構鋼时的切削速度、切削力和有效功率

車刀几何参数： $\alpha=15^\circ$ （在 $s \leq 0.2$ 毫米/轉时）， $\alpha=10^\circ$ （在 $s > 0.2$ 毫米/轉时）； $\gamma=-10^\circ$ ； $\lambda=0^\circ$ ； $\varphi=45^\circ$ ， $\varphi_1=15^\circ$ ； $r=1$ 毫米。車刀用碳化硼磨磨。

名 称	切削深度 $t$ (毫米)	走 刀 量 $s$ (毫米/轉)										
		0.05	0.07	0.10	0.12	0.15	0.17	0.20	0.22	0.25	0.27	0.30
$v_{60}$ (米/分)	0.1	48	42	36	32	29	28	26	24.5	23	22	21.5
$P_z$ (公斤)		5	7	10	12	12	14	16	17	17	19	21
$N_e$ (千瓦)		0.04	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08
$v_{60}$ (米/分)	0.2	41	35	30	27	24.5	23	22	20.5	19.5	18.5	17.5
$P_z$ (公斤)		10	14	16	19	23	24	30	31	35	37	40
$N_e$ (千瓦)		0.07	0.08	0.08	0.08	0.09	0.09	0.11	0.11	0.11	0.11	0.12
$v_{60}$ (米/分)	0.3	36	31.5	27	24	22	21	19.5	18.5	17.5	17	16
$P_z$ (公斤)		12	17	24	26	31	35	42	43	49	52	56
$N_e$ (千瓦)		0.07	0.09	0.10	0.10	0.11	0.12	0.13	0.13	0.14	0.15	0.15
$v_{60}$ (米/分)	0.4	—	29	25	22.5	21	19.5	18	17	16	15.5	15
$P_z$ (公斤)		—	23	30	35	42	45	54	57	62	68	73
$N_e$ (千瓦)		—	0.11	0.12	0.13	0.14	0.14	0.16	0.16	0.16	0.17	0.18
$v_{60}$ (米/分)	0.5	—	—	24	21.5	19.5	18.5	17	16	15.5	15	14
$P_z$ (公斤)		—	—	37	43	52	55	66	69	76	82	90
$N_e$ (千瓦)		—	—	0.15	0.15	0.16	0.17	0.18	0.18	0.19	0.20	0.21
$v_{60}$ (米/分)	0.6	—	—	22.5	20.5	19	17.5	16	15.5	14.5	14	13.5
$P_z$ (公斤)		—	—	43	49	61	66	76	81	90	97	104
$N_e$ (千瓦)		—	—	0.16	0.16	0.19	0.19	0.20	0.21	0.21	0.22	0.23
$v_{60}$ (米/分)	0.7	—	—	22	20	18.5	17	15.5	15	14	13.5	13
$P_z$ (公斤)		—	—	50	57	66	76	88	95	104	111	121
$N_e$ (千瓦)		—	—	0.18	0.19	0.20	0.21	0.22	0.23	0.24	0.25	0.26
$v_{60}$ (米/分)	0.8	—	—	21	19	17.5	16.5	15	14.5	13.5	13	12.5
$P_z$ (公斤)		—	—	55	66	78	88	99	109	121	128	135
$N_e$ (千瓦)		—	—	0.19	0.21	0.22	0.24	0.24	0.26	0.27	0.27	0.28
$v_{60}$ (米/分)	0.9	—	—	20.5	18.5	17	16	14.5	14	13	12.5	12
$P_z$ (公斤)		—	—	64	71	87	95	111	118	130	138	150
$N_e$ (千瓦)		—	—	0.22	0.22	0.24	0.25	0.26	0.27	0.28	0.28	0.30
$v_{60}$ (米/分)	1.0	—	—	20	18	16.5	15.5	14	13.5	13	12.5	12
$P_z$ (公斤)		—	—	69	78	97	104	121	130	144	152	164
$N_e$ (千瓦)		—	—	0.23	0.23	0.26	0.26	0.28	0.29	0.31	0.31	0.32

表 12 硬质合金T15K6車刀車削硬度为 $H_{RC}=65$ 的淬火合金  
结构鋼时的切削速度、切削力和有效功率

車刀几何参数:  $\alpha=15^\circ$  (在 $s \leq 0.2$ 毫米/轉时),  $\alpha=10^\circ$  (在 $s > 0.2$ 毫米/轉时);  $\gamma=-10^\circ$ ;  $\lambda=0^\circ$ ;  $\varphi=45^\circ$ ;  $\varphi_1=15^\circ$ ;  $r=1$ 毫米。車刀用碳化硼磨研。

名 称	切削深度 $t$ (毫米)	走 刀 量 $s$ (毫米/轉)										
		0.05	0.07	0.10	0.12	0.15	0.17	0.20	0.22	0.25	0.27	0.30
$v_{60}$ (米/分) $P_z$ (公斤) $N_e$ (千瓦)	0.1	19.2 6 0.02	16.6 8 0.02	14.2 12 0.03	12.9 14 0.03	11.7 14 0.03	11.1 16 0.03	10.3 18 0.03	9.7 20 0.03	9.3 20 0.03	8.9 22 0.03	8.6 24 0.03
$v_{60}$ (米/分) $P_z$ (公斤) $N_e$ (千瓦)	0.2	16.2 12 0.03	14.0 16 0.04	11.9 18 0.04	10.8 22 0.04	9.8 26 0.04	9.3 28 0.04	8.6 34 0.05	8.2 36 0.05	7.7 40 0.05	7.4 42 0.05	7.1 46 0.05
$v_{60}$ (米/分) $P_z$ (公斤) $N_e$ (千瓦)	0.3	14.5 14 0.03	12.5 20 0.04	10.8 28 0.05	9.7 30 0.05	8.9 36 0.05	8.4 40 0.06	7.8 48 0.06	7.4 50 0.06	7.0 56 0.06	6.7 60 0.07	6.5 64 0.07
$v_{60}$ (米/分) $P_z$ (公斤) $N_e$ (千瓦)	0.4	— — —	11.6 26 0.05	10.0 34 0.06	9.0 40 0.06	8.3 48 0.07	7.9 52 0.07	7.1 62 0.07	6.9 66 0.08	6.5 72 0.08	6.2 78 0.08	6.0 84 0.08
$v_{60}$ (米/分) $P_z$ (公斤) $N_e$ (千瓦)	0.5	— — —	— — —	9.5 42 0.07	8.5 48 0.07	7.8 60 0.08	7.4 64 0.08	6.8 76 0.09	6.5 80 0.09	6.2 88 0.09	5.9 94 0.09	5.7 104 0.10
$v_{60}$ (米/分) $P_z$ (公斤) $N_e$ (千瓦)	0.6	— — —	— — —	9.0 50 0.08	8.2 56 0.08	7.6 70 0.09	7.1 76 0.09	6.5 88 0.09	6.2 94 0.10	5.9 104 0.10	5.6 112 0.10	5.5 120 0.11
$v_{60}$ (米/分) $P_z$ (公斤) $N_e$ (千瓦)	0.7	— — —	— — —	8.8 58 0.08	7.9 66 0.09	7.3 76 0.09	6.8 88 0.10	6.3 102 0.10	6.0 110 0.11	5.7 120 0.11	5.5 128 0.12	5.3 140 0.12
$v_{60}$ (米/分) $P_z$ (公斤) $N_e$ (千瓦)	0.8	— — —	— — —	8.4 64 0.09	7.6 76 0.09	7.0 90 0.10	6.6 102 0.11	6.1 114 0.11	5.8 126 0.12	5.5 140 0.13	5.3 148 0.13	5.1 156 0.13
$v_{60}$ (米/分) $P_z$ (公斤) $N_e$ (千瓦)	0.9	— — —	— — —	8.2 74 0.10	7.4 82 0.10	6.9 100 0.11	6.5 110 0.12	5.9 128 0.12	5.6 136 0.13	5.3 150 0.13	5.1 160 0.13	5.0 174 0.14
$v_{60}$ (米/分) $P_z$ (公斤) $N_e$ (千瓦)	1.0	— — —	— — —	8.0 80 0.10	7.2 90 0.11	6.6 112 0.12	6.2 120 0.12	5.7 140 0.13	5.5 150 0.13	5.2 166 0.14	5.0 176 0.14	4.8 190 0.15

## 对于切削用量的说明

表1~12中所列切削速度是根据公式(5)和(7)计算出来的。

$Cv_{60}$ 值列举在第152页上。我们采取： $x_v=0.25$ ； $y_v=0.45$ ；对于硬度为 $H_{RC} \leq 60$ 的钢， $n_v=3$ ；对于硬度为 $H_{RC} > 60$ 的钢， $n_v=19$ 。

切削速度属于车刀耐用度 $T=60$ 分钟，并且属于最广泛地应用于车削钢的硬质合金T15K6车刀。

在与表1~12所示不同的工作条件下，切削速度 $v_{60}$ 应当乘以修正系数 $K_T$ 、 $K_u$ 、 $K_\phi$ 、 $K_\alpha$ 和 $K_r$ ，借以考虑其他车刀耐用度(表13)、其他硬质合金牌号(表14)、角 $\phi$ 值的变化(表15)、角 $\alpha$ 值的变化(表16)和半径 $r$ 值的变化(表17)。

因此，所要计算的切削速度是由下列等式来确定：

$$v = v_{60} \cdot K_T \cdot K_u \cdot K_\phi \cdot K_\alpha \cdot K_r \text{ 米/分。}$$

表13 修正系数 $K_T$ 与车刀耐用度的关系

相对耐用 度指数 $m$	车刀耐用度 $T$ (分)									
	10	20	30	40	60	90	120	150	180	240
	系数 $K_T$ 值									
0.20	1.43	1.24	1.15	1.08	1.00	0.92	0.86	0.82	0.80	0.75
0.125	1.25	1.14	1.09	1.05	1.00	0.95	0.91	0.88	0.86	0.84
0.10	1.19	1.11	1.06	1.04	1.00	0.96	0.93	0.91	0.90	0.87
0.07	1.13	1.08	1.05	1.03	1.00	0.97	0.95	0.94	0.92	0.91

表14 修正系数 $K_u$ 与车刀用硬质合金牌号的关系

硬质合金牌号	系数 $K_u$ 值
T30K4	1.30
T15K6	1.00
BK2	0.88
BK3	0.88
BK6	0.68
T5K10	0.65
BK8	0.65

表15 修正系数 $K_\phi$ 与主偏角值的关系

车刀的主偏角 $\phi^\circ$	系数 $K_\phi$ 值
15	1.22
30	1.07
45	1.00
60	0.96
75	0.94
90	0.93

表 16 修正系数  $K_\alpha$  与車刀后角值的关系

車刀的后角 $\alpha^\circ$	$s \leq 0.2$ 毫米/轉	$s > 0.2$ 毫米/轉
	系 数	$K_\alpha$ 值
15	1.00	—
10	0.91	1.00
6	0.87	0.95

