

Б·И·密道瓦尔著 陸仁发譯

奥氏体钢电弧焊接

中国工业出版社

奥氏体鋼电弧焊接

Б·И·密道瓦尔著

陆仁发译

中国工业出版社

本书阐述现代铬镍奥氏体不锈钢、耐酸钢、抗氧化钢、热强钢和合金以及双层钢的特性。探讨上述材料手工电弧焊、自动气电焊和埋弧自动焊的主要特点。对最常用的奥氏体钢和双层金属的电弧焊(手工焊和自动焊)作了具体说明,并介绍了焊接材料和焊接接头的质量检验方法以及有关焊接和焊接接头机械性能和腐蚀性能方面的资料。

关于奥氏体钢电渣焊接的内容,译者根据本书作者发表在1958年第二期“自动焊接”杂志上的文章译出,兹作为附录载于书末。

本书供广大的焊接技术人员和焊工参考。

Б.И.МЕДОВАР

ЭЛЕКТРОДУГОВАЯ СВАРКА АУСТЕНИТНЫХ СТАЛЕЙ

МАШГИЗ 1958

* * *

奥氏体钢电弧焊接

陆仁发译

*

机械工业出版社编辑部编辑(北京苏州胡同141号)

中国工业出版社出版(北京佟麟阁路丙10号)

(北京市书刊出版事业许可证出字第110号)

中国工业出版社第二印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本787×1092 $\frac{1}{2}$ ·印张3 $\frac{5}{16}$ ·字数72,000

1963年12月北京第一版·1963年12月北京第一次印刷

印数0001—4,110·定价(10-6)0.44元

*

统一书号: 15165·2707(一机-561)

目 次

原序.....	1
一、現代鎳鉻奧氏體鋼的分類.....	2
二、奧氏體鎳鉻鋼焊接的基本特點.....	8
奧氏體鋼焊接的冶金特點.....	8
奧氏體鋼焊接的工藝特點.....	19
三、奧氏體鋼結構生產中應用的各種焊接方法.....	21
手工電弧焊.....	21
碳極焊.....	28
氣焊.....	29
氣電焊.....	30
埋弧焊.....	40
四、奧氏體鋼焊接材料和焊接接頭的質量檢驗.....	52
熱裂縫試驗.....	52
鐵素體數量的檢查.....	56
腐蝕試驗.....	57
五、各種類型奧氏體鋼的焊接.....	60
用奧氏體-鐵素體焊縫焊接18-8型鋼.....	60
用奧氏體-鐵素體焊縫焊接某些熱強鋼.....	69
用純奧氏體焊縫焊接25-20型鋼.....	70
六、鎳基熱強合金的焊接.....	73
七、高強度奧氏體鋼的焊接.....	74
八、雙層鋼的簡明特性和焊接特點.....	76
九、奧氏體鋼與非奧氏體鋼的焊接.....	84
十、奧氏體鋼焊接結構和焊接接頭的熱處理.....	85

十一、奥氏体鋼和镍基热強合金的电渣焊	87
附录1.	88
附录2.	90

原 序

現代化学工业和炼油工业、航空、动力、噴气和火箭技术、原子能工业等高速发展，必須不断地扩大高合金鎳鉻奥氏体鋼和合金的应用范围。

我国(苏联)冶金工业部門生产了許多牌号的奥氏体鋼和合金，这些鋼和合金具有各种独特的性能：有抵御各种液体和气体（从海水，一直到熔融的鉀、鈉、水銀蒸气以及燃汽輪机中燃料的燃燒产物）腐蝕介质的能力；在超高温和超高压同时作用条件下长期保持所需的强度的能力；在宇宙空間温度的酷冷条件下有非常高的塑性以及其它的性能等。

最近几年要大力增加不銹鋼的生产能力，而热强鋼及合金产量的增长将超过4倍。所有这些大量的新材料，多半是用来制造焊接工件、焊接結構、焊接容器和建筑物的。在用高合金鋼和合金制成的产品的現代化生产工艺中，焊接（特别是电弧焊接）起着主要作用。除了手工电弧焊接以外，埋弧自动焊接也获得了日益巩固的地位；而电渣焊接則适用于焊接厚的金属。在制造奥氏体鋼的薄壁工件中，日益广泛地采用电极熔化和电极不熔化的氬弧焊接。最近，在二氧化碳气体中焊接奥氏体鋼的方法开始有了迅速的发展。当然，也采用綜合保护(二氧化碳和无氧的氟化物焊剂)液态金属的焊接方法。在航空和其它一些工业部門，还广泛采用奥氏体鋼的接触焊接。

