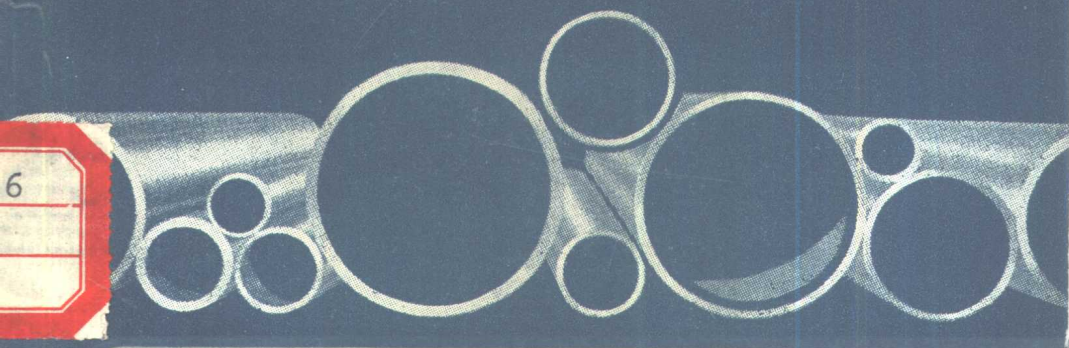


电焊钢管的质量



冶金工业出版社

电 焊 钢 管 的 质 量

Г.И.古里亚耶夫 等著

宋 本 仁 等译

冶 金 工 业 出 版 社

本书是苏联冶金出版社1978年出版的、Г.И.古里亚耶夫和С.Л.沃伊采连诺克编著的КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРОСВАРНЫХ ТРУБ一书的译本。书中依据大量的科学研究成果，对各种电焊（高频焊、接触焊、氩弧焊等）方法、热处理、冷减径和冷（温）拔（轧）等给于碳钢、低合金钢和耐蚀钢电焊管质量的影响作了较详细的论述和理论性探讨，对扩大电焊管的使用范围及代替无缝管提供了大量例证，说明推广使用电焊管有广阔的前途和良好的经济效益。书中也引述了对各种电焊钢管质量的研究试验方法及有关技术标准。

本书可供从事电焊管生产、科研、设计和管理的工作人员参考。

本书由宋本仁（第一、二、三章）、张贵祥（第四、五章）、王嘉省（第六章）和李长穆（第七、八、九章）等同志翻译，由宋本仁同志担任全书的技术校对。

电焊钢管的质量

Г.И.古里亚耶夫 等著

宋本仁 等译

冶金工业出版社出版

（北京灯市口74号）

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

850×1168 1/32 印张 7½ 字数 196 千字

1985年2月第一版 1985年2月第一次印刷

印数00,001~7,150册

统一书号：15062·4107 定价1.70元

序

在许多情况下，人们宁愿用电焊管而不用无缝管。电焊钢管产量的扩大是与轧材总产量中板材所占比重的进一步增大相适应的。因此千方百计提高电焊管的质量是第十个五年计划即“提高效率和质量”的最重要任务之一。

一些作者无视许多详尽研究的重要论证和结果，肯定地认为无缝管和电焊管的质量完全一样；与此相反，另外一些作者却又在缺乏令人信服的证据的情况下极力限制电焊管的应用范围。本书的价值在于首次综合地根据严格按照生产工艺和使用条件进行深入而全面的实验性和工业性的研究，拟定了提高电焊管质量所必需的措施，评价了下列电焊管生产工艺过程：利用“邻近效应”的高频电流（也包括射频电流）电阻焊接法（应用工频电流、中频电流、直流电流），在保护气体气流中熔接焊接法（包括氩弧焊接，等离子焊接和微束等离子焊接）。作者把主要注意力集中于决定着焊缝和钢管质量的工艺参数的研究。关于如何选择实行和调节所研究的每种工艺过程的最佳条件，作者提出了具体的建议。作者首次全面地研究了热减径、冷减径、冷轧、温轧和拉拔对电焊管质量的影响。书中对电焊管的不同热处理方法进行了系统分析；饶有兴趣地研究了苏联工业尚未采用的钢管冷减径过程。最后，作者确定了采用这种工艺过程的合理范围，以便生产优质电焊管。