表 17 修正系数  $K_r$  与車刀刀尖圓角半徑值的关系

車刀刀尖的圓角半徑 $r$ (毫米)	系 数	$K_r$ 值
0.5		0.95
1.0		1.00
2.0		1.07

沿氧化皮进行加工时，应将选得的切削速度乘以系数0.75。

切削力是根据公式(1)和(2)确定出来的。

我們采取：对于硬度为  $H_{R_c} = 38 \sim 60$  的鋼， $n_{p_2} = 1.0$ ；对于硬度为  $H_{R_c} > 60$  的鋼， $n_{p_2} = 3.0$ 。

有效功率是根据公式(6)計算出来的。

对于不同硬度的淬火鋼所采取系数  $C_N$  值，列举在第152頁上。

切削用量表中所列切削力属于「鋒利的」切削刃、或沒有显著变鈍的車刀的。随着車刀的逐漸磨損，切削力就会增大。与切削开始时相比，在刀具正常磨鈍时切削力大約增大到一倍半的数值。因而有效功率也就相应地比表中数据增大50%。

### 对选择切削用量的提示

在車削淬火鋼时，就象在用硬质合金刀具加工未淬火鋼时一样来进行切削用量的选择<sup>[27]</sup>。

加工余量是取决于前一工序的机械加工誤差以及零件由于淬火而产生的变形(翹曲)。余量应当留得尽可能地小，但是淬火合金鋼零件的加工余量往往达到5~6毫米或更大(沿直徑的加工余量)。

应当力求采用尽可能大的切削深度来工作。在余量較大时，对于第一次粗加工行程來說，应当这样来选择切削深度，以求使得在热处理后遺留

在零件表面上的氧化皮就在这次加工行程中被切除。在实行精加工工作时，应当采用切削深度 $t=0.2\sim 0.3$ 毫米来完成精加工行程。

为了缩短机动时间，最好是采用尽可能大的走刀量来工作。工艺上允许的走刀量是根据给定的已加工表面光洁度和尺寸精度、以及机床-零件-刀具系统的刚度来选择。

在车削淬火钢时，采用比较小的走刀量。选择适当的设备，这是有重大意义的。机床必须有足够的刚度，车刀必须有可靠的固定。车刀的悬出量(外伸量)应当尽可能地小，以免发生振动。车刀固定在机床上时，应当使得刀尖位于顶针线的水平上或比顶针线稍低于 $0.01$ 被加工零件直径的数值。

不论是精加工行程用的或粗加工行程用的车刀，都必定要经过研磨。

在切削速度 $v=60$ 米/分或更高时，应当采用断屑器。

在车削淬火零件时是切下较小截面的切屑，因而所需机床功率是比较不大的。从切削用量表可以看出，对于广泛应用的切削深度和走刀量来说，有效功率是处在 $N_e=1.0\sim 2.0$ 千瓦的水平上<sup>①</sup>。可是由于必须在保证机床-零件-刀具系统拥有较高刚度的情况下进行加工，这就决定着要利用功率不低于7千瓦的车床来车削淬火零件。

甚至在比较不高的切削速度下工作时，机床也是必须装备着迴转式后顶针的。

淬火钢的车削是属于精加工过程，这时需要得到较高的表面质量。因此，以后的几次走刀行程应当在很小的走刀量下进行，以求得到符合于粗磨光洁度的表面，而在许多情况下甚至得到符合于精磨光洁度的表面。对于基本的走刀行程来说，走刀量是根据被加工材料的硬度来选择：硬度愈高，走刀量就应该愈小。

但是应当注意到，在较大的走刀量下，在硬度较大的淬火钢上比在硬度较小的钢上可以得出较高等级的表面光洁度。

根据所选定切削深度和走刀量的数值，就可在切削用量表中找到相应的切削速度。

车削淬火钢时一般不施用冷却液。

在加工有氧化皮的钢零件时，应当采用装备硬质合金 BK8、BK6 和 TSK10 的车刀。

①机床传动需用功率 $N$ 超过有效功率 $N_e$ 。将 $N_e$ 除以机床真实效率 $\eta$ ，就可得出需用功率：

$$N = \frac{N_e}{\eta}$$

系数 $\eta$ 永远小于1；对于车床来说，实际上可以采取 $\eta=0.75$ 。

表1 硬质合金 T15K6 銑刀进行硬度为  $H_{RC}=38$  的淬火合金结构銑刀切削部分的几何参数:  $\alpha=15^\circ$ ,

D	z	B	$s_z$	切 削 深							
				1				2			
				v	n	$s_M$	$N_e$	v	n	$s_M$	$N_e$
75	4	45	0.09	159	680	245	1.15	134	570	205	1.95
			0.07	174	740	208	1.00	146	620	174	1.70
			0.05	190	805	161	0.85	159	680	136	1.40
			0.03	222	940	113	0.65	186	790	95	1.10
90	6	54	0.09	159	560	303	1.70	134	475	257	2.95
			0.07	174	620	262	1.50	146	520	219	2.60
			0.05	190	670	202	1.25	159	560	168	2.10
			0.03	222	785	141	0.95	186	660	120	1.60
110	8	66	0.09	159	460	332	2.25	134	390	280	3.90
			0.07	174	505	284	2.05	146	420	236	3.45
			0.05	190	550	220	1.70	159	450	184	2.85
			0.03	222	640	154	1.30	186	510	130	2.15
130	8	78	0.09	159	390	270	2.25	134	325	233	3.90
			0.07	174	425	239	2.05	146	355	199	3.45
			0.05	190	460	184	1.70	159	390	156	2.85
			0.03	222	540	130	1.30	186	450	108	2.15
150	10	90	0.09	159	340	306	2.80	134	285	256	4.90
			0.07	174	370	260	2.55	146	310	216	4.30
			0.05	190	400	200	2.10	159	340	170	3.55
			0.03	222	470	141	1.60	186	400	120	2.70
200	10	120	0.09	159	250	225	2.80	134	215	194	4.90
			0.07	174	280	196	2.55	146	235	165	4.30
			0.05	190	300	150	2.10	159	250	125	3.55
			0.03	222	350	105	1.60	186	300	90	2.70
250	12	150	0.09	159	200	216	3.40	134	170	183	5.90
			0.07	174	220	185	3.05	146	185	156	5.15
			0.05	190	240	144	2.50	159	200	120	4.25
			0.03	222	305	110	1.90	186	235	84	3.25

$D$ —銑刀直徑(毫米);  $z$ —銑刀齿数;  $B$ —銑削寬度(毫米);  $s_z$ —銑刀每齿走刀数;  $s_M$ —每分钟走刀量(毫米/分);  $N_e$ —有效功率(千瓦)。

对于銑刀工作条件变化的修正系数列举在表7~11中以及第384和386頁上。

## 附录 II

鋼的端銑时的切削速度、每分钟走刀量和有效功率。  $\frac{B}{D}=0.6$

$\gamma = -5^\circ$ ,  $\lambda = 15^\circ$ ,  $\varphi = 60^\circ$ ,  $\varphi_1 = 5^\circ$

度 t (毫米)							
3				4			
v	n	$s_M$	$N_e$	v	n	$s_M$	$N_e$
121	510	184	2.65	113	480	173	3.35
132	560	157	2.35	123	525	147	2.95
143	610	123	1.25	135	575	116	2.45
168	710	85	1.50	158	670	80	1.85
121	425	230	4.00	113	400	216	5.05
132	465	197	3.55	123	440	186	4.45
143	510	153	2.90	135	480	144	3.70
168	595	106	2.25	158	555	99	2.80
121	350	252	5.35	113	325	234	6.70
132	380	214	4.70	123	360	202	5.90
143	410	164	3.90	135	390	156	4.90
168	485	118	3.00	158	450	108	3.70
121	300	216	5.35	113	275	199	6.70
127	320	178	4.70	123	305	170	5.90
147	350	140	3.90	135	330	132	4.90
168	410	99	3.00	158	380	92	3.70
121	255	230	6.70	113	240	216	8.40
132	260	197	5.90	123	265	187	7.40
143	305	153	4.85	135	290	145	6.10
168	360	108	3.75	158	335	102	4.65
121	195	175	6.70	113	180	163	8.40
132	210	148	5.90	123	195	136	7.40
143	230	115	4.85	135	215	118	6.10
168	270	81	3.75	158	250	75	4.65
121	155	168	8.00	113	140	152	10.00
132	165	140	7.10	123	155	131	8.90
143	185	111	5.80	135	170	102	7.35
168	215	78	4.50	158	200	72	5.55

量(毫米/齿); v—銑刀耐用度  $T=300$ 分钟下的切削速度(米/分); n—銑刀每分钟轉

表2 硬质合金 T15K6 铣刀进行硬度为  $H_{RC}=44$  的淬火合金结构铣刀切削部分的几何参数:  $\alpha=15^\circ$ ,

D	z	B	$s_z$	切 削 深							
				1				2			
				v	n	$s_M$	$N_e$	v	n	$s_M$	$N_e$
75	4	45	0.09	116	495	179	1.05	98	415	151	1.75
			0.07	127	540	152	0.90	107	455	127	1.55
			0.05	139	585	118	0.75	116	495	100	1.25
			0.03	162	685	83	0.60	136	575	70	1.00
90	6	54	0.09	116	410	222	1.55	98	350	187	2.70
			0.07	127	450	190	1.40	107	380	159	2.35
			0.05	139	490	147	1.15	116	410	123	2.00
			0.03	162	575	103	0.85	136	480	87	1.45
110	8	66	0.09	116	335	242	2.05	98	285	204	3.55
			0.07	127	370	208	1.85	107	310	172	3.15
			0.05	139	400	160	1.55	116	335	134	2.60
			0.03	162	470	112	1.15	136	395	94	1.95
130	8	78	0.09	116	285	205	2.05	98	240	173	3.55
			0.07	127	310	175	1.85	107	260	146	3.15
			0.05	139	335	135	1.55	116	285	113	2.60
			0.03	162	395	95	1.15	136	330	79	1.95
150	10	90	0.09	116	250	223	2.55	98	210	188	4.45
			0.07	127	270	190	2.30	107	225	158	3.90
			0.05	139	290	147	1.90	116	250	125	3.25
			0.03	162	340	103	1.45	136	290	88	2.45
200	10	120	0.09	116	185	165	2.55	98	155	141	4.45
			0.07	127	205	144	2.30	107	170	121	3.90
			0.05	139	220	110	1.90	116	185	91	3.25
			0.03	162	255	71	1.45	136	220	66	2.45
250	12	150	0.09	116	145	158	3.10	98	125	134	5.35
			0.07	127	160	135	2.80	107	135	114	4.70
			0.05	139	175	105	2.30	116	145	89	3.90
			0.03	162	220	80	1.75	136	170	62	2.95

符号和修正系数的说明见表1。



鋼的端銑時的切削速度、每分鐘走刀量和有效功率。  $\frac{B}{D}=0.6$

$\gamma=-5^\circ$ ;  $\lambda=15^\circ$ ;  $\varphi=60^\circ$ ;  $\varphi_1=5^\circ$

