

铸 钢 焊 接

1 铸 钢

铸件的种类，按使用材料性质可分为：



本书所讲的焊接是上述范围中的铸钢和铸铁两部分。

铸钢的化学成分与轧钢、锻钢几乎完全相同。铸钢在强度和塑性上比铸铁或其它铸件都优越，可焊性也良好，因此铸钢做为重要部件广泛地应用于冶金、船舶、铁路车辆、重型电机、土木建筑机械和机床等各个方面。

过去铸钢常常出现缩孔，可以说是有点缺点的，它和轧钢或锻钢相比，机械性能较差。可是近些年来由于铸造技术的提高，已经能够制造出质量优良的铸件。从图 1·1 上可看出铸钢件的机械性能是有所提高的，有的甚至超过了轧钢。

关于铸钢，可不考虑它的锻造性，有时连切削性也不必考虑，根据需要只在成分上加添各种合金元素，就能制造出各种高合金铸钢。现在已经生产的高合金铸钢中有耐腐蚀、耐高温、耐磨损等各种特殊用途的铸钢品种。

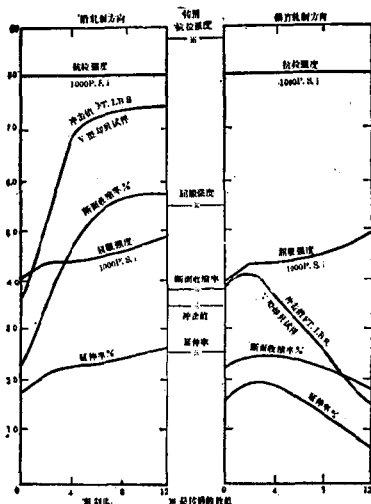


图 1.1 0.35%C 碳素钢和 0.35%C 轧钢的机械性能比较

1.1 铸 钢 种 类

铸钢可分：碳素铸钢、低合金铸钢、高合金铸钢三大类。另外也可分为普通铸钢（碳素钢）、特殊铸钢（合金铸钢）两大类。在高合金铸钢中包括：不锈钢、耐热钢、高锰钢三种铸钢。表 1.1 是日本工业标准 (JIS) 中规定的材料范围对铸

表 1.1 铸 钢 的 分 类

种类	材 料	日本工业 标 准 JIS 型号	主要化学成分	标准热处理	用 途
碳 素 铸 钢	低碳钢	SC37 ~SC55	P≤0.05 S≤0.05	退 火 正 火	用于结构
	中、高 碳 钢		C0.40~0.70 Mn0.50~0.80	退 火 正 火	用于结构

种类	材 料	日本工业 准 JIS 型号	主要化学成分	标准热处理	用 途	
低 合 金 铸 钢	低锰钢	SCA1 ~SCA2	C0.20~0.40 Mn1.00~1.60	退 火 正 火	用于结构	
	锰铬钢	SCA21~ SCA23	C0.25~0.45 Mn1.20~1.60 Cr0.40~0.80	"	"	
	硅锰钢	SCA31	C0.25~0.35 Si0.50~0.30 Mn0.9~1.20	"	"	
	铝 钢	SCA41	C≤0.25 Mn0.25~0.80 Mo0.45~0.65	"	"	
	铬铝钢	SCA51 ~SCA52	C≤0.25 Cr1.00~6.50 Mo0.45~0.65	"	"	
高 合 金 铸 钢	高铸 锰钢	SCMnH1 SCMnH2	C0.90~1.30 Mn≥11.0	约 1,000℃ 水 淬	用于耐磨损 非磁性部件	
	不 锈 钢 铸 钢	铬 不 锈 钢	SCS1 SCS2	C≤0.24 Cr11.50~14.00	950~980℃ 油淬或空淬 回火680~740℃ 快冷	化学工业设 备
		铬镍不 锈 钢	SCS11 ~SCS18	Ni5.00~22.00 Cr11.50~27.00	淬 火 950~1100℃ 快 冷	化学工业、 食品工业、 石油精炼设备
	耐 热 铸 钢	高铬耐 热 钢	SCH1 ~SCH2	C≤0.50 Cr12.00~28.00	退火300~900℃ 缓冷	高温耐腐蚀、 阀门、矿石熔 烧炉部件、硝 酸工业
		高铬镍 耐热 钢	SCH11 ~SCH15	Ni4.00~37.00 Cr13.00~28.00	—	热处理炉部 件、矿石熔 烧炉部件

化学符号写法：C, Mn, Si, S, P, Cr, Ni, Mo

译注：上列日本工业标准(JIS)铸钢材料与我国国家标准或部颁标准可做对比的如SC37~SC55相当于我国第一机械工业部部颁标准 (JB300~62)规定的ZG45~ZG50,碳:0.42~0.55,锰:0.50~0.80,硫、磷不超过0.05的均属特级酸性钢。(见自“五金手册”1970年版)

钢所做的分类。此外实际生产和应用的还有各种不同组合成分的铸钢材料。

1.2 铸 钢 焊 接

铸钢焊接有：同类铸钢焊接，铸钢与轧钢的焊接，磨损部件堆焊修补，铸钢件缺陷的焊补等。

铸钢焊接在本质上与轧钢焊接并无区别，焊接低碳钢板的技术可以照样适用于焊接低碳铸钢。同样，如果掌握焊接不锈钢板的技术，对焊接不锈钢铸钢也能胜任。两者的区别只是使用目的上的不同；再加上过去铸钢焊接的应用，不象轧钢焊接那样广泛，所以没有确定铸钢焊接的标准、要求。这在客观上也影响了铸钢焊接的技术发展，因此仅用于一般的缺陷修补上。

2 碳素铸钢及低合金铸钢焊接要点

2.1 铸钢的特性

铸钢的熔点高，冷却时收缩量大，这是它的固有特性，与其它金属材料相比，铸造时容易产生缺陷。此外，设计的好坏，铸造方法的优劣，对铸钢都很敏感。这些特性如能很好的理解，对提高铸钢焊接质量关系极大。

(1) 流动性不好 钢水的流动性比其它金属差，浇注范围也窄，因之铸造的可能厚度是有限度的。在一定程度以上的薄壁，对高温熔液必须采取特殊措施。这不仅增加制造成本，而且也容易出现铸造上的缺陷。

(2) 收缩大 铸钢在铸造时的收缩量比铸铁大，因此就容易产生缩孔、龟裂等缺陷。这些缺陷有的就是修补的对象，在焊接结构上利用铸钢件时也得予以特别注意。

表 2.1 是铸钢、铸铁在铸造时收缩量的比较。

表 2.1 铸钢、铸铁在铸造时收缩量的比较

	浇注温度 ℃	凝固温度范围 ℃	凝固体积收缩率 %	凝固后到常温 线收缩率%
中碳钢铸钢	1,520~1530	1,500~1,470	约 3%	约 2%
灰口铸铁	1,400~1,350	1,300~1,130	几乎无变化	约 1%

在这里可看出铸钢在浇注温度、凝固温度范围上明显地

都高；凝固时体积收缩率以及凝固后到达常温的线收缩率也比铸铁大得多。这就说明铸钢在铸造上比铸铁更容易产生缺陷。

图 2.1 是用图示表示的 0.35%O 铸钢在冷却过程中容积

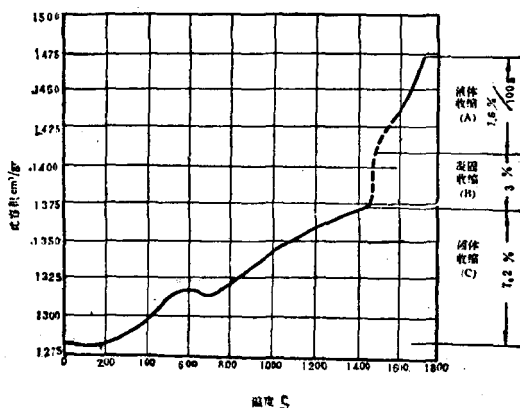


图 2.1 0.35%O 铸钢随冷却出现的容积变化

变化的情况。大约在 1500℃ 开始凝固到 1470℃ 凝固完了，这中间引起 3% 的体积收缩，因之在最后凝固部分就出现缩孔。图 2.2 是缩孔的产生情况和做了冒口补液的状态。图 2.3 是出现孔洞的原因和利用熔液指向性凝固原理，防止孔洞产生的示例。

此外，熔液凝固之后达到常温，容积的收缩为 7.2%，换算成线收缩率为 2%，相当于铸铁 1% 的二倍，这是铸钢容易产生裂缝的主要原因。

(3) 高温时抗拉强度低 铸钢和其它金属一样，在刚到凝固温度的高温阶段，抗拉强度极低。因此在收缩时，由于砂型的抵抗或冷却速度的不同而产生内部应力，致使冷却较

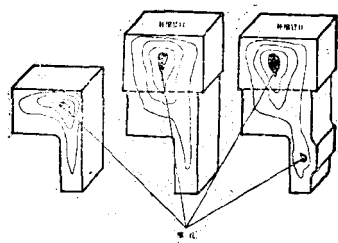


图 2.2 缩孔的产生状况

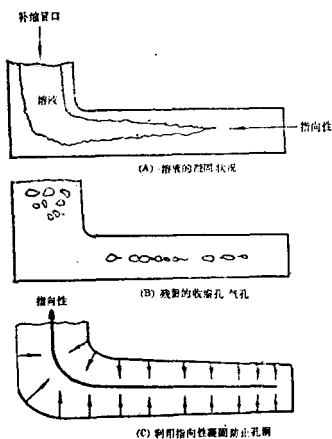


图 2.3 孔洞的产生和防止办法

慢的部分，或者在冷却速度不同的位置上容易形成裂缝。图 2.4 就是这种状态的示意，如图上所示：上下方向受砂型阻碍不能收缩，另一方面柱本身还要收缩，这时 A 图中柱与板的结合处或者 B 图中 柱中间断面变化较大的部位，由于冷却速度慢，强度上升的也慢，其结果应力集中，就在这里发生断裂。

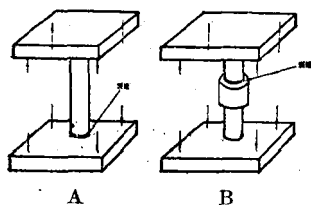


图 2.4 高温裂缝

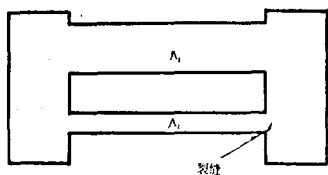


图 2.5 高温裂缝

另外一种情况是与砂型的抵抗无关。如图 2.5 那样的状态，也是因应力集中而产生的裂缝。断面小的 A_2 部分冷却收缩较快，可是与壁厚的 A_1 部分接连的支柱冷却速度很慢，

两方面的收缩不相适应，在强度低的 A₂ 部分上受到抗拉应力，因此结合处就产生高温裂缝。

(4) 表皮或接近表皮部分的质量好 铸钢表面尽管有脱碳层，但在近于表皮的地方并没有缩孔。这一点铸钢与其它铸件一样，该部分金属比较致密。因之就是在机械加工前进行热处理，也都不易产生裂缝。所以，根据铸钢表面层金属进行设计和直接在表面层上施焊都是比较理想的。

如果能够很好地理解上述铸钢特性，不论是把铸钢件应用在焊接结构中，还是修复铸钢的缺陷，都可以顺利地施焊。

2.2 材料的化学成分及机械性能

日本工业标准 (JIS) 关于碳素钢铸件的规定，如表 2.2 上所示，从 SO37 到 SO55 共五种，中碳、高碳钢铸件还没有规格化，现在使用的是按表 2.4 的标准。另外，在 JIS 上规定的低合金钢铸件标准如表 2.5，表 2.6。但是现在使用的低合金钢铸件的成分范围相当广泛，JIS 标准预定经过研究把这部分尚未包括进来的品种也规定下来。此外，JIS 规格中表 2.2) 尚未规定化学成分的 SO42 等碳钢铸件可以参照表 2.3 选取成分。

表 2.2 碳素钢铸件标准 JIS G 5105~1958)

种 类	型 号	化 学 成 分 (%)					拉 伸 试 验				弯 曲 试 验	
		C	Si	Mn	P	S	抗拉强度 公斤/毫米 ²	屈服强度 公斤/毫米 ²	延伸率 (%)	断面收 缩率 (%)	角度	内 侧 半 径 毫 米
1种	SO37				≤0.05	≤0.05	≥37	≥18	≥26	≥35	120°	25
2种	SO42				"	"	≥42	≥21	≥24	≥35	120°	25
3种	SO46				"	"	≥46	≥23	≥22	≥30	90°	25
4种	SO49				"	"	≥49	≥25	≥20	≥25	90°	25
5种	SO55				"	"	≥55	≥28	≥15	—	—	—

表 2.3 碳素钢铸件的 C.Si. Mn 含量概数

型 号	C(%)	Si(%)	Mn(%)
SC37	0.08~0.15	0.30~0.50	0.30~0.60
SC42	0.15~0.23	〃	0.50~0.80
SC46	0.19~0.27	〃	〃
SC49	0.23~0.30	〃	〃
SC55	0.30~0.37	〃	〃

碳素钢、低合金钢的铸件，只要没有使用者和制造者两方的特殊协定，所有的铸钢件都要经过退火、正火，或者正火回火热处理。

表 2.4 中、高碳钢铸件

种 类	化 学 成 分 (%)					拉 伸	
	C	Si	Mn	P	S	抗拉强度 公斤/毫米 ²	屈服强度 公斤/毫米 ²
中碳铸钢件	0.40	0.30	0.50	≤0.030	≤0.030	≥70	≥40
	~0.50	~0.50	~0.80			≥75	≥50
高碳铸钢件	0.50	0.30	0.50	≤0.030	≤0.030	≥75	≥45
	~0.70	~0.50	~0.80			≥80	≥50

种 类	强 度		布氏 硬度	热 处 理 (°C)		
	延伸率 (%)	断面收缩率 (%)		退 火	淬 火	回 火
中碳铸钢件	≥12	≥20	≥180	900~950 缓冷	850~900 正火	—
	≥15	≥30	≥230	900~950 缓冷	800~850 水冷	550~650 空冷
高碳铸钢件	≥7	—	≥200	870~920 缓冷	850~900 正火	—
	≥10	≥15	≥240	870~920 缓冷	800~850 油冷	550~650 空冷

表 2.5 低合金钢铸件成分标准 (JIS G5111-1960)

种	类	型号	化 学 成 分 (%)						
			C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
低合金钢铸件	1 种	SCA-1	0.20~0.30	≤0.50	1.00~1.60	≤0.030	≤0.030	—	—
	2 种	SCA-2	0.25~0.35	≤0.50	1.00~1.60	"	"	—	—
	3 种	SCA-3	0.30~0.40	≤0.50	1.00~1.60	"	"	—	—
铸锰钢铸件	1 种	SCA-21	0.25~0.35	≤0.50	1.20~1.60	"	"	0.40~0.80	—
	2 种	SCA-22	0.30~0.40	≤0.50	1.20~1.60	"	"	0.40~0.80	—
	3 种	SCA-23	0.35~0.45	≤0.50	1.20~1.60	"	"	0.40~0.80	—
铸锰钢铸件	1 种	SCA-31	0.25~0.35	0.50~0.80	0.90~1.20	"	"	—	—
铸钢铸件	1 种	SCA-41	≤0.25	≤0.50	0.50~0.80	"	"	—	0.45~0.65
铸钢钢铸件	1 种	SCA-51	≤0.20	≤0.50	0.50~0.80	"	"	1.00~1.50	0.45~0.65
	2 种	SCA-52	≤0.20	≤0.50	0.50~0.80	"	"	4.00~6.00	0.45~0.65

表 2.6 低合金钢铸件的机械性能标准(JIS G5111-1960)

种	类	拉 伸 试 验			布氏硬度	弯 曲 试 验	
		屈服强度 公斤/毫米 ²	抗拉强度 公斤/毫米 ²	延伸率(%)		断面收缩率 %	角 度
低锰钢铸件	1种	≥30	≥55	≥20	≥156	—	—
	2种	≥40	≥60	≥20	≥170	—	—
	3种	≥40	≥65	≥15	≥183	—	—
镍锰钢铸件	1种	≥40	≥65	≥20	≥179	—	—
	2种	≥45	≥70	≥15	≥201	—	—
	3种	≥50	≥75	≥15	≥212	—	—
硅锰钢铸件	1种	≥45	≥65	≥15	>183	—	—
铝 钢 铸 件	1种	≥25	≥45	≥25	—	90°	25
镍 铝 钢 铸 件	1种	≥30	≥50	≥20	—	90°	25
	2种	≥40	≥60	≥18	—	—	—

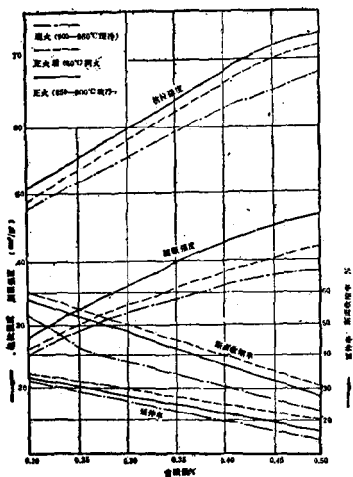


图 2·6 碳素钢铸钢热处理后的机械性能比较

如果再经 650°C 回火，机械性能还要提高。图 2·6 是用图示对机械性能所做的比较。

碳素钢铸件浇注的原态，晶粒粗大，晶界上析出白色的铁素体带。在 790°C 较低温度的退火或正火时，晶粒仍没有细化，还残留有铁素体带。经 880°C 退火后，白色的铁素体和黑色的珠光体都呈现出很匀细的组织。特别是经 880°C 正火后组织被完全细化，呈现出极细密的良好组织，机械性能也优越。

经过正火的铸钢件，

2.3 铸钢的可焊性

铸钢焊接上出现的问题，与组织成分相同的轧钢焊接几乎是一样的。通常是含碳量在 0.3% 以下，如果杂质少，没有偏析现象，这说明可焊性是良好的。如果含碳量在 0.3% 以上，或含有硫磷杂质较多，就容易在焊接处出现硬化、裂缝等缺陷。而其中裂缝又是最应注意的缺陷。这种裂缝可分为高温裂缝（热裂）和低温裂缝（冷裂）两种。

2.3.1 离温裂缝（热裂缝）

热裂缝一般是发生在焊道的中间，对这种裂缝仔细观察

可看到紫色的高温氧化色，说明这种裂缝是在刚到高温时发生的，因此把它叫做高温裂缝即热裂。热裂缝一般是发生在焊道最后凝固的中心处。使用大电流进行快速焊接，很容易出现裂缝。当然熔敷金属中所含有的合金成分也有很大影响。

在焊接时母材中的磷、硫熔进到熔敷金属中，这就减弱熔敷金属在高温时的强度。因之最好是减少这些与高温裂缝有关的元素，把硫减少到 0.025% 以下，磷减少到 0.015% 以下是合乎理想的。

一般地说 锰 (Mn) 在高温时容易和硫结合，所以能防止硫的有害影响。

图 2·7 表示为含碳量与 Mn/S 的关系。这里表明 Mn/S 比值越大，越难于产生热裂缝。

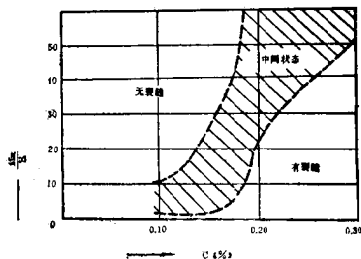


图 2·7 C 和 Mn/S 的关系 (对热裂缝的影响)

2.3.2 低温裂缝 (冷裂缝)

冷裂缝有两种情况，一种是发生在焊道层下的叫做焊道下裂缝；另一种是发生在焊道上面或止端的，叫做焊趾裂缝。参看图 2·8。对中、高碳钢、低合金钢等容易淬火的材料焊接时，最应警惕这种热影响区的裂缝。

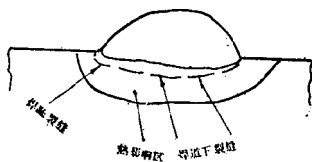


图 2·8 冷裂状态示意图

焊道下裂缝的原因，现在可以确认是在材料中碳当量高，

焊接热影响区淬硬，以及焊接金属中封闭着多量的氢所致。也就是说焊接前如果经过预热措施，热影响区不致于淬硬，这种裂缝就不会发生。另外是使用低氢焊条，能够减少熔敷金属中的氢含量，也能防止这种裂缝。

焊趾裂缝的原因，是焊道在冷却凝固时，受到焊道下面有缺陷地方的大的应力作用（即有明显缺口效应的地方），再加上这时母材正在硬化，不易变形，便产生这种焊趾裂缝，如果含氢量多，当然更助长这种倾向。

2.3.3 熔敷金属中氢的影响

使用含有水分的焊条，在焊接过程中，氢从电弧气氛中进入液态金属，使焊缝金属中含有大量的氢。

其状况如图 2·9(a)那样，在焊缝冷却之后，不能含有过多的氢。一部分要外逸，一部分扩散到热影响区。这些氢是原子状，随着温度的下降，每二个氢原子结成分子状的氢（ H_2 ），就要求占据稍大的空间。热影响区淬硬部分不易变

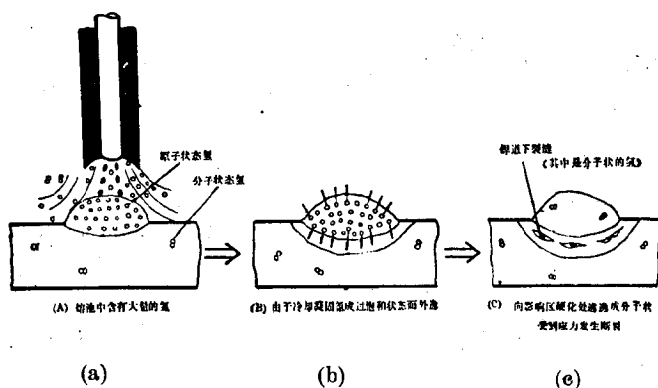


图 2·9 由氢影响所发生的焊道下裂缝（示意图）

形 便产生裂缝 这就给氢提供了所谓的“安居处所”。图 2·9 上的 b)(c)就是这种情况的示意。

为了确知从焊缝逸出的氢量有多少，可利用氢气收集器

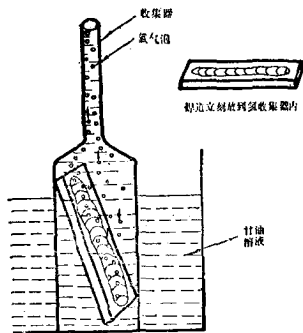


图 2·10 氢量收集器试验

测定。这种实验是把堆焊的试板，立刻放进装满甘油（丙三醇）的收集器内，这时焊道表面就呈现出一层雪白的气泡，不久这些气泡便徐徐浮升，便可看到含氢的程度（图 2.10）。

曾用各种焊条做过这种试验，事后证明：铁粉钛型焊条的熔敷金属含氢量最多，其次是高氧化钛型，含氢最少的是

低氢型焊条。

还可以清楚了解：埋弧焊、二氧化碳气体保护焊比低氢焊条焊接的含氢量还少。

根据实验测定的氢量，一般来说低氢焊条的熔敷金属上含氢量如以容积计算约为 4 厘米³，而铁粉钛型焊条焊接的含氢量竟达 9 厘米³，为低氢焊条的两倍多，可以说这个数字是惊人的。

2.3.4 热影响区硬度的影响

焊接工作是在极狭小的范围内造成急热，而冷却速度又像油淬作业那样的迅速。因此中、高碳钢、低合金钢铸件的热影响区都被淬硬，图 2·11 是经过实验得出的焊接断面硬度分布图。

从这个图上可看出焊接热影响区比母材硬度高得多，这

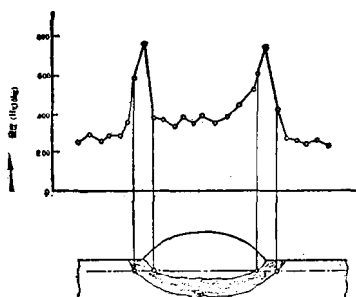


图 2.11 中碳铸钢焊接热影响区的硬度分布

量或碳当量来规定预热的温度。

就助长着焊道下裂缝或焊趾裂缝的发生。

为了防止淬硬，可采取预热母材的办法。如果这样，焊后的冷却速度就会慢下来，母材就不会淬硬。

预热到多少度才有效果，这主要应根据材料的成分来决定，通常以含碳

2.3.5 碳素钢铸件的焊接条件

碳素钢铸件的可焊性基本上与轧钢相同，所不同的是铸钢多是壁厚件，可焊性比轧钢差一些。一般来说参照下列条件进行焊接较好。

碳 量 (%)	使用焊条	预 热	可 焊 性
<0.30	普通钛铁矿型	不需预热	极 好
0.30~0.45	低氢型焊条	40~100℃	良 好
0.45~0.80	低氢型焊条	100~260℃	不 好

应注意的是：在冬季气温低的季节焊接壁厚的铸钢件，即使碳量低，如不进行 40~100℃ 预热，焊接金属也熔合得不好，还会产生裂缝。

若使用埋弧焊或二氧化碳气体保护焊就比低氢焊条好，不容易产生裂缝。

图 2.12 是轧制碳素钢焊接热影响区的最高硬度和含碳

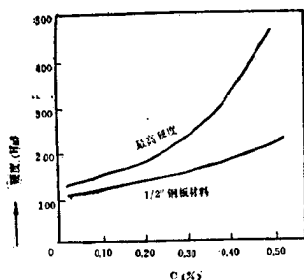


图 2.12 碳素钢焊接热影响区的最高硬度和含碳量的关系

量的关系。从这里可以看到：含碳量超过 0.30%，硬度就开始剧增，因之可以大致认为含碳量 0.30% 是危险界限。

2.3.6 低合金钢铸件的焊接条件

如果知道合金元素的组成，就能计算出碳当量，从而可以决定焊接规范。

用所谓碳当量来推算焊接热影响区的最高硬度，可应用下列公式：

$$\text{碳当量 } (C_{eQ}) = C + \frac{1}{6}Mn + \frac{1}{24}Si + \frac{1}{15}Ni + \frac{1}{5}Cr + \frac{1}{4}Mo\%$$

以计算出来的碳当量为基础，并参照下列条件进行焊接。

碳 当 量	焊 条	预 热	可 焊 性
<0.30	钛铁型普通焊条	不需预热	极 好
0.30~0.45	低氢型焊条	"	良 好
0.45~0.60	"	40~100℃	良 好
0.60~0.80	"	100~200℃	不 好

此外，在冬季焊接，即使碳当量低，也还是做 40~100℃

的预热为好。

当然这个季节，若能用埋弧焊或二氧化碳气体保护焊，效果比低氢焊条还要好些。

下边以铬锰钢铸件（1种 SOA·21）为例，计算其碳当量，求出焊接规范。

化 学 成 分			
O	Si	Mn	Cr
0.25~0.35	0.50 以下	1.20~1.60	0.40~0.80

碳当量

$$\begin{aligned} C_{eq} &= C + \frac{1}{6}Mn + \frac{1}{24}Si + \frac{1}{15}Ni + \frac{1}{5}Cr + \frac{1}{4}Mo \\ &= 0.35 + \frac{1.60}{6} + \frac{0.50}{24} + \frac{0.80}{5} \\ &= 0.35 + 0.266 + 0.02 + 0.15 \\ &= 0.80 \end{aligned}$$

从这个碳当量可以判断，这种铸钢件的可焊性是不好的。应当进行 200℃ 左右的预热，同时还要使用烘干得很好的低氢焊条，不这样就难免会有裂缝的危险。

用这种碳当量的计算方法，计算出低合金钢铸件的数值，即如表 2.7 那样，碳当量都高，可焊性不好。表上铬钼钢铸件第 2 种，Cr 量占 6.50% 或更高，用碳当量计算式已不适合，故表上未列数字。这种钢铸件的可焊性显然是不好的。

$$C_{eq} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Ni}{15} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4}$$

2.4 焊接方法的选择

关于焊接方法的种类，可见表 2.8 上的分类。其中最适

表 2.7 低合金钢铸件 (JIS 标准的碳当量)

种 类		化 学 成 分(最大值)%					碳当量 C_{eq} (最大)
		C	Si	Mn	Cr	Mo	
低锰钢铸件	1 种	0.30	0.50	1.60	—	—	0.59
	2 种	0.35	0.50	1.60	—	—	0.64
	3 种	0.40	0.50	1.60	—	—	0.69
铬锰钢铸件	1 种	0.35	0.50	1.60	0.8	—	0.80
	2 种	0.40	0.50	1.60	0.8	—	0.85
	3 种	0.45	0.50	1.60	0.8	—	0.90
硅锰钢铸件	1 种	0.35	0.50	1.20	—	—	0.57
铝钢铸件	1 种	0.25	0.50	0.80	—	0.65	0.56
铬铝钢铸件	1 种	0.20	0.50	0.80	1.50	0.65	0.81
	2 种	0.20	0.50	0.80	6.50	0.65	—

用于铸钢焊接的是手工电弧焊。为提高效率还可使用埋弧焊、二氧化碳气体保护焊和电渣焊。从经济意义来考虑,值得提出的是自从电渣焊 (Electro-slag W.) 发展以来,对大型铸件采取分段铸造,然后拼焊成整体的办法才有了可能。

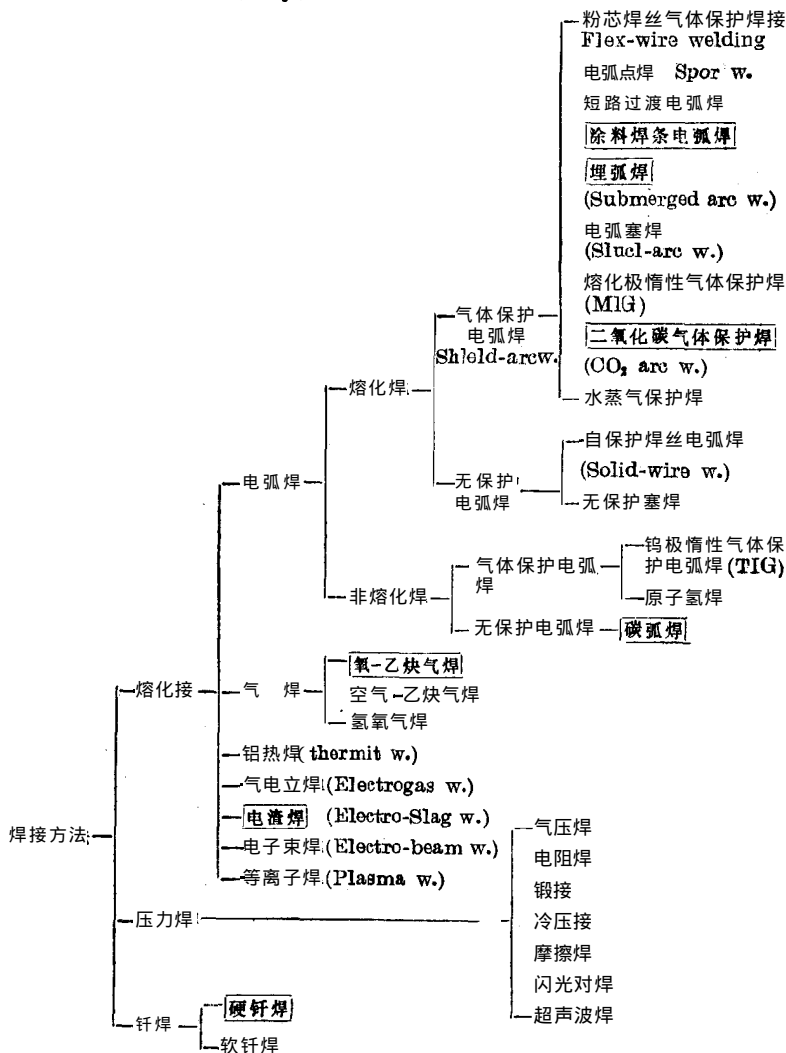
其次碳弧焊在修理冒口、直浇口时可作为切断和清除砂眼、夹渣之用。再次是氧乙炔气焊,但是效率不高,几乎已不使用。下边仅就几种主要焊接方法举例说明。

2.4.1 电 弧 焊

这里指的电弧焊即使用涂料焊条的手工电弧焊,是最普通的一种焊接法。铸钢的修补、或焊接组装等都可采用这种方法。但工作效率较低。不过对结构复杂或焊接部位窄狭的铸钢件,使用手工电弧焊还是很适宜的。

低碳钢铸件焊接使用的是低碳钢焊条,如表 2.9 所示。

表 2.8 焊接方法种类



注：□ 是铸钢焊接能适用的焊接法。

表 2.9 低碳钢用电焊条标准 (JIS Z3211-1967)

焊条型号	涂料种类	焊接位置	使用电流种类	焊 缝			机 械 性 能
				抗拉强度 公斤/毫米 ²	屈服强度 公斤/毫米 ²	延伸率 (%)	
D4301	钛 铁 矿 型	F.V.OH.H	AC 或 DC(±)	≥43	≥35	≥22	≥4.8
D4303	钛 钙 型	"	"	"	"	"	≥2.8
D4311	高 纤 维 型	"	AC 或 DC(+)	"	"	"	"
D4313	高 氧 化 钛 型	"	AC 或 DC(-)	"	"	≥17	—
D4316	低 氢 型	"	AC 或 DC(+)	"	"	≥25	≥4.8
D4324	铁 粉 氧 化 钛 型	F.H-Fil	AC 或 DC(±)	"	"	≥17	—
D4326	铁 粉 低 氢 型	"	AC 或 DC(+)	"	"	≥35	≥4.8
D4327	铁 粉 氧 化 铁 型	"	FAC 或 DC H-FilAC 或 DC(-)	"	"	"	≥2.8
D4340	特 殊 型	"	"	"	"	"	≥2.8