本书中，我們只叙述有关奥氏体鋼和双层金属的各种电

弧焊接法(埋弧焊法、气电焊法和手工电弧焊法)的基本問題;至于这些鋼的接触焊,就不討論了。

一、現代鎳鉻奧氏体鋼的分类

根据我国(苏联)現行标准,高合金鋼采用以下的表示方法:合金元素用字母表示,而它的大致含量則用放在相应字母后面的数字来表示。化学元素采用如下的代号:鋁-Ю、鎢-B、硼-P、硅-C、錳-Г、銅-Д、鉬-M、鎳-Н、鈮-В、鉻-X、鈦-T、鈳-Φ。鋼号前面的数字表示鋼內碳的平均含量(百分之零点儿)。例如,1X18H9T鋼的代号,表示这种鋼平均含有0.1%的碳、18%的鉻、9%的鎳和小于1%的鈦。2X18H9牌号的鋼与1X18H9T牌号的鋼所不同的是,鋼內平均含有0.2%的碳和不含鈦。如果鋼的牌号前面的数字是0,这就是說鋼內的最大含碳量小于0.1%。X23H23M3Д3B牌号的鋼平均含有23%的鉻、23%的鎳、3%的鉬、3%的銅和小于1%的鈮。

苏联冶金工业部門目前生产数十种牌号的高合金鋼和合金。焊接結構用得最广泛的是不銹鋼。在生产上把所有含鉻量高的鋼都称做不銹鋼。这一定义并不完全确切。

根据标准(ГОСТ5632-51),含鉻量高(大于6~8%)的鋼和合金共分为三大类:1)不銹鋼和耐酸鋼;2)抗氧化鋼和热强鋼;3)高电阻合金。

属于真正不銹的鋼只是高鉻鋼(1X13, 2X13, 3X13, 4X13, X14)。这种鋼含鉻达15%、鎳不大于0.6%。鉻不銹鋼的主要特点是抗大气腐蝕的性能强,因而在空气中不会

生銹。一些鉻不銹鋼的化學成份(根據ГОСТ5632-51)列於表1。

表 1

鋼 号 ^①	碳	硅	錳	鉻	鎳	硫	磷
	不大於	不大於			不大於	不大於	
1X13(ЭЖ1)	0.15	0.6	0.6	12.0~14.0	0.6	0.03	0.035
2X13(ЭЖ2)	0.16~0.24	0.6	0.6	12.0~14.0	0.6	0.03	0.035
3X13(ЭЖ3)	0.25~0.34	0.6	0.6	12.0~14.0	0.6	0.03	0.035

① 括号內指的是鋼的旧牌号。

1X13鋼用来制造水輪机和汽輪机的叶片和蒸气管道, 煉油設備的附件, 家常用品(餐具、器皿等)。焊接的工件最常用的是含鉻12~14%的低碳不銹鋼。鉻鋼內的含碳量越高, 越不好焊。含碳量在0.06%以下的低碳鉻鋼在空气中几乎不会淬火, 焊起来也无多大困难。这种鋼主要具有鉄素体組織。2X13、3X13型鋼具有鉄素体-馬丁体組織; 这些鋼由于含碳量較高在空气中容易淬火, 所以焊起来很困难。

属于高鉻耐酸鋼的, 主要是含鉻量16~30%的鉻鋼(X17, X25, X28)和除了含鉻外还含有鎳(14%以下)的鎳鉻鋼。国家标准規定制造如下的鎳鉻耐酸鋼: X17H2、0X18H9、1X18H9、2X18H9、1X18H9T、X18H11B、X13H4Г9、X18H12M2T和X18H12M3T。鉻鋼和鎳鉻耐酸鋼的主要特点是, 在各种酸类(液态和气态)作用的条件下能耐腐蝕。同时, 由于耐酸鋼在空气中的抗銹性能也很强, 所以也可称做不銹鋼。上述各种鋼具有这些优良性质, 都是由于鋼內含有鉻的緣故。鉻鋼和鎳鉻耐酸鋼的化學成份列於表2(根據ГОСТ5632-51)。