度 t (毫米)							
3				4			
v	n	$s_M$	$N_e$	v	n	$s_M$	$N_e$
88	370	135	2.40	83	350	127	3.05
97	410	115	2.15	90	385	106	2.70
104	445	90	1.75	99	420	84	2.20
123	520	63	1.35	115	490	59	1.70
88	310	168	3.65	83	290	157	4.60
97	340	142	3.20	90	320	136	4.05
104	370	112	2.65	99	350	105	3.35
123	435	78	2.05	115	405	72	2.55
88	255	184	4.85	83	240	170	6.10
97	280	156	4.20	90	260	148	5.35
104	300	120	3.55	99	285	114	4.45
123	355	86	2.70	115	330	78	3.35
88	220	157	4.85	83	200	145	6.10
97	230	131	4.20	90	225	124	5.35
104	255	103	3.55	99	240	96	4.45
123	300	72	2.70	115	280	67	3.35
88	185	168	6.10	83	175	158	7.65
97	205	143	5.35	90	195	137	6.75
104	220	112	4.40	99	210	107	5.55
123	260	80	3.40	115	245	75	4.25
88	140	128	6.10	83	130	119	7.65
97	155	107	5.35	90	140	100	6.75
104	170	84	4.40	99	155	79	5.55
123	200	60	3.40	115	185	55	4.25
88	115	123	7.30	83	100	111	9.10
97	120	102	6.45	90	115	96	8.10
104	135	81	5.25	99	125	75	6.70
123	155	57	4.10	115	145	53	5.05

表3 硬质合金 T15K6 铣刀进行硬度为  $H_{RC}=49$  的淬火合金结构铣刀切削部分的几何参数:  $\alpha=15^\circ$ ;

D	z	B	$s_z$	切 削 深							
				1				2			
				v	n	$s_M$	$N_e$	v	n	$s_M$	$N_e$
75	4	45	0.09	89	378	136	0.95	75	318	115	1.60
			0.07	97	412	115	0.80	82	348	98	1.40
			0.05	106	450	90	0.70	89	378	76	1.15
			0.03	124	525	63	0.55	104	440	54	0.90
90	6	54	0.09	89	315	170	1.30	75	265	143	2.40
			0.07	97	342	145	1.20	82	290	121	2.10
			0.05	106	375	113	1.00	89	315	95	1.70
			0.03	124	438	78	0.75	104	368	66	1.30
110	8	66	0.09	89	258	156	1.85	75	216	156	3.15
			0.07	97	280	156	1.65	82	237	132	2.80
			0.05	106	306	122	1.40	89	258	104	2.30
			0.03	124	359	86	1.05	104	300	72	1.75
130	8	78	0.09	89	232	157	1.85	75	183	132	3.15
			0.07	97	238	133	1.65	82	200	112	2.80
			0.05	106	260	104	1.40	89	218	88	2.30
			0.03	124	304	73	1.05	104	255	61	1.75
150	10	90	0.09	89	189	170	2.30	75	159	143	4.00
			0.07	97	206	145	2.10	82	174	122	3.50
			0.05	106	225	113	1.70	89	189	95	2.90
			0.03	124	264	80	1.30	104	222	67	2.20
200	10	120	0.09	89	141	127	2.30	75	119	107	4.00
			0.07	97	154	107	2.10	82	130	91	3.50
			0.05	106	168	84	1.70	89	141	71	2.90
			0.03	124	197	59	1.30	104	165	50	2.20
250	12	150	0.09	89	113	121	2.75	75	95	102	4.80
			0.07	97	123	104	2.50	82	104	87	4.20
			0.05	106	135	81	2.00	89	113	67	3.45
			0.03	124	158	57	1.55	104	132	48	2.65

符号和修正系数的说明见表1。

鋼的端銑時的切削速度、每分鐘走刀量和有效功率。  $\frac{B}{D}=0.6$

$\gamma=-10^\circ$ ;  $\lambda=15^\circ$ ;  $\varphi=60^\circ$ ;  $\varphi_1=5^\circ$

度 $t$ (毫米)							
3				4			
$v$	$n$	$s_M$	$N_e$	$v$	$n$	$s_M$	$N_e$
68	289	104	2.15	63	267	96	2.70
74	313	88	1.90	69	292	82	2.40
80	340	68	1.60	76	322	64	2.00
94	400	48	1.20	89	378	45	1.50
68	240	129	3.25	63	222	121	4.10
74	262	110	2.90	69	244	102	3.60
80	282	84	2.35	76	268	81	3.00
94	332	60	1.85	89	315	48	2.30
68	197	142	4.35	63	182	130	5.45
74	214	120	3.80	69	198	110	4.80
80	231	92	3.15	76	220	88	4.00
94	272	66	2.45	89	258	62	3.00
68	166	120	4.35	63	154	111	5.45
74	181	102	3.80	69	169	95	4.80
80	196	79	3.15	76	186	75	4.00
94	230	56	2.45	89	218	52	3.00
68	144	130	5.45	63	133	120	6.80
74	157	110	4.80	69	146	102	6.00
80	170	85	3.95	76	162	82	4.95
94	200	60	3.05	89	189	57	3.80
68	108	97	5.45	63	100	90	6.80
74	118	83	4.80	69	109	76	6.00
80	127	64	3.95	76	121	60	4.95
94	149	45	3.05	89	141	43	3.80
68	87	95	6.50	63	80	87	8.10
74	94	79	5.75	69	88	74	7.20
80	102	62	4.70	76	96	57	5.95
94	119	44	3.65	89	113	41	4.50

表4 硬质合金 T15K6 銑刀进行硬度为  $H_{RC}=54$  的淬火合金结构銑刀切削部分的几何参数:  $\alpha=20^\circ$ ,

D	z	B	$s_z$	切 削 深							
				1				2			
				v	n	$s_M$	$N_e$	v	n	$s_M$	$N_e$
75	4	45	0.09	71	303	109	0.85	60	255	92	1.40
			0.07	78	332	93	0.73	66	280	79	1.25
			0.05	85	362	73	0.62	71	303	61	1.00
			0.03	101	430	52	0.48	84	358	43	0.80
90	6	54	0.09	71	252	136	1.25	60	213	115	2.15
			0.07	78	276	115	1.10	66	234	98	1.90
			0.05	85	301	90	0.90	71	252	76	1.55
			0.03	101	358	65	0.70	84	298	54	1.15
110	8	66	0.09	71	205	148	1.65	60	173	125	2.85
			0.07	78	225	126	1.50	66	190	106	2.50
			0.05	85	245	98	1.25	71	205	82	2.10
			0.03	101	292	70	0.95	84	242	58	1.55
130	8	78	0.09	71	174	125	1.65	60	147	106	2.85
			0.07	78	191	107	1.50	66	161	90	2.50
			0.05	85	208	83	1.25	71	174	69	2.10
			0.03	101	248	59	0.95	84	206	49	1.55
150	10	90	0.09	71	151	136	2.05	60	127	114	3.60
			0.07	78	166	116	1.85	66	140	98	3.15
			0.05	85	181	91	1.55	71	151	77	2.60
			0.03	101	215	64	1.15	84	179	53	2.00
200	10	120	0.09	71	113	102	2.05	60	96	86	3.60
			0.07	78	124	87	1.85	66	105	74	3.15
			0.05	85	135	67	1.55	71	113	56	2.60
			0.03	101	161	49	1.15	84	134	40	2.00
250	12	150	0.09	71	90	98	2.50	60	77	84	4.30
			0.07	78	100	84	2.25	66	84	70	3.75
			0.05	85	108	65	1.85	71	90	54	3.10
			0.03	101	128	47	1.40	84	107	39	2.40

符号和修正系数的说明见表1。

鋼的端銑時的切削速度、每分鐘走刀量和有效功率。 $\frac{B}{D}=0.6$

$\gamma=-10^\circ$ ,  $\lambda=15^\circ$ ,  $\varphi=60^\circ$ ,  $\varphi_1=5^\circ$

度 t (毫米)							
3				4			
v	n	$s_M$	$N_e$	v	n	$s_M$	$N_e$
55	234	84	1.95	51	256	77	2.45
60	255	72	1.70	55	234	65	2.15
64	272	55	1.40	61	260	52	1.80
76	323	39	1.10	71	303	37	1.35
55	195	105	2.90	51	181	97	3.70
60	213	89	2.60	55	195	82	3.25
64	227	68	2.10	61	216	65	2.70
76	270	49	1.65	71	252	45	2.05
55	159	114	3.90	51	147	106	4.90
60	173	97	3.45	55	159	89	4.30
64	185	74	2.85	61	176	70	3.60
76	220	53	2.20	71	205	49	2.70
55	135	97	3.90	51	125	90	4.90
60	147	82	3.45	55	135	76	4.30
64	157	63	2.85	61	149	60	3.60
76	186	45	2.20	71	174	41	2.70
55	117	105	4.90	51	108	98	6.15
60	127	89	4.30	55	117	83	5.40
64	136	68	3.55	61	129	64	4.45
76	162	48	2.75	71	151	45	3.40
55	88	80	4.90	51	81	73	6.15
60	96	68	4.30	55	88	61	5.40
64	101	51	3.55	61	97	49	4.45
76	121	36	2.75	71	113	34	3.40
55	70	76	5.85	51	65	70	7.30
60	77	65	5.20	55	70	60	6.50
64	82	49	4.25	61	77	46	5.35
76	97	35	3.30	71	90	33	4.05

表5 硬质合金 T15K6 铣刀进行硬度为  $H_{RC} = 58$  的淬火合金结构铣刀切削部分的几何参数:  $\alpha = 20^\circ$ ,

D	z	B	s <sub>z</sub>	切 削 深							
				1				2			
				v	n	s <sub>M</sub>	N <sub>e</sub>	v	n	s <sub>M</sub>	N <sub>e</sub>
75	4	45	0.09	57	242	87	0.80	48	204	73	1.35
			0.07	63	268	75	0.69	53	225	63	1.15
			0.05	68	288	58	0.59	57	242	48	0.97
			0.03	80	340	41	0.45	67	285	34	0.76
90	6	54	0.09	57	202	110	1.15	48	170	91	2.00
			0.07	63	223	93	1.05	53	188	79	1.80
			0.05	68	241	72	0.86	57	202	61	1.45
			0.03	80	284	51	0.66	67	237	43	1.10
110	8	66	0.09	57	165	119	1.55	48	138	100	2.70
			0.07	63	182	102	1.40	53	153	86	2.40
			0.05	68	196	78	1.15	57	165	66	1.95
			0.03	80	231	56	0.90	67	193	46	1.50
130	8	78	0.09	57	140	101	1.55	48	118	85	2.70
			0.07	63	154	87	1.40	53	130	73	2.40
			0.05	68	166	67	1.15	57	140	56	1.95
			0.03	80	196	47	0.90	67	164	40	1.50
150	10	90	0.09	57	121	87	1.95	48	102	74	3.40
			0.07	63	134	75	1.75	53	112	63	2.95
			0.05	68	145	58	1.45	57	121	49	2.45
			0.03	80	170	41	1.10	67	142	34	1.85
200	10	120	0.09	57	91	83	1.95	48	77	70	3.40
			0.07	63	100	70	1.75	53	84	59	2.95
			0.05	68	108	54	1.45	57	91	46	2.45
			0.03	80	127	38	1.10	67	107	33	1.85
250	12	150	0.09	57	73	79	2.35	48	61	66	4.05
			0.07	63	80	69	2.10	53	67	57	3.55
			0.05	68	87	53	1.70	57	73	44	2.95
			0.03	80	102	37	1.30	67	85	31	2.25

