

国防工业技术丛刊

34

薄壁小直径零件焊剂 层下自动电弧焊

王永麟 編

(内部资料 注意保存)



国防工业出版社

16

薄壁小直径零件焊剂层下自动电弧焊

王永麟 編

*

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业许可出字第 074 号

国防工业出版社印刷厂印装 内部发行

*

850×1168 $1/32$ 印张 $1/2$ 13 千字

1965 年 5 月第一版 1965 年 5 月第一次印刷 印数: 0,001—5,000 册

统一书号: N15034·(活)-34 定价: (科六) 0.12 元



T-4
0368:1151:16
S
02

一、概 述

采用焊剂层下自动电弧焊接方法，进行薄壁小直径的高压容器及类似产品的焊接，是较难掌握的一门焊接技术。根据产品的需要，曾进行了薄壁小直径的各种高压容器的焊剂层下自动电弧焊的试验研究工作，并已正式应用于生产。

进行试验研究的工件，其直径均在300毫米以下，壁厚在2.0~7.0毫米之间。材料均为30CrMnSiA。根据产品的技术条件要求：工件在焊后，需100%的经过磁力探伤和X光透视检查；并对与零件在同一工作班内焊出的试片，进行基体金属的强度极限及相对延伸率、焊接接头的强度极限及弯曲角等各项机械性能试验；各种不同工件，视其要求，分别在200~525大气压力下，持续时间为2~5分钟的液压强度试验；在130~350大气压力下，持续时间为3~5分钟的气密性试验；在每批零件中，抽一个进行破坏性试验，其破坏压力，不应小于400~730大气压力；部分工件，尚需在以后每半年内，从进行破坏试验的工件中，抽出3个进行200次的0~350大气压力、持续时间为1分钟的负荷疲劳试验。在经过上述一系列试验鉴定合格后，工件才能被认为是合格品。

过去，则是采用多变工艺参数的手工电弧焊，来施焊上述工件的。由于在施焊过程中，对熔池的保护作用，较焊剂层下自动电弧焊差；同时，所使用的焊条质量不稳定；因此，工件在施焊后，经用各种方法检查的结果，发现大部分零件不合格，返修率较高。

采用焊剂层下自动电弧焊进行上述工件的焊接，在一定的焊接规范下所焊接的工件，经检查后全部合格。因而，焊接质量有

了可靠的保证，生产效率有了明显的提高。

本文仅就在进行上述试验工作时的一些情况，作一简要介绍。

二、试验设备、材料及焊前准备工作

1. 设 备

全部试验分为二个阶段。第一阶段，是在试验室内进行的。所使用的设备，为由苏制的ПДММ-500型半自动焊机改装而成

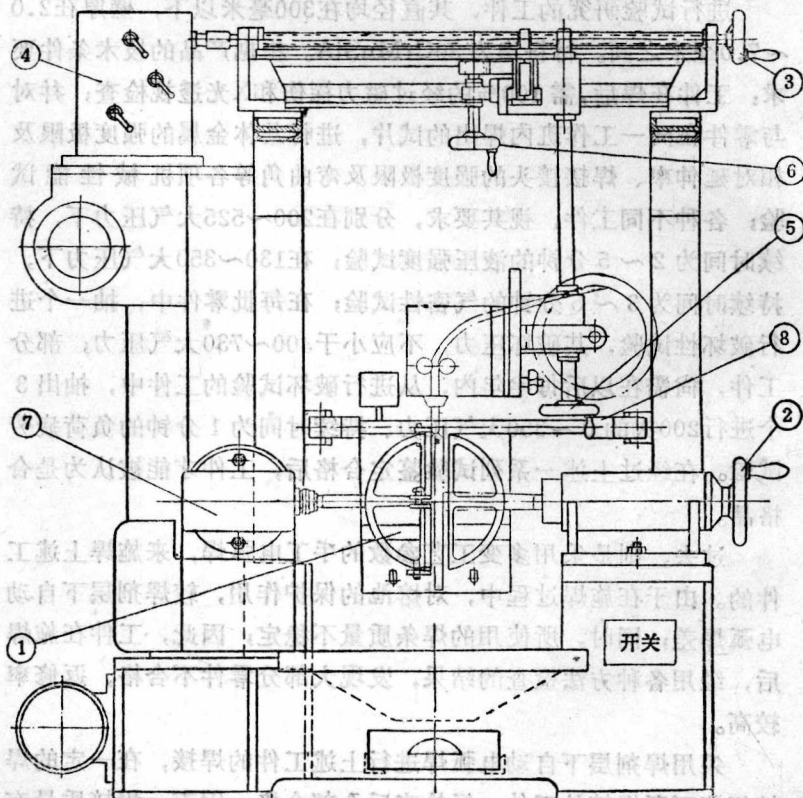


图1 试验室用的自动焊机床

的自动焊机，夹具安装在自行设计的“自动焊机床”上(图1)。利用卡头1夹持工件，根据工件直径的不同，选用不同的卡头。工件在卡头上，能沿零件7作一定角度的倾斜。工件的旋转，由电动机带动齿轮机构进行有级变速。自动焊机头，可以借手柄5和6，作竖、纵方向移动。横向移动，可以由手柄3作手动调节，也可以由电动机带动齿轮机构4进行有级变速移动，以进行试片纵向焊缝的焊接。焊接试片时，是借装置8进行的，整个装置不用时，可沿支架转动移开，不致影响工件焊接的进行。