备注: 1. 焊接位置: F: 下焊, V: 立焊, OH: 上焊, H: 横焊, H-Fil: 水平填角焊。

2. 表上所指的焊接位置均适用于 5 毫米以下的焊条。

3. 电流: AC: 交流, DC(±): 直流, 焊条可用正极或负极, DC(+): 直流, 焊条用正极, DC(-) 直流, 焊条用负极。

4. D4327 铁粉氧化钛型, 延伸率如增 2%, 屈服强度、抗拉强度不妨各降 1 公斤/毫米², 但屈服强度不能少于 33 公斤/毫米², 抗拉强度不能低于 41 公斤/毫米²。

表 2.10 高强度钢焊条 (JIS Z 3212-1964)

焊条型号	涂料种类	焊接位置	使用电流种类	焊接金属机械性能			
				抗拉强度: 公斤/毫米 ²	屈服强度: 公斤/毫米 ²	伸长率: %	冲击功 0°C 公斤米/厘米 ²
D5000	不 规 定	E.V.OH.H	不 规 定	≥52	≥42	≥20	4.0
D5500				≥57	≥46	≥18	—
D6000				≥62	≥50	≥15	—
D5001	钛 铁 矿 型	"	AC 或 DC	≥52	≥42	≥20	4.0
D5093	钛 钙 型	"	"	"	"	"	"
D5011	高 纤 维 型	"	AC 或 DC(+)	"	"	"	"
D5013	高 氧 化 钛 型	"	AC 或 DC(-)	"	"	≥15	"
D5014	铁 粉 氧 化 钛 型	"	"	"	"	≥15	—
D5016	低 氢 型	"	AC 或 DC(+)	≥52	≥42	≥22	7.0
D5516				≥57	≥46	≥20	—*
D6016				≥62	≥50	≥18	—*
D5018	铁 粉 低 氢 型	"	"	≥52	≥42	≥22	7.0
D5518				≥57	≥46	≥20	—*
D6018				≥62	≥50	≥18	—*

焊条型号	涂料种数	焊接位置	使用电流种类	焊接金属机械性能			
				抗拉强度 ¹ 公斤/毫米 ²	屈服强度 ² 公斤/毫米 ²	延伸率 ³ %	冲击值 0°C 公斤米/厘米 ³
D5024	铁粉氧化钛型	FH-FH1	AC 或 DC(-)	≥52	≥42	≥15	—
D5026				≥52	≥42	≥22	7.0
D5326	低氢型	"	AC 或 DC(+)	≥57	≥46	≥20	*
D6026				≥62	≥50	≥18	*
D5028				≥52	≥42	≥22	7.0
D5533	铁粉低氢型	"	"	≥57	≥46	≥20	*
D6028				≥62	≥52	≥18	*

注：* 低氢型焊条的冲击试验及冲击值由订货者和生产者协商规定。

译注：上列表 2.9, 表 2.10 是日本 JIS 规定的低碳钢焊条和高碳钢焊条, 与我国国家标准规定的结构钢焊条是相似的。他们分列为低碳钢, 高碳钢两种; 我国以结构钢 (其中包括低碳钢和合金高强度钢) 为一种。而以 T42 x, T50 x, T60 x, T60 x (抗拉强度) 加以区分。日本规定的焊条为 10 种, 我国规定为 9 种, 所以他们采用四位数字, 如 "D4301" (钛铁矿型), 我国采用三位数字, 如 T423 (钛铁矿型)。值得注意的是最后一位数字所代表的焊条型号是不一致的, 在进口使用或进行研究时应有所区别。至于由药皮所定的类型名称, 则是大同小异的。另外他们以钛铁矿型为主要品种, 产量最大; 我们则以钛钙型为主, 用量最多。这是由于原料来源和使用习惯所决定的。

在 JIS 标准中，D4301 钛铁矿型焊条在日本是通用的一种焊条。但这种焊条焊接铸钢常常出现气孔、偏析等缺陷。所以重要接头部分使用 D4316 低氢型焊条，或为提高接头质量和工作效率也可使用 D4326 铁粉低氢型焊条。

至于中、高碳钢铸件 低合金钢铸件焊接，一般是使用表 2.10 中高强钢焊条。其中 D5016、D5516、D6016 是低氢型；D5018、D5518、D6018 等是铁粉低氢型焊条。使用之前对焊条应进行再烘干，充分排除药皮中的水分，这一点很重要。烘干的标准：低氢型焊条要求 $300\sim 350^{\circ}\text{C}$ ，一小时，其它种焊条应在 $70\sim 100^{\circ}\text{C}$ ，三十分钟以上。

2.4.2 埋弧焊

埋弧焊 (Submerged arc welding) 也叫隐弧自动焊，有的商品名称叫“焊剂层下自动焊”(Union-melt)，这种焊接法使用的是直径为 $10\sim 12$ 毫米粗焊丝自动焊接，效率很高，焊速比电弧焊高 $5\sim 10$ 倍。但是一般的铸钢件焊接结构很少需要这种粗径直的焊丝，因此利用率就低。图 2.13 是利用这

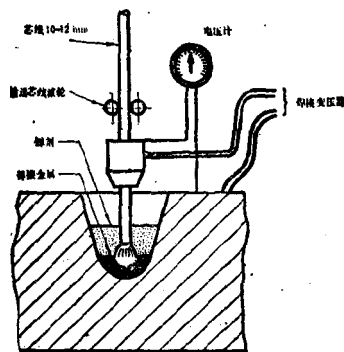


图 2.13 用埋弧焊焊接修理铸钢件上大的孔洞

种焊法焊补铸件上的孔洞。

2.4.3 二氧化碳气体保护焊

把铸钢件焊接在结构件上，使用二氧化碳气体保护焊也是很有效的一种方法。其优点是：

- (1) 在曲线部位上用半自动焊接比较容易完成；
- (2) 比电弧焊的效率高 2~3 倍；
- (3) 含氢量比低氢焊条还低，在很多场合可以省略预热。

可是二氧化碳气体保护焊也有如下缺点：

(1) 在深而窄的坡口内进行第一层焊接时，焊道上容易出现裂缝。遇到这种情况应当降低第一层焊接电流，减少熔深，就可以避免裂缝的发生。

(2) 在粘有油污、灰尘、油漆的铸件上焊接比电弧焊更容易出现气孔。因此清除铸件表面的污垢，然后再进行焊接是非常必要的。

(3) 在有风的地方焊接，二氧化碳气体消失，不起保护作用，也容易产生气孔。因此应设必要的防风设置，防止保护气体失散。

2.4.4 电渣焊

电渣焊是以焊接超厚件为对象的一种焊接方法。从 1951 年研究成功以后，已普遍被利用起来。对锅炉的厚壁容器、巨型机床、大型冲床、大型滚筒，大型水轮机转轮和大轴等大件焊接起了重大作用。由于这种焊接法的出现，就能够较易地把小型铸、锻件或轧钢件焊接组装成大型铸、锻件，从而改变了铸造和锻造的笨重劳动状态，并在不增加设备、厂房面积的情况下有了提高产量的可能。

图 2·14 是轧钢机上用的超大型机架，分段铸造成四个部分，然后用电渣焊接起来的图例。

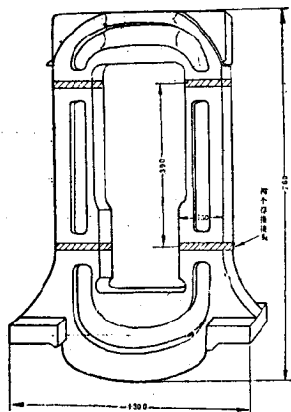


图 2·14 四部分铸件用电渣焊拼起来的大型轧钢机架总重量为 90 吨

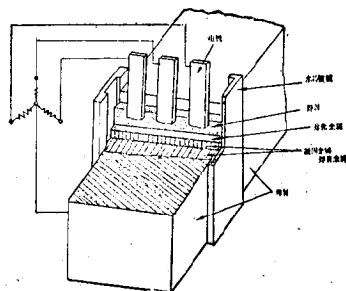


图 2·15 电渣焊使用三根电极焊接大型轧钢机架的示意图

图 2·15 是电渣焊接的状况。

此外船舶上的一些大型结构件都不能整体锻造，因为成本太高，制造上也困难，所以均用焊接结构代替。有的被焊件直径达 535 毫米就是采用高效率的电渣焊方法焊接的。

2.5 铸钢的组装焊接

铸钢件的组装焊接大致有两种情况：一种是本来应是一个整体铸钢件，但是由于不可能一次浇注，因此分成几部分，分别浇注，然后再用焊接组装成型；另一种情况是用钢板制成焊接结构件，其中一部分利用铸钢件。前一种是产生于铸钢件工厂而逐渐发展起来的一种方法；后一种是以焊接钢板

为主的生产现场实行起来的一种方法。

2.5.1 铸钢与铸钢接合的焊接结构

近年来铸钢件越来越向大型化发展，这就出现了从设备上完成整体设计这样的困难。针对这种情况便逐渐地采取了分段铸造、焊接组装的办法。这种办法一般是在下列情况下出现的：

- (1) 在完成整体铸造上，工厂的设备能力不够。
- (2) 分段铸造有利于生产效率的提高。
- (3) 在大型铸件上尺寸、精度不受影响。

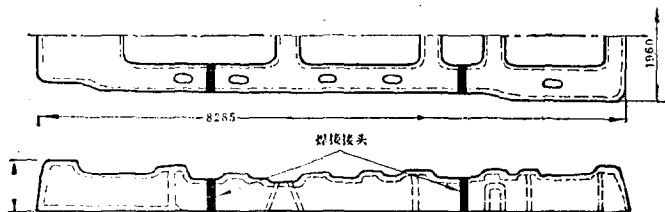


图 2.16 通用底座分段铸造焊接成型的一例

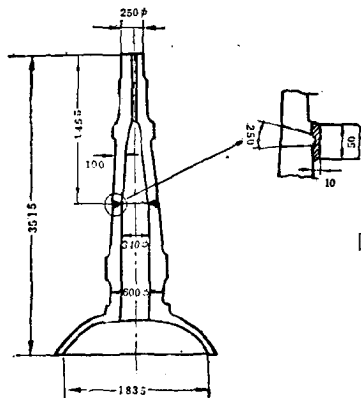


图 2.17 是枢轴(trunnion)的分段铸造

(4) 铸件形状复杂，整体铸造困难或者成品率太低等情况。

下面用几个实例图示，分别加以说明。

图 2·16、2·17 是一般大型机械的通用底座及枢轴，由于尺寸过大，便可以采取这种分段铸造，最后焊接成整体的办法。

以上两图是属于上述的 (1)(2) 两种情况。

图 2·18 是由六个缸筒组成的柴油机缸体，为了使缸体间距准确合适，采取七等分分段铸造，然后焊接组成。

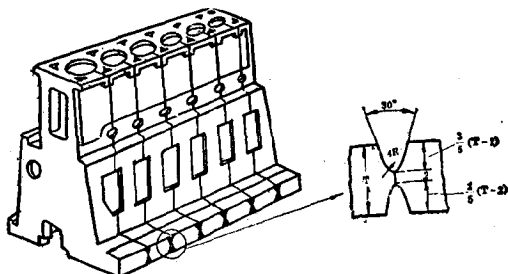


图 2·18 柴油机底座按油缸间距分割铸造焊接组成 (材料 SC42)

图 2·19 是合成树脂挤压机的机体部分，造型复杂，机

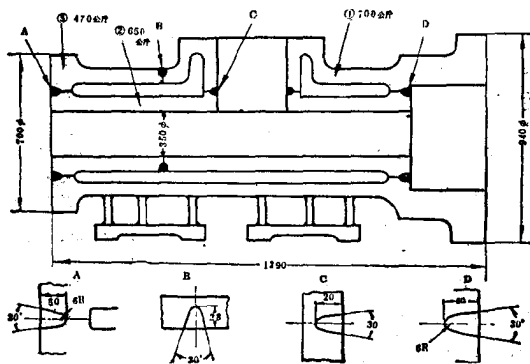


图 2·19 造型复杂的合成树脂挤压机的分段组装图 (材料 SC46)

体是圆柱形，整体铸造有困难，所以采用分段铸造的办法，使焊接结构单纯化，即使发现缺陷，也容易处理。

以上两图是符合上述的(3)(4)两种情况。

2.5.2 在板结构上采用铸钢件

一般结构件都是用焊接把钢板组合起来而制成的，但是为了增加机械强度，有时使用一部分铸钢件配合上去，这样不仅可以提高结构件的强度，还能降低造价。在结构件上利用铸钢件一般是在下述情况：

(1) 形状复杂部分，换上铸钢件，可以节约安装工时。

如上节图 2·18 所举出的柴油机缸体底座一例，即属于这种情况。其它各种转动叶轮的框架等都可用铸钢件焊接上。

(2) 结构形状不利，容易引起应力集中的部位，使用铸钢件。为提高强度外形表面尽量平滑。例如推土机前面的辊机支架，或者土木建筑机械中的操纵铲斗升降的两臂等都是用低合金钢铸件制成的，与原机焊接成一体，提高了使用强度。

2.5.3 焊接接头部位的形状

大型铸件或造型复杂的铸件，采取分段铸造，焊接组装的办法是行之有效的。但是焊接接头部位应当是平滑的不致造成应力集中而突然断裂，这是一个很重要的条件。因此在什么部位分段，倒是一个重要的问题。根据经验，可按下列要求，适当处理：

(1) 在不着重量的部位；

(2) 在没有断面变化的部位；

(3) 在容易焊接操作的部位进行分段。图 2·14 的机架，

图 2·16 通用机座，图 2·17 枢轴，图 2·19 圆柱体等都是符合上述三个条件的部位进行分段的实例。特别是图 2·14 机架的分段设计，便于使用效率很高的电渣焊法，两侧接合处的形状完全相同，而且焊接面成直角；近傍没有影响焊接操作的障碍物，是最理想的分段设计。

此外在浇注时应当注意补缩冒口部分，使焊接接口严密合缝，准确适当，这也是非常重要的。还要注意补缩冒口地方的硫、磷含量，一般来说这个地方常常比别处的硫、磷平均值要高。这会给焊接质量带来极坏的影响。

在钢板结构上使用一部分铸钢件，最好按下述条件来考虑铸钢件的安排：

- (1) 断面变化的地方可用铸钢件来承担；
- (2) 与钢板接合处要和钢板的厚度相等；
- (3) 要按照接合处的尺寸精度制定出精确的铸造方案。

图 2·20 是一个附有连接部件的升降臂，左右两臂和连接部件是用焊缝连接的。可是由于使用条件苛刻，逐渐发生像图上出现那样的裂缝。这是因为在接合处骤然发生形状变

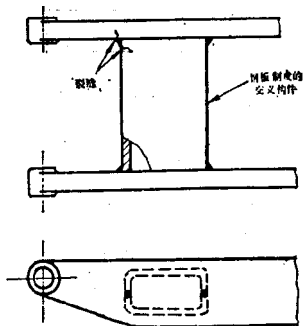


图 2·20 容易招致应力集中的结构

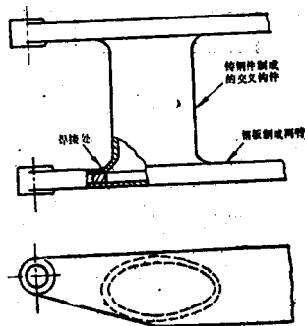


图 2·21 能缓和应力集中的结构

化，引起很大的应力集中所造成的。为了改善这种状况，连接部件改用铸钢件，这是符合上面所说的断面变化部分用铸钢件承担这一条件的。

如图 2·21 上所示，改用这种型式可以大大缓和焊缝附近的应力集中。于此也可看出使用铸钢件是很有必要的。

2.5.4 坡口的形状

坡口的形状和接头型式都是影响焊接结构的重要因素。一般来说铸钢件多是壁厚的，因此焊接时势必要开深坡口，这样一来，对焊接操作和作业效率都带来了不少问题。如图 2·22 是因坡口窄而深出现的情况。

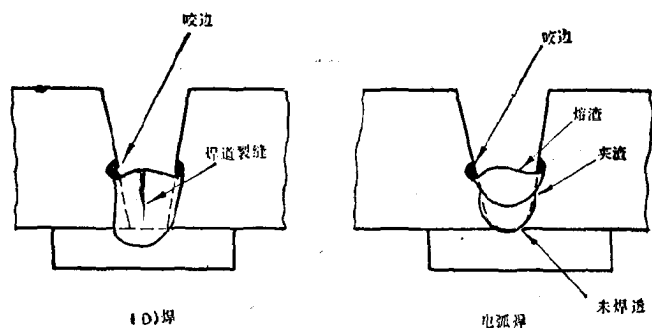


图 2·22 坡口过窄过深的缺点

这是焊接上的问题。首先是坡口底部焊缝难以脱渣，其次是咬边处不易脱渣给下一层焊缝造成夹渣。这是使用电弧焊的情况。至于使用二氧化碳气体保护焊，因为要用大电流，焊缝成型迅速，容易产生裂缝，也是应当注意的。

厚壁铸钢件的合适坡口，应当象图 2·17 ,图 2·18 ,图

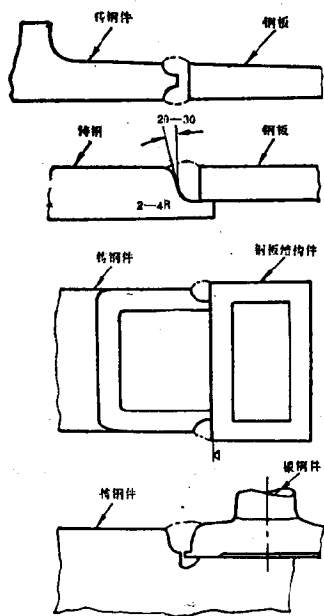


图 2.23 铸造时预先设计的铸钢件坡口形状

也关系不大。

2.5.5 焊接操作

焊接之前，首先应做好检查，主要的是检查焊接坡口处是否按照设计做好准备。如果坡口没有保证必要的焊接间隙，就应用气割或砂轮修理成合适的间隙；间隙过大的地方，有必要在合适的部位预先堆焊，使之严密接合。另外坡口上如果有夹砂、气孔、裂纹等铸造缺陷时，应完全除掉或适当修补，使之成为良好的坡口。特别是铸钢件在高温下浇注，铸

2.19那样 坡口底部的半径(R)应为 4~6 毫米 坡口角度应为 $25\sim 30^\circ$ 。此外，最好是铸造时在铸钢件上预留出来适当的坡口。

图 2.23 就是铸造时预先设计的带有坡口的铸钢件示例。如果坡口设计的合适，只在被焊接件的另一面上加工坡口那就方便了许多，可以节约坡口的焊接工时。

以上所讲的是以电弧焊为对象的坡口形状，至于二氧化碳气体保护焊、埋弧焊，由于熔深较大，焊丝也细，即使坡口再窄

件表面容易有粘砂现象，应用喷丸(Shotblast)把坡口清理干净，使坡口呈现出良好的表面，便于发现缺陷，这些都是应当注意到的。

焊接处检查完了之后，要严格按照规定进行预热。

至于焊接操作是和一般的钢板焊接操作一样的，这里省略。

2.5.6 焊接变形

虽然是对铸钢件的焊接，但也要和与之接合的钢板一体来考虑，特别是在焊接变形问题上更为必要。这里仅举出几项有关焊接变形的基础知识，供做参照。

(1) 焊接处如果是全部收缩，那就会发生整体变形。

(2) 焊接稠密(反复在一处施焊)的地方，收缩的多，变形的可能性就大。

(3) 焊接层数少，变形的可能性就小。

(4) 焊速快，不容易发生变形。

除这四条之外，还可做如下补充：

二氧化碳气体保护焊比手工电弧焊焊接变形少；埋弧焊比二氧化碳气体保护焊变形还要少；此外立焊比仰焊变形少；平焊又比立焊变形少。再者就是大电流快速焊比小电流慢速焊变形少。

为了防止变形可采用各种方法：如强制拘束焊接方法，反变形方法，里外交替焊接方法等。尽管如此，要想完全避免变形几乎是不可能的。所以一般是适当地采用拘束和反变形等方法，并用压力机对其残留的变形加以矫正。

2.5.7 预热和后热

对中、高碳铸钢、低合金铸钢进行预热的重要性已在 2.3

节中讲过。即应以铸钢件材料的成分为基准，确定预热温度。焊前恰当地进行预热非常重要。其主要目的是把焊接热影响区的冷却速度放慢，防止在母材淬硬的同时带来裂缝。如果做了这样的预热，焊后的后热就无必要。预热的方法，一般的是使用氧乙炔、氧丙烷等气体火焰。

2.5.8 焊后热处理

对焊接结构件的焊后热处理，是为了消除应力进行的退火。焊接处的附近，在焊接当时虽达到母材的屈服点，但仍存在残余应力。如果就这样下去的话，在使用中或者产生裂缝，或者引起应力腐蚀，有时甚至经年的在尺寸上发生变化。因此需要进行消除应力退火。这种退火，一般是加热到变态点（即 A_1 线）以下 $600\sim 650^\circ\text{C}$ 之间；壁厚在 25 毫米左右的铸件要持续加热一个小时为合适。

表 2.11 消除应力退火的标准温度和保温时间

材 料 种 类	温 度 ($^\circ\text{C}$)	保温时间(小时) 板厚 25 毫米左右
碳 素 钢	$<0.35\%$ 不足 19 毫米	一般不需消除应力*
	$<0.35\%$ 19 毫米以上	590~680
	$\geq 0.35\%$ 不足 12 毫米	一般不需消除应力
	$\geq 0.35\%$ 12 毫米以上	590~680
碳 钼 钢 (不分板厚)	$<0.25\%$	590~680
	0.20~0.35%	600~760
铬 钼 钢 (不分板厚)	Cr2% Mo0.5%	720~750
	Cr2.25 Mo1%	730~760
	Cr5%	730~760
	Cr9%	745~775

* 如果有必要防止尺寸偏差时，还需要消除应力退火

在进行退火时应注意的是：加热和冷却速度的问题，特别对壁厚不一致的铸钢件，冷却速度应当缓慢。最大壁厚和最小壁厚如在 4:1 以上时，应注意每小时不超过 260℃。采用这样的消除应力退火，还可以降低焊接处的硬度，有利于加工，这也是焊后热处理的一个重要目的。

2.6 铸造缺陷的修补焊接

在铸造上铸钢比铸铁更容易产生缺陷，这在 2.1 节上已经讲过。假如这种缺陷达到了有损于机械性能的程度，这个铸件就应视为废品。如果还可应用的话也必须进行必要的修补。近几年来，由于焊接技术的飞跃发展，对铸钢件的修补已达到足可信赖的程度。因此焊补修复已被广泛地应用起来。但是应当看到事物的另一方面，与其说焊补修复是件好事，勿宁说对铸造技术的进步反倒放松。这是应当引起重视的。为了避免铸造上的缺陷，这里引用《铸钢件手册》上对铸钢生产的缺陷和处理方法一表于后，供做参考。

缺陷	造成原因	处 理 办 法
气 孔	<ol style="list-style-type: none"> 1.造型中的空气没有抽净 2.从造型材料中发生的大量气体 3.因造型时干燥不良，发生水蒸气；造型时水份过多 4.型芯撑不良，内激冷现象由冷铁形成的熔液反应，发生气体 5.熔液脱氧不充分，凝固时放出气体 	<ol style="list-style-type: none"> 1.使用通气孔，使型砂的通气度良好 2.减少型砂的可燃物 3.适当的使用干燥方法 4.除掉锈、水份，使其露出真正金属光泽 5.炼钢时充分脱氧

缺陷	造成原因	处理办法
缩孔	<ol style="list-style-type: none"> 1. 没有实行指向性凝固 2. 补缩冒口小, 位置不适当 3. 浇注温度、速度不适当 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 实用指向性凝固, 对壁厚部分做适当的调整 2. 补缩冒口的大小, 做到充分有效; 在浇液距离上, 不偏离位置 3. 使浇注温度适当的降低; 浇注速度不过慢
砂眼(夹砂)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 因铸型的硬度不均匀, 或因异常膨胀, 使铸型破损 2. 铸型被熔液飞溅, 或侵蚀 3. 钢液中熔渣过多 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 要把铸型硬度调配的一致, 经管好 2. 使热崩性迟缓下来; 同时使用耐火度良好的型砂 3. 充分做到钢液脱氧、镇静
裂纹	<ol style="list-style-type: none"> 1. 材料和形状不适应 2. 钢液冷却凝固收缩与铸型收缩不一致 3. 壁厚不均匀, 冷却时应力在局部高涨 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 对易裂材料, 考虑采取不引起应力集中的形状 2. 型砂上用缓冲材料, 钢液收缩时不致受到妨碍 3. 壁厚部位上的变动, 缓慢进行, 避免应力集中
变形	<ol style="list-style-type: none"> 1. 冷却进行的不均匀 2. 补缩冒口或制件的突出部分阻碍收缩 3. 铸型强度过高, 妨碍收缩 4. 开箱, 热处理实施的不适当, 冷却等进行的不均匀 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 如在形状上处于不得已的情况时可根据情况预先把模型接到应变的反方向 2. 浇注后在不妨碍收缩的情况下进行切断 3. 降低型砂的高温强度 4. 开箱、适当地实施热处理
结疤	<ol style="list-style-type: none"> 1. 砂型透气度小 2. 型砂高温强度低 3. 从造型材料发生气体 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 加大型砂的颗粒度 2. 为加大高温强度, 增加添加材料 3. 增加粗粒, 减少砂中的可燃物质

2.6.1 缺陷的消除

焊接修补之后, 如果仍有残留缺陷, 这给日后出现断裂

事故埋下了隐患。因此在修补过程中，把一切缺陷完全消除掉是非常必要的。

消除缺陷的方法，可使用电弧气刨、扁铲、砂轮机、铲平或机械加工等方法。机械加工的方法用起来费事，所以很少使用。应用较多的是铲平、辗凿。但这种方法勿宁说是只把金属表面压平，反而使缺陷遮盖起来，因此这种方法不宜推广。

使用砂轮机打磨，最后把缺陷完全清理出来是比较适宜的方法。使用扁铲要对母材进行相当地加热，而且挖掘微小缺陷也不适合。至于效率最高，而且容易发现缺陷的是电弧气刨，用它把大的缺陷消除之后，再用砂轮机在表面上扫清是最好的办法。

此后是利用肉眼观察，或用着色探伤、比色检验等染色渗透探伤法，或用磁力探伤法，以确定是否仍有残留缺陷。

缺陷完全消除之后，就应考虑修补部分的深度、宽度，确定可否进行修补。

如果确定可以修补，还应注意注意到挖掘部分的转角处，最好做成如鼓肚碗状的圆形，上面口宽，便于焊接操作。

2.6.2 焊条的选择

选择焊条的最基本的设想，应当是选用那种焊接金属与母材成分相同的焊条。但是现在生产的焊条中很难找到焊接金属成分与中碳、高碳钢、低合金钢成分相同的焊条，那就最好选用那种由同样热处理后、在抗拉强度或硬度大体上差不多的焊条，表 2·13 可做为一般的选择准则。

高碳铸钢、低合金铸钢在进行淬火、回火热处理时，如果修补部分的熔敷金属和母材的淬火性能大不相同，这在淬火时会发生变态应力，以至产生裂缝。因此尽量选用能够

表 2.13 磷素铸钢及低合金铸钢焊接修补的准则

铸钢件种类	修 补 用 焊 条	预 热	焊 后 热 处 理
低碳钢铸件	SO37 ~SO47	低碳钢普通焊条 D4301 D4313	除大部件以外可不预热 缺陷小，即不需处理缺陷大，做消除应力退火
	Sc55	低碳钢低氢焊条 D4316、D5016	“
中碳钢铸件	高强度钢低氢焊条 D5516	预热较好	正火尽量按热处理标准去做
高碳钢铸件	选用表面硬化堆焊焊条中适当的低氢焊条	需要预热	正火、淬火、回火按热处理标准去做
低合金钢铸件	选用 60、70、80 公斤级抗拉强度高钢焊条或表面硬化堆焊焊条中适当的低氢焊条	“	“

得到熔敷金属与母材淬火性能相近的焊条是很重要的。同时还要在修补前做抽样预备试验，鉴定是否良好然后再用。

2.6.3 预 热

·预热的目的基本上是为了使熔敷金属与母材之间降低温度差的影响，避免从热影响区带来种种缺陷。如果焊接处不进行预热，由于焊接热的激热剧冷，其结果会使高碳钢母材生成马氏体，焊接处淬硬，组织、机械性能变坏，甚至产生裂缝等致命事故。

因此铸钢焊接时进行预热是最妥善的措施，这里归纳一下，有以下几点好处：

- (1) 不致有产生裂缝的危险；

- (2) 可以减少淬硬区；
- (3) 能够降低收缩应力；
- (4) 不至于发生变形；
- (5) 提高氢的扩散程度。

可是这种焊接热的影响程度，当然还要根据各种不同铸钢的化学成分、冷却速度、焊接区的大小、形状、有无拘束和拘束程度等而有所不同。因此为了避免焊接热带来的影响，在各种情况下，对各种不同形状的母材都应进行预热。

预热温度的高低在前面已经讲过，碳素铸钢可在含碳量上，低合金铸钢可在碳当量上找到大体标准，这里把日本铸钢协会出版的《铸钢件手册》上推荐的预热温度表列后（表 2.14）供做参考。

预热方法要根据铸件的加工状态、缺陷大小而异。或用炉内整体加热，或用喷烧器，煤火等局部加热。同时在焊接操作中也要保持原规定的预热温度，这一点也很重要。

2.6.4 焊接操作

准备工作做完，开始焊接时，首先要注意的是使用充分干燥的焊条。对一般焊条要经过 $70\sim 100^{\circ}\text{C}$ ，三十分钟以上的烘干。低氢焊条要经过 $300\sim 350^{\circ}\text{C}$ 一个小时以上的再烘干处理。焊条直径以 $4\sim 6$ 毫米为好，壁厚和缺陷大的铸钢要使用粗径焊条。

消除缺陷以后对细长的，或圆形、椭圆形而短的，或细长而深的坡口形状进行堆焊时，为减少残余应力可采用依次垒叠焊法，和分段多层焊法（即多层焊），见图 2.24。

对圆形、椭圆形短坡口，要从中心位置开始堆焊，逐次地以蜗形向外侧螺旋推进，安排焊道。坡口特别深的要采用

表 2.14 各种金属材料的预热温度 (铸钢件手册)

钢种	化学成分						预热温度 °C	
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo		Cu
碳素钢	<0.30	—	—	—	—	—	—	到 100
	0.33~0.60	—	—	—	—	—	—	100~250
	0.60~0.80	—	—	—	—	—	—	250~400
碳相钢	0.10~0.20	—	—	—	—	0.50	—	150~250
	0.20~0.30	—	—	—	—	0.50	—	200~300
	0.30~0.35	—	—	—	—	0.50	—	250~400
锰钢	0.30	0.40	0.25	—	—	—	—	150~250
	0.20~0.25	1.0~1.15	—	—	—	—	—	150~250
	0.30	1.75	—	—	—	—	—	200~300
	0.40	1.75	—	—	—	—	—	250~400
	0.50	1.75	—	—	—	—	—	300~480
	1.25	12.0	—	—	—	—	—	不加热

钢种	化学成份							预热温度 ℃
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Cu	
高	0.20	1.65	0.26	—	—	—	—	150~250
	≤0.35	1.50	0.30	—	—	0.40	—	200~300
	≤0.30	1.35	0.30	—	—	0.20	—	200~300
	0.12	—	—	—	0.50min	0.03min	0.35min	到100
	0.12	0.75	—	—	0.50~1.25	0.10 //	0.50~1.50	150~300
强	0.30	0.75	—	—	0.50~1.25	0.10 //	1.50~1.50	200~370
	0.12	0.75	0.35	0.2~1.0	0.25~0.75	—	1.60	150
	0.12	125	0.10max	0.10max	—	—	0.50max	100~200
	0.15~0.25	—	0.75	0.50	1.75	0.15max	0.25max	到150
	0.14max	125	0.75	0.50	—	—	—	150~200
钢	0.11~0.14	—	—	—	—	—	0.40	到150
	0.12max	—	0.25~1.0	0.5~1.5	0.55max	—	0.40	100~200
	0.12max	0.75	—	0.75	0.75	—	0.55	100~200

钢种	化学成份						预热温度 °C	
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo		Cu
高强度钢	0.40	0.90	—	0.40	—	—	—	200~300
	0.25~0.35	0.3~1.0	—	—	1.75	—	0.10	100~300
	0.12max	0.6	—	—	0.55	—	0.9~1.25	100~250
钢	0.10~0.20	—	—	—	0.50	—	—	100
	0.10~0.20	—	—	—	1.50	—	—	100~150
	0.10~0.20	—	—	—	2.50	—	—	100~300
	0.15	—	—	—	3.50	—	—	100~150
	0.20	—	—	—	3.50	—	—	100~250
钢	0.30	—	—	—	3.50	—	—	150~300
	0.40	—	—	—	3.50	—	—	200~370
	0.15	—	—	0.60	1.25	—	—	100~200
钢	0.25	—	—	0.60	”	—	—	150~250
钢	0.30	—	—	”	”	—	—	200~370

钢种	化学成份							预热温度 ℃
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Cu	
碳	0.40	—	—	0.60	1.25	—	—	250~400
	0.50	—	—	〃	〃	—	—	300~480
	0.15	—	—	1.00	1.75	—	—	150~250
铬	0.30	—	—	〃	〃	—	—	250~370
	0.40	—	—	〃	〃	—	—	370~540
	0.50	—	—	〃	〃	—	—	480~590
钢	0.15	—	—	1.50	3.50	—	—	250~370
	0.25	—	—	〃	〃	—	—	480~590
	0.35	—	—	0.75	3.00	—	—	480~590
	0.50	—	—	〃	〃	—	—	480~590
镍	0.40	—	—	0.95	—	0.20	—	300~400
铬	0.40	—	—	0.65	1.75	0.35	—	370~480
钢	0.15	—	—	—	1.80	0.25	—	200~300

钢种	化学成分							预热温度 ℃
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Cu	
中碳钢	0.30	—	—	—	1.80	0.25	—	250~370
	0.40	—	—	—	〃	〃	—	300~400
	0.50	—	—	—	3.50	〃	—	300~400
低合金钢	0.15	—	—	2.0	—	0.5	—	200~300
	0.15~0.25	—	—	〃	—	〃	—	250~400
	0.15	—	—	〃	—	1.0	—	250~370
	0.15~0.25	—	—	〃	—	〃	—	300~400
中合金钢	0.15	—	—	5.0	—	0.5	—	250~400
	0.15~0.25	—	—	〃	—	〃	—	300~480
	0.15	—	—	8.0	—	1.0	—	300~480
高合金钢	0.10	—	—	13.0	—	—	—	150~250
	0.10	—	—	17.0	—	—	—	150~250
	0.10	—	—	26.6	—	—	—	150~250