符号和修正系数的说明见表1。

鋼的端銑時的切削速度、每分鐘走刀量和有效功率。  $\frac{B}{D} = 0.6$

$\gamma = -15^\circ$ ,  $\lambda = 15^\circ$ ,  $\varphi = 60^\circ$ ,  $\varphi_1 = 5^\circ$

度		t (毫米)					
3				4			
v	n	$s_M$	$N_e$	v	n	$s_M$	$N_e$
44	187	67	1.85	41	174	63	2.30
48	204	57	1.60	44	187	53	2.05
52	221	44	1.35	49	208	41	1.70
61	260	31	1.05	57	242	29	1.30
44	156	78	2.75	41	145	78	3.50
48	170	72	2.45	44	156	66	3.10
52	184	55	2.00	49	174	53	2.55
61	216	39	1.55	57	202	36	1.95
44	127	91	3.70	41	118	83	4.60
48	138	77	3.25	44	127	71	4.05
52	150	60	2.70	49	141	56	3.40
61	176	42	2.10	57	165	40	2.55
44	108	77	3.70	41	100	72	4.60
48	147	65	3.25	44	108	61	4.05
52	127	51	2.70	49	120	48	3.40
61	149	36	2.10	57	140	33	2.55
44	83	67	4.60	41	87	63	5.80
48	102	57	4.05	44	93	52	5.10
52	111	45	3.35	49	104	42	4.20
61	130	31	2.60	57	121	29	3.20
44	70	63	4.60	41	65	59	5.80
48	77	54	4.05	44	70	49	5.10
52	83	41	3.35	49	78	39	4.20
61	97	29	2.60	57	91	28	3.20
44	56	61	5.50	41	52	57	6.90
48	61	51	4.90	44	56	48	6.15
52	66	41	4.00	49	62	38	5.10
61	78	28	3.10	57	73	27	3.80

表 6 硬质合金 T15K6 铣刀进行硬度为  $H_{R\sigma} = 62$  的淬火合金结构铣刀切削部分的几何参数:  $\alpha = 20^\circ$ ,

D	z	B	$\delta_{\Sigma}$	切 削 深							
				1				2			
				v	n	$s_{\Sigma}$	$N_e$	v	n	$s_{\Sigma}$	$N_e$
75	4	45	0.09	36.5	155	56	0.58	31	132	48	0.98
			0.07	40	170	48	0.50	33.5	142	40	0.85
			0.05	43.5	185	37	0.43	36.5	155	31	0.70
			0.03	51	217	26	0.33	42.5	180	21	0.55
90	6	54	0.09	36.5	129	70	0.85	31	110	60	1.50
			0.07	40	142	60	0.75	33.5	119	51	1.30
			0.05	43.5	154	46	0.63	36.5	129	39	1.05
			0.03	51	180	33	0.48	42.5	150	27	0.80
110	8	66	0.09	36.5	105	76	1.15	31	90	65	1.95
			0.07	40	115	64	1.00	33.5	97	54	1.75
			0.05	43.5	125	50	0.85	36.5	105	42	1.40
			0.03	51	147	35	0.65	42.5	123	30	1.10
130	8	78	0.09	36.5	90	65	1.15	31	76	55	1.95
			0.07	40	98	55	1.00	33.5	82	46	1.75
			0.05	43.5	106	43	0.85	36.5	90	36	1.40
			0.03	51	125	30	0.65	42.5	104	25	1.10
150	10	90	0.09	36.5	77	65	1.40	31	66	60	2.45
			0.07	40	85	60	1.30	33.5	71	50	2.15
			0.05	43.5	92	46	1.05	36.5	71	38	1.80
			0.03	51	108	33	0.80	42.5	90	27	1.35
200	10	120	0.09	36.5	48	53	1.40	31	49	44	2.45
			0.07	40	64	45	1.30	33.5	53	38	2.15
			0.05	43.5	69	34	1.05	36.5	58	29	1.80
			0.03	51	81	24	0.80	42.5	68	21	1.35
250	12	150	0.09	36.5	46	50	1.70	31	39	42	2.95
			0.07	40	51	43	1.50	33.5	43	36	2.60
			0.05	43.5	55	33	1.25	36.5	46	28	2.10
			0.03	51	65	24	0.95	42.5	54	20	1.60

符号和修正系数的说明见表 1。



鋼的端銑時的切削速度、每分鐘走刀量和有效功率。  $\frac{B}{D} = 0.6$

$\gamma = -15^\circ$ ;  $\lambda = 15^\circ$ ;  $\varphi = 60^\circ$ ;  $\varphi_1 = 5^\circ$

度 $t$ (毫米)							
3				4			
$v$	$n$	$s_M$	$N_e$	$v$	$n$	$s_M$	$N_e$
28	119	43	1.30	26	110	40	1.70
30.5	130	37	1.20	28	119	33	1.50
33	140	28	1.00	31	132	27	1.20
39	165	20	0.75	36	153	19	0.90
28	100	54	2.00	26	92	50	2.50
30.5	108	46	1.80	28	100	42	2.20
33	117	36	1.45	31	110	33	1.85
39	138	25	1.15	36	127	23	1.40
28	81	58	2.70	26	75	54	3.35
30.5	88	49	2.35	28	81	46	2.95
33	95	38	1.95	31	90	36	2.45
39	113	27	1.50	36	104	25	1.85
28	68	49	2.70	26	64	46	3.35
30.5	75	42	2.35	28	68	38	2.95
33	81	33	1.95	31	76	31	2.45
39	95	23	1.50	36	88	21	1.85
28	60	54	3.35	26	55	49	4.20
30.5	65	46	2.95	28	60	42	3.70
33	70	35	2.40	31	66	33	3.05
39	83	25	1.90	36	77	23	2.30
28	44	40	3.35	26	41	37	4.20
30.5	48	34	2.95	28	44	31	3.70
33	52	26	2.40	31	49	24	3.05
39	62	19	1.90	36	57	17	2.30
28	36	39	4.00	26	33	36	5.00
30.5	39	33	3.55	28	36	30	4.45
33	42	26	2.90	31	39	24	2.65
39	50	18	2.25	36	46	17	2.80

## 对于切削用量的说明

表1~6包含本书作者所推荐的、进行硬度为  $H_{RC}=38、44、49、54、58$  和  $62$  的淬火钢端铣的切削用量。切削速度是根据公式 (13) 计算出来的。表7中列举的是本书作者所采取的前角  $\gamma$  值。

**表7 前角  $\gamma$  的推荐值**

硬质合金牌号	被加工钢的硬度 $H_{RC}$		
	38~46	47~54	>54
T30K4	-10	-15	-20
T15K6、T14K8、T5K10	-5	-10	-15

下面列举出了修正系数  $K_v$ ，借它可以确定出对于别的硬度值（在切削用量表中没有载明）的淬火钢的切削速度，这时，我们把表中对于硬度为  $H_{RC}=38$  的钢的切削速度当做 1。

被加工钢的硬度 $H_{RC}$	38	41	47	51	56	60
系数 $K_v$ 值	1.0	0.85	0.64	0.50	0.40	0.32

切削用量表中所列的切削速度，是根据铣刀耐用度  $T=300$  分钟和硬质合金 T15K6 来考虑的。

对于不同于表1~6所示工作条件来说，切削速度  $v_{300}$  应当乘以修正系数  $K_T$ 、 $K_H$  和  $K_B$ ，借以考虑到其他铣刀耐用度值（表8）、其他硬质合金

牌号（表9）和其他比值  $\frac{B}{D}$ （表10）。

**表8 修正系数  $K_T$  与铣刀耐用度  $T$  的关系**

铣刀耐用度 $T$ (分)	180	240	300	360	480	600	720	900
系数 $K_T$ 值	1.13	1.05	1.0	0.95	0.88	0.84	0.80	0.75

表9 修正系数 $K_M$ 与铣刀用硬质合金牌号的关系

硬 质 合 金 牌 号	系 数 $K_M$ 值
T5K10	0.73
T14K8	0.90
T15K6	1.00
T30K4	1.25

表10 修正系数 $K_B$ 与铣削宽度 $B$ 对铣刀直径 $D$ 的比值 $\left(\frac{B}{D}\right)$ 的关系

$\frac{B}{D}$	0.15	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90
系数 $K_B$ 值	1.32	1.14	1.08	1.03	1.00	0.97	0.94	0.92

所要计算的切削速度由下列等式来确定:

$$v = v_{300} \cdot K_T \cdot K_M \cdot K_B \text{ 米/分。}$$

有效功率是根据公式(14)确定出来的。

下面列举出了修正系数 $K_N$ ，借它可以确定出对于其他硬度值（在切削用量表中没有载明）的淬火钢的有效功率，这时，我们把表中对于硬度为 $H_{RC} = 38$ 的钢的有效功率当做1。

被加工钢的硬度 $H_{RC}$	38	41	47	51	56	60
系数 $K_N$ 值	1.0	0.96	0.85	0.78	0.70	0.65

在别的比值 $\frac{B}{D}$ 下，从表1~6查得的有效功率应当乘以修正系数 $K_{NB}$ （表11）。

表 11 修正系数  $K_{N_B}$  与铣削宽度  $B$  对铣刀直径  $D$ 的比值  $\frac{B}{D}$  的关系

$\frac{B}{D}$	0.15	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90
系数 $K_{N_B}$ 值	0.33	0.57	0.72	0.86	1.00	1.13	1.25	1.38

采用带有不同于切削用量表中所示齿数  $z$  的铣刀来工作时，表中的每分钟走刀量  $s_m$  和有效功率  $N_e$  就该与齿数变化成比例地增大或减小，切削速度  $v$  和铣刀每分钟转数  $n$  则不变。

在铣削有氧化皮的锻件和铸件时，切削速度  $v$ 、铣刀每分钟转数  $n$ 、每分钟走刀量  $s_m$  和有效功率  $N_e$  应当乘以系数 0.85。

## 附录 III

表 1 硬质合金 BK8 钻头加工硬度为  $H_{RC} = 35 \sim 65$  的淬火合金结构钢时的切削速度、轴向力、扭矩和有效功率

切削参数	被加工 钢的 硬度 $H_{RC}$	钻头直径 $D$ (毫米)							
		10	12	14	16	20	24	28	30
走刀量 $s$ (毫米/转)		0.05	0.055	0.065	0.070	0.085	0.10	0.11	0.12
切削速度 $v_{30}$ (米/分)		56	55	53	52	49	47	46	45
钻头每分钟转数 $n$ (转/分)	35~45	1780	1460	1205	1040	780	620	520	480
轴向力 $P_0$ (公斤)		520	645	820	975	1340	1740	2150	2400
扭矩 $M_{KP}$ (公斤·米)		0.75	1.20	1.90	2.60	4.90	8.30	12.50	15.30
有效功率 $N_e$ (千瓦)		1.30	1.80	2.35	2.80	3.90	5.30	6.70	7.50