表 2

钢号 ^①	化 学 成 分 (%)											
	碳	硅	锰	铬	镍	钨	钼	钒	硫	磷		
X17(ЭЖ17)	0.12	0.8	0.7	16.0~18.0	不大于	—	—	—	—	—	0.030	0.035
X25(ЭИ181)	0.20	1.0	0.8	23.0~27.0	0.6	—	—	—	—	—	0.030	0.035
X28(ЭЖ27)	0.15	1.0	0.8	27.0~30.0	0.6	—	—	—	—	—	0.030	0.035
0X18H9(ЭР0)	0.07	0.8	2.0	17.0~20.0	8.0~11.0	—	—	—	—	—	0.030	0.035
1X18H9(ЭР1)	0.14	0.8	2.0	17.0~20.0	8.0~11.0	—	—	—	—	—	0.030	0.035
1X18H9T(ЭР1T)	0.12	0.8	2.0	17.0~20.0	8.0~11.0	5(C ^② —0.03) ≤0.8	—	—	—	—	0.030	0.035
X18H11B (ЭИ402)	0.10	1.0	2.0	17.0~20.0	9.0~13.0	—	—	8C ^② ≤1.5	—	—	0.030	0.035
X18H12M2T (ЭИ171)	0.12	0.8	2.0	16.0~19.0	11.0~14.0	0.3~0.6	—	—	—	2.0~3.0	0.030	0.035
X18H12M3T (ЭИ437)	0.12	0.8	2.0	16.0~19.0	11.0~14.0	0.3~0.6	—	—	—	3.0~4.0	0.030	0.035

① 括号内指的是钢的旧牌号;

② 钢的含碳量。

X17、X25、X28 高鉻鋼具有鐵素體組織，焊接時不會淬火，但是近焊縫區的晶粒有長大的傾向，用熱處理也不能消除。

鉻鉻耐酸鋼即使從高溫緩慢冷卻也可以保持奧氏體組織，因此稱它為奧氏體鋼。奧氏體鋼與其它所有各種牌號的鋼不同的地方是，這種鋼在水中淬火之後塑性變得很大，並且比淬火前更軟。這些鋼在文獻中不僅根據標準牌號來表示，而且更簡單地用兩個數字“18-8”來表示。其中頭一個數字代表平均含鉻量，第二個數字代表平均含鎳量。

18-8型奧氏體鋼在硝酸工業（製造硝酸用的設備、熱交換器、管道）中、人造酒精和橡膠等工廠的設備中、航空工業（超音速噴氣式飛機的支撐結構、噴氣式發動機）、造船業、煤炭和石油工業（礦井泵、煉油設備）、食品工業（食品煮鍋、糖果廠和罐頭廠設備）、輕工業和紡織工業（紗布的漂染槽、生產電影膠片的設備等）以及醫藥工業（盤尼西林廠的設備）中均得到廣泛應用。這些鋼也用作為建築物的裝飾和藝術裝飾品等材料。

表 3

鋼的 型號	鋼的 牌號	化 學 成 份 (%)										
		碳	硅	錳	鉻	鎳	銅	鉬	鈦	硫	磷	
		不大於									不大於	
X23H23 M3Д3	ЭИ533	0.10	0.5~ 1.0	0.25~ 0.5	22.0~ 25.0	22.0~ 25.0	2.5~ 3.5	2.5~ 3.5	—	0.03	0.035	
X23H28 M3Д3Т	ЭИ629	0.10	0.8	0.6	22.0~ 25.0	26.0~ 29.0	3.0~ 4.0	2.5~ 3.5	0.6	0.02	0.035	

近年來，18-8型奧氏體鋼的應用在不斷地擴大。同時，

表 4

钢的种类型	化 学 成 份 (%)											
	碳	硅	锰	磷	镍	钼	钨	钒	铜	铝	硫	磷
抗 氧 化 钢	X12KOC (ЭИ404)	0.07~0.12	1.2~2.0	不大于 0.7	11.5~14.0	不大于0.5	—	—	—	1.0~1.8	不大于 0.030	0.035
	X25T (ЭИ439)	不大于0.15	1.0	0.8	23.0~27.0	不大于0.6	4C ≤0.8	—	—	—	0.030	0.035
	X23H13 (ЭИ319)	"	不大于 1.0	2.0	22.0~25.0	12.0~15.0	—	—	—	—	0.030	0.035
	X23H18 (ЭИ417)	"	不大于 1.0	2.0	22.0~25.0	17.0~20.0	—	—	—	—	0.030	0.035
	X25H20G2 (ЭИ284)	"	0.20	2.0~3.0	1.5	23.0~27.0	18.0~20.0	—	—	—	0.030	0.035
热 强 钢	X 5 M	不大于0.15	不大于 0.5	0.6	4.0~6.0	—	—	0.50~0.60	—	—	0.030	0.035
	X13H7C2	0.25~0.37	2.0~3.0	0.7	11.5~14.0	6.0~7.5	—	—	—	—	0.030	0.035
	X14H14 2M(ЭИ257)	不大于0.15	0.8	0.7	13.0~15.0	13.0~15.0	—	0.45~0.60	2.0~2.75	—	0.030	0.035
	X16H26 M6①	0.15	0.3	2.0	16	26	—	6	—	—	—	—
	X16H35 B3① X16H13 M3①	0.15	0.3	1.5	16	35	—	—	3	—	—	—
	0.15	0.3	2.5	16	13	—	2.5	—	—	—	—	