本书用相当多的篇幅阐述了焊缝经过各种方法电焊、塑性变形和热处理之后的金相研究结果。

作者应用现代位错理论所进行的这些研究，以如此充分而系统的形式首次展现在苏联文献中，这无疑将引起从事这一领域工作的读者的极大关注。作者揭示并解释了焊缝显微组织变化的新现象和规律性同焊接条件、塑性变形和热处理的依赖关系，提出

了能够取得具有所需显微组织、机械性能和耐蚀性能的焊缝的方法。

因此，综合书中所述作者的研究成果和有关电焊管生产工艺的系统材料，首次提出了关于电焊管生产工艺条件对其质量影响的明确概念，并使得有可能对所需质量的电焊管生产工艺做出有科学根据的选择。

本书特别有益于冶金工业的工程技术人员和科研工作者，以及相应专业的高等院校学生。

Я.Е.奥萨达

作 者 序

化学和动力机械制造工业对昂贵的高精度的适应各种不同介质的耐蚀(不锈)钢管日益增长的需要量,以及汽车工业对高精度碳钢管的需要量迫使必须创造一些新的工艺方法:用电焊管料冷轧和温轧耐蚀钢管,焊接碳钢管变形与热处理相结合,等等。

电焊管以及变形电焊管,除表面质量优越之外,还具有一个极其重要的优点就是其成本大大低于无缝管。

作者对电焊管质量特性同材质和各种工艺因素的依赖关系所进行的研究,主要依据的是苏联乌克兰科学院通讯院士 K.П.布宁等人的著作。至于国外文献,主要是参考 A.Н.科垂尔 (Cottrell) 等人进行的研究。

根据作者在全苏管材科学研究所及在国内许多钢管厂所进行的科学研究工作的结果,书中阐述了电焊管各种不同生产方法的特点,对生产质量相当于无缝管的变形电焊管的变形和热处理条件的最佳组合的选择提出了建议,探讨了电焊管在连续式无芯棒轧机上的冷减径。

技术科学博士 Я.Е.奥萨达等人直接参加了有关中小直径电焊管生产工艺及其对产品质量影响诸问题的解决。有相当一部分的研究工作是在列宁奖金获得者技术科学博士 H.С.阿尔费罗娃教授的技术领导下完成的。参加完成多项研究工作的还有全苏管材科学研究所的科研人员。

A.Г.邦加德对第一、七、八、九各章资料的选择和分析给予了协助。

著者向在编写本书时曾提出宝贵意见的 Л.И.西尔伯施泰因等人以及在整理手稿时给予协助的 Т.Л.莫西延科致以深切谢意。

目 录

序

作者序

第一章 中小直径电焊钢管的生产和应用	1
1. 钢管生产的构成	1
2. 技术和工艺因素对钢管质量特性的影响	1
3. 钢管的主要应用范围	5
第二章 熔接焊钢管焊缝的组织 and 性能	7
1. 研究方法	7
2. 奥氏体钢焊缝区金属组织状态的特点	8
3. 焊缝的机械性能、工艺性能和耐蚀性能	16
4. 氩弧焊管的典型缺陷	18
5. 焊接规范参数对钢管质量的影响	23
第三章 接触焊钢管焊缝的组织 and 性能	44
1. 研究方法	45
2. 焊缝区金属组织状态的特点	51
3. 钢管的机械性能和工艺性能	59
4. 高频焊和电阻焊钢管的缺陷及钢管无损检验	68
第四章 热处理	71
1. 焊接钢管的热处理种类	71
2. 耐蚀钢电焊管的热处理	73
3. 碳钢和低合金钢焊接管的热处理	82
4. 低碳钢直流接触焊钢管的热处理	99
5. 特殊热处理	101
第五章 耐蚀钢管的变形	107
1. 加工硬化原理	107
2. 研究方法	111
3. 变形程度和变形温度对母体金属组织和性质变化的影响	115
4. 变形焊缝的组织变化和性能的特点	125

5. 变形后的热处理	129
6. 变形钢管最佳生产工艺的选定	150
7. 奥氏体类钢变形钢管的生产工艺	152
8. 用焊接管料生产高精度薄壁管	155
第六章 低碳钢焊管的变形	160
1. 冷减径时钢管的变形状态	160
2. 冷减径时钢管平均壁厚的变化	164
3. 冷减径时钢管的横向壁厚不均和宽展	167
4. 冷减径管机械性能和组织结构的研究	171
5. 冷拔管	179
第七章 中小直径电焊管生产和使用中的技术经济指标	185
1. 电焊管和无缝管批发价格的比较	185
2. 用电焊管代替无缝管的经济效果	192
第八章 电焊管使用和生产的前景	198
1. 电焊管的使用范围	198
2. 增加电焊管的产量	202
第九章 对电焊管和原料带钢的基本要求	204
1. 分析对钢管提出的各种要求	204
2. 对原料带钢的基本要求	214
参考文献	226