續表

切削参数	被加工 鋼的 硬 度 $H_{RO}$	钻 头 直 径 $D$ (毫米)							
		10	12	14	16	20	24	28	30
走刀量 $s$ (毫米/轉)	46~56	0.035	0.040	0.045	0.055	0.065	0.075	0.085	0.090
切削速度 $v_{30}$ (米/分)		36	34	34	31	30	29	28	28
钻头每分钟轉数 $n$ (轉/分)		1140	905	770	615	475	385	320	295
軸向力 $P_0$ (公斤)		465	600	740	935	1270	1650	2050	2250
扭矩 $M_{KP}$ (公斤·米)		0.70	1.10	1.70	2.60	4.70	7.80	12.00	14.40
有效功率 $N_e$ (千瓦)		0.80	1.00	1.35	1.65	2.30	3.10	3.95	4.35
走刀量 $s$ (毫米/轉)	57~65	0.030	0.035	0.040	0.045	0.050	0.060	0.065	0.070
切削速度 $v_{30}$ (米/分)		25	24	23	22	22	21	21	20
钻头每分钟轉数 $n$ (轉/分)		800	635	520	435	350	280	240	210
軸向力 $P_0$ (公斤)		520	675	840	1020	1350	1760	2140	2400
扭矩 $M_{KP}$ (公斤·米)		0.70	1.20	1.80	2.60	4.60	7.80	11.60	14.00
有效功率 $N_e$ (千瓦)		0.60	0.80	0.95	1.15	1.65	2.25	2.85	3.00

## 对于切削用量的說明

切削速度是根据公式(16)計算出来的。

表中所列切削速度是属于钻头耐用度  $T=30$  分钟的。对于其他耐用度数値來說，从表中选得的切削速度应当乘以修正系数  $K_T$ ，如表2所示。相对耐用度指数  $m=0.25$ 。

表2 修正系数  $K_T$ 

钻头耐用度 $T$ (分)	15	18	21	24	30	36	40	45
修正系数 $K_T$ 值	1.19	1.13	1.09	1.06	1.00	0.96	0.93	0.90

軸向力  $P_o$  是根据公式(17)确定出来的。扭矩  $M_{kp}$  是根据公式(18)计算出来的。

有效功率是根据下列公式确定出来的：

$$N_e = \frac{M_{kp} n}{716.2 \times 1.36} \text{ 千瓦。}$$

## 附录 IV

表 1 硬质合金 T15K6 铰刀铰削硬度为  $H_{RC} = 38$  的淬火合金结构钢时的切削速度  $v_{30}$  和每分钟走刀量  $s_M$

铰刀切削部分的几何参数 (图 152) :  $\alpha = 6^\circ$ ;  $\gamma = -15^\circ$ ;  $\gamma_0 = -10^\circ$ ;  $\lambda = 0^\circ$ ;  $\varphi = 15^\circ$ ;  $\varphi_0 = 2^\circ$ ;  $f = 0.2$  毫米;  $a = 2 \sim 3$  毫米;  $l_0 = 1.5 \sim 2.0$  毫米;  $t = 0.2$  毫米。

冷却润滑液的成分: 10% 乳化液苏打水溶液 + 5% 硫化油。

走刀量 $s$ (毫米/转)	铰刀直径 $D$ (毫米)								
	10			12			14		
	$v_{30}$ (米/分)	$n$ (转/分)	$s_M$ (毫米/分)	$v_{30}$ (米/分)	$n$ (转/分)	$s_M$ (毫米/分)	$v_{30}$ (米/分)	$n$ (转/分)	$s_M$ (毫米/分)
0.2	70	2230	446	73	1940	388	78	1770	354
0.3	59	1875	562	62	1640	491	65	1475	442
0.4	52	1655	662	54	1430	572	58	1320	528
0.5	46	1465	732	49	1300	650	53	1205	603
0.6	—	—	—	—	—	—	48	1090	654

走刀量 $s$ (毫米/转)	铰刀直径 $D$ (毫米)											
	16			18			20			25		
	$v_{30}$ (米/分)	$n$ (转/分)	$s_M$ (毫米/分)	$v_{30}$ (米/分)	$n$ (转/分)	$s_M$ (毫米/分)	$v_{30}$ (米/分)	$n$ (转/分)	$s_M$ (毫米/分)	$v_{30}$ (米/分)	$n$ (转/分)	$s_M$ (毫米/分)
0.2	82	1640	328	86	1520	304	90	1430	286	98	1250	250
0.3	69	1380	414	72	1275	383	75	1195	359	83	1060	318
0.4	61	1220	488	64	1130	452	67	1070	428	73	930	372
0.5	55	1100	550	58	1025	513	61	970	485	66	840	420
0.6	51	1020	612	54	955	573	56	890	534	61	780	468
0.7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	57	725	507
0.8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	54	690	552

續表

走刀量 $s$ (毫米/轉)	銼刀直徑 $D$ (毫米)								
	30			35			40		
	$v_{30}$ (米/分)	$n$ (轉/分)	$s_M$ (毫米/分)	$v_{30}$ (米/分)	$n$ (轉/分)	$s_M$ (毫米/分)	$v_{30}$ (米/分)	$n$ (轉/分)	$s_M$ (毫米/分)
0.2	106	1130	226	113	1025	205	119	955	191
0.3	89	945	283	95	835	260	100	800	240
0.4	79	840	330	84	763	306	88	705	282
0.5	71	755	378	76	693	345	80	640	320
0.6	66	700	420	70	635	381	74	590	354
0.7	62	660	462	66	600	420	69	550	385
0.8	58	615	492	62	565	451	65	520	416

走刀量 $s$ (毫米/轉)	銼刀直徑 $D$ (毫米)											
	45			50			55			60		
	$v_{30}$ (米/分)	$n$ (轉/分)	$s_M$ (毫米/分)	$v_{30}$ (米/分)	$n$ (轉/分)	$s_M$ (毫米/分)	$v_{30}$ (米/分)	$n$ (轉/分)	$s_M$ (毫米/分)	$v_{30}$ (米/分)	$n$ (轉/分)	$s_M$ (毫米/分)
0.3	104	735	221	109	692	208	113	652	196	117	620	186
0.4	92	650	260	96	610	244	100	578	231	104	550	220
0.5	84	595	298	87	555	278	91	525	263	94	496	248
0.6	78	550	330	81	515	310	84	485	291	87	460	276
0.7	73	515	360	76	483	338	79	456	319	81	430	301
0.8	69	490	392	71	451	362	74	427	342	77	407	326
0.9	65	460	415	68	433	390	71	410	370	73	386	347
1.0	62	438	438	65	413	413	67	338	388	70	370	370

表2 硬质合金T15K6铰刀铰削硬度为 $H_{RC} = 45$ 的淬火合金结构钢时的切削速度 $v_{30}$ 和每分钟走刀量 $s_M$

铰刀切削部分的几何参数(图152):  $\alpha = 6^\circ$ ;  $\gamma = -15^\circ$ ;  $\gamma_0 = -10^\circ$ ;  $\lambda = 0^\circ$ ;  $\varphi = 15^\circ$ ;  $\varphi_0 = 2^\circ$ ;  $f = 0.2$ 毫米;  $a = 2 \sim 3$ 毫米;  $l_0 = 1.5 \sim 2.0$ 毫米;  $t = 0.2$ 毫米。

冷却润滑液的成分: 10%乳化液苏打水溶液+5%硫化油。

走刀量 $s$ (毫米/转)	铰刀直径 $D$ (毫米)								
	10			12			14		
	$v_{30}$ (米/分)	$n$ (转/分)	$s_M$ (毫米/分)	$v_{30}$ (米/分)	$n$ (转/分)	$s_M$ (毫米/分)	$v_{30}$ (米/分)	$n$ (转/分)	$s_M$ (毫米/分)
0.20	47	1495	299	52	1375	275	54	1230	246
0.25	39	1240	310	43	1140	285	44	1000	250
0.30	35	1115	335	38	1005	302	40	910	273
0.40	29	890	356	31	823	329	32	727	291

走刀量 $s$ (毫米/转)	铰刀直径 $D$ (毫米)								
	16			18			20		
	$v_{30}$ (米/分)	$n$ (转/分)	$s_M$ (毫米/分)	$v_{30}$ (米/分)	$n$ (转/分)	$s_M$ (毫米/分)	$v_{30}$ (米/分)	$n$ (转/分)	$s_M$ (毫米/分)
0.20	56	1115	223	59	1045	209	60	955	191
0.25	47	935	234	49	867	217	52	830	208
0.30	41	817	246	44	780	235	46	730	220
0.40	34	677	271	36	636	255	37	590	236
0.50	30	597	290	31	548	274	33	525	262



續表

走刀量 $s$ (毫米/轉)	銼 刀 直 徑 $D$ (毫米)											
	25			30			35			40		
	$v_{30}$ (米/分)	$n$ (轉/分)	$s_{M}$ (毫米/分)	$v_{30}$ (米/分)	$n$ (轉/分)	$s_{M}$ (毫米/分)	$v_{30}$ (米/分)	$n$ (轉/分)	$s_{M}$ (毫米/分)	$v_{30}$ (米/分)	$n$ (轉/分)	$s_{M}$ (毫米/分)
0.20	67	853	171	72	765	153	76	690	138	80	640	128
0.30	49	625	188	54	572	172	58	527	158	61	487	146
0.40	41	522	209	44	476	190	46	418	158	49	392	157
0.50	36	458	229	38	403	202	41	373	187	43	343	172
0.60	32	408	245	34	360	216	37	336	202	39	312	187
0.70	—	—	—	—	—	—	—	—	—	36	287	201

走刀量 $s$ (毫米/轉)	銼 刀 直 徑 $D$ (毫米)											
	45			50			55			60		
	$v_{30}$ (米/分)	$n$ (轉/分)	$s_{M}$ (毫米/分)	$v_{30}$ (米/分)	$n$ (轉/分)	$s_{M}$ (毫米/分)	$v_{30}$ (米/分)	$n$ (轉/分)	$s_{M}$ (毫米/分)	$v_{30}$ (米/分)	$n$ (轉/分)	$s_{M}$ (毫米/分)
0.30	63	445	134	66	420	125	69	400	120	70	373	112
0.40	51	360	144	53	337	135	54	312	125	58	309	124
0.50	45	320	160	47	299	150	48	277	138	50	265	133
0.60	41	290	174	42	268	161	43	240	149	45	240	144
0.70	37	262	183	39	248	173	40	231	162	41	218	153
0.80	33	234	187	35	222	178	36	208	167	38	202	162

表 3 硬质合金T15K6铰刀铰削硬度为 $H_{RC}=51$ 的淬火合金结构钢时的切削速度 $v_{30}$ 和每分钟走刀量 $s_M$ 

铰刀切削部分的几何参数(图152):  $\alpha=6^\circ$ ;  $\gamma=-15^\circ$ ;  $\gamma_0=-10^\circ$ ;  $\lambda=0^\circ$ ;  $\varphi=15^\circ$ ;  $\varphi_0=2^\circ$ ;  $f=0.2$ 毫米;  $a=2\sim 3$ 毫米;  $l_0=1.5\sim 2$ 毫米;  $t=0.2$ 毫米。