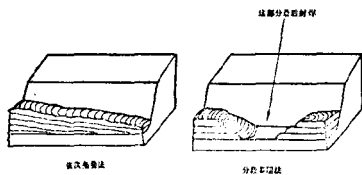


图 2·24 依次垒叠法和多层焊接法

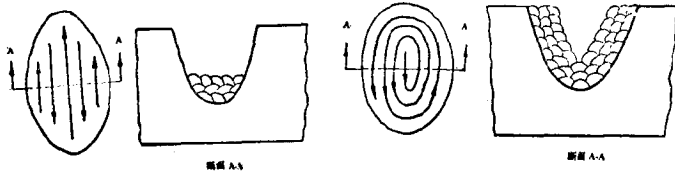


图 2·25 水平叠置法
(水平积层法)

图 2·26 螺旋叠置法
(螺旋积层法)

图 2·25, 图 2·26 上所示的水平叠置法, 螺旋叠置法。不论采用那种方法每层之间都要完全清除焊渣, 要注意不要出现气孔, 熔深不良等缺陷。

焊接处胀大, 以至事后会出现难于矫正的变形。或者由于熔敷金属的收缩, 产生大的应力, 以致在焊接中产生裂缝。遇到这种情况就要在每层焊道上进行锤击, 务必使熔敷金属得到延伸。

锤击时的温度通常在 $100\sim 200^{\circ}\text{C}$ 为合适, 在这个温度内能有效的防止氢脆。锤击的方式要根据焊接处的大小, 形状相应地使用手锤或风铲等方法。

但应注意: 如果锤击的过重过激, 反而容易形成塑性变形, 会在变形处引起裂缝, 因此应很好的掌握锤击的程度, 充分注意, 细心观察是必要的。

2.6.5 焊接修补后的热处理

焊补后进行热处理，是为了防止焊接处因快冷而产生裂缝。其中有的应在焊后立即进行。有的可在冷却之后，进行消除应力退火，以及按材料的规定要求，分别进行淬火、回火或正火等不同的热处理。

对特别容易产生裂缝的低合金铸钢等材料，要采取必要措施在焊后立即进行后热。比如近在炉前补焊，刚一焊完，立刻送入炉内进行缓冷。一般来说，如经过充分预热，并在焊接过程中仍保持预热温度的话，就不必进行后热。

做为消除应力的退火，一般都是采用焊补后进行热处理的方法，通常是加热到变态点以下的 $600\sim 650^{\circ}\text{C}$ 。不同钢种的后热温度可参照表 2.11。至于保温时间、加热、冷却速度等可参照 2.5.8 节进行。

对要求使用淬火、回火的铸钢件，焊后都要按规定要求进行热处理。如果焊后不做热处理，原样不变地去使用，那么不管预热得多好，焊条选得多么适当，焊接处附近都要出现硬化或软化部分。这会造成硬度上、组织上的不连贯状态。这是日后使用中发生事故的根源。

2.6.6 焊接修补的预备试验

常用的铸钢件或购进的铸钢件，最好预先都做焊接修补预备试验，从而分别确定是否需要预热、后热，以及使用何种焊条合适等等。这里试举一例，具体说明。

做为修补对象的铸钢件 $\text{C}0.25\sim 0.30\%$ ，其中含少量 Ni 、 Cr 、 Mo 低合金铸钢的碳当量 $\text{C}_{\text{e,q}}=0.7$ 左右，要求淬火、回火热处理。

对此，选用了以下两种焊条

焊条 L：铁粉低氢型高强钢焊条 D5018

焊条 H：低氢型表面堆焊焊条中的一种（熔敷金属的碳当量几乎与铸钢件相同）

分析铸钢件母材及两种焊条的熔敷金属成分，其结果如表 2.15 上所示：

表 2.15 供做焊接修补预备试验的铸钢件和焊条

种 类		铸钢母材或焊缝金属化学成分(%)								碳当量* C _{eq}	热处理
		C	Mn	Si	S	P	Ni	Cr	Mo		
母材	低合金铸钢	0.27	0.88	0.52	0.035	0.025	0.53	0.62	0.31	0.68	900℃ 水淬 470℃ 回火
焊条 L	铁粉低氢型 D5018 高强钢焊条 4φ	0.07	10.3	0.64	—	—	—	—	0.28	0.29	—
焊条 H	低氢型 4φ 堆焊焊条(索氏体)	0.23	1.30	0.49	—	—	—	1.52	0.70	0.70	—

$$* \text{ 碳当量 } C_{eq} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Ni}{15} + \frac{Cr}{6} + \frac{Mo}{4}$$

试件如图 2.27，焊接规范按表 2.16 进行，试验结果如图 2.28。

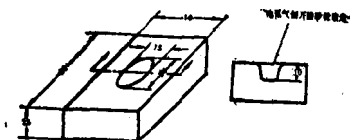


图 2.27 修补焊接试件的形状尺寸

表 2.16 焊 接 规 范

焊 条	焊条直径	使用电流	预热温度	层间温度	层数
L	4.0φ	200A	200℃	170℃	4
H	4.0φ	160A	200℃	170℃	4

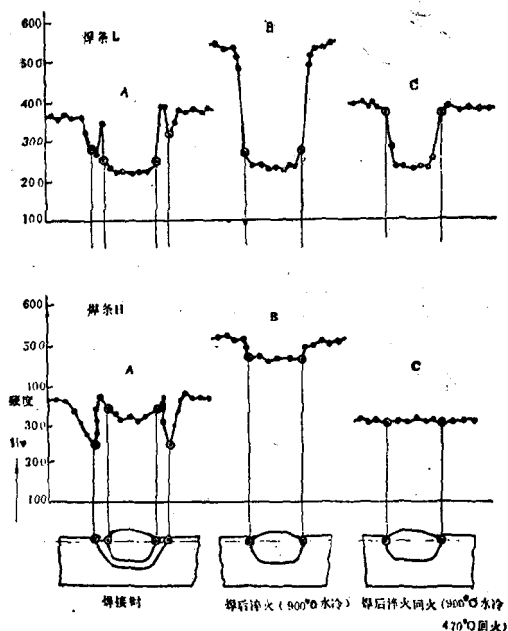


图 2·28 两种焊条的硬度分布

硬度分布 A、A' 是焊接当时的原态，两边几乎都未看到焊接热影响区的淬硬处，勿宁说软化处倒很明显。A' 这一边熔敷金属的硬度较低。

硬度分布 B、B' 是焊接试件经 900°C 水冷淬火的结果。在 B 这一边熔敷金属出现了与母材相近的淬火硬度；但是 B' 这一边母材和熔敷金属之间淬火硬度差度过大，有这样大的差度，淬火时，变态应力就起作用，焊接处附近就有产生裂缝的危险。

硬度分布 C、C' 是接着进行回火的硬度，C 是熔敷金属

硬度与母材硬度完全相等，这是合乎理想的。

总括起来可以明确：

铸钢件使用焊条 H，预热 200℃，焊后按规定标准进行淬火、回火处理，可以得到良好的修补效果。

另外做为补充的办法是从 A 的状态回火，在温度 470℃ 时做退火处理。因为这样做便能消除相当一部分内在应力，而硬度几乎没有什么变化。

这种焊接修补预备试验，对经常进行频繁修补的铸造厂等单位是非常有用的，经常搜集各个钢种的试验资料，如果汇集得齐备，可以随时应用，是大有益处的。

3 不锈钢铸钢焊接要点

关于不锈钢焊接另有很多专著，在不锈钢铸钢焊接时均可援引用来参考。这里仅就一些特别重要的方面加以说明。

3.1 不锈钢铸钢的种类

根据化学成分组成的不同，不锈钢铸钢的种类也有很多种。按化学成分分类为：铬（Cr）型不锈钢铸钢和铬—镍（Cr—Ni）型不锈钢铸钢两种。按组织类型划分：可分为经高温快冷淬火的马氏体型、未经淬火的铁素体型以及奥氏体型三种。

表 3.1、表 3.2 是按日本 JIS 标准所做的分类，表 3.3 是按美国材料试验协会（ASTM）资料所做的分类。在 JIS 以外还有 10 种尚未规格化。此外日本也常常使用美国 ASTM16 种标准。

图 3·1 如一览表似的图示是不锈钢铸钢规格逐渐形成的钢种种类系统图解，其中大体上说明了各种合金元素的主要作用。

3.2 合金元素的作用

从图 3·1 上可看出，铬不锈钢铸件的基本类型是铬 13 不锈钢（SOS-1，CA-15），它是铬型不锈钢类使用最广泛的一种。增加铬的含量是为了改善耐氧化性，同时增加对氧化性腐蚀剂（特别是硝酸）的耐腐蚀性。铬 13 不锈钢经淬火能硬化，所以如提高含碳量还可以做为耐磨损部件。

表 3.1 不锈钢铸件的化学成分(JIS G5121-1956)

种 类	型 号	化 学 成 分 (%)									
		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	
铸 不 锈 钢 铸 件	1 种	≤0.15	≤1.50	≤1.00	≤0.050	≤0.040	≤0.60	11.50~14.00	—	—	
	2 种	0.16~0.24	≤1.50	≤1.00	≤0.050	≤0.040	≤0.60	11.50~14.00	—	—	
第 1 级 不 锈 钢 铸 件	1 种	≤0.10	≤1.50	≤1.00	≤0.050	≤0.040	5.00~7.00	23.00~27.00	1.50~2.50	—	
	2 种	≤0.20	≤1.50	≤2.00	≤0.050	≤0.040	8.00~11.00	18.00~21.00	—	—	
	3 种	≤0.08	≤1.50	≤2.00	≤0.050	≤0.040	8.00~11.00	18.00~21.00	—	—	
	4 种	≤0.08	≤1.50	≤2.00	≤0.050	≤0.040	10.00~14.00	17.00~20.00	2.00~3.00	—	
	5 种	≤0.08	≤1.50	≤2.00	≤0.050	≤0.040	10.00~14.00	17.00~20.00	1.75~2.75	1.00~2.50	
	6 种	≤0.03	≤1.50	≤2.00	≤0.050	≤0.040	12.00~16.00	17.00~20.00	2.00~3.00	—	
	7 种	≤0.20	≤0.20	≤1.50	≤0.050	≤0.040	12.00~15.00	22.00~26.00	—	—	
	8 种	≤0.20	≤0.20	≤2.00	≤0.050	≤0.040	19.00~22.00	23.00~27.00	—	—	

表 3.2 不锈钢铸件的机械性能

种 类	热 处 理 (°C)		抗 拉 试 验			硬 度 试 验 硬 度 (HB)		
	淬 火	回 火	屈服强度 公斤/毫米 ²	抗拉强度 公斤/毫米 ²	延 伸 率 (%)		断 面 收 缩 率 (%)	
不 锈 钢 铸 件	1 种	950~920 油冷或快冷	680~740 急冷	≥35	≥55	≥20	≥40	163~221
	2 种	950~980 油冷或快冷	680~740 急冷	≥40	≥60	≥18	≥35	183~241
奥 氏 体 不 锈 钢 铸 件	1 种	约 950 急冷	—	—	≥60	≥10	—	183~241
	2 种	约 1160 急冷	—	—	≥45	≥20	—	123~183
	3 种	约 1160 急冷	—	—	≥45	≥30	—	123~183
	4 种	约 1160 急冷	—	—	≥45	≥30	—	123~183
铁 素 体 不 锈 钢 铸 件	5 种	约 1160 急冷	—	—	≥45	≥30	—	123~183
	6 种	约 1160 急冷	—	—	≥45	≥30	—	≥118
	7 种	约 1160 急冷	—	—	≥45	≥30	—	≥123
	8 种	约 1160 急冷	—	—	≥45	≥30	—	≥123

表 3.3 美国材料试验协会不锈钢铸件分类 (ASTM A 296-60T)

种 类	型 号	化 学 成 分 (%)									
		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	
马氏体类 (铁不锈钢)	CA-15	≤0.15	<1.50	<1.00	<0.04	<0.04	<1.00	11.50~14.00	<0.5	—	
	CA-40	0.20~0.10	"	"	"	"	"	"	"	—	
铁素体类 (铁不锈钢)	CB-30	≤0.30	<1.50	<1.00	<0.04	<0.04	<2.00	18.0~21.0	—	④	
	CC-50	≤0.50	"	"	"	"	<4.00	26.0~30.0	—	—	
奥氏体类 (铬镍不锈钢)	CF-8	<0.08	<2.00	<1.50	<0.04	<0.04	8.0~11.0	18.0~21.0	—	—	
	CG-12	<0.12	"	"	"	"	10.0~13.0	20.0~23.0	—	—	
	CF-20	<0.20	"	"	"	"	8.0~11.0	18.0~21.0	—	—	
	CF-8 m	<0.03	"	"	"	"	9.0~12.0	"	2.0~3.0	—	
	CF-8e	"	"	"	"	"	"	"	—	Nb ^③	
	CF-16F ^①	<0.16	"	"	"	"	"	"	①	—S ₃₂ ^④	
	CH-20 ^②	<0.20	"	"	"	"	12.0~15.0	22.0~26.0	—	—	
	CK-20	"	"	"	"	"	19.0~22.0	23.0~27.0	—	—	
	CE-30	<0.30	"	"	"	"	8.0~11.0	26.0~30.0	—	—	
	CF-3	"	"	"	"	"	8.0~12.0	17.0~21.0	—	—	
CF-3M	<0.03	<1.50	"	"	"	9.0~13.0	"	2.0~3.0	—		
CG-8M	"	"	"	"	"	"	18.0~21.0	3.0~4.0	—		

附注: ① CF-16F 是易切削钢两种类型: 硒 (Se) 磷 (P) 钼 (Mo) 及硫 (S) 钼 (Mo) 含量比例如次:

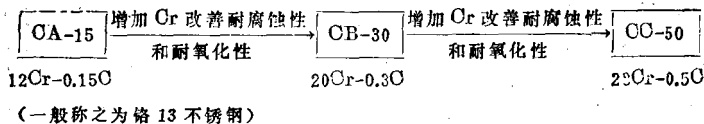
Se-P-Mo 类 (Se 0.20~0.35%, P<0.017%, Mo<1.50%) S-Mo 类 (S 0.20~0.40%, Mo 0.40~0.80%)

② 在更严酷的腐蚀条件下, 碳量为 0.10 以下, 型号为 CH-10

③ CF-8c 钨 (Nb) 含量不能大于碳量的 8 倍, 而且不能超过总量的 1.00%

④ 在 CB-30 中含铜 0.90~1.20% 即可。

铬不锈钢铸件 (马氏体类、铁素体类)



铬镍不锈钢铸件 (奥氏体类)

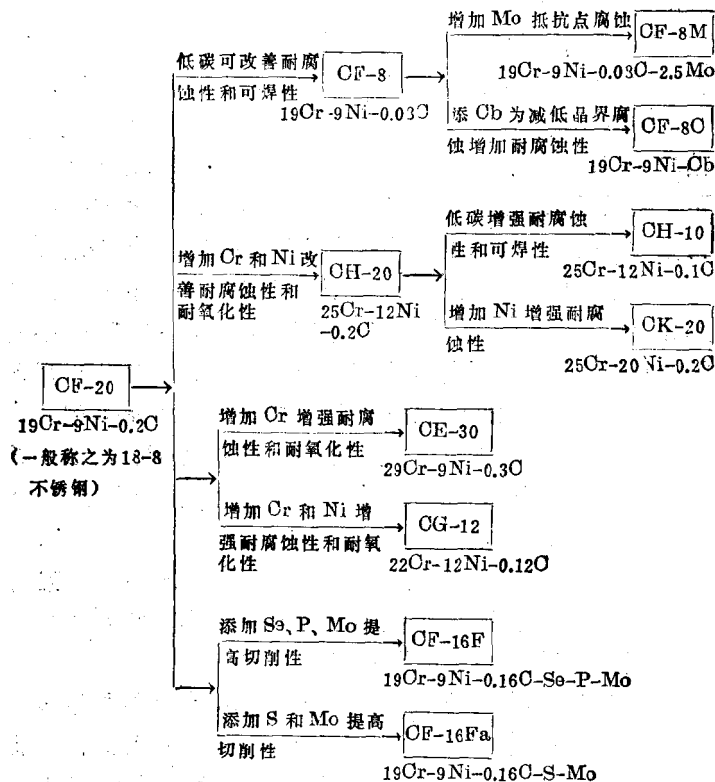


图 3.1 各类不锈钢铸钢件发展系统

铬镍不锈钢铸件的基本类型是 18-8 不锈钢，(SCS-12, OF20) 在这种类型上减低碳量的是 SCS-13, OF-8。减低碳量是为减少奥氏体晶界析出的碳化物，碳量减少，改善了耐腐蚀性。最近又有一种 0.02~0.03% C 的低碳不锈钢，能在腐蚀条件更严酷的场所。

加添 2.5% 钼，是为改善点腐蚀，即增加非氧化性腐蚀的耐蚀性 (SCS-14, OF-8M)

加添铪 (Cb) 或钛 (Ti) 是为抑制碳化物的晶界析出，改善耐腐蚀性和可焊性。铪和钛被认为是碳化物的稳定剂。

铬能在氧化性气氛 (比如空气) 或氧化性腐蚀介质 (比如硝酸) 中形成坚固的氧化膜，因此增加铬是为增加耐腐蚀性。可是在还原性腐蚀介质中 (比如盐酸) 便不能形成氧化膜，仍保持活性，因之即使增加铬，对还原性腐蚀介质也无效果。

增加镍是为增加奥氏体组织的稳定性，同时也是为了增加对硫酸的耐腐蚀性。因为 18-8 不锈钢是得到奥氏体组织的最低化学成分。碳成分高，容易析出碳化物，有害于耐腐蚀性。高铬高镍 (25Cr-12Ni) 型含碳量虽然比 18-8 型高，但是由于是高铬、高镍，致使碳化物难于在晶界上析出。所以 OH-20, OK-20, OF-30 等型号含碳量都被允许达到较高的程度，其理由就在于此 (参看表 3.3)。

铜也能改善对硫酸的耐腐蚀性。同时增加铜和钼，耐硫酸腐蚀性能更好；而且对常温下的盐酸也有较好耐腐蚀性。但对高温下的盐酸就不起作用。

这些不锈钢在奥氏体组织上韧性很强，切削性能很差。为了克服这种缺点，就要加添有助于切削性能的元素。这里可以介绍的有美国 ASTM 规定的 OF-16F 和 OF-16Fa 两种类型。OF-16F 型加添了硒 (Se) 磷 (P) 钼 (Mo)；OF-16Fa 型

加添了硫(S)钼(Mo)。数值见表 3.3，附注

3.3 不锈钢铸钢的可焊性

3.3.1 不锈钢铸钢的热处理

(1) 铬不锈钢铸件 13%Cr 不锈钢铸件 (JIS:SOS-1、SOS-2, ASTM:CA-15) 是由 950~1000℃ 水淬或油淬，或经空冷后约 720℃ 回火的材料，按以上要求进行处理就能得到如表 3.2 上所规定的良好的机械性能。

20%Cr 不锈钢铸件 (ASTM:CB-30)，经淬火并不硬化，但碳量若增到 0.40% 左右便稍微硬化，耐腐蚀性就变坏。

28%Cr 不锈钢铸件 (ASTM:CC-50)，如果不经淬火热处理，性质就不能改善；同时延伸率也仅能达到 2% 左右，韧性很差。

(2) 奥氏体不锈钢铸件 奥氏体不锈钢铸件通常经 900~1100℃ 加热处理，在晶界析出的碳化物完全溶解于奥氏体后，用水或油快冷，或者经空冷，是可以防止碳化物再析出的。这种场合低碳材料的淬火温度虽比高碳材料低，但也不会引起碳化物析出。JIS 标准上规定 SOS-11 ($C < 0.10$) 的淬火温度为 950℃，SOS-12 ($C < 0.20$) 为 1100℃ 其原因即在此。18-8 不锈钢铸件淬火后，虽然具有良好的抗拉强度和延伸率，而且还具有非磁性，但相对的导热率、导电率都低，热膨胀率比低碳钢大 1.8 倍。从而在焊接时，温度容易从局部上升，等到温度一漫延，变形或应力便增大，这是产生变形、裂缝的原因。

3.3.2 奥氏体不锈钢中碳化物的析出

奥氏体不锈钢在机械性能上虽然能得到理想的焊接处，

但是容易出现一种叫做晶间腐蚀的现象。在 $430\sim 870^{\circ}\text{C}$ 之间加热，并在这个范围内缓冷，固溶体（奥氏体）中的铬做为主要碳化物从晶界析出，碳化物的近旁 Cr 量就减低，因之这个地方就容易被腐蚀。

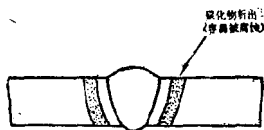


图 3.2 奥氏体不锈钢焊接热影响区上出现的碳化物析出

容易被腐蚀，其状况如图 3.2 上所示。

当然碳量若小，析出的也就少。比如 0.08% 碳化物析出的就稍微少一些。根据这种情况，所以生产出一种含碳 0.03% 以下的铸钢材料 (SCS-16)，焊接时使用 0.04% 以下的焊条 (D308L D316L)，这样效果就较好。因为碳量到这种程度，对耐腐蚀性并没有那么严重的坏影响。如果碳量增加，碳化物析出也随之增加，就容易造成晶间腐蚀。正因如此，所以对腐蚀条件很严酷的设备进行焊接时，多选用低碳的不锈钢焊条。

此外，还采用以下几种办法，做为防止或缓和碳化物析出的措施。

(1) 固溶处理 焊后加热在 $1010\sim 1120$ 之间 经过适当的时间，使析出碳化物再次固溶到奥氏体之中，然后进行快冷，这是很有效的方法。

(2) 快冷 焊接时在焊接处附上钢板（或其它板）做挡板，或者进行水冷，这样碳化物析出的就少。

(3) 稳定化热处理 碳化物析出的温度范围，最高是加热 $820\sim 850^{\circ}\text{C}$ ，在碳化物被凝固的同时，使铬均匀地扩散，

减低析出物的有害性。这种方法的缺点是加热时间长，但在实际应用中还是比较经济的。

(4) 减低碳量使用含碳量在 0.06% 以下的材料

(5) 加添稳定碳的特殊元素 适当的加添钛、钨等元素量，可以防止活化。这种方法对焊后不进行热处理的铸件是比较有效的方法。

3.3.3 应力腐蚀

奥氏体不锈钢因拉伸应力和侵蚀性介质共同作用的结果而引起的液体腐蚀称为应力腐蚀。焊接时焊缝附近产生应力，在没有消除应力退火时便会发生应力裂缝。因此奥氏体不锈钢焊后采取消除应力的退火是非常必要的。

3.3.4 σ 相脆化 (Sigma)

有一种组成的奥氏体不锈钢，无论是铸造时的原态，还是经过一度固溶处理，在经过 650~930℃ 长时间加热之后，组织内就出现一种叫做 σ 相 (Sigma)，材料硬化，耐腐蚀性降低，韧性和冲击值都减低。

表 3.4 是表明 20.5Cr-11.5Ni-4Mo 铸钢的 σ 相影响硬度和冲击值的一例

做为缓和 σ 相脆化的办法，有以下四点：

(1) 母材是完全奥氏体组织，熔敷金属也完全是奥氏体，或含少量铁素体的奥氏体。

(2) 在 1040~1090℃ 范围内，进行固溶处理。

(3) 根据材料种类的不同，焊后在 900℃ 左右进行消除应力退火。

(4) 对焊接处做适当的锤击，不能过重、过激，不然容

表 3.4

 σ

热 处 理	冲 击 值 公斤-米/厘米 ²	布氏硬度	铁素体变化成相%
铸造的当时	0.7~0.8	197~207	94.5
1050°C~4 小时 油冷	3.7~4.4	184~187	—
1050°C~4 小时 空冷	0.4~1.1	184~190	—
1050°C~4 小时 炉冷	0.3~0.4	184~200	—
1150°C~4 小时 油冷	23.0~28.0	170~170	0
1150°C~4 小时 空冷	18.4~19.2	160~164	15.5
1150°C~4 小时 炉冷	1.3~1.5	170~179	92.5

易发生加工变形。

3.4 不锈钢铸钢焊接

如前章所述，不锈钢铸件由于它的成分不同而性质各异。经过热处理，性质上又有各种变化。因此在焊接之前，对焊条的选择、焊接时的加热、冷却方法以及焊后热处理等等，都必须根据焊接件的使用目的，做慎重考虑。在本节里就讨论这些问题，说明如何确定焊接条件。

3.4.1 焊接方法

在表 2.8 上所提出的焊接方法里，铬不锈钢铸件焊接主要采用电弧焊、埋弧焊和钨极惰性气体保护焊（TIG）。

其中电弧焊适用于所有的铬型不锈钢种，是应用最广最多的一种。

埋弧焊虽然效率高，但用于高铬钢时，结晶长大过速，

性质容易变脆。所以这种方法不适用于 16%Cr 以上的铸钢。如果使用奥氏体型焊丝还是可以的。

钨极惰性气体保护焊，使用直流正极性，焊接效果较好。

除上述方法以外，也可以使用熔化极惰性气体保护焊 (MIG)。

应当注意的是：不论使用哪种方法，虽然都容易施焊，但是为保持耐腐蚀性，要避免使用大电流，过大热量。要竭力缩小热影响区，这是一个要点。

3.4.2 焊条和焊缝金属的组织

表 3.5、表 3.6 是日本 JIS 标准规定的各种铬不锈钢，和奥氏体不锈钢焊条。表上各种焊条和美国同种规格的 E410、E430、E502、E308、E309……等焊条都是相同的。只是第一个字“D”和“E”的区别。日本用的“D”是“Denke”（电气），美国的“E”是“Electrode”（焊条）都是取其第一个字母为标志，其数字、型号和成分规格都是相同的。

至于选用哪种焊条与母材能配合得很好，一般是选择使熔敷金属中合金元素增高的，以熔敷金属的耐腐蚀性不低于母材为合适。

埋弧焊焊丝和焊剂的配合，也和焊条情况一样，要着重在熔敷金属的成分上。选择种类和配合要参照焊条制造厂的产品目录。

焊接施工时要切记下列事项：

(1) 选用电流要比一般低碳钢焊接稍低（相当于 80~90%）。

(2) 为了不使热影响区的耐腐蚀性降低，应减低焊接热输入量。

表 3.5 铬不锈钢用焊条标准 (JIS Z3222-1964)

焊条种类	类别	使用电流	抗拉试验		焊缝金属的化学成分 (%)											
			抗拉强度 公斤/毫米 ²	延伸率 (%)	热处 理	C	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	P	S			
D410	15	DC	≥49	≥25	a	≤0.12	11.0~14.0	—	—	—	—	—	≤1.00	≤0.90	≤0.04	≤0.03
	16	AC	≥49	≥20	b	≤0.12	15.0~18.0	—	—	—	—	—	≤1.00	≤0.90	≤0.04	≤0.03
D502	15	DC	≥45	≥25	a	≤0.10	4.0~6.0	0.45~0.65	0.45~0.65	—	—	—	≤0.75	≤0.90	≤0.04	≤0.03
	16	AC	≥45	≥25	a	≤0.10	4.0~6.0	0.45~0.65	0.45~0.65	—	—	—	≤0.75	≤0.90	≤0.04	≤0.03

注: 热处: a 试件加热 840~870°C, 二小时后, 平均每一小时以 55°C 以内的冷却速度, 炉冷到 590°C, 此后进行空冷。
 b 试件加热 760~785°C 二小时后, 平均每一小时以 55°C 以内的冷却速度, 炉冷到 590°C, 此后进行空冷。
 电 流: DC; 直流, AC; 交流

表 3.6 奥氏体不锈钢焊条种类和成分规定 (JIS Z32221-1963)

种 类	焊 缝 金 属 的 化 学 成 分 (%)										抗拉试验	
	C	Cr	Ni	Mo	Cu	Ob+Ti	Mn	Si	P	S	度 公斤 毫米 ²	延 伸 率 %
D308	≤0.03	18.0~21.00	9.00~11.00	—	—	—	≤2.50	≤0.50	≤0.040	≤0.030	≥56	≥35
D309	≤0.04	"	9.00~12.00	—	—	—	≤2.50	"	"	"	≥52	"
D309	≤0.15	22.00~25.00	12.00~14.00	—	—	—	≤2.50	"	"	"	≥55	"
D310	≤0.20	25.00~28.00	20.00~22.00	—	—	—	"	"	≤0.030	"	"	≥30
D315	≤0.0	17.00~20.00	11.00~14.00	2.00~2.75	—	—	"	"	≤0.040	"	"	"
D315L	≤0.04	"	11.00~15.00	"	—	—	"	"	"	"	≥50	≥35
D316Cu	≤0.08	"	11.00~14.00	1.20~2.75	1.00~2.50	—	"	"	"	"	≥54	≥30
D316CuL	≤0.04	"	11.00~16.00	"	"	—	"	"	"	"	≥52	≥35
D317	≤0.05	18.00~21.00	12.00~14.00	3.00~4.00	—	—	"	"	"	"	≥56	≥30
D347	≤0.08	"	9.00~11.00	—	—	—	"	"	"	"	"	"

(3) 在强调要求耐腐蚀的场合，埋弧焊应使用烧结型焊剂。

上面已讲过，按组织类型划分不锈钢铸件可分为淬火的马氏体，未淬火的铁素体和奥氏体三类。至于由不锈钢焊条组成的熔敷金属究竟属于其中的哪一类呢？还是这三者的混组成呢？对这个问题可按谢弗莱尔 (Schaeffler) 的组织图来划分，见图 3·3，在这个组织图上，图的左侧为马氏体 (M)，右下侧为铁素体 (F)，上侧为奥氏体 (A) 三个范围，各自的邻界是两者的混合组织。

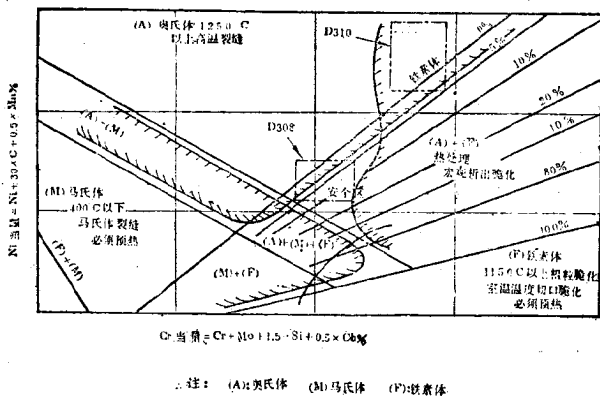


图 3·3 不锈钢焊着金属的成分和组织 (Schaeffler 组织图)

这个组织图是以奥氏体稳定元素 Ni 和铁素体稳定元素 Cr 为各自的基础。其它 O、Mn、Si、Mo 及 Nb 等微量元素也是做为奥氏体或铁素体的稳定化元素考虑进来的。以求出 Ni 当量和 Cr 当量为纵横坐标而制成的。

以表 3.6 上所列的熔敷金属为例，取焊条 D308(18-8) 和 D310(25·20) 来看，Cr 当量、Ni 当量的计算如下：D308

$$\begin{aligned} \text{Cr当量} &= \text{Cr} + \text{Mo} + 1.5\text{Si} + 0.5\text{Cb} \\ &= (18.00 \sim 21.00) + 0 + 1.5(0.3 \sim 0.90) + 0.5 \times 0 \\ &= 18.5 \sim 22.4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ni当量} &= \text{Ni} + 30\text{O} + 0.5\text{Mn} \\ &= (9.00 \sim 11.00) + 30 \times (0.04 \sim 0.08) + 0.5 \\ &\quad \times (1.00 \sim 2.50) \\ &= 10.7 \sim 14.7 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{D310 Cr当量} &= (25.00 \sim 28.00) + 1.5 \times (0.30 \sim 0.75) \\ &= 25.5 \sim 29.4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ni当量} &= (20.00 \sim 22.00) + 30 \times (0.04 \sim 0.020) \\ &\quad + 0.5 \times (1.00 \sim 2.50) \\ &= 21.7 \sim 29.3 \end{aligned}$$

注：JIS标准，仅是成分范围的一般规定，实际应根据生产单位的产品目录。

把以上的计算值适当地放到图 3.3 上，就可以看到它们的熔敷金属成分分别划入到各自的四方形范围之内。即可知 D308 熔敷金属是属于铁素体 0~15% 范围内 并与一部分奥氏体相混的组织带。这个区域是个难于发生热裂的最安全的区域。另外，D310 熔敷金属几乎完全是奥氏体组织，但是这个区域就是那种长时间处在高温状态容易析出 σ 相的组织，有变脆危险的区域。

3.4.3 缺陷的修补焊接

铸件上的气孔、裂缝等小的缺陷，在焊接修补之前应当预先完全清除，清除缺陷的办法，与 2.6.1 节上低碳钢铸件的清除方法是一样的，这里不再赘述。

(1) 铬不锈钢铸件的修补应根据母材的用途选用焊

条，有的要选用能得到与母材性质相同的熔敷金属的焊条；有的要选用奥氏体型焊条。如果选用前者，特别是母材为马氏体组织，就应对母材进行 $150\sim 300^{\circ}\text{C}$ 的预热，防止裂缝。如果使用奥氏体型焊条就应考虑熔敷金属与母材熔合之后，其成分被稀释的问题。因此就应选用元素成分高的焊条。这一点已在 3.3.4 节上讲过。一般来说 $25\text{Cr}-20\text{Ni}$ 奥氏体型焊条是元素成分最高的，对铬不锈钢都能适用，也是比较保险的焊条。