第一章 中小直径电焊钢管的生产和应用

1. 钢管生产的构成

焊接钢管可用整轧的或纵切的窄带钢和带钢卷制造，也可用成卷的宽带钢和钢板制造；这些带钢或钢板是用碳钢、低合金钢或不锈钢（耐蚀钢）热轧或冷轧（酸洗或不酸洗）而成的。

水、煤气钢管可用单张和成卷的管坯在活动链式焊管机上和连续炉焊管机上以炉焊方法生产。这种钢管也可用电焊方法生产。成品尺寸的钢管既可以直接在电焊管轧机上焊成，也可以将较大直径的钢管于焊接之后热减径而成。

直径8~530毫米、壁厚1~10毫米的输送管和结构用管以热轧和冷轧带钢为原料，用电焊法生产。

中小直径碳钢钢管用电阻法或高频电焊法生产。在苏联工业中，高频电焊法应用最为广泛。

高合金钢管和耐蚀钢管在氩或氦保护介质中用熔接法生产。

用钢板或成卷宽带钢制成的大直径直缝或螺旋缝钢管是用埋弧焊的方法生产的。用高频电焊法生产大直径钢管尚处于试制阶段。

按生产方法划分的钢管生产构成示于表1。

从所列数据可以看出，在最近15年间，按吨位计算的焊管产量增加了将近36%。按米长计算的数字主要说明在钢管生产中金属消费的比例。

苏联生产的钢管，按米长计算约有75%是焊接的，钢管总产量的40%是电焊的中小直径碳钢和不锈钢管。这类钢管在最近15年间的增长量大于30%。

2. 技术和工艺因素对钢管质量特性的影响

根据钢管的品种、质量要求、设备组成、科学技术成就掌握的程度及其他一些因素，在中小直径电焊管生产中存在着一定的

差别。这些差别首先受到电焊管机组的型号、带钢边部的加热方法、所用带钢的特性、某些工艺过程的差别（连续和半连续的）和其他一些因素的制约。

表 1 苏联钢管生产的构成，%

品 种	1960年	1965年	1970年	1975年
无 缝 钢 管				
1. 以钢锭为原料	19.4/2.2	12.7/1.4	12.0/1.6	10.4/1.2
2. 以钢坯为原料				
a. 热轧	30.6/13.5	28.3/11.6	25.4/11.8	30.1/27.3
b. 冷加工	6.2/16.3	6.3/16.7	5.9/15.7	6.2/16.4
焊 接 钢 管				
1. 炉焊	13.4/34.4	13.5/34.9	11.1/30.1	9.3/27.9
2. 钎焊	0.0/2.1	0.0/1.8	0.0/1.6	0.0/1.8
3. 埋弧焊	21.1/0.9	23.3/0.8	23.4/0.7	25.7/0.8
4. 接触焊和氩弧焊	9.3/30.6	15.9/32.8	22.2/38.5	24.5/41.0

注：分子——按重量计；分母——按长度计。

按照ГОСТ 10704—76、在5-16机组上生产直径 $d=6\sim 16$ 毫米的钢管，在6-32、10-30机组上生产 $d=8\sim 28$ 毫米的钢管，在10-60机组上生产 $d=12\sim 51$ 毫米的钢管，在АЛЛТ-60机组上生产 $d=22\sim 51$ 毫米的钢管，在10-76、16-76、20-76机组上生产 $d=22\sim 76$ 毫米的钢管，在20-102、19-102、20-114机组上生产 $d=51\sim 111$ 毫米的钢管，在51-152机组上生产 $d=76\sim 152$ 毫米的钢管，在73-219机组上生产 $d=152\sim 203$ 毫米的钢管，在159-529机组上生产 $d=219\sim 426$ 毫米的钢管。

分析对中小直径电焊管在品种和技术方面的要求，可以注意到钢管的质量特性对公称尺寸、因之对机组型号的依赖关系。在苏联和其他国家的标准中，钢管直径和壁厚的最大偏差是按公称尺寸规定的。例如：钢管外径的最大偏差按照ГОСТ 10704—76规定如下：