冷却润滑液的成分: 10%乳化液苏打水溶液+5%硫化油。

走刀量 $s$ (毫米/轉)	铰 刀 直 徑 $D$ (毫米)								
	10			12			14		
	$v_{30}$ (米/分)	$n$ (轉/分)	$s_M$ (毫米/分)	$v_{30}$ (米/分)	$n$ (轉/分)	$s_M$ (毫米/分)	$v_{30}$ (米/分)	$n$ (轉/分)	$s_M$ (毫米/分)
0.20	35	1145	229	39	1000	200	40	910	182
0.25	27	860	215	30	795	198	31	700	175
0.30	23	735	221	25	660	198	26	590	177
0.35	19	605	212	21	555	119	22	500	175
0.40	—	—	—	—	—	—	19	430	172

走刀量 $s$ (毫米/轉)	铰 刀 直 徑 $D$ (毫米)											
	16			18			20			25		
	$v_{30}$ (米/分)	$n$ (轉/分)	$s_M$ (毫米/分)	$v_{30}$ (米/分)	$n$ (轉/分)	$s_M$ (毫米/分)	$v_{30}$ (米/分)	$n$ (轉/分)	$s_M$ (毫米/分)	$v_{30}$ (米/分)	$n$ (轉/分)	$s_M$ (毫米/分)
0.20	42	835	167	44	780	156	45	720	144	50	640	128
0.25	33	655	164	34	600	150	36	570	142	39	495	124
0.30	27	537	161	29	515	155	30	480	144	32	410	123
0.35	24	475	166	25	440	154	26	415	145	28	355	125
0.40	20	400	160	21	370	148	22	350	140	24	305	122
0.45	—	—	—	19	335	150	20	320	144	22	280	126
0.50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	20	255	128

續表

走刀量 $s$ (毫米/轉)	鉸 刀 直 徑 $D$ (毫米)											
	30			35			40			45		
	$v_{30}$ (米/分)	$n$ (轉/分)	$s_{M}$ (毫米/分)	$v_{30}$ (米/分)	$n$ (轉/分)	$s_{M}$ (毫米/分)	$v_{30}$ (米/分)	$n$ (轉/分)	$s_{M}$ (毫米/分)	$v_{30}$ (米/分)	$n$ (轉/分)	$s_{M}$ (毫米/分)
0.20	54	575	115	57	518	104	60	480	96	63	447	89
0.25	42	445	111	45	410	102	47	375	94	50	353	88
0.30	35	372	111	38	345	104	40	320	96	41	290	87
0.35	31	330	115	33	300	105	34	270	95	36	254	89
0.40	26	276	110	27	246	98	29	232	93	30	213	85
0.45	23	243	109	25	227	102	26	206	93	24	190	85
0.50	21	220	110	22	200	100	23	183	92	24	170	85
0.60	17	180	108	18	165	99	19	152	92	20	142	85
0.70	—	—	—	—	—	—	16	128	90	17	120	84

走刀量 $s$ (毫米/轉)	鉸 刀 直 徑 $D$ (毫米)								
	50			55			60		
	$v_{30}$ (米/分)	$n$ (轉/分)	$s_{M}$ (毫米/分)	$v_{30}$ (米/分)	$n$ (轉/分)	$s_{M}$ (毫米/分)	$v_{30}$ (米/分)	$n$ (轉/分)	$s_{M}$ (毫米/分)
0.20	66	620	84	68	398	80	71	378	76
0.25	54	350	87	54	313	78	55	292	73
0.30	43	272	82	45	262	79	46	244	73
0.35	37	236	82	39	225	79	40	212	74
0.40	31	197	79	32	185	74	34	180	72
0.45	28	178	80	29	168	76	30	159	72
0.50	25	158	79	26	151	76	27	144	72
0.60	21	133	80	21	122	73	22	117	70
0.70	18	115	80	19	110	77	20	106	74

## 对于切削用量的说明

表1~3中列举的是铰削硬度为 $H_{RC}=38\sim 51$ 的淬火合金钢时的推荐切削用量。对于硬度为 $H_{RC}=51$ 和38的钢，切削速度是根据公式(19)和(20)计算出来的。

对于硬度为 $H_{RC}=45$ 的钢所采用的切削速度，是将硬度为 $H_{RC}=51$ 的钢所采用的切削速度乘以修正系数 $K_v$ 而得出来的。系数 $K_v$ 值与走刀量 $s$ 的关系，列举在表4中。

表4 修正系数 $K_v$ 

走刀量 $s$ (毫米/转)	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.60	0.70	0.80
系数 $K_v$ 值	1.34	1.43	1.53	1.62	1.70	1.78	1.86	2.02	2.14	2.22

铰刀每分钟转数 $n$ 是按下列公式确定：

$$n = \frac{1000v}{\pi D} \text{ 转/分,}$$

而每分钟走刀量 $s_M$ 则按下列公式来确定：

$$s_M = sn \text{ 毫米/分。}$$

切削用量表中所列的切削速度，是根据铰刀耐用度 $T=30$ 分钟、切削深度 $t=0.2$ 毫米和硬质合金T15K6来考虑的。采用刀具的相对耐用度指数 $m$ 值如下：

被加工钢的硬度 $H_{RC}$	38	45	51
指数 $m$	0.40	0.60	0.85

在不同于所指出的工作条件下，从表1~3所选出的切削速度应当乘以修正系数 $K_T$ 和 $K_t$ ，借以考虑到别的铰刀耐用度值（表5）和别的切削深度值（表6）。

表 5 修正系数  $K_T$  与 铰刀耐用度的关系

铰刀耐用度 $T$ (分)	被加工钢的硬度		
	$H_{RC} = 38$	$H_{RC} = 45$	$H_{RC} = 51$
	系数 $K_T$ 值		
10	1.55	1.73	2.54
20	1.18	1.27	1.41
30	1.00	1.00	1.00
40	0.89	0.84	0.78
50	0.81	0.74	0.65
60	0.76	0.66	0.55
70	0.71	0.60	0.49
80	0.67	0.55	0.43
90	0.64	0.51	0.39
100	0.62	0.48	0.36
110	0.59	0.45	0.33
120	0.57	0.43	0.31

表 6 修正系数  $K_t$  与 切削深度的关系

切削深度 $t$ (毫米)	被加工钢的硬度		
	$H_{RC} = 38$	$H_{RC} = 45$	$H_{RC} = 51$
	系数 $K_t$ 值		
0.05	1.30	1.73	2.83
0.10	1.14	1.30	1.68
0.15	1.06	1.10	1.25
0.20	1.00	1.00	1.00
0.25	0.96	0.91	0.86
0.30	0.93	0.84	0.74

在采用硬质合金 T15K6T 铰刀来工作时，根据各表所选出的切削速度应当乘以修正系数  $K_u = 1.10$ 。

如果走刀量没有受到机床-零件-刀具系统刚度、机床功率、刀具强度以及其他条件的限制，那末铰削走刀量就应当根据表 1~3、从最大生产率的条件来选择。

在铰削硬度为  $H_{RC} = 49 \sim 54$  的钢零件中的孔时，为了得到 2 级精度和 9 级以上表面光洁度，应当采用这样的走刀量：在  $D < 20$  毫米时， $s$  可达 0.3 毫米/转；在  $D > 20$  毫米时， $s$  可达 0.4 毫米/转。对于硬度较小的淬火钢来说，可以采取所示的走刀量，因为考虑到在这里是以较大的切削速度来进行加工。

表 1 硬质合金T15K6镗钻切削硬度为 $H_{RC}=38$ 的淬火合金结构钢时的切削速度 $v_{30}$ 和每分钟走刀量 $s_M$ 

镗钻切削部分的几何参数 (图188):  $\alpha=10^\circ$ ,  $\alpha_0=10^\circ$ ,  $\gamma=-15^\circ$ ,  $\gamma_0=-10^\circ$ ,  $\lambda=0^\circ$ ,  $\varphi=60^\circ$ ,  $\varphi_0=15^\circ$ ,  $f=0.3\sim 0.5$ 毫米,  $a=1.5\sim 2.0$ 毫米,  $l_0=0.5\sim 1.0$ 毫米,  $l=1$ 毫米。

冷却润滑液的成分: 10%乳化液苏打水溶液+5%硫化油。

走 刀 量 $s$ (毫米/轉)	镗 钻 直 徑 $D$ (毫米)											
	10			12			14			16		
	$v_{30}$ (米/分)	$n$ (轉/分)	$s_M$ (毫米/分)	$v_{30}$ (米/分)	$n$ (轉/分)	$s_M$ (毫米/分)	$v_{30}$ (米/分)	$n$ (轉/分)	$s_M$ (毫米/分)	$v_{30}$ (米/分)	$n$ (轉/分)	$s_M$ (毫米/分)
0.20	52	1650	330	59	1565	313	65	1475	295	67	1370	274
0.25	46	1465	366	52	1380	344	56	1270	318	60	1190	298
0.30	40	1270	380	44	1170	350	49	1110	333	53	1050	315
0.40	34	1080	432	38	1010	405	41	930	372	46	915	366
0.50	30	955	477	33	900	450	37	840	420	40	795	398

走 刀 量 $s$ (毫米/轉)	镗 钻 直 徑 $D$ (毫米)											
	18			20			25			30		
	$v_{30}$ (米/分)	$n$ (轉/分)	$s_M$ (毫米/分)	$v_{30}$ (米/分)	$n$ (轉/分)	$s_M$ (毫米/分)	$v_{30}$ (米/分)	$n$ (轉/分)	$s_M$ (毫米/分)	$v_{30}$ (米/分)	$n$ (轉/分)	$s_M$ (毫米/分)
0.30	57	1010	303	61	970	291	—	—	—	—	—	—
0.40	48	850	340	52	830	332	60	765	306	67	710	284
0.50	42	745	373	46	730	365	52	660	330	59	625	313
0.60	38	670	402	41	650	390	46	585	350	52	550	330
0.70	35	620	434	37	590	413	43	550	385	48	510	357
0.80	—	—	—	35	555	444	40	510	432	44	470	376
0.90	—	—	—	—	—	—	37	470	423	41	435	392

走刀量 $s$ (毫米/轉)	鏢 钻 直 徑 $D$ (毫米)											
	35			40			45			50		
	$v_{30}$ (米/分)	$n$ (轉/分)	$s_M$ (毫米/分)	$v_{30}$ (米/分)	$n$ (轉/分)	$s_M$ (毫米/分)	$v_{30}$ (米/分)	$n$ (轉/分)	$s_M$ (毫米/分)	$v_{30}$ (米/分)	$n$ (轉/分)	$s_M$ (毫米/分)
0.40	72	655	262	78	620	248	—	—	—	—	—	—
0.50	63	570	285	69	545	273	74	525	263	79	500	250
0.60	56	510	306	61	485	291	65	460	276	70	445	267
0.70	52	470	330	56	445	312	60	425	298	65	415	290
0.80	48	435	348	53	420	336	56	400	320	60	380	304
0.90	45	410	370	48	390	342	52	370	333	55	350	315
1.00	42	380	380	45	355	355	49	350	350	52	330	330