① X16H26M6、X16H35B3、X16H13M3 热强钢按特殊技术条件制造。

注 表内所列的是钢的大致成份。

含铬量和含镍量較高的新的耐酸鋼的应用也在扩大。由于这些元素的含量較高，并加有钼和銅的合金化元素，因而新的奥氏体鋼具有能耐多种强腐蝕介质（例如，沸騰的濃硫酸、醋酸和其他酸类）的性能。耐酸能力較高的穩定奥氏体鋼的化学成份（根据 ЧМТУ3720-53）列于表 3。

在所謂抗氧化鋼和热强鋼一类內，通常包括在高温下抗氧化（抗形成氧化皮）能力較高的铬鋼和镍铬鋼（抗氧化鋼），以及高温下能保持足够强度和抗氧化能力的鋼（热强鋼）。在耐酸鋼中，X25 和 X28 铬鋼是在 1000~1100°C 下仍具有抗氧化能力的鋼。耐酸铬镍奥氏体鋼也可作为热强鋼使用：1X18H9T 的耐热能力为 500~600°C；X18H12M3T 的耐热能力为 700~800°C。一些抗氧化鋼和热强铬鋼以及镍铬鋼的化学成份列于表 4（根据 ГОСТ5632-51）。

抗氧化鋼和热强鋼一般用在化学工业、航空工业和現代化的热电站中。目前已經掌握了多种抗氧化鋼和热强鋼的埋弧自动焊接。

表 5 一些镍铬合金（尼赫洛姆）的化学成份
(ГОСТ5632-51)

合金牌号 ^①	化 学 成 份 (%)							
	碳	硅	锰	铬	镍	铁	硫	磷
X15H60(ЭXH60)	不大于 0.15 4.0		1.5	15.0~18.0	55.0~61.0	余量	不大于 0.025 0.035	
X20H80(ЭXH80)	0.15	0.5	1.5	20.0~23.0	75.0~87.0	余量	0.025	0.030
X20H80T3 ^② (ЭИ437)	0.08	1.0	0.5	19.0~23.0	余量	不大于 2.5	0.015	0.020

① 括号內指的是合金的旧名称；

② ЭИ437 合金內含有钼 0.4~1.1% 和鈦 2.0~2.9%。

一般叫做“尼赫洛姆”的，即鉻和鎳的合金，属于高电阻合金。一些鎳鉻合金（“尼赫洛姆”）的化学成份（ГОСТ5632-51）列于表5。

目前已经掌握了X15H60、X20H80T（ЭИ437）合金，以及其他各种鎳基热强合金的电弧焊接。

二、奥氏体鎳鉻鋼焊接的基本特点

奥氏体鋼与普通碳鋼的区别在于导热性小、加热时膨胀系数大和电阻高。

由于奥氏体鋼的这些特性，要求采用特殊的电弧焊接工艺来焊接这些鋼。奥氏体鋼的焊接特点可以分成两类：1)冶金特点和2)工艺特点。

奥氏体鋼焊接的冶金特点

晶間腐蝕 18-8型奥氏体鋼受到一种最危险的腐蝕破坏，即所谓晶間腐蝕。如果18-8型鋼在500~800°温度范围加热，或从900~1100°C緩慢冷却，则在18-8型鋼内即产生变化，这些变化几乎在显微鏡下都不能发现。奥氏体是鉻、鎳和一些其它元素在鉄中的固溶体。碳在奥氏体内的溶解是有限的，在室温情况下，奥氏体只能溶解0.02%的碳。如果鋼含有大量的碳，在所谓危险温度或临界温度的作用下，过剩的碳以碳化鉻形式从固溶体中析出。碳化鉻沿奥氏体的晶界上析出，结果奥氏体晶粒边界部分的含鉻量降低到10~12%以下。由于含鉻量降低，因而促使金属丧失抗蝕性。如果鋼与酸类或其它腐蝕性介质接触，则奥氏体晶粒边界部分就会