在焊前要对焊条进行加热烘干，低氢型、钙型要加热到 300°C ，对钛钙型（奥氏体不锈钢焊条几乎都属于钛钙型）约加热到 150°C 。

焊接完了，为了软化和消除应力，要进行正火处理。

$11\sim 14\%\text{Cr}$ 的铬不锈钢要进行 $680\sim 760^{\circ}\text{C}$ 正火。

$14\sim 18\%\text{Cr}$ 钢加热 $760\sim 790^{\circ}\text{C}$ ，壁厚 25 毫米的铸件最少应保温四个小时；每增 25 毫米就增加一个小时。这种做法是可以推荐的。另外是加热后从 600°C 左右开始速冷也有好处。这是为了避免回火脆性，同时对抵抗腐蚀也有好的作用。

(2) 奥氏体不锈钢铸件的缺陷修补 对奥氏体不锈钢铸件的缺陷修补，要选用与母材成分相同的，或者比熔敷金属成分稍高的焊条。

表 3.7 是不锈钢焊条与母材种类配合选用的示例。

在 3.2 节中已讲过：对奥氏体不锈钢铸件应充分警惕的是：在热影响区容易发生碳化物析出，造成晶间腐蚀；有残余应力的地方容易引起应力腐蚀；以及由于 σ 相生成而脆化等现象。为了防止这些缺陷的发生，要遵守下列事项：

- (1) 不能进行预热；
- (2) 应尽量减低焊接热输入量；

表 3.7

不锈钢焊条对奥氏体不锈钢
铸件配合使用的示例

JIS标准	代表成分	可配合使用的焊条 (JIS 标准)	
SCS 11	25Cr-6Ni-2Mo	D316	
SCS 12	19Cr-9Ni(C \leq 0.20)	D308	D308L
SCS 13	19Cr-9Ni(C \leq 0.08)	D308	D308L
SCS 14	19Cr-12Ni-2Mo	D316	D316L
SCS 15	19Cr-12Ni-2Mo-Cu	D316Cu	
SCS 16	19Cr-12Ni-2Mo-低碳	D316L	
SCS 17	25Cr-12Ni	D309	D310
SCS 18	25Cr-20Ni	D310	

(3) 在焊接中使母材冷却；

(4) 焊后进行固溶处理或消除应力退火。

3.4.4 异种金属的焊接

用低碳钢焊条焊接低碳钢，或者用 18-8 不锈钢焊条焊接同种母材 18-8 不锈钢等等，熔敷金属的成分几乎和母材相同，这是没问题的。但是若用奥氏体不锈钢焊条焊接铬不锈钢；或者奥氏体不锈钢和低合金钢的接合而使用奥氏体不锈钢焊条等等，所有这些焊条的成分被母材所稀释，根据稀释的程度，熔敷金属被硬化，也能产生裂缝。因此这种情况的单层焊或多层焊第一层上的熔敷金属的稀释问题，就是一个重要的问题。

一般的异种金属焊接时，奥氏体熔敷金属组织可以用图 3·3 谢弗莱尔组织图做基础推测出来，试举一例加以说明：

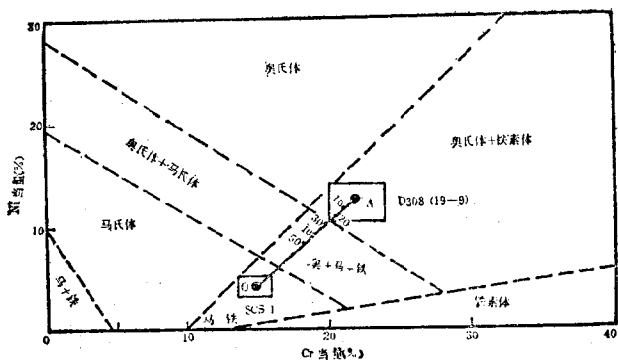
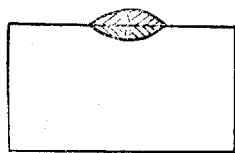


图 3.4 在异种金属焊接上推测焊着金属组织

使用 19-9 焊条 (D308) 焊接铬不锈钢铸件 JIS 第 1 种材料 (GOS-1)。如果知道母材和焊条熔敷金属的化学成分, 就能容易的按 Cr、Ni 当量换算式计算出来组织图上两轴的 Cr 当量和 Ni 当量。把这 Cr、Ni 当量划在组织图的位置上, 就得出图 3.4 上 O 和 A 两点。把这两点分别围成矩形, 这个范围就表示各自化学成分上有无偏差的情况。在连接 OA 两点直线上的任意点 (按照杠杆关系) 都表示着母材和焊条的熔化比; OA 线上, 从 A 点标志的 10、20……等数字是表示着熔深率 (参照图 3.5)

其结果表明: 19-9 焊条的熔敷金属是奥氏体 + 铁素体组织, 因为 25% 的熔深率正是奥氏体 + 铁素体组织。为了把得到的熔敷金属保持在完全奥氏体或奥氏体 + 铁素体组织内, 就必须减少对母材的熔深, 降低熔深率在 25% 以下。



$$\text{熔深率} = \frac{B}{A+B} \times 100\%$$

图 3.5 熔深率

从图上观察还可了解：应当使用 25-20(D310) 或 25-12(D309)等焊条，效果会好些。

下面另举一例，用奥氏体型焊条把两种异种金属材料进行对接焊。推测单层焊或多层焊第一层组织及概略的化学成分。

这一示例在于考察：19-9焊条(D308)焊接奥氏体不锈钢铸钢(SCS-18 25-20)和 Ni-Cr-Mo 低合金钢的多层焊的第一层组织。如图 3·6 上所示：假定两种材料都是等量熔化，那么其化学成分就表示为 AO 线上的中间点 P，P 代表着两种母材的成分。用 19-9焊条焊接后，就表示着熔敷金属的成分。在 BP 线上，B 这边所附记的 10、20……等数字是表示母材熔深率的点，如果知道实际熔深率就能从这里推测出所要得到的奥氏体溶敷金属成分。

知道熔敷金属是完全奥氏体组织或者是奥氏体 + 铁素体组织之后，就能够为所要得到的组织选定最适合的焊条。

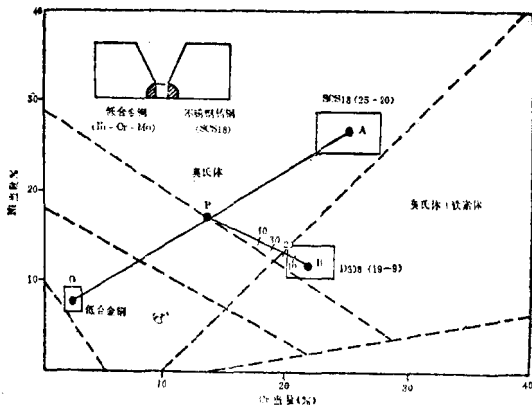


图 3·6 用 D308 焊条焊接奥氏体不锈钢铸钢和低合金钢推测第一层焊着金属组织

4 耐热钢铸钢焊接要点

4.1 耐热钢铸钢的含义

使用温度约在 650℃ 以上的高铬型和高铬镍型的合金铸钢，叫做耐热钢铸钢。其中有的铬镍含量几乎与不锈钢铸钢相同。所不同的是含碳量都高，其目的是在于提高蠕变强度，赋予一定的耐热性能。为此，把这些材料均列入在耐热钢铸钢范围之内。

使用这种耐热钢铸钢的场所：其中包括各种热处理炉，水泥制造炉，热电厂，石油精炼厂等。这种耐热材料所具有的性质，如按其重要性加以排列的话，大体可按下列顺序：

- 钢材表面不容易氧化；
- 在最高温度上使用时能耐负重（蠕变强度）；
- 在使用温度上不变脆；
- 不容易渗碳；
- 即使渗碳也不脆化；
- 有一定的耐磨性；
- 尺寸规格稳定；
- 热膨胀系数和关联部件一致；
- 切削性能良好；
- 可焊性也良好。

因此在选用耐热钢铸钢品种时，要根据使用条件，对照上述作用，详细研究，符合用途，选择经济适用的钢材是必要的。同样在焊接修补或焊接组装上，也有必要对这些部件

表 4.1 耐热钢铸件的化学成分

耐热钢铸钢号	化 学 成 分 (%)							备 注
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	
SCH 1	0.20~0.40	1.50~3.00	<1.00	<0.050	<0.010	<1.00	12.00~15.00	— 含Mo 0.5%以下也可
SCH 2	<0.50	<2.00	1.00	"	"	—	25.00~28.00	"
SCH 11	0.10~0.30	<2.00	1.00	<0.050	<0.010	4.00~6.00	24.00~28.00	"
SCH 12	0.20~0.40	"	<2.00	"	"	8.00~12.00	18.00~23.00	"
SCH 13	0.20~0.50	"	"	"	"	11.00~14.00	24.00~28.00	②含N ₂ <0.20%
SCH 14	0.20~0.50	"	"	"	"	18.00~22.00	24.00~28.00	"
SCH 15	0.35~0.75	<2.50	"	"	"	33.00~37.00	13.00~17.00	"
HF	0.20~0.40	<2.00	<2.00	<0.04	<0.01	8.0~12.0	18.0~23.0	<0.50
HH	0.20~0.50	"	"	"	"	11.0~14.0	24.0~28.0	"
HI	"	"	"	"	"	14.0~18.0	25.0~30.0	"
HK	0.20~0.60	"	"	"	"	18.0~22.0	24.0~28.0	"
HE	0.20~0.50	"	"	"	"	8.0~11.0	23.0~30.0	"
HT	0.35~0.75	"	"	"	"	33.0~37.0	13.0~17.0	"
HV	"	"	"	"	"	57.0~41.0	17.0~21.0	"
HW	"	"	"	"	"	59.0~62.0	10.0~14.0	"
HX	"	"	"	"	"	64.0~68.0	15.0~19.0	"
HO	<0.50	"	<1.00	"	"	<4.00	26.0~30.0	"
HD	"	"	<1.50	"	"	4.0~7.0	23.0~30.0	"
HL	0.20~0.60	"	<2.00	"	"	13.0~22.0	23.0~32.0	"
HN	0.20~0.50	"	"	"	"	23.0~27.0	19.0~23.0	"

注：①含Mo并无妨碍 ②可含有N₂，不过要求塑性的铸钢件不适用

耐热钢铸钢件的机械性质

表 4.2

耐热钢 型号	机械性质		热处理	用 途 及 特 点	一 般 称 法	备 注
	屈服强度 公斤/毫米 ²	抗拉强度 公斤/毫米 ²				
SCH 1	—	>50	800- 900°C 缓冷	高温耐腐蚀性, 等。	Cr13	
SCH 2	—	>35		高温耐氧化性, 矿石焙烧炉的搅拌叶片。	Cr28	
SCH 11	—	>60		高温高应力部件。	Cr26-Ni5	JISG5112
SCH 12	—	>50		高温蠕变性能良好, 高温强度部件。	Cr19-Ni9	
SCH 13	—	>50		用途最广, 热处理炉用各部件	Cr25-Ni12	
SCH 14	—	>45		与 SOH12 比奥氏体稳定。	Cr25-Ni20	
SCH 15	—	>40		Ni>Cr, 无高温脆性。	(Cr15-Ni35)	
HF	>24.5	>49		相当于 SOH12	Cr19-Ni9	
HH	>24.5	>52.5		相当于 SCH13	Cr25-Ni12	
HI	>24.5	>49		高温耐氧化性强, 热处理炉部件, 特殊渗碳	Cr28-Ni15	美国材料试验 协会规格
HK	>24.5	>45.5		高温耐腐蚀性, 热处理炉部件。	Cr25-Ni20	
HE	>28	>59.5		高温耐腐蚀性, 热处理炉部件。	Cr29-Ni9	ASTM A297-60T
HT	—	>45.5				
HU	—	>45.5				
HW	—	>42				
HX	—	>42				
HC	—	>38.5				
HD	>24.5	>52.5		相当于 SCH2	Cr28	
HL	>24.5	>45.5	>8	相当于 SCH11	Cr26-Ni5	
HN	—	>44.1	>10			

的用途很好地加以研究，从而选择与用途相称的焊条和确定适当的焊接规范。

耐热钢铸件的种类如表 4.1，表 4.2 上所举。

4.2 耐热钢铸钢的性质和用途

在决定焊接方法、焊接规范之前，首先应当明确这个部件所使用的材料和性质。现将表 4.1、表 4.2 上所列的各种材料，就几种主要的加以说明。

铬 13 型

(1) (JIS SCH1) 高温强度并不高，很少用做为耐热钢，一般只用于稍有些温度或要求耐腐蚀性的阀门、泵等部件。

铬 28 型

(2) (JIS SCH2, ASTM HO) 这种铸钢在温度达到约 1100℃ 时，具有很好的抗氧化性，但高温强度比奥氏体类差，此外就是长时间保持在 400~450℃ 时，性质变脆，因此这种铸钢使用于应力较低的抗氧化性，以及对硫有耐腐蚀性的部件。多用于矿石焙烧炉的搅拌叶片、炉条，氮素工业、硝酸工业的容器等方面。

铬 26 镍 5 型

(3) (JIS SCH-11, ASTM HD) 性质类似上述的铬 28 型，用途也很相近，但在高温时比铬 28 型机械性能优越，使用于高应力部件。

铬 19 镍 9 型

(4) (JIS SCH-12, ASTM HF) 高温强度比铁-铬型耐热钢明显优越，多用于耐 650~870℃ 之间的石油精炼设备部件，水泥制造炉，热处理炉等部件。

铬 29 镍 9 型

(5) (ASTM HF) 这种铸钢在高温时具有很好的耐腐蚀性，比 HF 含铬量高，使用限度也比 HF 高，可使用到 1100℃。在高温时各种性能都明显地胜过铬 28 型 近于 HH 型。

铬 25 镍 12 型

(6) (JIS SCH-13 ASTM HH) 这种类型的铸钢件在美国约占总耐热铸钢件的 1/3。日本也用的较多。这种材料的高温强度和高温耐氧化性都很良好。使用温度能在 1100℃ 左右。为了保持这种合金的优越强度和韧性，必须是完全奥氏体组织。但是由于成分的组合，组织中容易出现部分铁素体，这部分铁素体在 650~870℃ 之间有碳化物析出， σ 相变脆的危险，因此必须在成分上加以调整，使之成为稳定的奥氏体组织。

这种合金材料在高温时，强度很高，所以用途很广，如用在热处理炉上的托盘、铲斗、钢轨、辐射发热管、燃烧咀、罐、筒等部件；锅炉的管道、支架、横梁；石油精炼设备部件，水泥制造炉部件，矿石焙烧炉部件等等。

铬 25 镍 20 型

(7) (JIS SCH-14, ASTM HK) 这种材料含镍量比 HH 多，奥氏体稳定，所以在使用中不怕出现铁素体向 σ 相转化，同时还含有硫的成分，在燃烧中耐腐蚀性比 HH 强，可做为 HH 型的改良类型，使用于同样的用途。这种钢材在铬 > 镍型的铁—铬—镍型耐热钢铸件中是最保险的一种钢材。

JIS 中的 SCH-15 和 ASTM 中的 HT、HV、HW、HX 都是镍 > 铬的类型，奥氏体组织比铬 > 镍型更稳定。这种合金最常用做为反复加热冷却的热处理炉上的各种用具、托盘、

风扇等部件。此外，这种合金材料比铁—铬—镍（铬>镍）合金渗碳速度小，所以广泛地使用在具有渗碳性的部件上。

综合上述材料的情况，可得出以下结论：

- (1) 增加镍量，渗碳就困难。
- (2) 增加镍量，在高温时抗拉强度虽降低一些，但热冲击性能增加。
- (3) 增加铬量，耐腐蚀性、抗氧化性就大。
- (4) 增加铬量，高温强度就大。
- (5) 增加硅量，高温强度虽减低一些，但对渗碳不利。

4.3 耐热钢铸钢的焊接

在焊接方法上也多使用电弧焊，这是和不锈钢铸钢一样的。

焊条是用表 3.6 上的奥氏体不锈钢焊条。至于耐热钢铸钢和焊条的配合使用可参照表 4.3。在配合使用时，除了解材料性质以外，还要具体区分：是部件之间的接合，还是焊接修补？以及焊接在什么部位上？还应了解产品的用途，等等。对这些情况详细研究之后，再决定使用哪种焊条。也和

表 4.3 焊条与耐热钢铸钢的配合示例

JIS 标准	代 表 成 分	可 配 合 使 用 的 焊 条
SOS-1	Cr13	D316
SCS-2	Cr23	D316
SCS-11	Cr25-Ni5	D316
SCS-12	Cr19-Ni9	D303
SCS-13	Cr25-Ni12	D303、D310
SCS-14	Cr25-Ni20	D310
SCS-15	Cr35-Ni15	D310

不锈钢铸件焊接一样，可利用谢弗莱尔的组织图加以测定。

至于焊后热处理，基本上是和不锈钢铸件相同，可参照前一章。

上一节已对各种材料的性质做了说明，在这些认识的基础上，自然可以了解后热处理的必要程度，和找到适当的处理方法。

5 高锰钢铸钢焊接要点

5.1 高锰钢铸钢的含义

表 5.1、表 5.2 是日本工业标准 (JIS) 关于高锰钢铸钢的要求规定, 从表上化学成分可了解到碳含量约为 1%, 锰含量约为 13%。

这种钢材从 1882 年发明以来, 就成为耐磨损的主要材料被广泛地应用着。这种钢材由于加工硬化越经锻造, 性质越硬。可用做为经受冲击部分的耐磨损部件, 如大铲斗、T 形管接头、履带、粉碎机部件和钢轨道叉等。

高锰钢在浇注时, 因析出大量碳化物, 性质是脆的, 必须经过 $1000^{\circ}\text{C} \sim 1,200^{\circ}\text{C}$ 水中淬火 (水冷韧化) 之后, 才能成为同奥氏体组织一样的、性质软而有韧性和非磁性的组织。

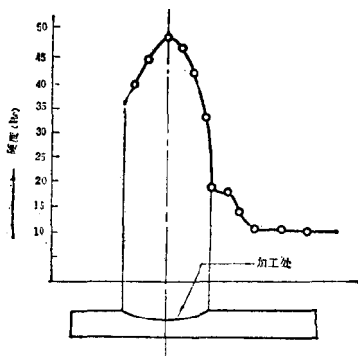


图 5.1 经水淬后的 13Mn 钢敲击处的硬度变化

表 5.1 高锰钢铸件的化学成分 (JIS G5131-1956)

种 类	型 号	化 学 成 分 (%)				
		O	Si	Mn	P	S
高锰钢铸件 1 种 2 //	SC Mn H 1	0.90~1.30	—	≥11.00	≤0.100	≤0.050
	SC Mn H 2	0.90~1.20	≤0.40	11.00~14.00	≤0.070	≤0.040

表 5.2 高锰钢铸件的机械性能 (JIS G5131-1956)

种 类	型 号	热 处 理 (°C)		抗 拉 试 验		硬 度 试 验		弯 曲 试 验	
		退	火	抗 拉 强 度 公斤/毫米 ²	延 伸 率 %	硬 度 (HB)	角 度 (度)	内 侧 半 径 (毫米)	
高锰钢铸件 1 种 2 种	SCMnH 1	—	—	—	—	170~223	150	25	—
	SCMnH 2	约 1000°C 水冷	—	≥75	≥25	170~223	180	25	—

在使用中经过锤炼的这部分硬的组织发生着变态，增强耐磨损性。图 5·1 是 13 锰钢用一磅小锤敲击五百次以后出现的情况。用高倍数显微镜可以观察到晶粒内有很多滑移。

再进而把这种钢材加热到 700℃，组织中的碳化物析出，组织的一部分变成马氏体，性质变脆。

5.2 高锰钢铸钢的焊接

5.2.1 焊接方法

如前节所讲，高锰钢是一种需要热处理的钢材，可是受到焊接热的再加热，热影响区碳化物析出，生成马氏体变脆，所以可焊性不能说是良好的。因此焊接时应当避免长时间过热，一般是不用气焊，而用电弧焊。

5.2.2 高锰钢焊条

高锰钢铸件焊接使用的焊条有：高锰钢型、高锰—高铬型和 18-8 不锈钢型。高锰钢铸件和低碳钢板等异种金属焊接时，一般都是使用工艺性能良好、具有稳定奥氏体组织的 18-8 型不锈钢焊条。

不锈钢焊条已在表 3.6 上列出，18-8 型不锈钢焊条相当于 JIS 标准的 D308。JIS 标准制定的高锰钢型、高锰高铬型焊条如表 5.3 上所示。但这个规格是按表面堆焊焊条标准制定的，用做为高锰钢铸钢焊接不一定完全合适。

其 DFMB-B 焊条含有 3.0~6.0%Ni, 13%Mn，熔敷金属具有韧性，不易产生裂缝，因此适用高锰铸钢冒口模型焊接。表 5.4 是 DFMB 与其它几种焊条机械性质的比较。

此外，DFME 是一种 16Cr-16Mn 型不锈钢焊条，由于 18-8 类型焊条的工艺性能不好，为了提高熔敷金属中的抗拉

表 5.3 高锰钢焊条 (JIS Z3251-1962)

	焊 缝 金 属 化 学 成 分 (%)									
	O	Cr	Ni	Mn	Si	P	S	Mo	其它元素 合计	
DFMA-B	≤1.10	≤0.5	≤3.0	11.0~13.0	≤0.8	≤0.03	≤0.02	—	≤1.0	
DFMB-B	"	"	3.0~6.0	"	"	"	"	—	"	
DFMC-B	"	"	≤3.0	"	"	"	"	1.0~2.5	"	
DFMD-B	"	1.0~4.0	"	"	"	"	"	—	"	
DFME-B	"	14.0~18.0	"	12.0~13.0	"	"	"	—	≤4.0	

表 5.4 高锰钢焊缝金属的化学成分和机械性能

种 类	化 学 成 分 (%)					机 械 性 能						
	O	Mn	P	Si	Ni	Cr	Mo	屈服强度 公斤/毫米 ²	抗拉强度 公斤/毫米 ²	延伸率 %	断面收缩 率 %	硬度 (布氏)
DFMB-B	0.75	14.5	0.02	0.7	3.5	—	—	44.9	84.8	47.0	37.6	207
DFMD-B	0.75	14.5	0.02	—	3.5	4.0	—	50.0	82.2	42.0	36.0	215
DFMC-B	0.56	14.8	0.032	0.36	—	—	1.27	44.4	72.8	20.3	38.9	223

强度和延伸率，才制造出这种焊条，它适用于铁道钢轨道叉等高锰奥氏体铸钢件的焊接。

此外对耐磨损高锰钢铸钢堆焊最常用的是 DFMA-B 焊条，冲击值高，焊接时硬度在 180~220 左右（威氏硬度），加工硬化后提高到 500~600

5.2.3 焊接施工中的注意事项

对高锰钢铸件的气孔、缩孔、砂眼等缺陷进行修补焊接时，施焊前要把缺陷周边清理干净。同时一般磨损部件都经过加工硬化，对这部分磨损地方进行堆焊时，由于焊接再加热也容易迅速脆化，因此必须用气割或砂轮把这部分硬化层清除掉。

为了把焊接热带来的脆化部分降低到最小程度，应尽量限制对母材加热。焊接时间要短，必须采用短弧；使用低电流，尽可能的使用小直径焊条。根据同一理由最好使用直流反极性。母材不能预热，为了不使母材的含碳量向熔敷金属

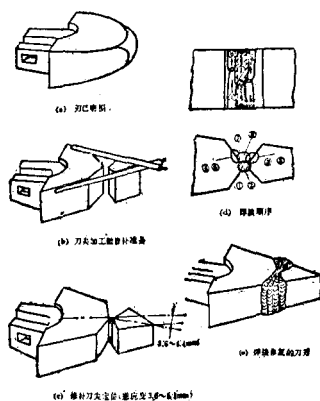


图 5.2 对磨损杓戥刀刃的修复

过渡，熔深要浅。为了避免过热，每层都做 250℃ 以下的冷却，效果还要好些。

图 5.2 是修补高锰铸钢制成的 T 型凿具 (dipper) 使其再生的一例。磨损的刀尖已由加工硬化变脆，就应像图上 (b) 那样，在适当的地方用气割切断，把另外选好的高锰钢刀尖放好做定位焊。这时要注意的是尽量减少因焊接产生的内部应力防止焊后变形 所以要把刀尖放斜 3.2~6.4 毫米，以适合反变形。像这样的焊接最好不用刚性夹具。焊接的顺序按 (d) 图，焊道分段、交错跳焊，意在分散热量，避免焊接处附近变脆。这样焊下来的铸件是有保证的。但是像冒口型模之类的铸件修补，焊后还要水淬处理，这也是一项基本的要求。

6 铸钢焊接的质量管理

6.1 作业的标准化

为了使经常送出去的焊件没有差误，同时也是为了积累技术资料，把整个作业正规化起来是很重要的一项工作。

特别是铸钢件，除低碳钢以外都可以列为“难焊”的部类。因此没有标准化，没有适当管理，产品质量是难于保证的。图 6.1 是简单的作业标准登记表的一例，用这样的格式把焊接作业及修补的主要内容填写进去。

作业标准格式不管用什么样形式，以简单易懂为主。记入的项目包括：有无预热、所用焊条种类，使用电流值，以及焊接程序等等。

图 6.1 焊接作业标准登记表

产品名称	材料	产品型号				
(略图)						
No.	作 业		焊条种类	焊条直径	电 压	电 流

关于缺陷修补作业，还要记载缺陷的去除方式，焊接前后的检查方法等等，进而还应对切开缺陷之后的观察、判断，如缺陷之大小，是否易焊等等均应记入，以备参考应用。

6.2 铸钢修补的限制

铸钢件在铸造上的缺陷几乎都可以修补，也可以说总比毁了重铸合算。但是不管是为了保证铸钢件的质量，还是为了促使制造技术的改进，对焊接修补做出相当的限制还是必要的。以低合金钢铸件为例，下述情况是应禁止修补的：

- (1) 经过表面退火，表面上仍有缺陷的铸件。
- (2) 缺陷深度超过壁厚二分之一的铸件。
- (3) 同一部位反复出现缺陷的铸件。
- (4) 在要求强度上特别关键性部位的缺陷。

6.3 铸钢焊接处的检查

对铸钢件的焊前检查，以下两点是主要的：

- (1) 焊接坡口处的尺寸和形状是否合适？
- (2) 焊接坡口附近有无缩孔等缺陷？

如果有上述缺陷，焊前一定要预先修补或修复。

焊接中的检查要点是：对深坡口要着重在第一层的焊接检查。深坡口第一层焊容易产生像图 6·2 那些缺陷。根据反复检查，确认良否，对于缺陷应当尽量早期发现，尽量预防。

对焊接处的焊后检查是：对最易发生问题的焊缝，对重要的关键性的焊缝，要进行多次抽样检查。对深度 6~8 毫米的焊缝，要用磁粉探伤检查；对更深的地方要用 X 光透视

或超声波探伤检验。

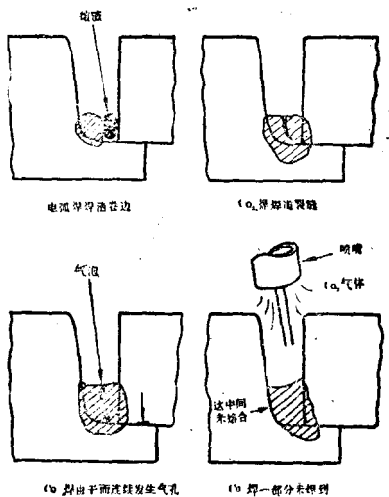


图 6•2 深而狭的坡口容易在一层焊时出现的缺陷

铸 铁 焊 接

7 铸 铁

现代各个工业部门使用的金属材料，大致可分为黑色金属和有色金属两大类。其中铸铁由于制造上容易，价格又便宜，因此应用范围极广。但是从焊接角度来看，铸铁又是问题最多的一种材料。

为什么铸铁焊接困难？要了解这一点，必须从冶金学上弄清它的性质和特点，才有可能找到途径，才能把铸铁焊接做得合乎理想。下面先就铸铁的一般性质加以说明。

铸铁是一种铁碳合金，含碳量在 2% 以上，硅 (Si) 2% 左右。熔点比钢低，流动性较好，而且在铸型内能熔合得很好，因此被用来做为铸件。铸铁的物理性质：一般来说纯比重为 7.85，如果其中的石墨或杂质掺杂较多，比重就稍减。灰口铸铁比白口铸铁比重轻，平均为 7.25 左右。铁的熔点受碳的影响、（这时碳呈现为渗碳体），含碳量一增加，熔点就下降。

金属熔液的流动性和温度关系很大。石墨越多，流动性越好；硅也是如此；磷 (P) 对熔液的流动性也有好处，在特殊情况下，磷的含量有的则达 0.5~1.2%。

其次对焊接裂缝、变形最有影响的是收缩。从收缩来看，铸铁收缩是从熔化状态到冷却凝固过程，开始稍有膨胀，此后就逐渐收缩，一到常温，便显著收缩，就整个收缩来看，收缩率达到 1% 左右。图 7·1 是砂型铸件的膨胀收缩曲线，从这里可以明显地看出白口铁的收缩比灰口铁大。这就明白白口铸件在焊接时容易开裂；从而也就可以理解铸铁

焊接时只要出现白口组织就容易发生问题。

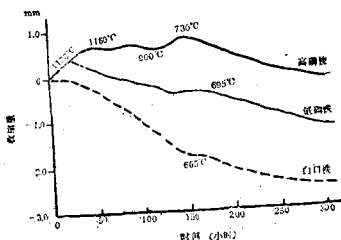


图 7.1 铸铁冷却时的收缩量

铸铁的金属组织是由铁素体 (α 铁) 和石墨、渗碳体组成。在显微镜下看到的有黑色的游离片状石墨，还有由铁素体及白色的渗碳体共析的网状珠光体和铁素体。如不存在石墨，碳做为渗碳存在，即所谓白口铁，也就是通常所说的铸铁；如果有石墨存在，如不是游离状的铁素体就叫做珠光体铸铁。机械性能比一般铸铁高。后来在成分上增添了少量的镁 (Mg) 或 硒 (Se)，并在铸造时进行孕育，从而生产出所谓的“球墨铸铁” (Nodular)，塑性和强度都可以和钢相媲美，使用范围更加广泛。此外，又经过不断地研究改进，对白口铁进行长时间高温加热，使渗碳体分解，形成石墨化，即从表面进行脱碳，这就在性质上成为和钢相近的黑心或白心的可锻铸铁。这是铸铁发展的简单概况。下面进一步对几种有代表性的铸铁的化学成分和机械性能加以说明。

7.1 灰口铸铁

普通灰口铸铁抗拉强度在 $10\sim 20$ 公斤/毫米²，材料较软，碳和硅的成分在 $5\sim 5.5\%$ ，随铸件壁厚的增厚石墨显著增长，性质变脆，硅含量必然相对地减少。因此在焊接铸铁厚件时，由于冷却效果，在化学成分上引起变化，容易产生

铸铁的导热系数为 $0.07\sim 0.13$ 卡/厘米/秒 $^{\circ}\text{C}$ 。电阻率为 $30\sim 50$ 微、欧姆、厘米。如果渗碳体或石墨增多，导热性和电阻都降低。

铸铁的金属组织是由

铁素体 (α 铁) 和石墨、渗

白口组织。

高级铸铁抗拉强度在 30 公斤/毫米²，石墨数量少，增长也不显著，即所谓的珠光体铸铁。为了防止白口化，使石墨细化，曾把碳和硅含量占到 4~5%，做过很多试验，用过多种方法。

特殊铸铁也叫合金铸铁。加添合金的目的是为了得到与钢相似的特殊性质。所加的合金元素，种类很多。其中有一种含多量镍、铬的，呈现出奥氏体组织，耐热在 500℃ 以上，是一种良好的耐热性材料。

灰口铸铁由于存在石墨，耐酸性不如白口铁，因此又出现一种含硅在 14~18% 的耐酸铸铁，不过性质很脆，根本不能焊接。

上述几种灰口铸铁的化学成分和机械性能，可从表 7.1，表 7.2 和表 7.3 上看到。

灰口铸铁在加热、冷却过程中的组织变化，其状态如图 7.2 上所示，有铁-渗碳体和稳定的铁-石墨型两种。前者是在快冷过程中呈现出来的相的变化，碳使铁和合金成为渗碳体 (Fe_3C)；后者是在缓冷过程中呈现的相的变化，生成的碳成为游离状的石墨。前者的情况就是白口铁，后者的情况即灰口铸铁。

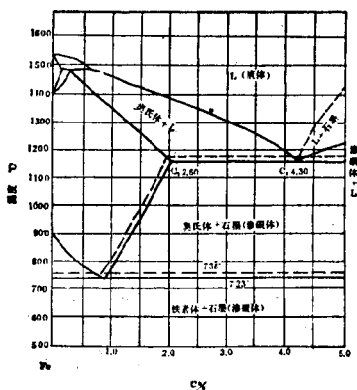


图 7.2 Fe-C 型平衡状态图

表 7.1 灰口铸铁件 (JIS G. 5501)

种 类	型 号	铸 件 的 主 要 厚 度		毛 坯 试 件 直 径		抗 拉 强 度 公斤/毫米 ²	抗 弯 试 验		硬 度 H _B
		毫米	毫米	毫米	毫米		弯 曲 毫米	最 大 负 荷 公斤	
1 类	FC10	≥4	≤5	30	≥10	≥700	≥3.5	≤201	
		≥4	≤8	13	≥19	≥180	≥2.0	≤241	
2 类	FC15	超过 8	≤15	20	≥17	≥400	≥2.5	≤223	
		超过 15	≤30	30	≥15	≥800	≥4.0	≤212	
		超过 30	≤50	40	≥13	≥1700	≥6.0	≤201	
3 类	FC20	≥4	≤8	13	≥24	≥200	≥2.0	≤255	
		超过 8	≤15	20	≥22	≥450	≥3.0	≤235	
		超过 15	≤30	30	≥20	≥300	≥4.5	≤223	
		超过 30	≤50	45	≥17	≥2,000	≥6.5	≤217	
4 类	FC25	≥4	≤8	13	≥23	≥220	≥2.0	≤269	
		超过 8	≤15	20	≥25	≥500	≥3.0	≤248	
		超过 15	≤30	30	≥25	≥1000	≥5.0	≤241	
5 类	FC30	超过 30	≤30	45	≥22	≥2300	≥7.0	≤229	
		≥8	≤15	20	≥31	≥550	≥3.5	≤269	
		超过 15	≤30	30	≥30	≥1100	≥5.5	≤262	
6 类	FC35	超过 30	≤50	45	≥27	≥2600	≥7.5	≤243	
		≥15	≤30	30	≥35	≥1200	≥5.5	≤277	
		超过 30	≤50	45	≥32	≥2,000	≥7.5	≤267	