表 2 硬质合金T15K6鏢钻鏢削硬度为 $H_{RC}=45$ 的淬火合金結構鋼时的切削速度 $v_{30}$ 和每分钟走刀量 $s_M$ 

鏢钻切削部分的几何参数 (图188):  $\alpha=10^\circ$ ,  $\alpha_0=10^\circ$ ,  $\gamma=-15^\circ$ ,  $\gamma_0=-10^\circ$ ,  $\lambda=0^\circ$ ,  $\varphi=60^\circ$ ,  $\varphi_0=15^\circ$ ,  $f=0.3\sim 0.5$ 毫米,  $a=1.5\sim 2.0$ 毫米,  $l_0=0.5\sim 1.0$ 毫米,  $t=1$ 毫米。

冷却潤滑液的成分: 10%乳化液苏打水溶液+5%硫化油。

走刀量 $s$ (毫米/轉)	鏢 钻 直 徑 $D$ (毫米)											
	10			12			14			16		
	$v_{30}$ (米/分)	$n$ (轉/分)	$s_M$ (毫米/分)	$v_{30}$ (米/分)	$n$ (轉/分)	$s_M$ (毫米/分)	$v_{30}$ (米/分)	$n$ (轉/分)	$s_M$ (毫米/分)	$v_{30}$ (米/分)	$n$ (轉/分)	$s_M$ (毫米/分)
0.20	35	1115	223	39.5	1050	210	43.5	990	198	—	—	—
0.25	31	990	248	35	930	232	38	865	216	41	815	204
0.30	27	860	258	30	795	239	33.5	760	218	36.5	725	218
0.35	25.5	810	283	28	740	259	31	705	247	33.5	665	233
0.40	23	735	294	26	690	276	28	635	254	31	615	246
0.45	21.5	685	309	24	635	286	26.5	600	270	28.5	565	254
0.50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	27	535	267
0.60	—	—	—	—	—	—	—	—	—	24	475	285

走刀量 $s$ (毫米/轉)	總鑽直徑 $D$ (毫米)											
	18			20			25			30		
	$v_{30}$ (米/分)	$n$ (轉/分)	$s_M$ (毫米/分)	$v_{30}$ (米/分)	$n$ (轉/分)	$s_M$ (毫米/分)	$v_{30}$ (米/分)	$n$ (轉/分)	$s_M$ (毫米/分)	$v_{30}$ (米/分)	$n$ (轉/分)	$s_M$ (毫米/分)
0.30	39	690	207	41	650	195	—	—	—	—	—	—
0.35	35.5	625	219	38	605	212	43.5	555	195	—	—	—
0.40	32.5	575	230	35	555	222	40.5	515	206	45	480	192
0.45	31	550	247	32.5	515	232	35.5	450	202	42	445	200
0.50	28.5	505	252	31	495	247	35	445	222	39.5	420	210
0.60	26	460	276	27.5	440	264	31	395	237	35	370	222
0.70	—	—	—	25	400	280	29	370	259	32	340	238
0.80	—	—	—	—	—	—	—	—	—	30	320	256

走刀量 $s$ (毫米/轉)	總鑽直徑 $D$ (毫米)											
	35			40			45			50		
	$v_{30}$ (米/分)	$n$ (轉/分)	$s_M$ (毫米/分)	$v_{30}$ (米/分)	$n$ (轉/分)	$s_M$ (毫米/分)	$v_{30}$ (米/分)	$n$ (轉/分)	$s_M$ (毫米/分)	$v_{30}$ (米/分)	$n$ (轉/分)	$s_M$ (毫米/分)
0.40	49	445	178	52.5	415	166	56.5	400	160	61	390	156
0.45	45.5	415	187	49.5	390	175	53	375	169	56.5	360	162
0.50	42.5	385	192	46.5	370	185	49.5	350	175	53.5	340	170
0.60	38	345	207	41	325	195	44	310	186	47.5	300	180
0.70	35	320	224	38	300	210	40.5	285	199	43.5	275	192
0.80	33	300	240	35.5	280	224	38	270	216	40.5	260	208



表 3 硬质合金T15K6镗钻镗削硬度为 $H_{RC}=51$ 的淬火合金  
结构钢时的切削速度 $v_{30}$ 和每分钟走刀量 $s_M$

镗钻切削部分的几何参数(图188):  $\alpha=10^\circ$ ;  $\alpha_0=10^\circ$ ;  $\gamma=-15^\circ$ ;  $\gamma_e=-10^\circ$ ;  $\lambda=0^\circ$ ;  $\varphi=60^\circ$ ;  $\varphi_0=15^\circ$ ;  $f=0.3\sim 0.5$ 毫米;  $a=1.5\sim 2.0$ 毫米;  $l_0=0.5\sim 1.0$ 毫米;  $t=1$ 毫米。

冷却润滑液的成分: 10%乳化液苏打水溶液+5%硫化油。

走刀量		镗 钻 直 径 $D$ (毫米)											
$s$		10			12			14			16		
(毫米 轉)	$v_{30}$ (米/分)	$n$ (轉/分)	$s_M$ (毫米/分)	$v_{30}$ (米/分)	$n$ (轉/分)	$s_M$ (毫米/分)	$v_{30}$ (米/分)	$n$ (轉/分)	$s_M$ (毫米/分)	$v_{30}$ (米/分)	$n$ (轉/分)	$s_M$ (毫米/分)	
0.20	22.5	715	143	22.5	675	135	22	635	127	30	595	119	
0.25	20	635	159	22.5	595	149	24.5	555	139	26.5	525	131	
0.30	17.5	555	167	19.5	515	155	21.2	490	147	23.5	465	139	
0.35	16.5	525	184	18	475	166	20	455	160	21.5	425	149	
0.40	15	475	190	16.5	435	174	18	410	164	20	400	160	
0.45	—	—	—	—	—	—	—	—	—	18.5	370	166	
0.50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	17.5	350	175	

走刀量		镗 钻 直 径 $D$ (毫米)											
$s$		18			20			25			30		
(毫米 轉)	$v_{30}$ (米/分)	$n$ (轉/分)	$s_M$ (毫米/分)	$v_{30}$ (米/分)	$n$ (轉/分)	$s_M$ (毫米/分)	$v_{30}$ (米/分)	$n$ (轉/分)	$s_M$ (毫米/分)	$v_{30}$ (米/分)	$n$ (轉/分)	$s_M$ (毫米/分)	
0.30	25	440	132	26.5	420	126	—	—	—	—	—	—	
0.35	23	405	142	24.5	390	137	28	355	124	—	—	—	
0.40	21	370	148	22.5	360	144	26	330	132	29	310	127	
0.45	20	355	160	21	335	151	23	290	131	27	290	131	
0.50	18.5	330	165	20	320	160	22.5	285	143	25.5	270	135	
0.60	—	—	—	—	—	—	20	255	153	22.5	240	144	

走刀量 $s$ (毫米/轉)	總 钻 直 徑 $D$ (毫米)											
	35			40			45			50		
	$v_{30}$ (米/分)	$n$ (轉/分)	$s_M$ (毫米/分)	$v_{30}$ (米/分)	$n$ (轉/分)	$s_M$ (毫米/分)	$v_{30}$ (米/分)	$n$ (轉/分)	$s_M$ (毫米/分)	$v_{30}$ (米/分)	$n$ (轉/分)	$s_M$ (毫米/分)
0.40	31.5	285	114	34	270	108	36.5	260	104	—	—	—
0.50	27.5	250	125	30	240	120	32	225	113	34.5	220	110
0.60	24.5	220	132	26.5	210	126	28.5	200	120	30.5	195	117
0.70	22.5	205	143	24.5	195	136	26	185	130	28	180	126

## 对于切削用量的說明

表1~3中列举的是切削硬度为  $H_{RC}=38\sim 51$  的淬火合金鋼时的推荐切削用量。切削速度是根据公式(21)計算出来的。

總钻每分钟轉数  $n$  和每分钟走刀量  $s_M$  是按下列公式确定:

$$n = \frac{1000v}{\pi D} \text{ 轉/分,}$$

$$s_M = sn \text{ 毫米/分.}$$

切削用量表中所列的切削速度, 是属于總钻耐用度  $T=30$  分钟、切削深度  $t=1.0$  毫米和硬质合金 T15K6 的。

在不同于所指出的工作条件下, 从表 1~3 所选出的切削速度应当乘以修正系数  $K_T$  和  $K_t$ , 借以考虑到其他總钻耐用度值(表4)和其他切削深度值(表5)。

表 4 修正系数  $K_T$ 

總钻耐用度 $T$ (分)	10	20	30	40	50	60	75	90	12	150	180
系数 $K_T$ 值	1.64	1.20	1.00	0.88	0.80	0.73	0.66	0.61	0.54	0.48	0.45

表 5 修正系数  $K_t$ 

切削深度 $t$ (毫米)	0.3	0.5	0.8	1.0	1.2	1.5
系数 $K_t$ 值	1.43	1.23	1.06	1.00	0.95	0.89

在采用硬质合金 T15K6 總钻来工作时, 根据各表所选出的切削速度应当乘以修正系数  $K_u=1.10$ 。

## 附录VI

表 1 在硬度为  $H_{RC}=35\sim 65$  的淬火合金结构钢上  
切制螺紋时的切削速度和走刀次数

螺距 $s$ (毫米)	切削 长度 $l$ (毫米)	被加工材料的硬度 $H_{RC}$															
		35				45				55				65			
		粗加工		精加工		粗加工		精加工		粗加工		精加工		粗加工		精加工	
$i$	$v$	$i$	$v$	$i$	$v$	$i$	$v$	$i$	$v$	$i$	$v$	$i$	$v$	$i$	$v$		
2	20	5	48	3	58	7	22	5	27	9	12	6	15	11	7.5	8	9
3	20	7	38	3	45	11	18	5	21	15	10	6	11	19	6	8	7
4	40	9	32	3	38	16	15	5	18	23	8	6	10	30	5	8	6

$i$ —走刀次数;  $v$ —在車刀耐用度  $T=30$  分钟下的切削速度(米/分)。

## 对于切制外螺紋的切削用量的說明

表 1 中所示切削用量規定:

1) 在粗加工行程时, 車刀按图 199b 和 c 所示方式切入; 在精加工行程时, 車刀按图 199a 所示方式切入;

2) 粗車刀采用硬质合金 BK8, 光車刀采用硬质合金 T15K6;

3) 粗車刀的前角  $\gamma = -3^\circ$ , 光車刀的前角  $\gamma = 0^\circ$ ;

4) 粗車刀和光車刀的  $\alpha = 13^\circ$ ,  $\alpha_1 = 6^\circ$ ,  $\lambda = 0^\circ$ ;

5) 車刀必須用碳化硼膏研磨;

6) 刀尖圓角半徑: 粗車刀的是  $r = 0.4$  毫米——用于螺距  $s = 2$  毫米的螺紋,  $r = 0.6$  毫米——用于螺距  $s = 3$  和 4 毫米的螺紋; 光車刀的是  $r = 0.3$  毫米——用于螺距  $s = 2$  毫米的螺紋,  $r = 0.4$  毫米——用于螺距  $s = 3$  毫米的螺紋,  $r = 0.6$  毫米——用于螺距  $s = 4$  毫米的螺紋;