外径，毫米	<30	30~50	50~219	>219
最大偏差，%	1.0~2.50	0.80~1.25	0.80	1.00

由此可见，一组公差值（钢管直径在30毫米以下）是针对6-32和10-30机组特性所规定的钢管尺寸的，另一组是针对10-60和AIIIT-60机组的，其余类推。

壁厚最大偏差则随钢管尺寸的不同而有差别（按ГОСТ10704—76规定为两组：152毫米及以下和152毫米以上。DIN 1620规定，按壁厚分成三组：3毫米及以下、3~10毫米和10毫米以上）。在苏联和其他国家，冷拔电焊碳钢钢管的尺寸偏差和公差也是类似这样规定的。标准对于未经热处理的钢管的机械性能是按照钢管尺寸加以规定的。按照ГОСТ10704—76，直径20、60、63、152、159、215、277、377、402、530毫米的钢管是严格按照机组的型号规格分类的。

钢管机械性能和工艺性能与钢管尺寸之间的关系和（带钢成型为钢管的过程中）不同的冷变形量有关。当钢管直径相同时，变形量随壁厚的增大而增大（或者，当壁厚一样时，变形量则随直径的减小而增大），这会导致钢管金属的强化（加工硬化）。

放宽 $D < 219$ 毫米钢管外径最大偏差的公差（尺寸越小，公差越宽），是因为在生产精确程度上和工具调整上有一定难度。把 $D > 219$ 毫米钢管的这一公差加严是由于外形稳定性降低，从而在工艺上必须减小定径机上的管径相对压下量的缘故。

在用电阻法焊接钢管时，带钢的边缘由横过边缘的工频（50赫）和中频（300赫以下，有时达900赫）交流电流或直流电流加热。边缘加热发生在焊接区。

工频电阻焊的优越性是不需要特殊的设备，焊接设备可由电网供电；当用中频电流时，就需要一些比较简单的附加设备（电动发电机组）。

这种焊接的缺点是当使用交流时焊接速度低（电流为50赫时，焊接速度 $\leq 28 \sim 30$ 米/分，中频时可达60~100米/分），致使机组的生产率受到限制。此外，交流焊接电流的正弦变化导致焊缝质量在钢管长度上的周期性的不均，并形成高度为壁厚50~60%的锯齿状内毛刺。当采用这种方法焊管时，由于电压低（1.5~7伏）

不得不使用酸洗的带钢，或者带钢不酸洗，但必须保证在与电极接触的地方没有氧化铁皮（例如，借助于喷丸设备）。此外，必须定期清理电极工作面，以预防带钢表面烧毁的可能性。带钢表面烧毁会引起不可挽救的缺陷。

直流焊接法的焊接速度不受限制，而只决定于供电电源的功率。内毛刺的外形均一，高度不超过管壁厚度的10%。但是在这种情况下，对带钢表面光洁度的要求是很高的（与工频或中频交流电流焊接时的要求相同）；需要专门的直流电供电设备。由于制造大功率设备有困难，在苏联，直流焊接法仅用于生产壁厚1.5毫米的小直径钢管。

高频焊接可以在任何速度下进行。例如，苏联制造的20-76机组（通过滑动的焊脚供电）可以用120米/分的速度进行焊管。在这种情况下，不要求对带钢表面进行特殊处理，因此，电流以高压（达100伏）送进，沿钢管长度上的焊缝质量比较稳定，钢管表面没有“烧毁”现象，带钢边缘上的污物对生产过程和焊缝质量没有实质的不良影响。高频焊时，电流沿带钢边缘流动，由于邻近效应，带钢在距离边缘会合点30~40毫米处开始加热。高频电流焊接所需的功率比电阻法焊接小 $1/3 \sim 1/2$ 。

高频焊管也有其缺点。首先，必须制造专门的供电设备（振荡器）。其次，为了得到很大的总功率，要求有功率足够大的发电机（160、200、400、630千瓦）。高频焊接时，由于边缘烧熔，内毛刺呈不规则的滴状，而且高度达到管壁厚度的70%。