較快地溶解在液体中，晶粒間的連系和結合就被破坏。因此上述的破坏形式，就称做晶間腐蝕。因为腐蝕性液体渗入鋼內是沿晶界进行的(图1a)，而晶粒(晶体)本身却完整无缺，所以从金属外表不能确定它是否受到晶間腐蝕。为此，需要对金属加载荷——弯曲或拉伸，这时，就能发现腐蝕裂縫(图1b)，甚至奥氏体的个别晶粒，会从变形了的金属上落下来。

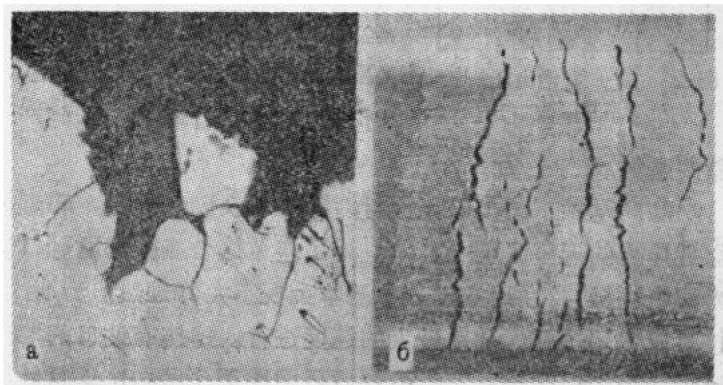


图1 不銹鋼的晶間腐蝕：
a—微觀照片；b—彎曲后鋼的外表。

焊接过程中，焊縫两边的基本金属的一定部分，被加热到危險温度范围(图2)，这些地方就可能产生晶間腐蝕。为了防止发生这种情况，需要采取特殊措施：或者把鋼內的含碳量降到0.02~0.03%；或者把鈦或鉬合金元素加入鋼內。这些元素与碳的亲合力比鉻大，因此过剩的碳将以碳化鉬或碳化鈦的形式析出，奥氏体晶界部分的含鉻量就不会降低，而且对晶間腐蝕的傾向性也将被防止。防止焊接接头晶間腐蝕的另一种方法是淬火。当进行淬火加热(1050~1100°C)时，碳化鉻溶解到奥氏体内，而迅速冷却又稳定了奥氏体組

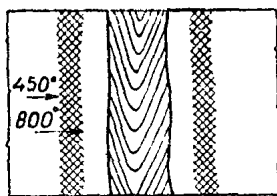


图2 18-8型鋼由于焊接加热产生晶間腐蝕的示意图



織。經研究确定，可用所謂稳定退火或扩散退火的方法，即在 $850^{\circ}\sim 900^{\circ}$ 下加热2~4小时，然后在空气中冷却来代替淬火。为了不采用淬火，在焊接结构中采用含有鈦或鈮的18-8型奥氏体鋼(1X18H9T、X18H11B、X18H12M2T、X18H12M3T)。焊接0X18H9、1X18H9和2X18H9鋼时，一定要进行淬火，以免产生

晶間腐蝕。

晶間腐蝕不仅会破坏鋼材，而且还会破坏焊縫，和直接靠近焊縫的近縫区(图3, δ)。为了避免熔合綫旁的腐蝕(称为刀状腐蝕)，在焊接过程中基本金属不允許过热。为此焊接时应采用短弧，并以最大的速度进行。焊接有坡口的厚金属时，等先焊的一层完全冷却后再堆焊下一层。位于腐蚀性介质一面的焊縫应最后焊，以尽量使它不受重复的热作用。

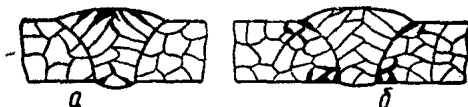


图3 焊接接头內的晶間腐蝕：
a—焊縫上；b—熔合綫旁的基本金属內。

为了防止奥氏体金属过热和保証焊接接头具有最高的抗蝕性，特别是在手工焊时，最好采用專門的措施来加速焊縫的冷却。因此，通常运用人工冷却的銅垫板。有时候在背面焊下一道焊縫时，最好用水澆前一道焊縫另一面的金属。