注：(1) 硬度试验如定货单位无要求可不做试验；再者灰口铸铁件 1 类通常是不做机械试验。

(2) 铸铁件的主要厚度无规定时，其机械性能、毛坯试验的直径规定为 30 毫米做为数值。

(3) 铸铁件主要厚度的规定不超过 4 毫米，超过 50 毫米的机械性能由定货单位和制造单位协商规定。

表 7.2

珠光体可锻铸铁件 (JIS G 5704)

种 类	型 号	抗 拉 试 验		硬 度 (布氏)
		抗 拉 强 度 公斤/毫米 ²	屈 服 强 度 公斤/毫米 ²	
珠光体可锻铸铁件 1 类	FCMD 40	40	25	152~217
"	FCMD 50	50	34	179~241
"	FCMD 60	60	42	201~269

表 7.3

高级铸铁种类

名 称	化 学 成 分		抗 拉 强 度 公斤/毫米 ²	特 点
	C	Si Mn		
铸型预热浇注铸铁①	3.0~3.3	0.6~1.1 0.5~1.0	28~35	经缓慢冷使 Si 减低
埃米尔高级铸铁②	2.5~3.0	2.0~2.5 0.8~1.1	30~35	碳低而且石墨化
彼瓦洛斯基铸铁	2.7~3.0	1.5~2.7 --	30~40	铁水过热使石墨细化
密烘铸铁③	2.7~3.0	1.0~1.5 0.6~0.8	32~34	硅铁或硅化钙孕育

1. 铸型预热浇注铸铁——Lang-Pearlite 即珠光体铸铁。

2. 埃米尔高级铸铁——Thyssen-Eumel 铸铁

3. 密烘铸铁——Mechanite 铸铁

白口铁和灰口铸铁的形成不仅是由于冷却速度的不同，而且还受化学成分，特别是碳和硅的含量影响。其概括情况可从莫瑞尔 (Maurer) 的“铸铁碳硅组织图”上了解。见图 7.3。一般来说硅的含量越高，石墨化的程度越大。图上的 I 范围内是白口铁珠光体和渗碳体，II a 是白口铁、灰口铸铁的混合组织，珠光体、渗碳体和石墨共存；II 是珠光体铸铁；II b 是珠光体、铁素体和石墨而成的软的铸铁；III 是从铁素体和石墨而成的极软铸铁，强度最低。

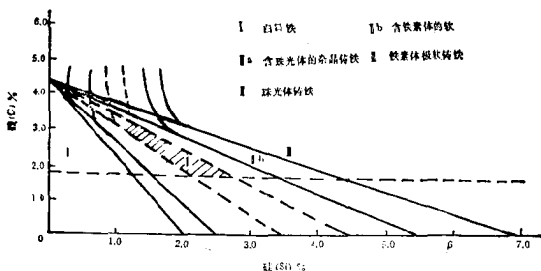


图 7.3 Maurer 铸铁碳硅组织图

可锻铸铁

可锻铸铁从制造方法上分为白心可锻铸铁和黑心可锻铸铁两种，其化学成分和机械性能如表 7.4，表 7.5

一般来说在化学成分上，碳少同时硅也少，铸造当时的原态都是白口组织。用氧化剂把它围拢起来经 900~1000℃ 长时间加热，除掉表面上的渗碳体，这叫白心可锻铸铁；不做这样的脱碳，只加热到 850~950℃，渗碳体被石墨化，这种叫做黑心可锻铸铁。白心、黑心这个名称就是从断面呈现的状态而来的。

这种可锻铸铁的抗拉强度和延伸率是和铸钢相近的，铸

表 7.4 白心可鍛鑄鐵件 (JIS G 5703)

種類	型號	主要厚度 毫米	抗拉試驗		彎曲試驗		內側半徑 毫米	
			試樣直徑 毫米	抗拉強度 公斤/毫米 ²	延伸率 %	試樣長度 毫米		彎曲角度 0°
1 白心可鍛鑄鐵件	FOMW ₃₄	<5	6	32	8	4	120	40
		5~9	9	34	5	6	120	40
2 類	FCMW ₃₅	9~15	14	36	3	9	60	40
		<5	6	34	14	4	150	40
2 類	FCMW ₃₅	5~9	10	36	8	6	150	40
		5~15	14	38	6	9	90	40

表 7.5 黑心可鍛鑄鐵件 (JIS G 5702)

種類	類別	型號	抗拉試驗		彎曲試驗		內側半徑 毫米
			抗拉強度 公斤/毫米 ²	延伸率 %	彎曲角度 0°	內側半徑 毫米	
黑心可鍛鑄鐵件	1	FCMB 28	28	5	90	40	40
	2	FCMB 32	32	8	120	40	40
	3	FCMB 35	35	10	150	40	40
	4	FCM 37	37	12	150	40	40

造性也好，因此常常用做为汽车上的部件、一般的管接头以及火车车辆上。

7.3 球墨铸铁

这种铸铁在二次大战以后就迅速发展起来，也叫高强度铸铁和塑性铸铁 (Nodular, ductile) 是英国人毛瑞 (Morragh) 发明的。在含磷 (P) 0.1% 以下的过共晶铸铁上，加添硒 (Se) 0.02%，铸造之后析出球状石墨。另外美国人甘尼宾 (Gannebin)，加添镁 (Mg) 0.04%，也得出球状石墨。

在制造这种铸铁时，要减低有害于石墨球状化的含硫量；碳、硅含量比一般铸铁高，此外还必须降低那些具有白口化倾向的元素含量。这种铸铁的特征如表 7.6 上所示，由于它特有的组织，其抗拉强度比普通铸铁高二倍，塑性、耐磨性都很好。经过反复加热，碳化物减少，铸铁的性能变差。

表 7.6 球墨铸铁件 (JIS G 5502)

种类	型 号	抗拉强度 公斤/毫米 ²	屈服强度 公斤/毫米 ²	延 伸 率 %	硬 度 (HB)
1	FCD 40	40	28	12	120~130
2	FCD 45	45	30	5	140~240
3	FCD 55	55	38	2	170~290
4	FCD 70	70	48	1	230~350

8 铸铁焊接概要

前面说明了铸铁在冶金学上的性质。关于铸铁焊接，首先应指出的是这是经常遇到的一项工作：这是由于冶炼过程中金属溶液流动不充分，而常常产生气孔、缩孔；加上铸造应力容易引起裂缝缺陷；以及使用过程中也常常发生断裂、破损等缺陷。因此对铸铁缺陷的修补就是一项急待解决的问题。修补的办法一开始就考虑用焊接。铸铁焊接虽然是很久以来就采用的方法，但是长时间并没有发展，这是由于铸铁硬脆，加上焊接时的激热骤冷，冶金学上的急变，给铸铁焊接造成了很多困难。

在这一章里，说明铸铁焊接困难的原因和处理方法

8.1 铸铁焊接困难的原因

铸铁焊接困难，其原因主要的有以下几点：

(1) 铸铁从融化状态遇到骤冷，容易白口化，这在前面已讲过。白口化之后，收缩率大，如图 7.1 上看到的热膨胀曲线与灰口铸铁的系数显然不同，在焊接处和母材的收缩上出现差异，发生大的残余应力，加上白口铁的性质硬脆，容易产生裂缝。在焊接时常常听到的一种啪啪的金属声，就是由于收缩应力而产生的小的裂缝。

(2) 铸铁中含有多量的碳，碳在焊接中被氧化，生成 CO 气体，在焊接金属中容易产生气孔或凹痕。

(3) 如前面所说，铸铁的塑性小、性质脆，铸造时的残余应力和焊接时的残余应力两相结合，集中到厚铸件的不同

部位或角隅，就容易产生裂缝。

(4) 铸铁母材中的碳(C)、硅(Si)、硫(S)、磷(P)等有害元素熔化到焊接金属中来，增加焊接金属的硬度，损害了塑性和韧性，因而产生裂缝，以致造成切削加工上的困难。

(5) 经过长时间高温加热的铸铁，石墨粗大化，石墨与基体产生间隙，附近的油或水渗入进去，形成氧化皮(铁鳞)，这些杂质在焊接时妨害熔合，也是造成裂缝、气孔的原因。同样的长时间使用在腐蚀性气氛之中的铸件，也对焊接非常不利。

(6) 铸铁本身原有的气孔、缩孔、砂眼等缺陷也容易造成焊接不良。

针对上述这些原因，曾做过多方面的试验研究，主要是从焊接方法，焊接材料和焊接操作方法上想办法加以解决。

8.2 铸铁焊接的现行方法

现时实际应用的铸铁焊接方法，可分类如下：

焊 接 方 法	操 作 方 法	使 用 焊 条 种 类
1) 氧—乙炔焊接法	热 焊	{ 铸铁焊丝 { 低碳钢焊丝
2) 电弧焊接法	热 焊	{ 铸铁电焊条 { 低碳钢电焊条
3) 电弧焊接法	冷 焊	{ 镍基电焊条 { 低碳钢电焊条 { 铸铁电焊条
4) 硬钎焊(铜焊)	—	{ 铜合金焊条 { 共晶合金焊条

上述的铸铁焊接方法与其它特别是低碳钢焊接方法基本上是一样，但是在各种方法上铸铁焊接都有它的特殊要点，不熟习这些要点，就很难做好铸铁焊接。

8.2.1 铸铁热焊

所谓铸铁热焊是把整个焊接件放在 $500^{\circ}\text{C} \sim 600^{\circ}\text{C}$ 高温中进行加热，在炽热状态下进行焊接。这是为了防止在焊接过程中部分铸铁生成白口组织。

因此需要把预热温度提高。如图 8.1 上所示，在 500°C 左右铸铁中的渗碳体开始分解，石墨化过程的膨胀继续增大，所以控制在 600°C 最为理想。

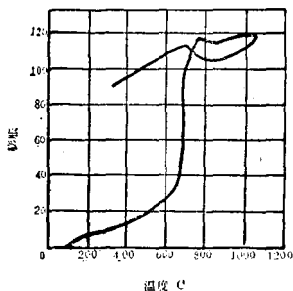


图 8.1 渗碳体分解铸铁膨胀

为了给焊接以充分热量，这就要求横向摆动，连续不断地进行焊接。焊接刚一停止是最关键

的时刻，如果过早过快地冷却，那会使防止白口化的预热化归无效，像马氏体那样的硬脆相析出，由预热和焊接而来的热应力在铸铁上造生变形，容易产生裂缝。因此焊后不能快冷，应放在炭火灰中缓慢冷却。如果可能的话，焊后直接退火，退火温度约在 600°C 左右，进行均一的加热，然后再放进炭灰中缓冷，这样做是很有必要的。

进行退火能消除焊接中产生的应力，也保持铸铁焊接处的石墨化，这就有可能使焊接做到既能切削容易，又无裂缝。

截至目前，铸铁焊接几乎都采用这种操作方法。但是很多铸件都是大型的。壁厚的，不可能充分预；热同时设备成

本也高；更严重的是焊接人员艰辛熬热，不堪疲惫，难于保证质量，所以现在还不能广泛地使用这种方法。

8.2.2 铸铁冷焊

过去一直认为铸铁冷焊是不可能的，可是由于焊条的发展、焊接技术的进步，铸铁冷焊已在很多地方应用起来，这是冶金学上研究铸铁和铸铁焊接方面的一大成果。

过去美国曾把镍基焊条做为铸铁低温焊条介绍到日本，对日本采用铸铁冷焊起了一定的推动作用。但是当时使用的是共晶合金低温焊条，等到使用镍基焊条进行冷焊时，就有人错误的认为铸铁冷焊就是低温焊接。还由于焊接温度明显地比母材熔点低，有人说“母材不熔化也能焊接”。但实际并不是这样。使用镍基焊条不过是预热温度比现在的热焊低；而且是不做全部预热而已，这样铸铁冷焊才有可能。

这里所说的铸铁冷焊方法，是指那些不做机械加工，或者大型铸件组装完毕，不能搬运，不能预热、退火而必须修补缺陷时最有效果的那种焊接方法。如前所述，由于镍基焊条的发展，现在焊后也能加工，因此这种焊接方法的应用范围更加广泛。

在前一章里所说的铸铁焊接的困难是多种原因促成的，如何解决这些问题，在后几章里再详述。做为冷焊施工上的问题是：焊条的选择，运条方法，使用电流，层间温度以及表面强化法等等。如能充分掌握这些要点，就能成功地做好铸铁冷焊。

另外栽丝焊也应用于冷焊。这是在铸铁焊接处的坡口上镶嵌上几个螺丝，用低碳钢焊条或铸铁焊条在螺丝的周围焊接起来的一种方法，见图 8.2。

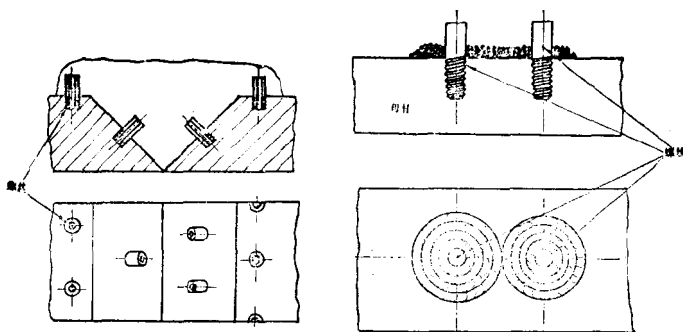


图 8.2 栽丝焊法

这样能防止焊接金属和母材剥离；同时镶螺丝的地方也能避开焊接应力。这种方法可用于修补大型铸件或钢锭模，也适用于修补要求强度高的部件上的裂缝、缺肉和其它缺陷。但对承受水压的部件是不适用的。

此外还有一种在大型铸件上利用冷焊变形的黑木式焊接法*。这是大阪大学冈田实教授研究的成果。用低碳钢焊条特意涂以能产生气孔的涂料，在铸铁焊接处的坡口上连续焊接，在红热状态中连续锤打，把出现的气泡锤乱，使之铆接严密。焊条是用粗直径的，用大电流，其原理就是用锤打的办法，使多孔性的焊接金属致密，并缓和焊接应力，同时还增加了水密性（不透水性）。这种方法是铸铁焊接中的一个独特成就。

8.2.3 铸铁硬钎焊

译注：黑木庆宪根据冈田的研究成果制定的一种焊接法，焊法如书中介绍，焊条涂料中包含有 MnO_2 、 Fe_2O_3 等氧化剂成分。冈田认为技术上还不成熟，此种方法未见推广（见《焊接便览》）。

硬钎焊与一般焊接不同，是使用铜合金或锌、铅、锡等合金材料进行钎焊的一种方法。一般来说与氧-乙炔气焊的情况相同，比低碳钢或铸铁焊条操作容易。但是焊接处的色调和母材很不一致，因此在实用上受到限制。

另外一种与硬钎焊相类似的方法是共晶合金即用两种以上合金，保持合金中的最低熔点，加热到熔化温度，一下就成为熔合状态，组成焊缝，结构细致，这是由于良好流动性和共晶结晶相互析出。在提高机械性能上也利用低温焊接法。

其特点是使铸铁母材熔化残余应力小，能够防止变形。

8.3 铸铁焊接处的一般性质

铸铁焊接处的性质，不能一概而论，这和使用不同焊条和采取不同的焊接方法有关。这一点后面将详细说明。这里仅就热影响区来讲，如前面所讲的平衡状态上呈现出完全不同的状态。即紧靠焊接金属部分，被激热骤冷而呈现出白口化。其邻近的部分受到淬火、回火热处理，成为马氏体、或索氏体组织，再远一点的地方是普通的铸铁组织，其所以如此不同，是因焊接方法造成的。如果使用铸铁芯焊条，并进行预热、后热，使母材缓慢冷却，那就区别不出来母材和焊接金属的边界。经过 500℃ 预热之后，焊接金属几乎看不到组织上的变化。但经过快冷或经过缓冷，母材热影响区的组织就不一样。快冷则形成石墨和白口铁的混合组织。缓冷则成为普通的灰口铸铁组织，石墨充分析出，成为一种软的组织。

至于在物理上、冶金学上的性质变化，将在焊接方法各论中另做说明。

9 铸铁气焊要点

铸铁气焊是最早使用的一种方法，所用的焊丝，有时用低碳钢或铸铁，有时还用有色金属，特别是铜合金焊丝。在施工方法上最重要的一点就是焊前必须预热，焊后必须退火。

焊接方法简单，焊接处组织能达到与铸铁相近，机械加工容易，色调一致，这是其优点。但是缓冷退火如果做得不好，也会出现意想不到的损坏。同时大型铸件在预热、后热上有困难；铸件的规格尺寸过大，对焊接技术的要求就更高、更须熟练。

9.1 焊丝的选择

气焊用的焊丝（也叫光焊条）有低碳钢和铸铁两种。低碳钢焊丝在日本工业标准（JIS Z3201）上有规定，可按照规定要求使用。过去有种说法：用低碳、纯铁做成焊丝有好效果，实际这是没必要的。

已生产的铸铁气焊焊丝有各种各样，但是从气焊的特点来看，最主要的应着重在焊丝中的碳、硅、锰等元素在焊接过程中被氧化消耗，要补充到多大程度？以及根据熔敷金属的熔深对铸铁母材起到什么变化？这是考虑和决定焊丝成分时应着眼的地方。

另外，焊接过程虽经预热，但冷却速度相当快，所以用与普通铸铁相同数量的碳、硅量是不能达到石墨化的。必须加添促进石墨化的元素，如镍（Ni）、铝（Al）、铜（Cu）等。

这些元素对促进石墨化的影响如图 9.1 上那样，是按硅、铝、镍、铜的顺序逐渐减弱下来。

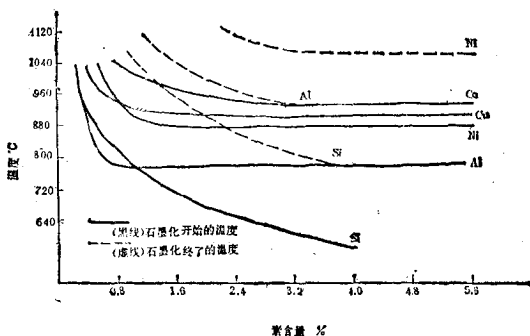


图 9.1 各种元素对铸铁石墨化的影响

表 9.1 是美国铸铁焊丝标准 (ASTM A 398~567)，日本所用的焊丝是由田村氏研制的，如表 9.2。另外表 9.3 列出了西欧各国的焊丝。从这些资料上可以看到含硅量特别多。其它钼 (Mo)、镍 (Ni)、铝 (Al) 等都是为促进石墨化而加添的。另外，为了防止氧、氢等容易产生气孔的影响，又加添上脱氧、脱气的元素。

现在市场上销售的这种铸铁气焊焊丝，直径为 4~8 毫米，长度为 600~1000 毫米。铸件中常有的气孔、夹砂等缺陷，应在焊前去除干净。如果不清除就焊，就会产生夹渣，或出现气孔；同时在焊接中有焊渣搅混，也使焊接操作困难。

9.2 焊剂的作用

铸铁气焊必须使用焊剂，焊剂的作用和其它金属焊接一样，有以下几点：

- (1) 把焊接中生成的氧化物，及母材中的砂、锈等经熔

表 9.1 铸铁焊条焊丝标准 (ASTM: A 398~56T)

	C	Si	Mn	P	S	Fe	Mo	Ni	Cu	Zn	Sn	Al
DC 1	3.25~3.5	7.75~3.0	0.50~0.75	0.50~0.75	0.10	余量	—	—	—	—	—	—
EC 1												
RC1-A	3.25~3.50	2.00~2.50	0.50~0.75	0.20~0.40	0.10	余量	0.25~0.45	1.25~1.60	—	—	—	—
RCrZn-A	—	—	—	—	—	—	—	—	>57.00	余量	0.25~1.00	0.01
RCrZn-B	—	—	0.01~0.50	—	—	0.25~1.00	—	0.50	>56.00	余量	0.50~1.00	0.01
RCrZn-C	—	0.04~0.25	0.01~0.50	—	—	0.25~1.25	—	1.00	>56.00	余量	0.75~1.10	0.01
RCrZn-D	—	0.04~0.25	—	0.25	—	—	—	3.00~11.00	>45.00	余量	—	0.01
RCuAl-A ₁	—	0.10	—	—	—	1.5	—	—	余量	0.20	—	9.0~11.0
ECuSn-A	—	—	—	0.15~0.35	—	—	—	—	余量	—	—	0.01
ECuSn-C	—	—	—	0.35	—	—	—	—	余量	—	—	0.01
ECuAl-A ₁	—	0.10	—	—	—	1.5	—	—	余量	0.02	4.8~5.8	9.0~11.0
ENi	0.15	0.75	0.50	—	0.01	0.50	—	>98.00	0.50	—	—	—
ENiFe	0.25	0.50	1.00	—	0.02	>37.00	—	52~60	0.50	—	—	—
ENiCu-A	0.30	0.75	2.25	—	0.025	2.50	—	55~60	余量	—	—	—
ENiCu-B	0.30	0.75	2.25	—	0.025	2.50	—	63~70	余量	—	—	—
ES+	0.15	0.03	0.30~0.60	0.04	0.04	余量	—	—	余量	—	—	—

注 1. 化学成分是指焊芯成分, 单一数字表示为以下。 2. 首字母 R 是指气焊焊丝, E 是电焊条

表 9.2 日本国内使用的铸铁焊丝

发 明 人	C	Si	Mn	P	S	Al
田 村、盐 原	3.0~3.4	3.1~3.5	0.5~0.6	0.3~0.4	<0.1	0.5~1.0

表 9.3 西欧各国使用的铸铁焊丝

发 明 人	C	Si	Mn	P	S	Al
S. W. Miller	3.0~3.5	3~3.5	0.5~0.75	0.5~0.7	0.1	—
Tibbenhan	3.50	3.25	0.50	0.8	0.05	—
Baillon	3.0~3.5	3.0~3.3	0.20~0.40	0.2~0.5	—	—
Reiniger	3.0~3.5	3.0~3.3	0.34~0.56	0.2~0.6	0.07~0.076	—
German	3~4	2.5~3.6	0.5~0.8	0.4~0.8	<0.1	—

解做为焊渣被除掉。

(2) 覆盖住熔化金属，防止氧化。

(3) 增加熔化金属的流动性，使其和母材熔合得更好。

(4) 由于冶金学上的作用，进行脱氧、脱气，防止焊接处出现硬化、气孔、凹痕等缺陷。

现在市场上经售的具有这样作用的焊剂，其主要成分配合比例有如下几种：

1) 硼砂 15% 碳酸钠 15% 重碳酸钠 70%

2) 硼砂 15% 碳酸钠 40% 重碳酸钠 40% 硅砂 5%

3) 氢氧化钠 50% 重碳酸钠 50%

4) 二氧化锰 50% 氢氟酸钾 4~6% 硅砂 1%
铝 0.3% 硝酸钠 34%

5) 纯碱 80% 硼酸 18% 硅砂 2%

焊剂中的主要成分是硼砂、硼酸及碳酸钠等占大部分，用水调成糊状，涂在焊丝或母材上进行焊接。如果焊剂过量会使焊接操作困难，相反的如过少，还有产生气孔或其它缺陷的危险。用量多少，以涂上焊丝为度。

9.3 预热和退火

气焊时预热和退火是绝对必要的，已在前面说明。加热时应注意的是：因急热还有发生裂缝的危险。所以应缓慢加热，到 300℃ 时，铸铁渐渐地膨胀，超过 300℃，铸铁的残余应力减少；400~600℃ 渗碳体分解，开始石墨化而迅速膨胀。从 800℃ 石墨化完了开始向固溶体变态，稍微收缩，再逐渐溶解，又继续膨胀，至冷却时由于固溶体析出，稍微引起膨胀之后，使直线收缩。

象图 9.2 那样，由于反复加热、冷却，就引起铸铁膨胀

成长。正因为如此，所以预热时应注意：大型铸件或形状复杂的

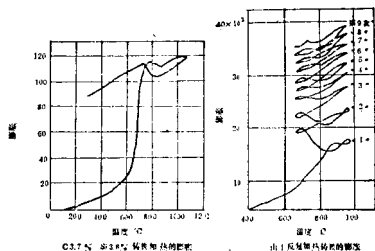


图 9.2 铸铁的膨胀、收缩

的铸件，在铸造时的残余应力很大，因加热而产生裂缝的危险性就越大，因此进行均一的加热，保持各部位均匀的热膨胀是非常重要的。但这不是容易做到的，所以应避免使用煤气燃烧嘴之类的局部加热方法。要使整体部件均一的缓慢的加热，使用专用炉最为合适。对炉子的构造也要加以研究。一般来说，大型焊接件较多，所以必须把出入炉方便与否这一点考虑进去。

焊接完了之后，剩下的问题是焊接处的局部淬硬或变形。如果快冷，问题还很大，还会出现裂缝、变形和不易切削的情况，所以必须缓冷。为了防止这些缺陷发生，焊后进行退火就成为十分必要的工序了。

退火温度应根据铸铁母材，焊接处的冶金学上的变化来规定。从图 9.3 上可了解到 700℃ 附近石墨化达到最高程度，抗拉力和硬度也降到最低，是充分软化的阶段。因此，对退火来说，一般是在 600℃ 以下，保持一个小时为最合适，此后再进行缓冷。至于缓冷的办法，除在炉中缓慢降温以外，还可以放在硅藻土或熟草灰中进行，使之逐步冷却。采取什么办法，以方便为宜。

9.4 焊前准备

由于焊接的对象不同，所以准备工作并不完全一样，有

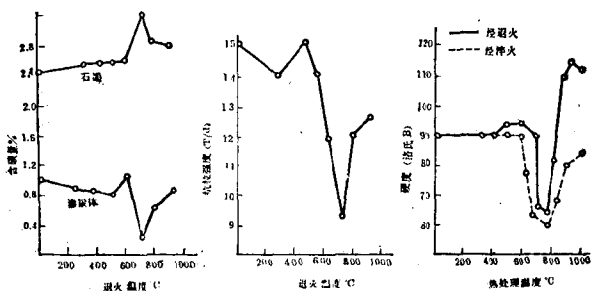


图 9.3 退火和机械性能

的是小孔、砂眼或因溶液不良造成的缺陷；有的因图纸变更或者工艺弄错，需要焊接修改；有的是因旧件损坏，需要焊接修复。尽管情况不同，但是所有的焊接处表面上存在的砂、污渣、油脂、涂料等都应完全清除掉才能焊接，这一点是共同的。

坡口开法，如果是裂缝部分，或对接接头，应用扁铲或砂轮铲磨成 V 型 $70\sim 90^\circ$ 角；坡口底处要留有半径 (R)，壁厚的焊接处用 X 型或 H 型坡口。

焊接修补孔洞时，要用凿具、磨具把孔洞的周围凿宽、凿大，磨平削光，做成圆锥形，角度在 90° 以上，便于焊接操作，同时也能防止卷边。

堆焊时，应先把焊接表面加工干净，除掉表皮层，露出洁净的新面是首要的条件。

9.5 焊接方法

母材的焊接准备，焊丝的选择，焊剂的准备等工作做完之后，首先是点起加热炉，或电炉丝，或者木炭，对母材进行预热，然后开始焊接。焊接规范要按被焊件的形状、壁

厚缺陷的种类来决定。现按一般情况说明于后。

9.5.1 焊炬的选择

氧-乙炔气焊焊炬，按乙炔的压力相应地分低压式、中压式和高压式。

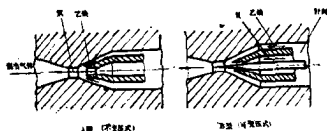


图 9·4 喷 嘴

(1) 低压式焊炬乙炔的供给压力在 0.07 公斤/毫米² 以下的使用吸引式，装备如图 9·4 上所示的喷嘴。不仅可以使使用低压乙炔发生器，也可使用中压发生器和

液体乙炔瓶。在日本工业标准 (JIS D6801) 规定喷嘴有两种，即：氧气通道上没有针阀的 A 型 (德国式) 和有针阀的 B 型 (法国式)。内径都是用螺钉针阀调节喷嘴的流量。喷嘴的型号是以喷出标准焰一小时的乙炔消费量 (1/小时) 来表示的。

(2) 中压式焊炬 使用乙炔压力 $0.07 \sim 0.40$ 公斤/毫米² 的喷嘴，氧气压力大于乙炔压力 $2 \sim 3$ 倍，有回火危险，因低压乙炔有危险，现在已经不再使用。

(3) 高压式焊炬 使用乙炔压力 0.4 公斤/毫米² 以上，氧-乙炔大体上是等压，混气部分氧乙炔逆流，很少危险，用高压乙炔还能得到杂质少的稳定火焰。

在选择时根据其特点和用途来决定为好。喷嘴型号有几种，是根据被焊接件的形状、厚度和预热程度规定的。小型焊接件当然要选用小号喷嘴。下例是 JIS 上规定的铸钢焊接使用喷嘴的标准，可做参照：

铸 钢	>20毫米	>10毫米	<10毫米
喷嘴型号 (JIS I型)	#2000以上	#630~#1200	#500以下

焊接火焰要像图 9·5 上所示, 采用中性焰稍偏于还原焰为合适。在焊接中预热温度下降时, 能在熔焊操作的同时充分向母材给热, 所以选择稍大一些的喷嘴较好。

9.5.2 焊接操作法

铸铁焊接的好坏, 当然与前边所讲的准备工作有很大关系, 但掌握最后关键的还是焊接人员的熟练程度, 因此应当认真地锻炼技术和学习有关焊接方面的知识。

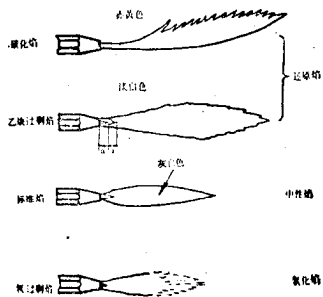


图 9·5 氧-乙炔焰

焊接时, 首先是使火焰与焊接处放成直角, 使各部位受到均一的加热后, 把火焰稍微离开母材一些, 逐渐地移动给焊接处加热, 测定最适当的焊接温度。因为一般的都不能使用温度计, 所以历来是从母材的加热颜色来鉴定。

在加热过程中发现比母材颜色还白的光泽时, 这是表明母材上还残留有氧化物、沙砾和其它氧化物, 焊前一定要把它除掉。

母材达到焊接温度时, 焊丝的前端涂上焊剂, 在距焊丝几毫米的近处用火焰将焊丝熔化, 熔滴流到焊接处, 流到一定程度时, 停止熔化焊丝, 接着焊丝和火焰在焊接处充分搅拌使之熔敷。同时操作火焰不要把熔渣混进去, 这样连续的操作, 直至焊接完了。

要尽量做到不中断地连续进行焊接，如果不这样，就会使母材受到反复加热冷却，这是造成裂缝或其它缺陷的原因。

在焊接中途，如果预热温度降下来，就应再次用火焰加温，或者入炉再热，务必做到不使母材的温度降低到预热温度以下。用大喷嘴或用粗焊丝就是为了加强火焰，保持温度，增加作业效能，可以说这也是一个要点。

母材上如果有大裂缝，就要采取其它焊接施工法。比如不从一端开始焊起，而用后退法，或跳焊法等手法。这在一般低碳钢焊接书籍上可学到很多可参考的东西。

9.5.3 焊接的注意事项

铸铁焊接时最应注意之点是最大限度地减少焊接部分的不协调一致或变形。因为铸铁焊接和碳素钢或其它塑性较好的钢料焊接不同，若发生悬殊很大的变形，就很难矫正，焊件就成了废品。

其次是几次反复地充分地进行预热、退火，特别是焊接完了仍要进行处理。焊后发生断裂，致使前功尽弃的事例是很多的，所以有一种说法：“铸铁焊接 = 预热、退火”并不过

铸铁气焊在设备、成本上是有利的，但对大型结构的施焊，困难很多，失败率也大；加之焊接人员疲劳煎熬，过于艰苦，现在多不使用。但是还有各种各样的情况非用气焊不可。因此做为焊接人员来说，尽可能地掌握气焊焊接法的要点还是有必要的。

10 铸铁电弧焊要点

电弧焊开始用于一般钢材，后来广泛地应用到不锈钢、高强度钢、镍合金和铜合金等材料，也从很早就应用于铸铁焊接，但始终没得到充分利用。近二三十年来，由于焊接技术的迅速发展，铸铁电弧焊也有了起色，特别是镍基焊条的出现，使铸铁焊接的进展更为明显。

前面已提到电弧焊接铸铁分：热焊和冷焊，其中各有优缺点。电弧热焊与气焊的情况相同，对母材加热、焊后退火都是必需的；不同的是以电弧热和使用涂料焊条代替了气体燃烧热和焊丝。因此焊条的优劣对焊接的好坏关系极大。

电弧冷焊几乎是不预热，焊后也多省掉退火，是一种非常简便的方法，但施工要领要非常熟练。

电弧焊接铸铁的困难和概说上所讲的基本一样，结合电弧焊的特点，这里再加以明确：

- (1) 焊接金属和母材两方面双重硬化，造成加工困难。
- (2) 焊接处的温度，电弧焊比气焊更高，母材中的石墨氧化燃烧更容易造成气孔和凹痕。
- (3) 焊接处容易断裂。
- (4) 焊接件上常常产生变形。
- (5) 焊接的优劣在很大程度上受焊工的熟练程度所左右。

焊接作业时应很好地考虑这几点，充分理解和掌握电弧焊的要点是很重要的。

前面讲的热焊和冷焊是从电弧焊接方法上的分类。还可

从使用焊条的种类分类，即：使用低碳钢型焊条、铸铁型焊条的电弧焊和使用镍合金型焊条和铜合金型焊条的电弧焊。前者一般是热焊；后者常用于冷焊。

10.1 电弧热焊

电弧热焊法在操作上与气焊相似，如果熟习电弧焊，再懂得预热、退火的要点，就能够完成施工任务。焊接虽然容易，但应当了解气焊上的问题在电弧焊上也同样存在，而且还要复杂。