如果使用的焊接电流频率不是440千赫，而是8~10千赫，就有可能在供电电源单位功率比较小（机械振荡器）的条件下，得到大的总功率。在生产比较厚的（6~10毫米）钢管时这一点特别重要。这时，带钢表面也不必预先进行清理准备。在用这种频率的电流进行焊接时，要使用内感应体（阻抗器），这样可把电流引到距边缘会合点任何（生产优质钢管所必需的）距离的带钢边缘上。但是，在用8~10千赫电流焊接时，带钢边缘加热区增长。与440千赫电流焊接时所耗功率相比，所需要的功率要增大

50%~1倍。内毛刺的形状和大小与440千赫电流焊接相同。

3. 钢管的主要应用范围

钢管，特别是中小直径电焊管的主要用户之一，是石油和天然气工业部门。

列为石油输送管的中小直径电焊管用来敷设工厂内部管线、集气管和压力管道。这类管道可分为输油管道和输气管道。在有自然坡度的条件下，可以是自流的。在这种情况下，管道用以把流体从地面储存装置送到集中站或工厂的总贮藏库。工厂内部的自流产品管道是低压的（2大气压以下）。此外，这种管线也可以是中压（2~5大气压）和高压（大于5大气压）的。

把流体从油井送到收集装置的排放管线形的工业管道选用直径60~114毫米、壁厚达5毫米的碳钢钢管。

把石油从收集装置送到主管的汇合管道是用直径89~168毫米的碳钢钢管敷设的。

把石油送到收集站或者把气体从气井送到泵站调度站和天然气—气油厂所用的收集汇合管道主要用直径114~377毫米的钢管敷设。

用直径114~325毫米的钢管敷设的有压力的工业输油管道用以将石油从收集站输送到货站。

天然气管道或空气管道用于将压缩天然气和压缩空气从泵站通过分配站输送到油井。在泵站和分配站之间铺设直径114~168毫米的钢管干线，而分配站和油井之间用直径60~114毫米的钢管。

电焊管还可用来架设从锅炉房引出的蒸汽管道以及生产、生活、消防和其他用途的供水管道。

中小直径电焊管不仅可用于铺设管道，还有其他用途，其中包括建筑物的骨架、零件和房盖、楼梯柱和栏杆、凉台和屋顶的防护栏杆等等。

碳钢电焊管可用于埋设在工业建筑和民用建筑墙内的工业和照明电线管道。这样的钢管还可用来建造跳水台、冰球大门、体

育秋千等等。

电焊管在机器制造业各部门用于敷设工艺管道、机器和机构的润滑和通风系统、结构零件（外壳、衬套）、管式炉、农业吊挂机具液压系统以及这些机具的构件（主要是异形电焊管）；还用于机器脚踏车工业、汽车制造业（半轴管）和农业灌溉（喷灌装置）。

第二章 熔接焊钢管焊缝的组织 and 性能

氩弧焊、电子束焊、等离子焊和微束等离子焊用来生产以奥氏体耐蚀钢为主的钢管，也用于生产少量的耐热镍合金、钛和难熔金属管。近年来，在苏联工业中还生产铁素体不锈钢焊管。12X18H10T钢在焊管生产中的应用最广泛，而直缝焊管的焊接方法是在氩或氦介质中的不溶性钨极电弧焊。因此，下面将以12X18H10T钢管为例研究焊缝区金属组织特点、焊缝的机械和物理性能以及典型缺陷的形成。

1. 研究方法

电弧焊的焊接质量在很大程度上取决于结晶过程^[1]。氩弧焊焊接的钢管，其焊缝是铸造组织。因此，在钢管截面上，化学成分、组织、机械性能、工艺性能和耐腐蚀性能是不同的。钢管焊接时，会产生降低焊管质量的特殊缺陷。焊缝区的金属性能决定整个钢管的工艺性能、耐腐蚀性能和机械性能。所以，要非常注意焊缝金属中相的组成，焊接规范和带钢质量在焊接过程中对组织的影响^[117]。

为测定焊缝金属的化学成分和焊缝截面上的偏析，主要采用局部研究法：在MAP型装置上作X射线谱，或用电子微测仪作微X射线谱。

采用局部法宜与热酸蚀后的显微组织研究相结合。推荐用下述方法研究12X18H10T型不锈钢的焊缝显微组织。

1) 微化学不均一性。在浓盐酸(50毫升)、3克氯化铁和2~3滴过氧化氢混合液中侵蚀30~60秒。或者按规范，热真空酸蚀与氧化相配合。规范是：在 10^{-4} 毫米汞柱的真空中，快速加热到620℃，在真空中保持2~3分钟，然后在空气流中保持1~1.5分钟，在真空中冷却到室温。