7) 对于切制內螺紋來說, 走刀次数应当比表中数据增大 20%, 切削速度則应当比表中数据减小 15~20%。

## 参考文献

1. Энциклопедический справочник «Машиностроение», т. 3, Машгиз, 1947.
2. Кащенко Г. А., Основы металлостроения, Машгиз, 1956.
3. Кащенко Г. А., Основы металлостроения, Металлургиздат, 1950.
4. Фридман Я. Б. и Володина Т. А., О прочности и пластичности закаленной стали, Доклады АН СССР, т. XLVIII, № 8, 1945.
5. Грозин В. Д., Механические свойства закаленной стали, Машгиз, 1951.
6. Kieffer R. und Schwarzkopf P., Hartstoffe und Hartmetalle, Springer-Verlag, Wien, 1953.
7. Брохин И. С., Современные отечественные инструментальные твердые сплавы и их свойства, Сборник «Скоростные методы обработки металлов», Доклады и тезисы докладов на Московской конференции по скоростным методам обработки металлов, Машгиз, 1949.
8. Грановский Г. И., Износостойкость твердых сплавов и закаленных инструментальных сталей, Сборник МВТУ «Резание металлов и инструмент», Машгиз, 1955.
9. Рискин В. Я., Труды первой конференции по твердым сплавам, Металлургиздат, 1933.
10. Бетанели А. И., Твердость твердых сплавов и минералокерамических материалов в горячем состоянии, «Вестник машиностроения», 1953, № 4.
11. Казаков Н. Ф., Исследование твердости инструментальных материалов при нагреве, Сборник Комиссии по технологии машиностроения АН СССР «Трение и износ при резании металлов», Машгиз, 1955.
12. Рассохин В. Я. и Пура М. А., Зарубежные марки твердых сплавов для металлорежущего инструмента, «Станки и инструмент», 1957, № 6.
13. Казаков Н. Ф. и Андрианова М. Н., Определение режущих свойств вольфрамовых твердых сплавов на кобальтовой и никелевой цементующих связках, «Станки и инструмент», 1957, № 6.
14. Кацнельсон В. Ю., Исследование новых марок титановых твердых сплавов при точении стали со снятием стружек крупного сечения, Сборник ЦНИИТМАШ «Исследования в области технологии обработки металлов резанием», Машгиз, 1957.
15. Производство твердых сплавов, Сборник ИТЭИН АН СССР «Порошковая металлургия в машиностроении капиталистических стран», 1955.
16. Раковский В. С. и др., Твердые сплавы в машиностроении, Машгиз, 1955.
17. Раковский В. С. и Андерс Н. Р., Основы производства твердых сплавов, Металлургиздат, 1951.
18. Мамзев В. С., Определение наиболее выгодных условий эксплуатации минералокерамических резцов, Автореферат диссертации, МВТУ имени Баумана, 1957.
19. Кириллова О. М., Исследование режущих свойств инструментальной минеральной керамики, Автореферат диссертации, ЦНИИТМАШ, 1956.
20. Инструктивные материалы по изготовлению и применению резцов с минералокерамическими пластинками, ВПИИ транспортного машиностроения, 1956.
21. Логак Н. С., Тонкое точение закаленных сталей, Сборник ЦНИИТМАШ «Чистовая обработка конструкционных металлов», Машгиз, 1951.
22. Зорев Н. Н., Силы резания при точении закаленных сталей, ИТЭИН АН СССР, 1955.
23. Малкин А. Я., Скоростное точение закаленных сталей, Сборник «Скоростная обработка металлов резанием», Оборонгиз, 1951.
24. Макаров А. Д., Исследование некоторых составляющих погрешностей обработки и высоты микронеровностей при чистовом точении закаленных сталей, Автореферат диссертации, Московский авиационный технологический институт, 1955.
25. Вульф А. М., Основы резания металлов, Машгиз, 1954.
26. Маслов А. А., Исследование точения закаленных сталей, Автореферат диссертации, Московский инженерно-физический институт, 1954.

27. Министерство станкостроения СССР. Режимы скоростного резания при точении и фрезеровании черных металлов твердосплавным инструментом. Машгиз, 1950.
28. Шелконогов Н. И., Обработка закаленных сталей резцами из твердых сплавов и предпосылки для механической обработки стали при особо высоких скоростях резания, «Вестник металлопромышленности», 1938, № 1.
29. Грудов П. П., Обработка закаленных сталей резцами с пластиками из твердых сплавов, «Станки и инструмент», 1947, № 3.
30. Белоусова Е. А., Исследование качества поверхности стали высокой твердости после токарной обработки. Автореферат диссертации, ЦНИИМаш, 1956.
31. Ларин М. Н., Определение оптимальных передних и задних углов твердосплавных режущих инструментов. Сборник «Прогрессивная технология машиностроения», часть первая, вып. II, Машгиз, 1951.
32. Кривоухов В. А., Инструкция по применению метода трансскоростного резания металлов, изд. Министерства резного флота, 1948.
33. Болотин А. И., Опыт внедрения скоростных методов обработки металлов резанием на заводе «Красный пролетарий», Сборник «Скоростные методы обработки металлов. Опыт московских заводов», Машгиз, 1949.
34. Турчанинов И. Г., Скоростное резание на заводе «Борец», Сборник «Скоростные методы обработки металлов. Опыт московских заводов», Машгиз, 1949.
35. Кавительман В. И., Скоростное точение закаленной стали резцами из твердых сплавов, «Станки и инструмент», 1948, № 6.
36. Некрасов С. С., Токарная обработка закаленных колес крупнобаритных подшипников, «Вестник машиностроения», 1950, № 12.
37. Рудник С. С., Законы скорости резания для резцов из сверхтвердых сплавов, Сборник докладов конференции по резанию металлов, 1937.
38. Беспрозванный И. М., Физические основы учения о резании металлов, Оборонгиз, 1941.
39. Аваков А. А., Некоторые вопросы стойкости резца, Труды ТБИИЖТ, 1948, № 3—4.
40. Беспрозванный И. М., Исследование работы при чистовой обработке токарными проходными резцами, ОНТИ, 1938.
41. Зверев Е. К., Оптимальная геометрия резца, «Органиформация», 1935, № 11.
42. Иткин М. Э., Исследование скорости резания при чистовой обработке сталей для паровозных и вагонных осей резцами лобелит  $\alpha$ -21, «Вестник металлопромышленности», 1939, № 9.
43. Клушнин М. И., Скоростное резание металлов, Машгиз, 1947.
44. Фельдштейн Э. И., Обрабатываемость сталей, Машгиз, 1953.
45. Исраев А. И., Процесс образования поверхностного слоя при обработке металлов резанием, Машгиз, 1950.
46. Резников И. И., Учение о резании металлов, Машгиз, 1950.
47. Маталкин А. А., Качество поверхности и эксплуатационные свойства деталей машин, Машгиз, 1956.
48. Дьяченко П. А. и Якобсон М. О., Качество поверхности при обработке металлов резанием, Машгиз, 1951.
49. Соколовский А. П., Научные основы технологии машиностроения, Машгиз, 1955.
50. Сидантьев А. В., О повышении производительности при поперечном фасонном точении закаленной стали ШХ15, Сборник Московского инженерно-физического института «Новые исследования в области обработки металлов резанием», Машгиз, 1957.
51. Жихарев В. И., Обработка закаленных легированных сталей резцами с керамическими пластиками, «Вестник машиностроения», 1955, № 7.
52. Хажинский Н. М., Скоростная обработка металлов резанием на У-м ГПЗ, Сборник «Скоростные методы обработки металлов. Опыт московских заводов», Машгиз, 1949.
53. Резницкий Л. М., Обработка резанием закаленных сталей, Машгиз, 1949.
54. Резницкий Л. М., Точение закаленной стали, Ленинград, 1951.

55. Dawidl W. und Dinglinger E., Handbuch der Hartmetallwerkzeuge, Springer — Verlag, Berlin (Göttingen) Heidelberg, 1953.

56. Ларин М. Н. и Маслов А. А., Исследование метода обработки закаленных сталей путем ввода в зону резания трансформированного тока, Сборник «Новые исследования в области обработки резанием металлов и пластмасс», Машгиз, 1952.

57. Конструкции твердосплавного инструмента, Сборник ВНИИ, Машгиз, 1951.

58. Конструирование режущего инструмента, Сборник ВНИИ, Машгиз, 1956.

59. Конструкция торцевых фрез с заточкой ножей вне корпуса, Сборник ВНИИ, Машгиз, 1954.

60. Маркелов П. А., Скоростное фрезерование сталей торцевыми фрезами, Оборонгиз, 1953.

61. Ларин М. Н., Оптимальные геометрические параметры режущей части инструментов, Оборонгиз, 1953.

62. Щеголев А. В. и др., Скоростное фрезерование, Машгиз, 1949.

63. Грудов П. П., Волков С. И., Воробьев В. М., Скоростное фрезерование стали, Сборник ВНИИ, ЦБТИ, 1950.

64. Ларин М. Н., Основы скоростного фрезерования, Сборник «Скоростная обработка металлов резанием», Оборонгиз, 1953.

65. Левина, Б. Г., Сверла с пластинками твердых сплавов, Оборонгиз, 1940.

66. Министерство станкостроения СССР, НИБТН, Режимы скоростного резания при сверлении, зенкерованиях, развертывании и резьбонарезании черных металлов твердосплавным инструментом, Машгиз, 1951.

67. Игнатов Б. А., Исследование сверления закаленных сталей, Автореферат диссертации, ЦНИИТМАШ, 1956.

68. Романов К. Ф., Скоростное развертывание и зенкерование закаленных сталей, Оборонгиз, 1952.

69. Справочник машиностроителя, тт. I, II и III, Машгиз, 1951.

70. Рыцова В. С., Изменения состояния поверхностного слоя шлифованных образцов в процессе износа, Сборник ЛИЭИ «Качество поверхности и долговечность деталей машин», вып. II, 1956.

71. Подосенова Н. А., Исследование качества поверхностного слоя при круглом наружном шлифовании закаленной стали, Автореферат диссертации, ЦНИИТМАШ, 1956.

72. Алексеев А. В., К вопросу о резании закаленных сталей при высоких скоростях, «Вестник металлопромышленности», 1939, № 1.

73. Резницкий Л. М., Обрабатываемость специальных закаленных сталей, Сборник ЛОНИТОМАШ «Материалы к конференции по резанию металлов», 1940.

74. Зорев Н. Н., Вопросы механики процесса резания металлов, Машгиз, 1956.

75. Грудов П. П., Скоростное резание, Сборник «Скоростные методы обработки металлов. Доклады и тезисы докладов на московской конференции по скоростным методам обработки металлов», Машгиз, 1949.

76. Аваков А. А., Физическая сущность скоростного резания, Сборник трудов Всесоюзного научно-инженерно-технического общества железнодорожников, Тбилиси, 1954.

77. Садовский Д. В., Малышев К. А., Сазонов Б. Г., Фазовые и структурные превращения при нагреве стали, Сборник «Металловедение и термическая обработка», Машгиз, 1955.

78. Точность механической обработки и пути ее повышения, Сборник ЛПИ им. Калинина, Машгиз, 1951.