为避免焊接中出现缺陷，先从焊条谈起。

10.1.1 低碳钢焊条

铸铁电弧焊使用的低碳钢焊条，一般的就是 JIS Z3211 标准焊条，但这种焊条是以焊接低碳钢为标准设计的，用来焊接铸铁是不合适的。因为铸铁母材的碳、硅成分高，从母材熔深反应到焊接金属组织就起到完全不同的变化。不认识到这一点，在焊接中就会遇到各种各样的问题，因此应尽量避免使用这种焊条。如果手下没有铸铁专用焊条，最好是用低碳钢低氢型（D4316）或者高纤维型（D4313）和钛铁矿型（D4301）焊条。

为铸铁焊接设计的专用焊条见表 10.1。前注 DEFC 字样是标志着以焊接铸铁为对象而制定的焊条。这种焊条能稳定电弧，熔合母材，提高机械性能。由母材熔深形成为高碳高硅焊接金属，并能把裂缝、气孔等缺陷限制到最小的程度。这种焊条在冷焊时，由母材的熔深形成的焊接金属组织是马氏体组织。由于性质硬脆，容易断裂，一般来说，不可能机械加工，因之多采用热焊法。

表 10.1 铸铁用电焊条 (JIS Z3252)

	C	Mn	Si	P	S	Ni	Fe	Cu
DPC Ni	1.3	1.0	2.5	0.04	0.04	>92	—	—
DPC NiFe	2.0	2.5	2.5	0.04	0.04	40~60	余量	—
DPC NiCu	1.7	2.5	1.0	0.04	0.04	>60	2.5	2.5~3.5
DPC Cl	1.0~5.0	1.0	2.5~9.5	0.04	0.04	—	余量	—
DPC Fe	0.15	0.8	1.0	0.03	0.04	—	余量	—

注：①单一数表示以下 ②化学成分是熔敷金属成分

得到这种熔敷金属的焊条，在热焊过程中，也能使焊接金属淬硬和具有淬火性的组织，因此必须进行预热和退火

如概说中所介绍的黑木式焊接法的处理方法，也能适用于热焊。那种焊条不防止气孔，勿宁说是用酸性涂料产生多孔性的焊接金属，制造出气泡，在这部分气泡上缓和焊接应力，在红热之中锤打这部分焊接金属，把气泡完全凿密，使之成为完好的焊接处，并缓和了应力。可是这种焊条还没有大量生产。

与低碳钢相比，铸铁的焊接金属收缩性大，变形、残余应力就大，所以在使用低碳钢焊条焊接铸铁时要注意到这一点。

10.1.2 铸铁焊条

这里所说的铸铁焊条是指焊接金属形成铸铁组织的那种焊条，与使用什么焊芯无关。铸铁焊条的焊芯通常有两种：一种是低碳或中、高碳钢，有时加镍、硅、铜、钛等元素的特殊钢焊芯；还有一种是用铸铁做的焊芯。

铸铁焊芯，因为铸铁不能引拔抽丝，就得用铸造铁芯。但是铸芯很难做成径细、纯圆断面的焊芯，焊芯表面不经加

工的粗糙状态，又使机械涂料增加困难。因此涂料的偏心度大，焊接时电流也过大，以及由于导电性不良，熔点又低，焊条容易烧红，严重的时候，在焊接中途就把焊条烧断。可是被焊接件多半是大件，熔敷量大，一般都使用粗径焊条，所以还不常看到上述这种情况。不过铸铁焊芯熔点低，容易过热，焊接性能特别是熔液流动性不好，喷射力弱，这都给焊接操作造成困难。

以低碳钢或一般碳素钢做焊芯，仅在药皮中配合上不同于低碳钢焊条的成分。这种焊条在制造过程上几乎完全和低碳钢焊条相同，而在偏心或其它缺陷上却比铸铁焊芯要少。

表 10.1 JIS Z3252 是日本铸铁焊条标准，其中规定的是熔敷金属组成。与表 9.1 美国 ASTM A398 上的组成不同，即是规定焊条芯的化学成分。可看出 Si、P 含量都高，这对促成石墨化和增加液态流动性是有利的。

用碳素钢或铸铁做焊芯的涂料焊条，为了充分供给焊接金属中的 O 和 Si，药皮中包含着大量石墨、木粉、纤维素、硅铁、碳化硅等。还有的加添铝、镍、钛、铜。做为造渣剂还添有碳酸钡（石灰石）、萤石、硅砂（石英）等，虽然稳定电弧和防止气孔等方面都注意到了，但是另外一个方面即焊接过程中烟尘过大，因此就应充分注意通风换气设备。

10.1.3 电弧热焊操作法

焊前准备以及开坡口等项和气焊完全相同，可参照上一章。加热温度根据焊件的形态、大小而异，大致以 500~600℃ 为适度，焊接中应想尽办法保持这个温度。预热方法有局部加热和整体加热，如果认为局部加热残余应力小，或者只是修补小块孔洞，未尝不可使用局部加热。但是大多数情况不

应采用局部加热，整体加热是最适当的办法。

至于焊接操作，一般来说能使用涂料焊条的人是没有困难的，容易操作。因为是高温加热，所以熔深较好。使用的电流比低碳钢焊接稍低。熔敷金属要求是铸铁组织，这就需要很好地考虑前边所讲的因加热、冷却而造成的组织上、特性上的变化。应当有防止快冷的必要措施。

在铸铁焊接上，要仔细地研究使用低碳钢焊条和铸铁焊条的基本差异，这一点是很重要的。如前节所讲，使用低碳钢焊条焊接熔敷金属就形成低碳钢组织，用来焊接铸铁时要向铸铁母材内涂熔，适当增加焊缝碳、硅量，使之形成像马氏体等那样的组织，这是一个要点。即用大电流、增大向母材内深熔的焊接法，增加母材的熔深量，结果就在焊缝金属上增大了碳、硅含量。但是，从冶金学上考虑这是增加淬硬性，形成为硬脆的焊接组织。尽管给予像高碳钢那样的预热温度，如不进行长时间的退火也不可能使马氏体变成珠光体或索氏体那样的有韧性的组织。根据这个理由使用低碳钢焊条还是应当尽量降低电流，减少母材熔深。

与此相反，使用铸铁焊条，熔敷金属与母材都是铸铁组成，即使母材过度深熔，对熔敷金属也没有什么影响，因此，使用铸铁焊条时可以充分地向母材进行深熔焊接。

以上两点是有根本性的不同，当选用焊条时应充分认识到这些问题。

下面是铸铁热焊的一般注意事项：

(1) 为了降低焊接金属硬度，减少收缩，进行良好的焊接，就要把石墨化的温度缓慢地降下来，但又不使焊接处的温度冷却，这就要求采用横向运条的手法，连续堆焊焊道，其目的是为了更好的促进石墨化。

(2) 对薄壁或小部件焊接时，要保持焊接中途温度不致降低下来，这一点特别重要。

(3) 热焊时氧化物生成是很显著的，因此要特别注意焊接处的夹渣。另外热焊时清除焊渣困难，所以应趁着焊渣熔化时用钢刷除掉，或用氧-乙炔焰吹掉。

只有这样精心审慎地去焊接施工，才能使铸铁焊接处的机械性能具有与母材相同的抗拉强度，才能保持硬度在 HB 170~200 左右还能进行切削，而且色调与母材一致这些特点。

10.2 电 弧 冷 焊

在铸铁焊接当中，对铸件进行整体加热的热焊法，也存在着因加热而引起变形和裂缝的问题。同时对大型铸件进行高温加热很不经济而且困难；焊接人员疲劳程度很大，又是造成焊接质量不好的原因。针对这种情况，就开始研究采用铸铁冷焊的方法。冷焊与热焊、气焊相比，可以说是一种既简便又经济的办法。

从原理上讲，既然电弧焊是最理想的，那就要考虑在局部骤然加热和急速冷却对焊接件的变形和热应力等问题。这方面还存在很多问题需要解决，这就要求在铸铁冷焊上下功夫摸索经验，找到要点。

从几年来得到的经验来看，在使用焊条和操作方法上做为要点的一些事项，可以简单说明如下：

铸铁冷焊应尽量使用细径焊条；电流使用可以达到熔敷程度的低电流；操运焊条要轻轻地横向摆动，每次焊接长度要短些；其次是焊道附近温度要降低到常温左右，总之热输入量要小。加热时要把热影响区的组织变化限制到最窄的范

围，防止变形或热应力的产生，从而可以得到具有切削性能的焊接处。

这种焊接方法，对复杂铸件的局部焊接，或者对已完工待装铸件的修复焊接是行之有效的，可以认为目前所说的铸铁冷焊就是指的这种方法。

另外与此相反的一种方法是对大型铸件不进行预热但连续施焊的方法，如对钢锭模的缺肉，裂缝的焊接修补，也利用冷焊方法，后面还要举实例说明。这种方法恰好是热焊、冷焊之间的一种中间方法，从省略预热这一点来看，是属于冷焊的范畴。

如果熟习这些冷焊的手法和要点，这种方法倒是一种简便可行的方法。但是还有缺点需要指出：如一次焊道的长度要短，一边冷却一边进行，那就需要时间；同时因使用的是极低的电流，就应注意容易卷进焊渣或焊接不良现象。还有同型品种，多次反复进行，如何减少损耗时间等等，所有这些缺点还需要进一步研究改进。

10.2.1 低碳钢焊条

冷焊和热焊使用的是同一种焊条，用于冷焊时，熔敷金属一般是不能切削加工，而且还常有裂缝现象发生。经过研究，在涂料上做了改进，使熔深减到极低的程度，施焊时精心注意，按操作要求进行，这样焊接处的加工性也有了可能。但使用低碳钢焊条，最好还是不焊后加工。

还有一个技术性的特点，是对氧化或腐蚀很厉害的铸铁件，用镍基焊条几乎不可能焊接，但是用低碳钢焊条倒是可能的。根据这一特点，现在已经常常用在焊接钢锭模和泵壳外部污染严重的第一层焊上。

根据要求设计的这种低碳钢焊条已广泛使用，现举一个实例说明如下：

(1) 焊接金属化学成分 $\varnothing 3.2$ 毫米焊条，使用电流 120 安培焊后熔敷金属化学成分

碳	锰	硅	磷	硫
0.92%	0.35%	0.71%	0.033%	0.024%

(2) 焊接金属组织 焊接金属的中心部分呈现出马氏体析出，一部分网状形是渗碳体析出的高碳钢的回火组织。

铸铁接头部分母材熔化处成为变质的白口铁组织；焊接金属部分同样成了渗碳体和马氏体淬硬组织。

(3) 硬度 根据不同电流和层数（按金属材料 FC-20 计算）焊后的焊接金属硬度为：

电 流	层 数	硬 度
120 A	1 层	RC46~51
160 A	1 层	RC41~42
120 A	2 层	RC40~41

另外 120 安培一层焊接部分的断面硬度为：

母材热影响区	RC34~36
熔合处（母材）	RC41~43
熔合处（焊接金属）	RC57~59
焊接金属（中心）	RC46~51

(4) 抗拉强度

坡口	焊接电流	抗拉强度	断开处
X 型	120-130 安培	19.5 公斤 / 毫米 ²	母材
		19.6 公斤 / 毫米 ²	母材

10.2.2 铸铁焊条

铸铁焊条是用铸铁或低碳钢、高碳钢做焊芯，使焊接金属成为铸铁组织的一种焊条，是和前一节热焊上所说的焊条相同。这种焊条含碳、硅成分相当高，这是根据使用冷焊也能形成软的铸铁组织而设计的。

在单层焊接的焊接处或连接部分上容易白口化，因此或用低温预热，或用连续多层堆焊，才能避免白口化。

这种焊条主要用于对钢锭模的修补，也能用于要求和母材色调一致的大型铸件需要切削加工的部件。

下面举一实例来说明这种铸铁焊条的特点：

(1) 熔敷金属成分

碳	锰	硅	磷	硫
2.82%	0.46%	7.92%	0.13%	0.015%

(2) 焊接金属组织 冷焊铸铁的焊接金属组织：在一层焊接上就析出了石墨化组织，与母材接连的地方出现白口组织，使用这种焊条，母材经过预热，预热到 150℃，焊接金属就开始石墨化。母材邻近处多少有些白口化，但程度不大。预热到 500℃，焊后经缓冷，已经完全没有白口化，几乎分辨不出焊接金属和母材的临界，是一种软的铸铁组织。

(3) 硬度 硬度变化可用图示来表示，不同焊接法测定出来的不同结果。如图 10·1 (1~2) 从这里可以看出多层焊接的效果是好的。

(4) 抗拉强度用 10 毫米厚的 FC-20 材料，90°X 型坡口，随预热温度的变化、抗拉试验的结果如下：

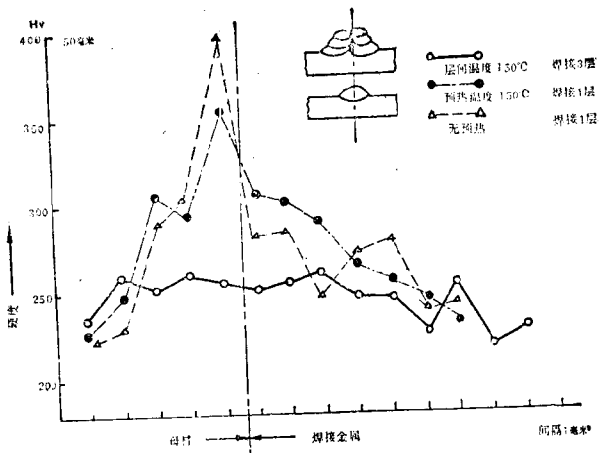


图 10·1 (1) 铸铁焊条的焊接接头硬度

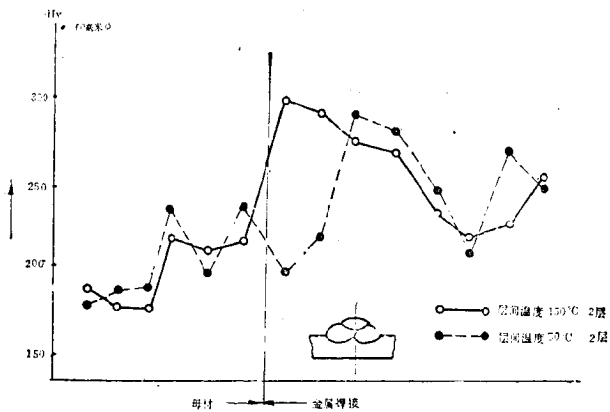


图 10·1 (2)

预热温度	抗拉强度	裂缝处
(常温)	(在焊道中心产生裂缝)	
200°C	7.1 公斤 / 毫米 ²	焊接金属
300°C	8.8 公斤 / 毫米 ²	焊接金属
400°C	16.8 公斤 / 毫米 ²	邻 界
500°C	17.3 公斤 / 毫米 ²	母材—邻界

从这里可以得出结论，如果不充分预热，铸铁焊接便不能防止白口化（特别是母材）；也还可以理解，如不能预热，那就必须进行连续多层焊接。

10.2.3 镍基焊条

在铸铁冷焊上，比较容易焊接而且推行很广的焊条就是镍基焊条，焊后还能进行机械加工。

在镍基焊条系统中有一种镍-铜合金焊芯焊条（蒙乃尔合金 Monel metal），这是很早以前就使用过的焊条，很受一部分铸铁焊接人员所喜用。这是由美国引进低温焊条的同时介绍过来的一种焊条。

在美国焊条刺激之下，日本焊条制造者开始正式研究和试制镍基铸铁焊条。用户也在使用方法上做了研究，在五十年代初期就出现了几十种镍基铸铁焊条，盛极一时，对铸铁焊接真是做出一大贡献，此后在用户中间稳定下来，和普通钢材焊接一样，已被广泛使用起来。使用镍基铸铁焊条的理由，综合起来有以下几点：

- (1) 镍基合金的熔点和铸铁相近；
- (2) 镍基焊接金属硬度低，而且塑性较大，能耐激热剧冷；
- (3) 对铸铁的可润性较好，容易和铸铁熔合；

(4) 即使碳从母材熔透过来，性质也没多大变化；

(5) 熔解温度低，与特殊涂料相结合，对铸铁母材的影响小，焊接的淬硬程度不大；

(6) 在焊接中熔敷金属和母材的化学成分，特别¹³碳量相异时，碳有向低碳方向过渡的现象，镍有抑止这种过渡的作用，因此由焊接临界处的脱碳并不引起白口化。

这样看来镍基合金对铸铁焊接具有非常有效的性质。再加上涂料的特殊效果，这些效果就是使用小电流连续施焊时，母材的熔深也很小，很少产生气孔、夹渣等。

镍基焊条虽有这些有利方面，但也有不利之点，如：

(1) 焊接处具有与母材全然不同的光泽，由于不生锈，表面平滑，对新制成产品的焊接修补有时也有困难；

(2) 多层焊接，特别是连续进行焊接，容易产生细微裂纹；

(3) 镍做为主要成分，成本价格高。

权衡利弊，制成既经济又有效的镍基焊条。利用它的特有点方面做为焊接组装部件上的一部分修补；也用于不能预热、后热铸件上的裂缝、孔洞或设计错误的修补；还可用做磨损的铸铁型材的堆焊修补；以及必须进行切削加工的部件的焊接等等。

镍基焊条现有三个种类：即纯镍焊芯、镍-铜合金焊芯和镍-铁合金焊芯三种。表 9.1 是美国 ASTM 标准 表 10.1 是日本 JIS 标准，其中规定着化学成分。现在日本生产的镍基铸铁焊条，就是按这三种分类制造的。

下面就这三种焊条分别说明其不同特点：

(1) 纯镍焊条 (JIS DFCNi) 焊芯用纯镍，熔敷金属的硬度低，如前所述，抑止碳的过渡作用很大，可防止铸铁热影

响区白口化，从而接合处的硬度并不上升，便没有产生裂缝的危险。

在涂料中，不仅镍型，其它镍-铜型，镍-铁型都配合使用大量的石墨，这就把焊接处包围在还原性气氛之中，防止铸铁熔化处、热影响区被氧化；进而还起到渗碳作用，在快冷时具有缓和白口化的功能。另外镍基熔敷金属虽然受到石墨的渗碳作用，但很难形成镍的碳化物，它做为游离石墨存在于焊接金属之中，这对机械性能并无多大害处。正因为如此，焊接处并不断裂，而且具有能够切削加工的性质。为了和母材熔合，缓和铸造时及焊接时的残余应力，进行冷焊之前，做一定程度的预热（200℃）会得到更好的效果。

一次焊接的焊道长度限制在 50 毫米以下。使用可能焊接的最低电流，同时尽量降低焊接层间温度。一次焊完，马上进行锤击也是必要的。如前面所说，如果连续进行，容易产生细微裂纹。为了防止发生这种情况，有的还在涂料中加添钛、铌等防裂元素。

上述是镍基铸铁焊条的一般性质，在后面再说明与其它两种焊条的比较。

(2) 镍-铜焊条 (JIS DFONiCu) 这种类型焊条的焊芯 Ni 占 70%，Cu 占 30% 即用的是蒙乃尔合金 涂料中同样含有石墨。蒙乃尔合金与纯镍不同，因含碳高，有易裂性质，特别在多层焊时，几乎是经常发生细微裂纹，因此这种焊条的用途很受限制，用于单层焊接或简单的补洞是可以的；对承受水压的部件或要求强度的地方最好不用。

(3) 镍-铁焊条 (JIS DFoNiFi) 这种焊条的焊芯用 Ni 55%，Fe45% 的合金，焊条的最大特征如图 10·2 上所示 热膨胀系数非常小，因此焊接时很少产生收缩应力，这是减少

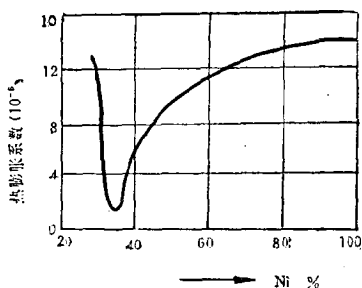


图 10.2 Fe--Ni 合金的热膨胀系数

焊接金属裂缝的主要因素。

不过这种焊条的熔点高，熔合处的白口化倾向大，焊接预热温度应比其它类型焊条为高 (250℃)。

10.2.4 镍基焊条的性能

这三种焊条的特点，已分别做了介绍，就其机械性能来看如下：

(1) 熔敷金属的化学成分 前章表 9.1 美国 ASTM 标准是焊芯成分，至于其熔敷金属成分则如表 10.2

下列附表是日本 JIS 标准，即市场上经售的镍基铸铁焊条熔敷金属的化学成分。

从上表可看出铸铁用镍合金焊条由于使用石墨型涂料碳量是较高的，但其它成分则和一般的镍合金用焊条几乎是一样的，因此要特别注意不能把铸铁用镍基焊条用在焊接镍合金结构上，这是很危险的

(2) 焊接处的硬度 焊接处的硬度是根据预热温度、焊接电流、施焊方法的不同而异的，特别是临界处的差距更大。

图 10.3 是三种镍基焊条 (都是 4 毫米 \varnothing) 对 10 毫米厚的 FC-14 材料 三层焊

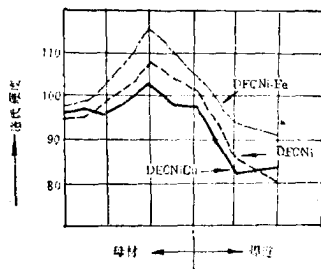


图 10.3 镍型铸铁焊条焊接处的硬度

表 10.2 铸铁焊条标准 (ASTM A398~65T)

种 类	C	Si	Mn	S	Fe	Ni	Cu	其它
ENi-CI	2.00	4.0	1.00	0.03	8.00	>8.50	2.50	1.00
ENiFe-CI	2.00	4.0	1.00	0.03	余 量	45.0~60.0	2.50	1.00
ENiCu-A	0.35~0.55	0.75	2.25	0.025	3.0~6.0	50.0~60.0	35.0~45.0	1.00
ENiCu-B	0.35~0.55	0.75	2.25	0.025	3.0~6.0	50.0~70.0	25.0~35.0	1.00

种 类	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cu	Fe
DFC Fe	0.64	0.19	0.36	0.013	0.009	余 量	—	1.73
DFC Ni-Cu	0.78	0.59	0.42	0.016	0.010	63.52	余 量	1.58
DFC Ni-Fe	1.07	1.30	1.24	0.005	0.003	50.10	—	余 量

接时的硬度变化。从这个图上可以看出 DFONi-Fe 焊接金属、母材热影响区的硬度都是最高的，DFONi 和 DFONi-Cu 的硬度差不多一样。

预热效果如图 10·4 所示，100℃ 预热与不预热，硬度上几乎无变化；200℃ 预热，就给铸铁热影响区带来较大的效果。

根据使用电流的不同，其变化如图 10·5 上所示 焊接电流越高，硬度越大。如本章开始所讲的，用这种类型的焊条进行冷焊时，尽量用热输入量低的电流，可以得到良好效果，这是一个要点。

还应该注意到：用这样的预热和低电流，DFONi-Fe 型比其它两种焊条的硬度都高。

(3) 组织 使用不同电流所得到的母材热影响区的组织也不同，使用 100 安培和 130 安培两种不同电流，其结果就有差别。后者（130 安培）出现白口化的面积大，热影响区上大幅度的出现着马氏体组织。

焊条不同，硬度结果也不一样，这从前面的硬度图上可看出 DFONi-Fe（镍-铁型）白口化的幅度较广 其它 DFONi（镍

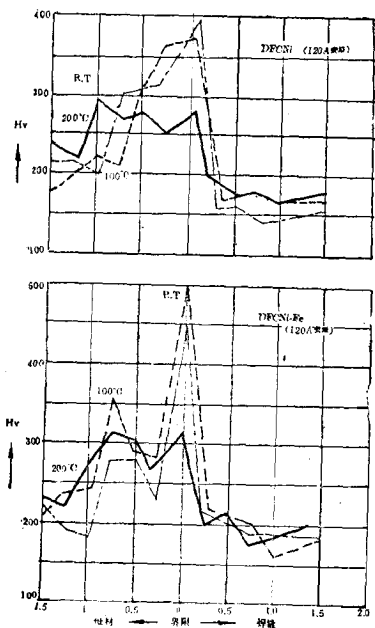


图 10·4 预热温度对铸铁焊接处硬度的影响

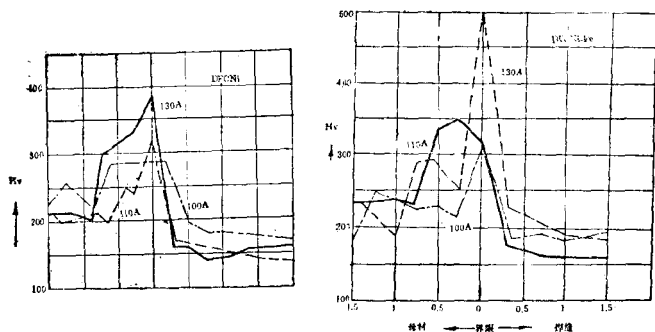


图 10.5 焊接电流对铸铁焊接处硬度的影响

型) DF6Ni-Cu(镍-铜型)似乎无大差别。

从 DF6Ni(镍型)焊条的熔敷金属组织中可以看出,石墨在普通的镍型奥氏体中析出,表示着熔敷金属中碳多。

(4) 抗拉强度 铸铁的熔敷金属虽然不必考虑抗拉强度,但强度太低,也不能用。铸铁对接焊处的抗拉强度数据,日本焊接协会曾发表过石井氏的研究结果*。即表 10.3,从这个资料上可以看出,如果充分注意焊接操作的话,大体上可以得到与铸铁母材相等的抗拉强度。裂缝的地方大多是从母材热影响区到焊接金属的上层。

另外在多层焊接时,焊第一层、第二层时预热到 100℃ 以上是有必要的,这能使焊接熔合得良好,减少夹渣现象。

一般来说,焊接裂缝不发生在焊后收缩过程,而是多从焊接中的局部热应力而来,为了防止这种情况必须预热到 200℃ 以上。因为只有这样能百分之百地发挥接头的效能。另外从结果上也看得出来,不管预热的如何,焊后进行锤击也是很有必要的。

译注:石井一淑曾发表过《镍型 12 镍铁型焊条用于铸铁冷焊》

表 10.3 (1) 对接焊缝拉试验结果 (石井: 日焊接协会)

(第1次试验) (焊条 DFCNi-Fe 3.2中)
(坡口角度 70° 间隙 2.3毫米)

No	母材	预热温度	电法保温	焊道长度	有无锤击	焊接方法	材料强度	抗拉破断处	断面状态
8	FC 20	100	90-110	15-20	○		7.6		
11	"	"	"	20	○		11.6		
6	"	200	"	30	○		17.7		
7	"	"	"	20	○	同上	17.8		
5	"	300	"	30	○	同上	17.6		
10	"	100	110	60	X		-	焊接完后发生断裂	
4	"	300	90-110	"	X		-	同上	
3	"	"	"	"	X	同上	5.8		
2	"	400	"	"	X	同上	11.4		
1	"	400	"	"	X	同上	6.4		

○ 进行锤击

X 不进行

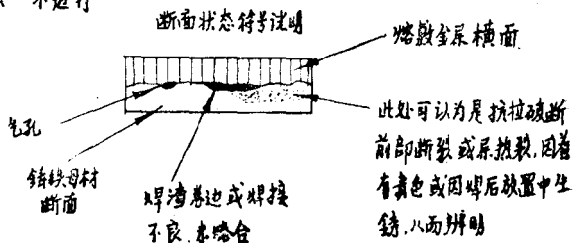


表 10.3 (2)

(第 1 次试验) (焊条 同前)

No	母材	预热 温度 °C	电液 温度	焊道 长度 厘米	有无 锤击	焊接 方法	抗拉 强度 公斤	抗拉破坏处	断面状态
31	FC 20	0	115	20	○		14.2		
12	"	100	120	20	○		14.0		
13	"	200	110	30	○		14.1		
15	"	300	110	30	○		14.0		
35	"	400	110	30	○		16.8		
28	FC 15	0	115	20	○		13.4		
62	"	0	115	20	○		11.5		
16	"	100	120 110	20	○		15.1		
20	"	200	110	30	○		16.0		
18	"	200	110	20	○		14.7		
21	"	300	110	20	○		14.6		
33	"	400	105	30	○		17.1		
25	"	200	110	60	×		3.8		
26	"	200	110	80	×		12.2		
27	"	300	110	80	×		14.8		
23	"	400	110	60	×		9.1		

表 10.3 (3)

(第1次試驗) (焊条 同前)

No	母材	預熱溫度 °C	電流 安培	焊道 長度 厘米	有無 鈍化	焊接 方法	抗拉 強度 公斤	抗拉破斷處	断面状态
39	FC 20	0	100	20	○		—	焊第3层时与母材臨界发生 斷裂不能继续焊接	
32	"	0	115	20	○		5.1		
45	"	100	95	30	○	同上	8.0		
36	"	"	100	"	○	同上	5.6		
37	"	200	"	"	○	同上	13.0		
40	"	300	"	"	○	同上	20.4		
45	"	400	"	60	○		19.8		
42	FC 15	0	100	20	○		—	焊第2层时与母材臨界发生 斷裂不能继续焊接	
34	"	100	"	30	○		—	同上	
30	"	0	115	20	○		4.3		
46	"	100	95	30	○	同上	9.0		
38	"	200	100	30	○	同上	15.1		
41	"	300	"	"	○	同上	15.8		
44	"	400	"	60	○		15.6		

表 10.3 (4)

(第 2 次试验) (焊条 DFCNi 3.2 中
坡口 角度 70° 间隙 0)

No	母材	预热温度 °C	回法 温度 °C	焊道 长度 毫米	有无 锤击	焊接 方法	抗拉 强度 MPa	抗拉断面	断面状态
52	Fc 20	0	125	15	○		2.2		
53	"	100	120~ 130	15	○	同上	6.8		
56	"	200	125	15	○	同上	7.9		
49	Fc 15	0	"	20 12 3.0	○		5.8		
64	"	0	"	15	○		8.4		
54	"	100	120~ 130	15	○	同上	8.2		
57	"	200	125	15	○	同上	17.9		

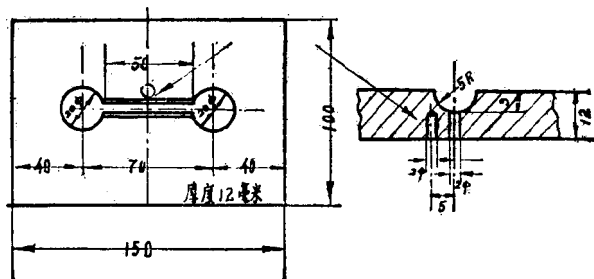
(第 2 次试验) (焊条 DFCNi 3.2 中
坡口 角度 70° 间隙 0)

No	母材	预热温度 °C	回法 温度 °C	焊道 长度 毫米	有无 锤击	焊接 方法	抗拉 强度 MPa	抗拉断面	断面状态
50	Fc 20	0	125	15	○		16.4		
55	"	100	"	15	○	同上	18.0		
60	"	200	110	15	○	同上	19.1		
59	"	200	125	30	○		—	在为 7 层时断裂, 停止焊接 (可以为是焊缝过长)	
51	Fc 15	0	"	20	○		15.6		
63	"	0	115	"	○	同上	18.9		
61	"	100	125	15	○	同上	15.8		
58	"	200	"	"	○	同上	15.9		

石井氏根据圆槽带缝隙试板的裂缝试验还发表过裂缝发生时间的资料，如表 10.4，根据这个资料也证明了上述的预热应在 200℃ 以上，焊后直接进行锤击很有必要。

该氏还根据焊接实物箱的水压试验发表了研究报告，如表 10.5。从表上可以了解，如果采用适当的焊接操作，也能充分经得起水压试验；并且可看到 DFONiFe（镍-铁型）焊条比 DFONi（纯镍型）优越，这是值得注意的。

表 10.4 切缝式装缝试验结果（石井：日本焊接协会）

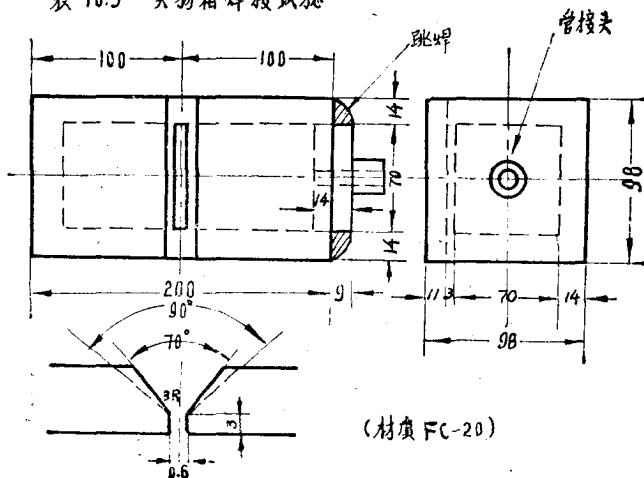


10.2.5 铜合金焊条

使用铜合金型焊条焊接铸铁也是很久以前就开始了。表 9.1 ASTM 标准上大多是使用含脱氧元素的磷青铜、铝青铜等铜合金材料。日本的 JIS Z3231-1961 铜合金焊条标准是使用与美国 ASTM 相同的标准。不过日本又增加一种赛钢硅青铜型(Evorder)，其中含少量 Si、Mn、P 等脱氧元素。

铜合金焊条很少用于焊接修补，但有特殊用途，比如阀门上的阀座面要求耐腐蚀，耐磨损的部件，使用铜合金焊条进行堆焊。或者用于由铸铁制造的搅拌火药的滚筒等，这些是极应慎重处理的部件。

表 10.5 实物箱焊接试验



试件 编号	焊 条	坡 口 角度	厚 度 mm	预 热 温度 ℃	芯 丝 直径 mm	焊 接 方 法	水 压 试 验 数							最 大 试 验 力 kg
							0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-	
2	DFC Ni 32P	70°	110	0	2.8				1			2	1	100
1	"	"	100	0	2.0-3.0						1			100
5	"	"	200	0	2.0-3.0						1		1	100
3	DFC NiFe 32P	90°	125	0	1.5-2.0									100
4	"	"	100	0	1.5-2.0									100
6	"	"	200	0	1.5-3.0									100