热裂縫 焊接奥氏体鋼时，焊縫內产生热裂縫的情况，比焊接碳鋼和許多合金鋼时要多得多。出現热裂縫的原因是焊縫在它的結晶期內受到拉应力的作用，柱状晶体的接合被破坏。这些拉应力的产生是由于鋼在焊接过程中不均匀加热的結果。热裂縫是在焊接熔池結晶时形成的，因此最近有人把它叫做“結晶裂縫”。奥氏体焊縫形成裂縫的傾向性較大，不仅是由于受到它的結晶特点的影响，而且与奥氏体鋼比碳鋼的收縮性大也有关系。

奥氏体焊縫的抗裂性与化学成分、焊縫金属的組織以及焊条涂料和焊剂的性质有关。

焊接奥氏体鋼时，焊縫有两种基本类型的組織，就是純奥氏体組織(单相組織)和奥氏体-鉄素体組織(双相組織)(图 4 及 17)。单相組織的焊縫从抗热裂縫能力和抗晶間腐蝕能

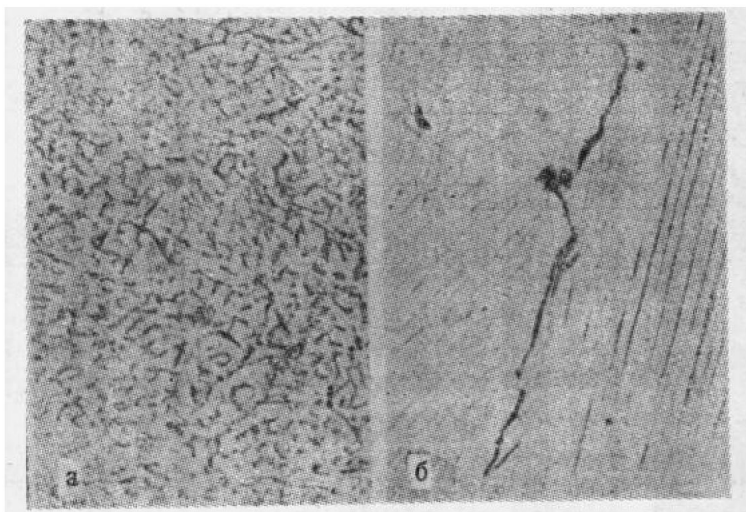


图 4 焊縫的显微組織，
a—奥氏体-鉄素体；b—奥氏体。

力來說，比双相組織的焊縫要差得多。

焊縫內無論存在那一种組織，首先取決于它的化学成分。合金元素、碳和氮对奧氏体鋼焊縫組織的影响都不同。碳、氮、鎳、錳、銅和鈷能促使保持純奧氏体組織。鉻、硅、鈦、鋁、鈮、鉍和鉬則相反，這些都是鐵素体剂的元素，它們會促使焊縫內出現鐵素体成份。上面列举的每种元素的作用力都是不一样的，例如作为奧氏体剂的氮，它的作用力比鎳強30倍。对碳來說也是如此。硅是比鉻大1.5倍的強鐵素体剂。而鋁則是比鉻大2倍的鐵素体剂。知道了焊縫內合金元素——碳和氮的含量，以及其中每种元素的相对作用力，就可借助于所謂組織图(图5)来大概地估計焊縫內鐵素体的数量。

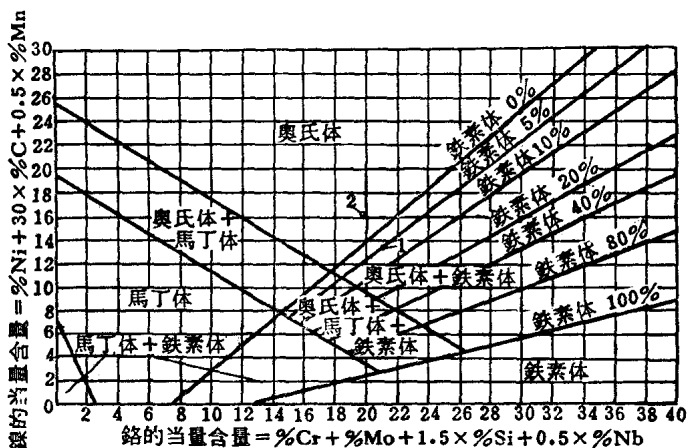


图5 焊縫組織图

大家知道，焊縫金属是熔化的基本金属和填充金属的混合物。在手工焊时使用同一种焊条，或自动焊时使用同一种焊絲和焊剂的情况下，奧氏体焊縫的化学成分也会不一样，