2) 焊缝金属内的雏晶界。在浓硝酸中电解侵蚀，电流密度

1 安/厘米²，时间1~2秒；或在5%的草酸中，电流密度0.04安/厘米²，时间3~6分，这时，检查 δ -铁素体（也可用化学侵蚀的方法检查 δ -铁素体。化学试剂：3份HCl+1份HNO₃+2份甘油）。

3) 磁性组织构成。在抛光的试片表面上涂上按配方^[2,3]制成的磁膏，然后涂上肥皂水。磁膏均匀分布在试片表面上，多余部分要拭去。试片制备之后在显微镜下观察5~6分钟。

4) 焊缝区的碳化物相。用X射线检验焊缝金属阳极溶解所得到的沉积物，并配合以电子显微镜和电子金相法。为在电子显微镜下进行研究，采用萃取法镀膜（碳黑的或钛的）。在镀膜之前，焊缝在上述试剂中侵蚀，以显露显微组织。镀膜按顺序地在两种试剂中萃取：10克HCl+100克CH₃(OH)，时间30分钟；7克NaCl+6克FeSO₄+10克H₂SO₄+200克水，时间15分钟。

在带有测定电阻附件的林塞兹（Linseis）型膨胀计上记录电阻和膨胀的变化时确定相的转变。

焊缝金属的机械性能推荐用圆形（直径0.8~1毫米）或板状微型试样进行试验。

焊缝的气体含量可在ΠBH装置上用真空一熔融法（这种方法一般用来确定氢、氮和氧的含量）和化学法（确定氮含量）测定。第一种方法用试样，而第二种方法用切屑。

2. 奥氏体钢焊缝区金属组织状态的特点

显露在外表面的一般宏观组织是粗晶粒的，它与焊缝轴线约成90°分布，形成花纹，称为松枝纹（图1）。焊缝的横截面呈梯形，小底边在钢管内表面上。在母体金属与焊缝之间有过渡区——晶粒长大区。这部分母体金属在1100~1350℃温度下经受了或多或少的长时间加热。在钢管厚度方向，过渡区的宽度不一样：钢管外表面上的宽度小些，而内表面上的大些。这是因为热从内表面仅仅通过金属传出，可是从外表面除通过金属外，还通过周围的介质。

当严重过热时，在过渡区出现从焊缝—母体金属界面开始的线状 δ -铁素体析出，而这取决于焊接过程的速度。与熔池边界

垂直分布的线状析出可以解释为，首先是由于焊接时热流所造成的过渡区内的有向扩散，其次是由于冷变形带钢金属内部有条带状析出。过渡区内高温铁素体的析出是间接的征兆，按此征兆可以断定焊接时是否过热。

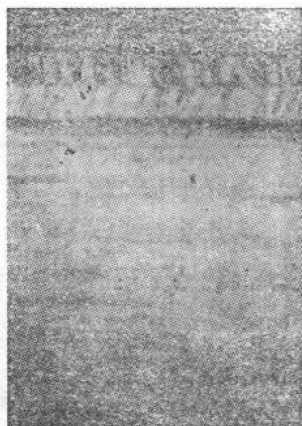


图 1 钢管外表面上的焊缝宏观组织 $\times 5$

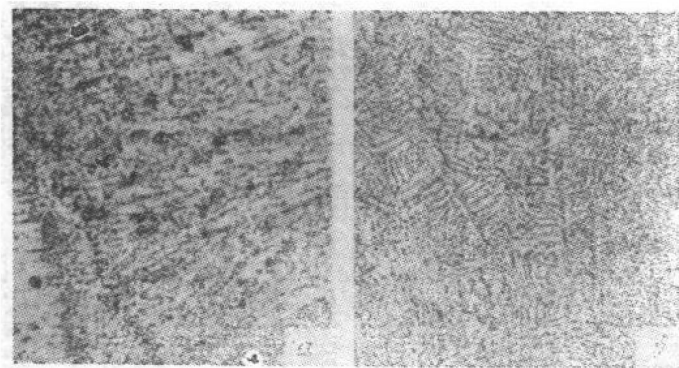


图 2 焊缝横截面的显微组织 $\times 100$

a—焊缝周围区；b—焊缝中心区

焊缝金相显微组织是带有部分 δ -铁素体的树枝状奥氏体晶