试件 种类	试件 编号	焊 条 种 类	母材 种 类	预热 温度 °C	电流 安培	焊道 长度 毫米	电弧 时间 秒	运条 速度 毫米/秒	焊接 刚停 温度 °C	裂缝产生时间		备 注	
										微小裂缝	大裂缝		
母 材 材 质 影 响	1	DFCNI-Fe	FC20	R.T.	110	50	20.8	2.4	235	12.0"	14.0"	20.2"	
	11	DFONI-Fe	FC15	"	113	"	20.6	"	230			22.8"	
	2	DFCNI-Fe	FC20	100	110	"	21.5	2.3	315	33.0"	39.0"	50.0"	
	12	DFCNI-Fe	FC15	"	110	"	20.5	2.4	310	49.5"		56.0"	
	3	DFCNI-Fe	FC20	150	110	"	"	"	385			10'42"	
	13	DFCNI-Fe	FC15	"	113	"	20.6	"	390			20'→	
	4	DFONI-Fe	FC20	200	110	"	19.7	2.5	425			20'→	
	14	DFCNI-Fe	FC15	"	110	"	19.3	"	420			20'→	
	焊 条 种 类 影 响	19	DFONI-Fe	FC20	R.T.	110	37	18.2	2.0	235	9.0"		12.0"
		20	Ni	"	"	108	"	14.2	2.6	310	15.0"	16.0"	1'0"
		22	Ni-Fe	"	100	110	35	16.6	2.1	320	18.0"	23.0"	29.0"
		21	Ni	"	"	110	33	14.0	2.7	380	35.0"	45.0"	60.0"
		23	Ni-Fe	"	150	110	35	16.4	2.1	390			41.6"
		24	Ni	"	"	108	"	13.4	2.6	510	1'35"		2'47"
25		Ni-Fe	"	200	106	34	13.8	2.4	405	4'50"	(焊口)	12.0"	
27		Ni	"	"	115	"	12.1	2.8	490			15.4"	
29	Ni-Fe	"	300	116	33	14.2	2.3	470			20'→		
28	Fe	"	"	112	32	11.5	2.8	550			—		

仅焊口开裂
未发生开裂

铜合金焊接处的缺点，主要是光泽与铸铁完全不同；铸铁母材临界附近的及铸铁偏析的焊接金属部分常常淬硬；另外是切削困难；产生裂缝的危险性也大等等。因此一般不用冷焊，多用热焊。从前述这些用途上的问题来看，对焊条方面的知识，做为焊接人员来讲是很有必要了解的。

10.2.6 电弧冷焊操作法

前面已经讲过铸铁冷焊应当尽量少给母材热量，限制急速冷影响母材的组织变化范围；进而是防止变形或热应力的产生，这是很重要的，因此要在操作上做认真的研究。

焊接工作者如果不能充分理解冶金学的性质和焊接原理，那就很难做好铸铁冷焊，为此，这里把铸铁冷焊操作上的必要知识详加说明于后。

(1) 焊接的准备 做为焊接前的准备工作，不仅冷焊如此，对一切焊接都很重要。但往往都是最容易被忽视的。实际上准备工作的好坏，在很大程度上影响焊接效果，是不可忽视的。

首先是坡口形状，要从应力、变形和操作难易的情况来决定，一般地说，要根据壁厚采用 V 型、U 型、X 型等。

角度要比低碳钢开的宽些，便于操作，容易收到良好效果。坡口底部要成圆角，这是为了避免熔深不良或产生夹渣现象。

对修复裂缝部分，要根据裂缝的大小、区别对待，但裂缝终端达到了焊接件的外侧时，要采取措施尽量加以固紧，要衔接合缝。若裂缝发生在中心部位，应在裂缝的终端钻出止裂孔，防止扩延。

对孔洞、砂眼等缺陷的修补焊接，一定要在缺陷处充分

加工出母材的新面，如果不这样，焊接中就会发生问题。对于正在使用中的铸件进行焊接时，一定要把浸渗的油脂、水分或其它有害物质清刷得干净。通常是应在加工之后，再用氧-乙炔火焰燃烧，做到充分清净、干燥。

坡口的加工，最好用机械加工，大型铸件或者使用中的铸件不能机械加工时，要使用扁铲、砂轮。现在生产出很多好用的工具，如小型尖头砂轮等，焊接时要放在手边，随时使用，保证做到被焊面彻底干净。

(2) 夹具、定位焊及其它 在铸铁焊接时若产生大的变形，以致不可收拾，这在塑性和韧性小的材料上是无法矫正的。因此焊接时，首先要考虑利用夹具，尽量防止出现变形。同时要特别注意断面等处情况，选用紧固夹具按合适的尺寸固定下来，或者采取定位焊是完全必要的。

另外，在组装完毕部分的铸件上焊接时，容易使焊渣飞溅落到附近的机体上去，应当用石棉之类的东西遮盖起来保护好。

在有螺丝的地方，焊接时应注意要把螺杆焊得牢固，不能外露。

再有，在对接接口的底部，焊后容易对不上岔口，如用夹具也不能紧固时，就要采用定位焊一反变形 随着焊接的进行，错口逐渐返回原来状态。掌握这种反变形的程度，需要相当的经验，反变形采取到什么程度，不能一概而论，这就需要日常在焊接中精心地观察应变形态，积累经验，才能做好。

(3) 焊接方法 对于焊接方法，除上述的原则要考虑之外，还要很好的注意操作。对孔洞、砂眼等半圆形的小面积焊接、或螺旋形大面积的焊接，要采用短的直线形焊道，不

用纵向焊道为好。

使用电流的大小要根据焊接的种类、焊条规格和焊接件的大小而异。但因镍基焊条直径 3.2 毫米适用 90~110 安培，铸铁、低碳钢焊条适用 100~120 安培，比低碳钢焊接的电流低 10~20%。可是也不能为了限制熔深，采用过小电流、过急的运条方法，因为电流过小是造成夹渣、焊接不良、产生气孔的原因。

其次，镍基焊条的一次焊接长度约 50 毫米左右，决不可把焊道引得过长。

多层焊法有多种，图 10·6 是普通叠置焊接法。以图 A 法的强度为最高，O 法最低；但是从残余应力这一点来考虑还是以 O 法为最好。这要以需要而定。

焊接深坡口时，首先进行挂面焊 (buttering) (在坡口表面上抹上油脂进行堆焊) 然后在坡口内进行焊接，根据经验，不要象低碳钢焊接那样顺着坡口焊接，要象图 10·7 那样，按坡口横向进行，效果要好。当然，用低碳钢焊条焊接铸铁时需要连续不断进行，是需要纵向焊接的。

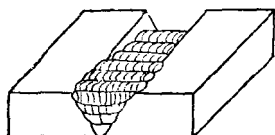


图 10·7 坡口处焊接方法

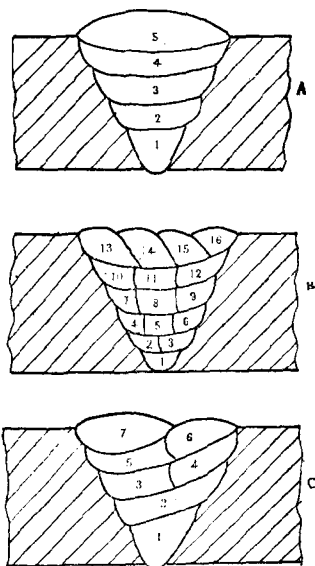


图 10·6 普通叠置法

对于一般的多层焊接，由

于焊后条件复杂，以一种焊条难于满足要求；或者考虑成本的缘故，往往混合使用多种焊条。这就要求根据前节所讲的各种焊条的性质、特点很好地加以选择。特别应当提出的是，在低碳钢焊缝上用镍基焊条施焊，倒是问题不大；如果相反，在镍基焊缝上使用低碳钢焊条是绝对不行的。其理由是：低碳钢焊条，熔点高，熔深大，在镍基焊缝上施焊，会熔进大量的镍、钼，造成硬度很高的焊缝金属，容易出现裂缝、切削不良的现象。

在第一层焊接时，使用低碳钢焊条效果较好，其理由在于它比镍基焊条熔合得好，特别是对被氧化、被腐蚀的有光泽的铸件焊接时，由于金属粒子的生长，油脂的浸透，和氧化腐蚀等等原因，即使坡口开得很好，露出新的铸件表面，也很难用镍基铸铁焊条焊好，恰似荷叶上的水珠一样，滚来荡去，不熔于焊接金属。即使熔化了，也会产生无数的凹痕，成为多孔性的焊接金属。凡是这种情况，先用铸铁或低碳钢焊条施焊才能焊出好的效果。

如果必须使用镍基焊条时，应当先放下焊条，用钢凿去铸渣，凿出残痕，然后再焊，也能得到好的效果。

螺丝眼附近的焊接修补，在螺丝部分变质的地方，或者

受热影响的地方，由于焊后要挑扣加工，所以螺丝眼要焊大焊厚一些，如图 10·8 那样，这才能在焊接金属上重新挑扣，这是比较稳妥的办法。

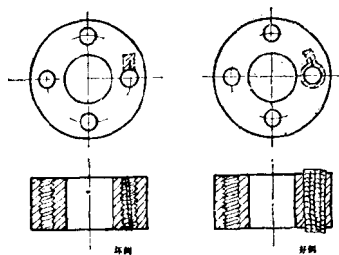


图 10·8 螺丝部分的焊接

此外，在焊接时总会遇到各种各样的问题，只

要记取迄今讲过的原理和注意事项，以这些经验为基础 面对要解决的问题，创造性地去运用，便能很好地完成施焊任务。

还有一些注意事项、工作经验，将在焊接实例中去说明。这里省略。

(4) 栽丝焊 在焊接大型铸件时，堆焊量必多，因此由热应力，收缩应力造成的焊道裂缝，熔合处剥离的可能情况必然要多起来，这就有必要采取下面讲的栽丝焊法。

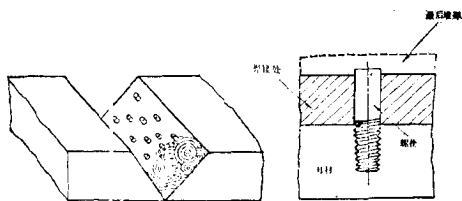


图 10·9 栽丝焊法

栽丝焊法如图 10·9 所示用碳素钢制成螺丝镶嵌在坡口表面上，用低碳钢焊条或铸铁焊条，根据情况或用镍

基焊条（大型多层焊用镍基焊条，在经济上不合算），把螺丝间缝焊住，螺丝的作用在于防止剥离；同时还给焊接处增加强度。不言而喻，螺丝受到焊接处的收缩应力，间接地对铸铁母材起到缓冲作用，削减焊接处的拉伸应力，从而防止和避免了产生裂缝的可能。

用这种焊接法，因坡口上要镶进螺丝，坡口的角度比一般的要宽，大体上 90° 就可以。

镶进螺丝的深度不必都是一样的，要有深有浅，是有利的。

至于螺丝的直径、镶入深度、外露长度以及间隔距离，这要根据母材的形状、尺寸来决定。根据田村氏* 研究的意

* 译注：这里指的田村氏是田村元，田村与柴田晴彦合著过《铸件的焊接》一书。

见认为：

螺丝直径：6~10 毫米 \varnothing

镶入深度：直径的 1~1.5 倍。

外露长度：6~10 毫米，要由坡口角度决定。

间隔距离：直径的 4 倍以上。

首先，在螺丝周围焊上螺旋状焊道，焊到螺丝间隔的中心。一个一个螺丝都这样焊好之后，最后再把两个螺旋焊道相互结合焊在一起。这样逐次地先焊每个螺丝周围，然后在焊道上把螺丝结合起来，最后在坡口内堆焊焊满。

这种方法可以得到相当高的强度，而且可防止焊接金属和铸铁母材剥离，所以这种方法的利用面很广。

(5) 锤击 冷焊必须进行锤击，锤击的效果很好，主要是减轻收缩应力；对镍基焊接金属使之结晶细化，增加韧性等也有作用。

锤击的方法，在渣壳脱落之后，用琢石锤那样细尖头的小锤在焊波上连续敲打。根据石井氏的研究资料，裂缝发生一般是在焊后十秒钟左右（见表 10.5），因此锤击就应在这段时间内进行，也就是渣壳刚一脱掉，尚在高温状态就立刻进行。

(6) 冷焊后的处理 采用冷焊方法的理由，已如前所述，即对不可能热焊的大型铸件、机械加工完了的铸件，才采用冷焊法，当然也有不少是焊后不能热处理的。但是仍应指出，如果可能的话，为了减轻变形、残余应力，使淬硬处变软等原因，还是做消除应力退火或软化退火为好。

退火方法已在热焊部分讲过，可参考 10.1 节，不再赘述。

11 铸铁焊接修补 堆焊实例

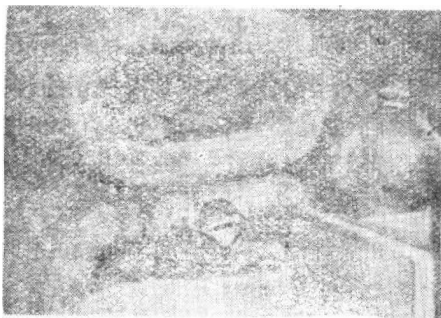
关于铸铁焊接的要点，前面已做了详细说明。这里再以实际应用的焊接修补实例加以说明，供参照。

最近铸铁焊接几乎都用冷焊，不常使用气焊、热焊和硬钎焊。这方面的实例也不多。这里仅以冷焊实例来说明。

(1) 钢锭模的焊补修复 大型钢锭铸模就是用铸铁制成的，其中要注入 1500~1600 左右的熔钢，制成钢锭。钢锭模要承受急热遽冷的复杂热应力。取出钢锭时，钢锭模还要承受很大的冲击，常常断裂或损坏。甚至曾发生过高温熔液从破坏处溢流，或从钢锭模中取不出钢锭等这样的重大事故。

钢锭模重量大、造价高，所以就要考虑再生修复的办法，过去用焊接修复是不可能的，现在铸铁焊条有了发展，焊接技术有了进步，才使钢锭模的焊补修复有了可能。

照片 11.1 所摄的就是它的形状，用高温加热进行热焊或

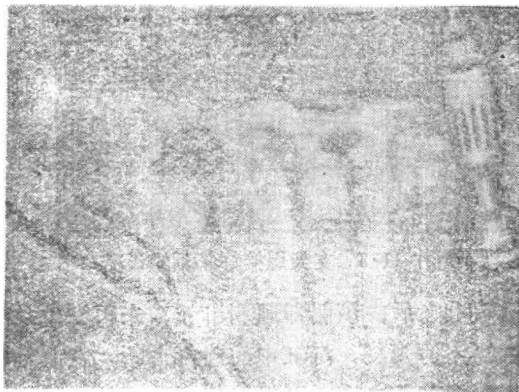


照片 11.1 损坏的钢锭铸模

气焊是不可能的，所以采用冷焊法。

首先是选择焊条，如果用镍铜合金焊条，恐怕钢液温度高，容易熔损焊接金属，同时成本也高，因此选用低碳钢和铸铁焊条是合适的。另外还要考虑在使用中焊接处的熔损或剥离的可能，所以耐热性和剥离性就是重要的问题了。因此采用了栽丝焊法。

螺丝是用的 10 毫米直径的低碳钢材料镶在 30 毫米间隔的焊接部位上。其次是焊接螺丝；因母材被氧化的很厉害，只能用熔合性好的低碳钢焊条，焊接螺丝采用螺旋状焊道，并把螺丝之间接合上。铸模的上层要求耐热性，便选用含硅多的铸铁焊条进行焊接。这期间完全不预热，交替连续进行焊接。自然冷却后表面上用砂轮磨平波纹，平滑完整，交付使用。



照片 11·2 钢锭模的修补状况

焊补修复的状况如图 11.2。

事后证明，最初担心的剥离、熔损均未发生，而且使用寿命和新产品一样，这就说明适当的选择焊条和慎重的施焊

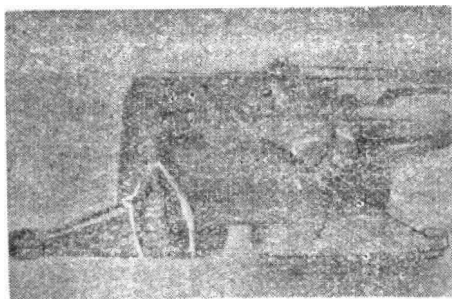
是能够使焊补修复做得成功的。

(2) 船舶上使用的绞车支架的修复 船舶上使用的卷扬机（绞车）支架折损，进行修复的实例。

使用的焊条是镍基焊条，螺钉处因为需要再加工，使用了纯镍焊条，其它部分要求强度，使用了镍铁焊条。

螺钉处应当从外侧焊接，开 $90^\circ V$ 型坡口；其它部分开 X 型，焊条都用 4 毫米 \varnothing 电流使用 130 安培左右。

焊接方法：每一层焊 50 毫米左右，立刻进行充分锤击。一边矫正变形，一边进行焊接，直到焊完。完成后的状态如照片 11.3 那样，挑扣也容易，几乎没有变形，顺利地完成了组装工作。



照片 11.3 支架焊接修复后的状况

卷扬机装上之后，该船即顺利出航，未再发生故障。

(3) 汽缸体的修复 汽缸中的连杆折断，在曲轴箱的壁面上开孔先修好连杆之后，再焊接修复壁面的一例。

目的是补上壁面的开孔 如图 11.1 以低碳钢切成挡板，按图 11.2 顺序，预热后进行补板焊接。

补板中间开成缝隙，宽度为 1.5 毫米。焊接之后，缝隙宽度可增大到 2~3 毫米 这对缓和应力是有作用的。用直径

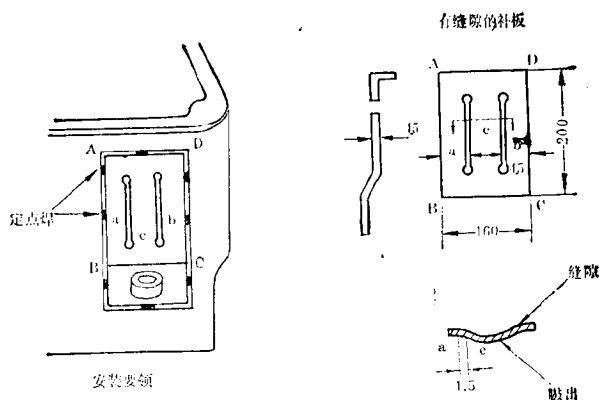


图 11-1 曲轴箱的修补

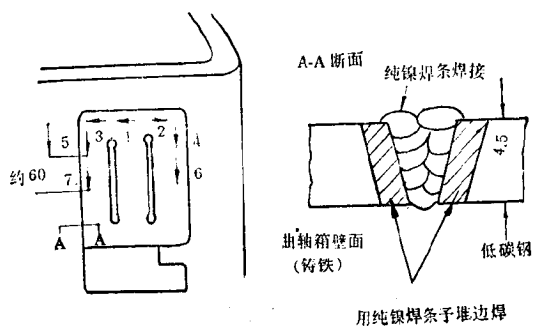


图 11-2 焊接顺序

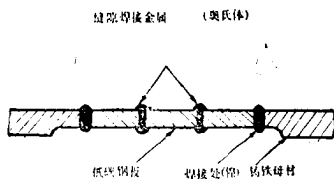


图 11-3 缝隙焊接要领

3.2 毫米的 DFONi 焊条进行焊接，每一层焊道都要锤击。补板焊完之后，继续预热，再用直径 2.6 毫米的奥氏体不锈钢焊条，同前一样，一边锤击，一边把补板缝隙按图 11.3 上的要领进行焊接，直至焊完。

(4) 机床的焊补修复 机床底座的一角，使用损坏，进行修复的实例。

由于机床要求非常高的精度，修复的底座不能允许影响其它部位变形，因此最好用冷焊法焊接。

除精度之外还要求强度，所以使用 DFONiFe 焊条，才能确保要求。

照片 11.4 即机床台座修补的一例。

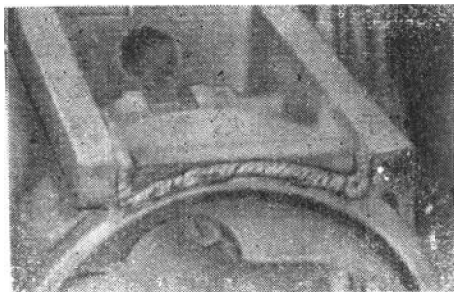


照片 11.4 机床台座的修补

(5) 对铸件制造上的差误进行焊接修理 由于设计上或木型、铸模上的差误，以及铸造上的缺陷，致使成品不能应用。如果全部重铸，时间上、经济上都不允许，只能用焊接整形。

这要求把有差误的部分重铸一个，如果允许的话使用低碳钢代替，然后和铸件接焊起来。有时象这种情况也可考虑用堆焊整形。

选用焊条时，要根据修补后容易加工或不易整体变形这两点来考虑合适的焊条。照片 11.5 是焊后需要切削加工的一例。使用的焊条是 DFONi 型，不预热进行焊接，可以达到预期的成品要求，交付使用。



照片 11.5 对设计错误部件的焊接整形

(6) 对碱锅的焊补 熬碱用的煮锅（苏打锅），直径在两米以上，根据碱性腐蚀程度，锅的厚度可从 50 毫米到 100 毫米，是大型铸件。

在经常使用中，由于铸造的残余应力、直接火烧而氧化，或是受碱液的点腐蚀、浸蚀，以及由于热应力集中而裂缝等原因，造成锅漏碱流，以致影响生产。这种东西和钢锭模一样，造价很高，最好是焊补修复再用。但是气焊、电弧热焊都不会得到好的效果，当然高温焊接是可能而且成功率高。但是锅大，高温加热不可能。如果用低碳钢焊条或铸铁焊条冷焊，也有产生裂缝的危险，加上苛性脆化（碱蚀致脆），使用寿命缩短。

由于镍基焊条的发展，对这种情况，就得到了解决。前面已讲过镍基焊条对碱性有大的耐腐蚀性。

首先在裂缝或腐蚀的地方，内外开 X 型 90° 坡口 焊接

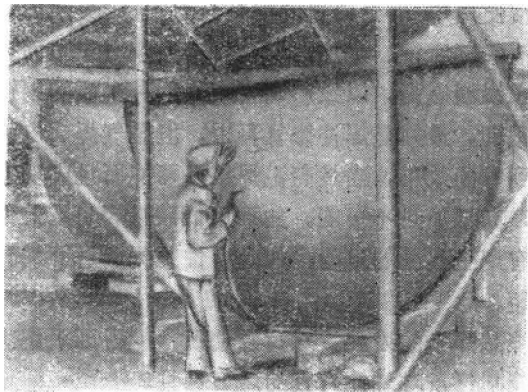
先从内部接触碱液的部分开始。至于使用哪种焊条是需要斟酌的。镍-钢 (DFONi-Cu) 焊条虽然对碱有耐腐蚀性, 但熔敷金属容易产生细微裂缝; 如用镍基 (DFONi) 焊条不预热就进行多层焊接也容易产生裂缝; 结果还是选用镍铁 (DFONiFe) 焊条最合适。

内部接触碱液部分的焊接, 按镍基焊条施焊方法, 用短焊道, 每一焊道都充分锤击, 尽量防止裂缝, 就能顺利完成。

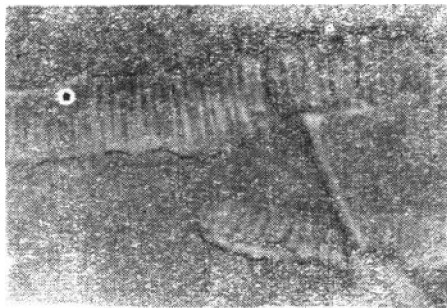
锅的外部由于直接接触火, 氧化程度很重, 即使削出新面, 焊接也很困难。因此用低碳钢焊条做一层充分熔深的焊接, 然后用砂轮打光, 再用镍基焊条 (DFONi) 焊接, 才能确保质量。

焊后能经得住漏水试验。此后经几十次生产操作, 焊接处未再发生任何问题, 直到别处又出现渗裂, 而这个曾经修补过的地方还能充分耐用, 这证明焊补是牢固有效的。

照片 11.6 和 11.7 是碱锅的全貌和锅内修补的焊道, 从焊道可清楚看出这和一般的低碳钢焊接法不一样, 这里采用的



照片 11.6 碱锅全貌



照片 11·7 锅内接触溶液部分的修补焊道

是焊道与坡口成垂直的短焊道，这是使用镍基焊条冷焊的一个要点。

(7) 铸铁压力机部件的堆焊 冲压制件是从汽车制造业开始的，后来发展到各种重工业部门都在使用。为了制件的更新或者冲压部件磨损不能再用，这时镍基焊条便起了很大作用。

压力机部件的堆焊，一般是使用镍基焊条，在成本核算上是合适的。另外与压力机相同的如冲模、刀头的折损处，都可以用镍基焊条打底，其上再用堆焊焊条进行堆焊，这就保证了必要的硬度。这样的修补事例是很多的。

应当注意的是在镍基焊接金属上进行堆焊的问题。由于镍基焊接金属硬度不够，才进行表面堆焊。但是大量镍的熔入影响上层堆焊的金属组织，这会使上层的马氏体或索氏体那样的硬组织变成奥氏体的软组织。这种情况就要设计在镍基焊接金属上至少做三层以上的表面堆焊，才能无损于硬度。

在铸铁阀门上为了提高阀座面耐腐蚀、耐磨损，就有用铜合金和镍合金进行堆焊的事例。像这样情况，都要按照这

今所提出的各种注意事项去做，才能得到好的效果。现在这种焊接方法已在水轮发电机组的有关部位上广泛采用。

(8) 球墨铸铁的焊接 现在很多单位都在研究有关球墨铸铁的焊接，一般是使用同性质的焊条分别用气焊或电弧焊，目的是使焊接金属组织达到球形石墨那样的设计标准。从实际应用来看，一般都是用的 DFONiFe 型（镍铁）焊条。现以神户制铁厂“产品样本”中的报告材料为例。

焊接规范，特别是预热、后热的情况如下：

使用母材

T.O	Mn	Si	P	S	Mg
3.83%	0.32%	2.68%	0.053%	0.007%	0.055%

焊接规范

焊条：DFONiFe 4 毫米 \varnothing

焊接电流：135 安培

使用焊接法：一般焊法或倒退法

一次焊道长度：35 毫米

锤击：在每层焊道上都用手锤敲击

预热温度：分别为不预热，150℃，300℃，500℃ 预热

焊道温度：保持预热温度

③全部熔敷金属成分

C	Mn	Si	P	S	Ni	Fe
0.87%	0.93%	0.32%	0.005%	0.004%	56.28%	余量

以上述规范进行焊接的结果，接头性能的变化，经预热的则如表 11.1，经后热的则如表 11.2。

另外，经预热的焊接处的最高硬度变化，则如图 11.4。

从结果来看，结合球墨铸铁的焊接规范，可以认为：

预热在焊接上是有效果的，而且对焊接处的性能并无

表 11.1 不同预热给予接头性能的变化

预 热	接 头 试 验			冲 击 值 公斤-米/厘米 ²	X 线性能
	抗拉强度 公斤/毫米 ²	延伸率(%)	裂缝位置		
不预热	46.9	3.8	焊接金属	1.15	JIS1~2 级
	46.3	3.6	//	1.15	//
150°C	46.8	3.3	//	1.15	//
	46.5	3.0	//	1.60	//
300°C	46.4	3.5	//	1.01	//
	47.5	4.1	//	1.15	//
500°C	46.7	3.2	//	1.44	JIS1~5 级
	46.3	3.2	//	1.15	//
母材	49.2	2.0	//	8.28	—
	50.2	2.0	//	10.03	—

表 11.2 不同后热给予接头性能的变化

后热条件	预热条件	接 头 抗 拉 试 验			冲 击 值 公斤-米/厘米 ²
		抗拉强度 公斤/毫米 ²	延伸率(%)	裂缝位置	
800°C × 2 小时空冷	不预热	41.1	1.4	热影响区	3.10
		39.9	2.0	//	3.74
	150°C	41.0	1.8	//	3.54
		41.9	2.0	//	3.82
	300°C	42.3	2.4	//	3.54
		39.6	4.3	//	3.10
	500°C	39.7	1.8	//	4.35
		43.9	2.3	//	3.74
	母 材	43.4	3.5	—	10.89
		44.0	2.0	—	11.43
900°C × 3 小时空冷 → 700°C × 1 1/2 小时空冷	不预热	46.1	3.0	焊接金属	3.54
		40.9	2.5	//	3.74
	150°C	47.3	3.5	//	4.35
		46.9	2.0	//	3.35
	300°C	47.6	3.0	//	5.65
		48.6	3.5	//	3.82
	500°C	46.2	3.2	//	3.10
		47.1	3.3	//	4.56
	母 材	66.6	4.2	—	8.03
		62.4	3.3	—	9.03

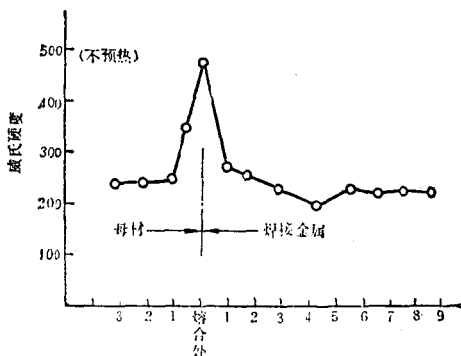
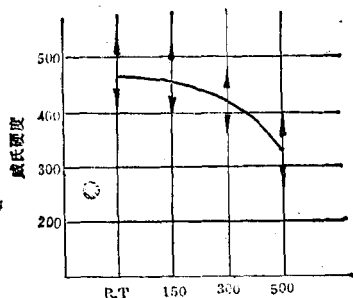


图 11·4 经预热焊接处的最高硬度变化

影响。

进行 880℃ 保温二小时的整体退火，可以得到铁素体和石墨的均一组织。韧性得到恢复。

不过接头的抗拉强度比焊接当时低，约低到 85%。

(9) 可锻铸铁的焊接如前所述，可锻铸铁的各种部件多用于汽车制造业。这里可举出汽车齿轮箱上的高碳钢制成的梢子为例。为防止运行中振动，要求焊接好，使之稳定。这是可锻铸铁和低碳钢的异种材料焊接。从部件性质看，焊后不可能退火处理，所以用冷焊，使用 DFONiFe 型焊条。

如果对前述的“要点”能充分理解的话，这样的焊接是不成问题的。若不理解或偏离“要点”，和焊接低碳钢一样去施焊，从组织上的变化就可看出其结果是迥然不同的。

简单来讲，如果偏离开“要点”，使用高电流，连续焊接，其结果石墨由于焊接热会大面积的在母材焊接处熔解；冷却速度快，便引起全部白口化；稍远一点的地方，一部分石墨熔解，生成珠光体，使可锻铸铁组织受到破坏。

由此可以理解，必须按照前述的要点去施焊，才能得到良好的焊接效果。

12 铸铁焊接要点的归纳

前面对铸铁焊接的焊接方法、使用焊条和操作要点，都做了说明。从应用的情况来看，最近使用的焊条多是镍基或镍-铁型，而且大部分都用冷焊。所以仅从这些方面加以归纳，逐条说明，可供应用上参考。

关于铸铁焊条的参考书，写得简单明了的是日本焊接协会编辑的《焊条的选择和使用》一书。现从其中摘录一部分编列为两表，其一：配合母材使用适当的焊条（表 12.1）。其二：对焊接中产生的各种缺陷的分析和处理办法，归纳为一览表（表 12.2）。从这个表可以系统了解各种缺陷的情况。要想深入理解这些问题，还需要重读前面的有关章节。并在实际应用中反复验证，摸索经验，才能运用自如，才能把铸铁焊接做好。

表 12.1 根据母材确定选用焊条的标准（日本焊接协会）

母 材	焊条种类		镍 型	镍-铁型	镍-铜型	DFCCl	DFCFe
	焊接种类	种类	DFCNi	DFCNi-Fe	DFCNi-Cu		
灰口 铸铁	补 接 修 补	洞 合	+	+	+	+	+
		裂 缝	+	+	○	x	x
球墨 铸铁	补 接 修 补	洞 合	◎	+	○	△	△
		裂 缝	○	+	x	x	x
可 锻 铸 铁	黑 心 及 白 心	补 接	+	+	◎	△	◎
		洞 合	◎	+	△	x	x
	修 补	○	+	x	x	x	
	裂 缝	+	+	○	△	◎	
珠 光 体	补 接 修 补	洞 合	+	+	○	△	x
		裂 缝	+	+	△	x	x

注：+ 极好 ◎ 良好 ○ 普通 △ 稍差 x 不良

表 12.2 焊接金属的缺陷及其处理办法 (日本焊接协会)

缺 陷	原 因	处 理 办 法	
切割困难	焊缝金属淬硬	<ol style="list-style-type: none"> 1. 母材的碳熔进焊缝金属内 2. 焊接电流不适当 3. 选错焊条时 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 使用镍基焊条, 适当预热, 缓冷 2. 使用适当电流 3. 以表 1 为准
	热影响区的淬硬	<ol style="list-style-type: none"> 1. 焊接电流高时 2. 因进行连续焊接 3. 因焊接快冷 4. 选择焊条错误 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 降低使用电流 2. 短焊道使用跳焊法, 或断续焊接 3. 进行适当预热, 缓冷 4. 使用镍基焊条
焊接处裂缝	<ol style="list-style-type: none"> 1. 因焊接处快冷 2. 因焊接处收缩应力大 3. 焊接操作错误时 4. 接头刚度大时 5. 焊条选择不适当 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 适当地进行预热、缓冷 2. 使用镍基焊条, 进行锤击 3. 短焊道跳焊法或断续焊接 4. 1、2、3项并用 5. 使用 DFONi-Fe DFONi 焊条 	
气孔	<ol style="list-style-type: none"> 1. 焊条吸湿 2. 母材上附有浸透油脂等 3. 由母材中的碳燃烧成气体 4. 焊条选的不适当 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 以适当温度再烘干焊条 2. ①母材表面清刷乾淨 ②把浸入油脂预先烧掉 ③使用 DFONi-Fe 焊条 3. 熔深要浅, 或进行预热 4. 选用产生气孔少的焊条 	
熔合不良	<ol style="list-style-type: none"> 1. 坡口形状不适当 2. 焊接电流不适当 3. 因母材反复受到加热、冷却 4. 因母材材料不适当 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 改成适当坡口 2. 调节适当电流 3. ①选用熔合好的焊条, DF001 DF0Fe 较好 ②进行预热 4. 以 3 项为准 	

附 件

碳素钢铸件 (GB979-67)

表 1

铸 件 牌 号	不 小 于					碳 %	锰 %	硅 %	分 级	硫	磷
	屈服强 度 σ_s	抗拉强 度 σ_b	延 伸 率 δ_5	断 面 收 缩 率 ψ	冲 击 值 α_k						
	公斤 /毫米 ²	公斤 /毫米 ²	%	%	公斤- 厘米/厘 米 ²						
	I	II	III								
ZG15	20	40	25	40	6.0	0.12 -0.22	0.35 -0.65	0.20 -0.45		<0.04	<0.04
ZG25	24	45	20	32	4.5	>0.22 -0.32	0.50 -0.80	0.20 -0.45		<0.05	<0.05
ZG35	28	50	16	25	3.5	>0.32 -0.42	0.50 -0.80	0.20 -0.45		<0.06	<0.06
ZG45	32	58	12	20	3.0	>0.42 -0.52	0.50 -0.80	0.20 -0.45			
ZG55	35	65	10	18	2.0	>0.52 -0.62	0.50 -0.80	0.20 -0.45			

- 注：1. 本标准适用于一般碳素钢铸件，
 2. 抗拉试验按 GB228-63，冲击试验按 GB229-63
 3. “ZG”系铸钢二字汉字拼音的第一个字母。

碳素钢铸件焊接及焊补用焊条的选择

表 2

铸件牌号	可焊性	选 用 焊 条 牌 号	
		不要求强度或不要 求等强度	要 求 等 强 度
ZG 15			
ZG 25			
ZG 35	较 好	结 422 结 423 结 426 结 427	结 505 结 507
ZG 45	较 差	结 422 结 423 结 426 结 427 结 505 结 507	结 556 结 557
ZG 55	较 差	同 上	结 605 结 607

表3

合金结构钢铸件 (ZB25—62)

铸 件 牌 号	碳 %	锰 %	硅 %	铬 %	铝 %	磷 %	硫 %	抗拉强度 公斤/厘米 ²	延伸率 %	冲击值 公斤-米 /厘米 ²	硬度 HB	热处理	主要用途
ZG35Mn	0.30	1.20	0.17					≥30	≥14	≥5.0		淬火 回火	齿轮
	~ 0.40	~ 1.60	~ 0.37			0.01	0.01						
ZG40Mn	0.35	1.20	0.30					≥35	≥12		≥163	正火 回火	齿轮
	~ 0.45	~ 1.50	~ 0.45			0.01	0.04						
ZG40Mn2	0.35	1.60	0.20					≥35	≥12		187 ~ 255	退火 淬火 回火	齿轮
	~ 0.45	~ 1.80	~ 0.40			0.01	0.01						
ZG45Mn	0.40	1.20	0.30					≥37	≥11		196 ~ 235	正火 回火	齿轮 导轮
	~ 0.50	~ 1.50	~ 0.45			0.35	0.04						
ZG40Cr	0.35	0.50	0.17	0.80				≥34	≥18		≤212	正火 回火	齿轮
	~ 0.45	~ 0.90	~ 0.37	~ 1.10		0.04	0.04						

续表 3

铸 件 牌 号	碳 %	锰 %	硅 %	铬 %	钼 %	磷		抗拉强 度公斤 /毫米 ²	延伸率 %	冲击值 公斤-米 /厘米 ²	硬 度 HB	热 处 理	主 要 用 途
						不 大 于 %	硫 %						
ZG20MnSi	0.16	1.00	0.60				0.03	≥52	≥14	≥5.0	≥156	正火 回火	水压机工 作缸 水轮机转子
	~ 0.22	~ 1.30	~ 0.80				0.04	0.04	0.04				
ZG30MnSi	0.25	1.10	0.60		~		0.04	≥60	≥14	≥3.0		正火 回火	齿 轮
	~ 0.35	~ 1.40	~ 0.80				0.04	0.04	0.04				
ZG35CrMo	0.30	0.50	0.17	0.80	0.20			≥60	≥12	≥3.0		正火 回火	齿 轮 轴 套
	~ 0.40	~ 0.80	~ 0.37	~ 1.10	~ 0.30		0.04	0.04	0.04				
ZG30CrMnSi	0.28	0.90	0.50	0.50				≥70	≥14		≥202	正火 回火	齿 轮
	~ 0.38	~ 1.20	~ 0.75	~ 0.80			0.045	0.04	0.04				
ZG35CrMnSi	0.30	0.90	0.50	0.50				≥70	≥14		≤217	正火 回火	齿 轮
	~ 0.40	~ 1.20	~ 0.75	~ 0.80			0.045	0.04	0.04				

表 4

特殊性能高合金钢铸件 (ZB26—62)

铸件牌号	碳 %	硅 %	锰 %	铬 %	镍 %	硫		磷 %	热处理处 理	抗拉强度 公斤/毫米 ² 大于	延伸率 % 大于	冲击值 公斤米 ² /厘米 ²	硬 度 HB
						不	大于						
ZG1Cr13	≤0.15	≤0.7	≤0.5	12.0 ~ 14.0	≤0.60	0.03	0.035	退火 淬火 回火	56	20	8		
ZG2Cr13	0.16 ~ 0.24	≤0.7	≤0.6	12.0 ~ 14.0	≤0.60	0.03	0.035	退火 淬火 回火	63	16	6		
ZGCr9Ni2	0.35 ~ 0.50	2.0 ~ 3.0	≤0.7	8.0 ~ 10.0	≤0.60	0.03	0.035	淬 火	70				
ZGCr25Ni2	0.40 ~ 0.60	1.0 ~ 2.0	0.40 ~ 0.70	24.0 ~ 26.0	1.5 ~ 2.0	0.04	0.04						
ZGCr25Si3Ni	≤0.35	2.5 ~ 3.5	≤0.70	23.0 ~ 27.0	0.7 ~ 1.3	0.03	0.035						

续表 4

铸件牌号	碳 %	硅 %	锰 %	铬 %	镍 %	硫 不 大 于 %	磷 不 大 于 %	热 处 理	抗拉强度 公斤/毫 米: 大于	延伸率 % 大于	冲击值 公斤米 /厘米 ² :	硬 度 HR
ZG20Cr13Ni	0.17 ~ 0.23	0.50 ~ 0.70	0.50 ~ 0.80	12.0 ~ 13.5	0.60 ~ 1.00	0.03	0.03	淬火或 正火 回火	55	14	3	192 ~ 219
ZGMn13	0.90 ~ 1.30	0.30 ~ 0.80	11.0 ~ 14.0	—	—	0.05	0.10	淬火	56	15		179 ~ 229
ZG65Mn	0.60 ~ 0.70	0.17 ~ 0.37	0.90 ~ 1.20	≤0.25 ~ 1.00	≤0.25	0.045	0.04	正火 回火				187 ~ 241
ZG70Cr	0.55 ~ 0.75	0.25 ~ 0.45	0.55 ~ 0.85	0.80 ~ 1.00	≤1.00	0.01	0.05	正火 回火				≥217

注: 上述铸钢件主要用于耐腐蚀、耐热、耐磨等。

不锈、耐酸钢铸件 (JB815-66)

表 5

铸件牌号	筒称	碳 %	硅 %	锰 %	镍 %	铬 %	钼 %	钨 %	磷 %	热处理	屈服强度 / 公斤 / 毫米 ²	延伸率 %	冲击值 公斤 / 厘米 ²
ZG1Cr13	Cr13	≤0.15	≤1.0	≤0.5	12.0 ~ 14.0	<0.5			≤0.03	退火 淬火 回火	56	20	8
ZG2Cr13	2Cr13	0.16 ~ 0.24	≤1.0	≤0.6	12.0 ~ 14.0	<0.5			≤0.03	退火 淬火 回火	63	16	4
ZGCr17	Cr17	≤0.12	≤1.2	≤0.7	16.0 ~ 18.0	—			≤0.03	退火	40	20	—
ZG1Cr18Ni9	18-9	≤0.08	≤1.5	0.8 ~ 2.0	17.0 ~ 20.0	8~11			≤0.03	淬火	45	25	10
ZG1Cr18Ni9G	18-9G	≤0.12	≤1.5	0.8 ~ 2.0	17.0 ~ 20.0	8~11			≤0.03	淬火	45	25	10
ZG1Cr18Ni9Ti	18-9Ti	≤0.08	≤1.5	0.8 ~ 2.0	17.0 ~ 20.0	8~11		0.5 ~ 0.8	≤0.03	淬火	45	25	10

续表 5

铸件牌号	筒称	碳 %	硅 %	锰 %	铬 %	镍 %	钼 %	钛 %	硫 %	磷 %	热处理	抗拉强度 公斤/厘米 ²	延伸率 %	冲击值 公斤-厘米/厘米 ²
ZG1Cr18Ni9 TiG	18-9TiG	≤0.12	≤1.5	0.8 ~ 2.0	17.0 ~ 20.0	8~11		0.5 ~ 0.8	≤0.03	≤0.04	淬 火	45	25	10
ZG18Ni12 M _{0.2} Ti	M2T	≤0.08	≤1.5	0.8 ~ 2.0	16.0 ~ 19.0	11~ 13	2.0 ~ 3.0	0.3 ~ 0.7	≤0.03	≤0.045	淬 火	50	30	10
ZG18Ni12 M _{0.2} TiG	M2TiG	≤0.12	≤1.5	0.8 ~ 2.0	16.0 ~ 19.0	11 ~ 13	2.0 ~ 3.0	0.3 ~ 0.7	≤0.03	≤0.04	淬 火	50	30	10
ZG18Ni12 M _{0.3} Ti	M3T	≤0.08	≤1.5	0.8 ~ 2.0	16.0 ~ 19.0	11 ~ 13	3.0 ~ 4.0	0.3 ~ 0.7	≤0.03	≤0.045	淬 火	50	30	10
ZG18Ni12 M _{0.3} TiG	M3TiG	≤0.12	≤1.5	0.8 ~ 2.0	16.0 ~ 19.0	11 ~ 13	3.0 ~ 4.0	0.3 ~ 0.7	≤0.03	≤0.04	淬 火	50	30	10
ZGCr28	Cr28	0.5 ~ 1.0	0.5 ~ 1.3	0.5 ~ 0.8	26.0 ~ 30.0	--	--	--	≤0.03	≤0.04	退 火	35		

铸 钢 轧 辊 (YB423-64)

表 6

钢 号	碳 %	硅 %	锰 %	铬 %	钼 %	磷 %	硫 %	抗拉强 度公斤 /毫米 ² 大于	延伸率 % 大于	断面收 缩率 % 大于	冲击值 公斤-米/ 厘米 ² 大于
ZU50	0.47~0.55	0.17~0.37	0.50~0.80			0.04	0.04	58	11	28	2.5
ZU55	0.52~0.60	0.17~0.37	0.50~0.80			0.04	0.04	60	10	28	2.5
ZU60	0.58~0.65	0.17~0.37	0.50~0.80			0.04	0.04	62	9	30	2.5
ZU65	0.62~0.70	0.17~0.37	0.50~0.80			0.04	0.04	64	8	30	2.0
ZU70	0.67~0.75	0.17~0.37	0.50~0.80			0.04	0.04	66	7	32	2.0
ZU75	0.72~0.80	0.17~0.37	0.50~0.80			0.04	0.04	70	6	32	1.5
ZU80	0.77~0.85	0.17~0.37	0.50~0.80			0.04	0.04	72	6	34	1.0
ZU50Mn	0.47~0.55	0.17~0.37	0.70~1.00			0.04	0.04	62	12	28	2.5
ZU55Mn	0.52~0.60	0.17~0.37	0.70~1.00			0.04	0.04	64	11	28	2.5
ZU60Mn	0.57~0.65	0.17~0.37	0.70~1.00			0.04	0.04	67	9	30	2.0
ZU65Mn	0.62~0.70	0.17~0.37	0.90~1.20			0.04	0.04	70	8	30	2.0
ZU70Mn	0.67~0.75	0.17~0.37	0.90~1.20			0.04	0.04	73	7	32	1.5

续表 6

钢 号	碳 %	硅 %	锰 %	磷 %	钼 %	硫 %	抗拉强度 公斤/厘米 ² 大于	延伸率 % 大于	断面收缩率 % 大于	冲击值 公斤-米/ 厘米 ² 大于
ZU75Mn	0.72~0.80	0.17~0.37	0.90~1.20	0.01	0.04	75	6	32	1.5	
ZU80Mn	0.77~0.85	0.17~0.37	0.90~1.20	0.04	0.01	77	6	34	1.0	
ZU40Cr	0.37~0.45	0.17~0.37	0.50~0.80	0.04	0.04	65	12	31	2.5	
ZU45Cr	0.42~0.50	0.17~0.37	0.50~0.80	0.04	0.04	67	10	32	2.5	
ZU50Cr	0.47~0.55	0.17~0.37	0.50~0.80	0.01	0.04	70	8	33	2.0	
ZU40Cr-MnMo	0.37~0.45	0.17~0.37	0.40~1.20	0.04	0.30	0.04	70	8	34	2.0
ZU42CrMo	0.38~0.45	0.17~0.37	0.50~0.80	0.15~0.25	0.01	0.01	67	9	32	2.5
ZU65Mo	0.62~0.70	0.17~0.37	0.50~0.90	0.15~0.25	0.04	0.04	67	7	34	1.5
ZU75Mo	0.72~0.80	0.17~0.37	0.50~0.90	0.15~0.25	0.04	0.04	75	7	36	1.5
ZU70Mn2	0.57~0.75	0.17~0.37	1.4~1.8	—	—	0.04	75	6	34	0.6
ZU75Mn2	0.72~0.80	0.17~0.37	1.4~1.8	—	—	0.04	77	6	36	0.6

铸 造 用 生 铁 (GB718-65) 表 7

铁 种	铁 号	硅 %	锰 %			磷 %					硫 %						
			1 组	2 组	3 组	1 级 低磷	普通		高 磷		一 类	二 类	三 类				
							2 级	3 级	4 级	5 级							
普通 铸 造 生 铁													不 大 于				
	Z35	>3.25 ~ 3.27															
	Z30	>2.75 ~ 3.25															
	Z25	>2.25 ~ 2.75	>0.50 ~ 0.90	>0.90	≤0.100	>0.100 ~ 0.200	>0.200 ~ 0.400	>0.400 ~ 0.700	>0.700 ~ 1.000	0.030	0.040	0.050					
	Z20	>1.75 ~ 2.25	0.90 ~ 1.30			0.200	0.400	0.700	1.000								
	Z15	1.25 ~ 1.75								0.040	0.050	0.050					
冷 铸 车 轮 生 铁	L08	0.50 ~ 1.00	0.50~1.00			0.15~0.35											0.070

注：化学取样按 GB719-65；分析方法按 GB223-63、YB35-64

炼钢用生铁 (GB717-65) 表 8

铁 种		碱性平炉炼钢生铁		酸性转炉炼钢生铁		碱性转炉炼钢生铁	
铁 号		P08	P10	S10	S15	J08	J13
硅 %	1 组	≤0.85	>0.85~1.25	0.75~1.25	>1.25~1.75	0.60~1.10	>1.10~1.60
	2 组	不 规 定		0.50~1.00		>0.50~1.50	≤0.50
锰 %	1 级	≤0.150				—	≤0.400
	2 级	≤0.200		≤0.070		>0.400~0.800	>0.400~0.800
	3 级	≤0.400				>0.800~1.600	—
硫 %	1 类	0.030		0.040		0.040	
	2 类	0.050		0.050		0.060	
	3 类	0.070		0.040		0.070	

化 学 成 份 %

灰 铸 铁 化 学 成 分 (%)

表 9

碳	硅	锰	磷	硫
2.0~4.5	0.5~3.5	0.3~1.5	<0.1	<0.15

灰 铁 铸 件 (GB976-67)

灰铸铁牌号	抗拉强度公斤/毫米 ² ≥	抗弯强度公斤/毫米 ² ≥	硬度HB
HT10~26	10	26	143~229
HT15~33	15	33	143~229
HT20~40	20	40	163~255
HT25~47	25	47	163~255
HT30~54	30	54	170~255
HT35~61	35	61	170~269
HT40~68	40	68	197~269

- 注：1. “HT”代表灰铁，即汉字拼音的第一个字母，第一组数字代表最低抗拉强度，第二组数字代表最低抗弯强度。
 2. 本标准适用于石墨为片状的灰铁铸件
 3. 铸件机械性能试验按 GB977-67 进行。

球 墨 铸 铁 件 (JB298-62)

表 11

球墨铸铁 牌 号	抗拉强度 公斤/毫米 ²	屈服强度 公斤/毫米 ²	延 伸 率 %	冲 击 值 公斤-米/厘米 ²	硬 度 HB
	不 小 于				
QT45-0	45	36	—	—	187~255
QT50-1.5	50	38	1.5	1.5	187~255
QT60-2	60	42	2.0	1.5	197~269
QT45-5	45	33	5.0	2.0	170~207
QT40-10	40	30	10.0	3.0	156~197

- 注：1. “QT”系“球铁”二字汉字拼音的第一个字母，后第一组数字代表最低抗拉强度，第二组数字代表最低延伸率
 2. 本标准适用于加镁或其它球化剂，重量小于 10 吨的球墨铸铁件，对于其它各种类型的球墨铸铁（例如合金球墨铸铁）件，由有关标准或技术条件另行规定。
 3. 机械试验按 (JB) 301—62 进行。
 4. 基本组织 QT45-0~QT60-2 为珠光体
 QT45-5~QT40-10 为铁素体

可锻铸铁化学成分 (%)

表 12

种 类	化学 成分%				
	碳	硅	锰	硫	磷
铁素体可锻铸铁	2.2~2.6	1.0~1.3	0.3~0.4	≤0.12	≤0.18
珠光体可锻铸铁	2.8~3.2	0.6~1.1	>0.45	≤0.10	≤0.15

可 锻 铸 铁 件 (GB978-67)

表 13

铸 铁 牌 号	试样直径 毫 米	抗拉强度	屈服强度	延 伸 率 %	硬 度 HB
		公斤/毫米 ² 大 于	公斤/毫米 ² 大 于		
KT30-6	16	30	—	6	120~163
KT33-8	16	33	—	8	120~163
KT35-10	16	35	—	10	120~163
KT37-12	16	37	—	12	120~163
KTZ45-5	16	45	28	5	152~219
KTZ50-4	16	50	34	4	179~241
KTZ60-3	16	60	42	3	201~269
KTZ70-2	16	70	55	2	240~270

注：1. “KT”代表“可铁”，Z代表球光体可锻铸铁的“珠”字其余为铁素体可锻铸铁。后第一组数字代表最低抗拉强度，第二组数字代表最低延伸率。

2. 本标准适用于一定化学成分范围内的白口铸铁经过石墨化退火而制成的可锻铸铁件。

表 14

耐热铸件 (JB640-65)

名称	牌 号	碳	硅	锰	磷	硫	铬	抗拉强度	抗弯强度	硬度 HB
		%	%	%	%	%	%	公斤/毫米 ²	公斤/毫米 ²	
含铬耐热铸铁	RTCr-0.8	2.8~3.6	1.5~2.5	<1.0	<0.3	<0.12	0.5~1.1	18	35	207~285
含铬耐热铸铁	RTCr-1.5	2.8~3.6	1.7~2.7	<1.0	<0.3	<0.12	1.2~1.9	15	32	207~285
高硅耐热铸铁	RJSi-5.5	2.2~3.0	5.0~6.0	<1.0	<0.2	<0.12	0.5~0.9	10	24	140~255
高硅耐热 球墨铸铁	RQJSi-5.5	2.4~3.0	5.0~6.0	<0.7	<0.2	<0.03	—	22	不测定	233~321

注: 1. "RT"代表"热铁"; Q代表球墨铸铁。后面数字代表合金元素平均值。

2. 基本组织: RTCr-0.8——珠光体或珠光体+渗碳体

RTCr-1.5——珠光体或珠光体+渗碳体

RJSi-5.5——铁素体或铁素体+珠光体 (不大于20%)

RQJSi-5.5——铁素体或铁素体+珠光体 (不大于10%)

3. 用途: 主要用于炉条、热风管、铁耙等耐热件。

耐 磨 铸 铁 件 表 15

牌 号	石墨形状	类 别	化 学 成 份 (%)										硬 度 HB	用 途	
			碳	硅	锰	磷	硫	铬	镍	钛	铜	铁			
耐磨铸铁 HT-1	片 状	灰口铁	3.2~3.6	1.6~2.4	0.6~0.9	0.15~0.2	≤0.12	0.2~0.35	0.2~0.4	—	≤0.7	—	—	180~229	
耐磨铸铁 HT-2	片 状	灰口铁	3.2~3.6	1.4~2.2	0.4~0.7	0.15~0.4	≤0.12	0.2~0.4	0.2~0.4	≤0.1	0.3~0.5	—	—	190~229	
耐磨铸铁 HT-3	片 状	灰口铁	3.2~3.8	1.7~3.6	0.4~0.7	0.15~0.4	≤0.12	≤0.3	≤0.3	≤0.1	0.3~0.5	—	—	160~190	
耐磨铸铁 QT-1	球 状	高强度	2.8~3.5	1.8~2.5	0.5~1.2	<0.2	≤0.03	—	—	—	≤0.7	—	—	210~260	
耐磨铸铁 QT-2	球 状	高强度	2.8~3.5	2.2~2.7	0.5~0.8	<0.2	≤0.03	—	—	—	—	—	—	167~197	
耐磨铸铁 KT-1	退 火	可 锻 的	2.6~3.0	0.8~1.3	0.3~0.6	<0.15	≤0.12	≤0.06	—	—	—	—	—	197~217	
耐磨铸铁 KT-2	退 火	可 锻 的	2.6~3.0	0.8~1.3	0.3~0.6	<0.15	≤0.12	≤0.06	—	—	—	—	—	167~197	

注：适用于轴承摩擦部件中的耐磨铸铁件。

非合金铸铁组织结构部分的物理、机械性能 表 16

组织构成部分	比重 克/厘米 ³	在 20—100°C 时的平均热膨胀系数 2,10 ³		导热性 卡/厘米·秒·°C	电阻 微欧姆, 厘米	抗拉强度 公斤/毫米 ²	延伸率 %	硬度 HB 公斤/毫米 ²
		17—24	12—12.5					
奥氏体	—	17—24	—	0.1	—	—	50 ± 10	—
铁素体	7.9	12—12.5	10	0.18	10	40 ± 10	40 ± 10	85 ± 35
珠光体	7.8	10—11	20	0.12	20	100 ± 30	15 ± 5	200 ± 50
渗碳体	7.7	6—8.5	140	0.017	140	4 ± 1	0	600 ± 100
石墨	2.2—2.3	7.5—8	150	0.036	150	0	0	3 ± 2

典型铸铁物理性能 表 17

铸铁类型	比重 克/厘米 ³	在不同温度下的热膨胀系数 2,10 ³		实际收缩量 %	导热性 卡/厘米·秒·°C	电阻 微欧姆·厘米	硬度 HB 公斤/毫米 ²
		700					
		20—100	14				
白口铸铁	7.4—7.7	10 ± 1	14	2	0.08 ± 0.04	65 ± 35	300—1000
灰口铸铁	6.5—7.4	11 ± 1	14	1	0.14 ± 0.02	100 ± 50	130—300
铁素体 可锻铸铁	7.2—7.4	11 ± 1	—	1	0.16 ± 0.01	—	100—200
奥氏体铸铁	—	17 ± 1	—	—	0.08—0.01	150 ± 50	—

不同铸铁及铸钢机械性能对比

表 18

材料种类	抗拉强度 公斤/毫米 ²	延伸率 %	硬 度 HB
白口铸铁	15	0	650
灰口铸铁	<40	近于 0	142~269
可锻铸铁	30~60	2~12	163~269
球墨铸铁	40~60	1.5~10	156~269
铸 钢	40~55	15~18	112~170

各种元素对铸铁组织的概略影响

表 19

元 素	含量%	对金属基体影响	对石墨影响
硅	3.0 以内	减少珠光体含量	数量增加、变粗
碳	1.7 以上	同 上	同 上
锰	0.8 以上	珠光体细化	稍稍细化
钒	1.0 以上	形成硫化钒	同上，但数量减少
磷	1.0 以内	形成磷化物	没有影响
硫	0.2 以内	形成硫化物	数量减少
镍	1.5 以内	珠光体细化	数量增加，稍细化
铬	1.0 以内	同 上	数量减少，稍细化
铜	1.0 以内	没有影响	未确定
钼	0.5 以内	珠光体细化，形成针状组织	显著细化、数量减少
钨	0.5 以内	珠光体细化	同 上
铝	0.3 以内	减少珠光体含量	数量增加，变粗
铈和镁	—	—	球 化

几种常见汽车缸体、拖拉机、机床、
铸铁钢锭模等铸件化学成分（供参考）

表 20

名 称	化 学 成 分 %				
	碳	锰	硅	硫	磷
解放牌缸体	3.2~3.4	0.5~0.8	1.9~2.1	≤0.12	0.15~0.20
解放牌CA10缸体	3.54	0.65	2.20	0.116	0.103
玛斯缸体	3.81	0.80	2.39	0.072	0.125
雪佛兰缸体	3.64	1.14	2.01	0.083	0.343
德国 H ₃ A 曲轴箱	3.75	0.80	1.91	0.176	0.536
德国 H ₃ A 缸体	3.64	0.77	2.17	0.139	0.353
苏联喀斯缸体	3.08	0.79	2.05	0.174	0.112
日本丰田缸体	3.45	0.35	2.45	0.074	0.270
捷克斯克达缸体	3.37	0.54	1.54	0.170	0.420
东方红 75 拖拉机 HT 15-32	3.2~3.5	0.6~0.8	2.2~2.5	≤0.16	≤0.2
东方红 75 拖拉机 HT 21-40	3.1~3.4	0.7~0.9	1.9~2.3	≤0.16	≤0.2
6米龙门刨立柱	2.89	0.78	2.16	0.088	0.165
新铸造的钢锭模	3.66	0.74	1.88	0.084	0.123
经多次使用后的钢锭模	3.05	0.445	1.94	0.123	0.365
大型机床铸件	3.43	0.88	1.90	0.10	0.035
大型机床铸件	3.57	1.07	1.80	0.10	0.1

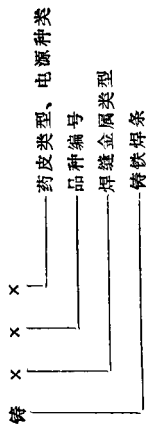
表 21 国产铸铁电弧焊条简明表

焊条名称	统一牌号	焊芯组成	药皮类型	焊缝金属	电源种类	用途
氧化型钢芯 铸铁焊条	铸 100	碳钢	氧化型	碳钢	交直流	一般灰口铸铁件非加工面 焊补
高钒铸铁焊 条	铸 116	碳钢(高钒药 皮)或高钒 钢	低氢型	高钒钢	直流(反接) 或交流	高强度灰口铸铁件及球墨 铸铁焊补
高钒铸铁焊 条	铸 117	碳钢(高钒药 皮)或高钒 钢	低氢型	高钒钢	直流(反接) 或交流	同上
铁粉型冷焊 铸铁焊条	铸 122 铁	碳钢(药皮中 加铁粉)	铁钙型	碳钢	交直流	多用于一般灰口铸铁件非 加工面焊补
钢芯石墨化 型铸铁焊条	铸 208	碳钢	石墨型	灰铸铁	交直流	一般灰口铸铁件焊补
钢芯石墨铸 铁焊条	铸 238	碳钢(药皮中 加球化剂)	石墨型	球墨铸铁	交直流	球墨铸铁件焊补
铸铁芯铸 铁焊条	铸 248	铸铁芯	石墨型	灰铸铁	交直流	灰口铸铁件焊补
纯钒铸铁焊 条	铸 308	纯钒	石墨型	镍	直流(正接) 或交流	重要灰口铸铁薄壁件和加 工面焊补
镍钒铸铁焊 条	铸 408	镍铁合金	石墨型	镍铁合金	直流(正接) 或交流	重要高强度灰口铸件及 球墨铸铁件焊补

续表 21

焊条名称	统一牌号	焊芯组成	药皮类型	焊缝金属	电源种类	用途
镍铜铸铁焊条	铸 508	镍铜合金	石墨型	镍铜合金	直流(正接)或交流	强度要求不高的灰口铸铁件焊补
铜铁铸铁焊条	铸 607	紫铜	低氢型	铜—铁混合	直流(反接)	一般灰口铸铁件非加工面焊补
铜包铜芯铸铁焊条	铸 612	铜芯铁皮或铜包铁芯	铁钙型	铜—铁混合	交直流	一般灰口铸铁件非加工面焊补

注：1. 按焊接材料产品样本的说明：



2. 铸 308、铸 408、铸 508 有时统称镍基铸铁焊条，
3. 除铸 607、铸 612 外，还有自制的铜管不锈钢芯或铜管镍铬合金芯铸铁用焊条，以上有时统称铜镍焊条。
4. 铸铁芯石墨化型铸铁焊条，目前多为使用单位自制，暂时尚未成批生产。

铸 铁 气 焊 材 料 表 22

牌 号	主要化学成分% (或配方组成比)	说 明
黑色材料	铸 铁 C3~3.6; Si3~3.5; Mn0.5~0.8; S≤0.08; P0.2~0.5	适气焊冷焊用
	气焊芯 C3~3.6; Si3.6~4.8; Mn0.5~0.8; S<0.08; P0.3~0.5	适气焊热焊用
	粉 201 硝酸 18%; 纯碱 40%; 小苏打 20%; 硝酸 钠 15%; 二氧化锰 7%。	熔点 650°C 是碱性反应, 能在气焊时产生硅酸 盐、氧化物, 加速金属熔化, 作铸焊补助熔剂。
有色材料	丝 201 Sn1.0~1.2; Si0.35~0.5; Mn0.35~0.5; P0.1; Cu 余量	熔点 1050°C 的紫铜丝
	丝 221 Sn0.8~1.2; Si0.15~0.36; Cu59~61; Zn 余量	熔点 890°C 的锡黄铜丝
	丝 222 Sn0.7~1.0; Si0.08~0.15; Fe0.35~1.2; Cu57~59; Zn 余量	熔点 850°C 的铁黄铜丝
球墨铸铁 气焊焊芯	C3~3.5; Si3~3.6; Mn<0.45; Mg0.07~0.12; S<0.015; P<0.07	镁蒸发温度 1120°C
球墨铸铁 气焊焊粉	硼 砂	

表 23

国 内 外 焊 条 对 照 表

中 国 牌 号	国 标 GB	日 本		苏 联 ГОСТ	瑞 典 FSA B	德 国 DIN	美 国 AWS	英 国 BS	非 利 浦 philips	国际标准 ISO
		神 钢 JIS	本 国 D							
结 422	T42—2	TB—24	D4303	Э42	OK50.00					
		TB—32								
		TB—43								
		TB—44								
		TB—25								
结 423	T42—3	B—8	D4301	Э42						
		B—9								
		B—10								
		B—11								
		B—14								
B—15										
B—17										
B—18										
结 426	T42—6	LB—26	D4316	Э42A		KbX 1s	E7016	D616H E696H	36 36S 36D	E315B14 E445B14 E445BX4
		LB—47								
		LBM—26								
		LBM—47								

续表 23

中 国	日 本		苏 联	瑞 典	德 国	美 国	英 国	菲 利 浦	国 际 标 准		
	牌 号	GB								神 钢	JIS
铸 427	T42--7					KbK/Ms	E7013Cl	E510H	75		E345B10
铸 503	T50--6	LB--50A	350A	OK53.33	KbX Ms	E7015	E7015	E516H	55		E445B14
铸 507	T50--7	LB--52		OK55.00		E7016	E7016	E504H	56		E445B44
		LBM--52						E536H	56S		E445B10
		LBO--52						E610H	56R		
		LBA--52									
铸 556	T55--6	LB--76	355A			E8015--N	E8015--N		85		E535B10
铸 557	T55--7	LRM--76				E8016--G	E8016--G		85O		F534B10
									85OP		E635B10
铸 606	T60--6	LB--62	360A			DIN1913	E9016--G	F530H	EVD		E625B40
铸 607	T60--7	LBM--62					E9015		95		E625B10
		LLB--62									
铸 308		CIA--1	DFCNI	OK92.18			FN1--Cl		801		
铸 408		CIA--2	DNCNiFe	OK92.58			FNiFe--Cl		802		

译 后 记

本书为日本《焊接技术丛书》之一，出版于 1969 年。著者副岛一雄、仁熊贤次，两人都是工业企业中的技术研究负责人。原书前有稻垣道夫写的一篇短序，其中提到：铸铁焊接困难是老问题，铸钢焊接是发展中的新问题。

近几年来，我国的铸钢、铸铁焊接修复技术有了很大发展，特别是铸铁焊补的应用就更多。目前在上海、天津、株洲、沈阳、广州和哈尔滨等地生产的铸铁焊条不下数十种，修补的应用更是多种多样。使用的方法也不仅只限于气焊一种，电弧焊已得到了广泛使用。此外钎焊焊补也在应用。

为了更好地掌握铸钢铸铁的焊接技术，广大焊接工人都希望得到这方面的技术资料，为此，特译出本书，供参考。

译书初稿，曾请工人师傅看过，他们认为很有益。该书总结了多年来的实际经验，通过试验和理论上的分析，最后归纳成为要点，便于学习和掌握铸钢、铸铁焊的修复技术。考虑到各国钢材，焊接材料与我国不尽相同，为此特将我国国家标准、部颁标准以及历届铸铁焊补经验交流会议资料中的有关数据做为附件列举于后，以供参照。

由于译者水平有限，可能还有错误，希望广大焊接工作者指正。

译 者

一九七八年九月