此自动焊机床主要特点是：使用灵活，应用范围大，而且装卸方便，对中准确。

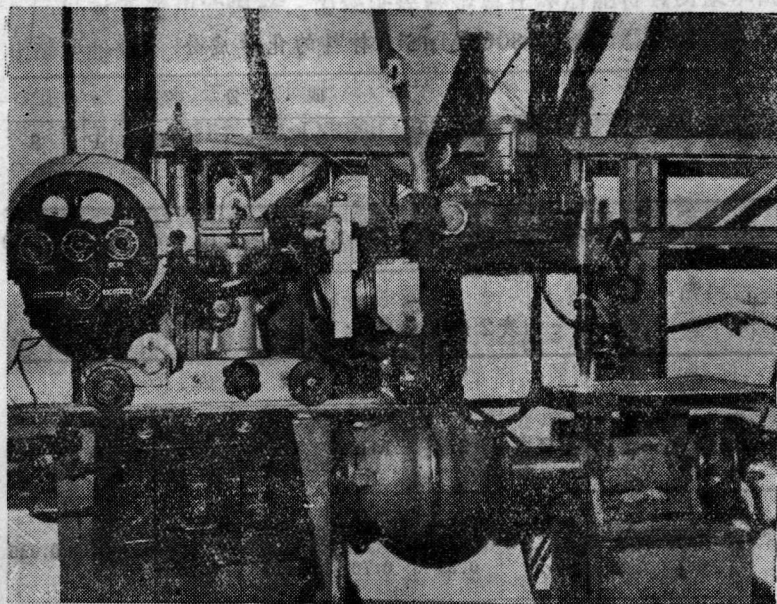


图2 车间生产用自动焊机床

试验的第二阶段，是在生产车间进行的。试验用的设备，系国产仿苏“АДС-1000 型自动电弧焊机”，根据生产需要，已改装成为自动电弧焊和自动氩弧焊两用焊机，工件的夹具安装在这台自动联合机床上。工件的旋转，由电动机带动齿轮进行有级变

速。自动焊机头的各种方向的移动，由自动焊机上的原有装置进行调节(图2)。

全部焊接的电源，是由一台ΠС-500型直流焊机(相当于国产AB-500)型供给的。

2. 填充料及焊剂的选择

(1) 填充料的选择

如前所述，全部工件均为30CrMnSiA材料，其化学成分如表1所示。为确保工件在焊接后有足够的机械性能，选用焊-18CrMoA焊丝作为填充料，其化学成分如表2所示。

表1 30CrMnSiA材料的化学成分

钢 牌 号	化 学 成 分 (%)						
	C	Si	Mn	Cr	Ni	P	S
					不 大 于		
30CrMnSiA	0.28~0.35	0.90~1.20	0.80~1.70	0.80~1.10	0.40	0.030	0.030

表2 焊丝的化学成分

焊 絲 牌 号	化 学 成 分 (%)							
	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	P	S
						不 大 于		
焊-18CrMoA	0.15~	0.15~	0.40~	0.80~	0.15~			
	0.22	0.35	0.70	1.10	0.25	0.30	0.03	0.025

由于焊-18CrMoA焊丝有相当数量的铬和钼，使之产生了以下好的效果：

- 铬、钼是提高机械强度的元素，又是提高冲击值的元素，故能获得较高的机械性能；
- 铬、钼都能减少金属在受热作用后过热的可能性，由此，

可以消除组织变脆现象；

c) 鉻、鉬能细化晶粒，故能消除或减少裂纹的产生。

若采用与母材相同的合金絲时，虽然能获得高强度的焊缝，但对裂纹的消除是不利的（因含较多数量的Si）；用时，Mn会使金属过热，不易得到高冲击值的焊缝；因此，不采用 Cr-Mn-Si 系合金作为焊絲。

（2）焊剂的选择

在自动电弧焊中，焊剂是保证焊缝质量的重要因素之一，而焊剂的保护作用及其渗入合金等作用的好坏，往往与其化学成分有很大关系。

针对所选用的焊絲，为保证焊缝金属在焊后能符合所要求的化学成份和机械性能，通常情况下，焊剂中的硅和錳的含量，应与向焊缝金属的过渡量成正比；一般在焊剂中， $\text{SiO}_2 > 40\%$ ， $\text{MnO} > 30\%$ 。同时，MnO和 SiO_2 的增加，对减少焊缝的气孔和裂纹有好处。另外，焊剂应保证电弧的稳定燃烧和减少有害气体的放出量，因此，应尽量降低氟的含量。同时，焊剂的熔渣应有一定的粘度，以适合小直径的环形焊缝的焊接。

根据上述对焊剂提出的各种要求，针对工件的具体情况，选用了AH-348A牌号的焊剂，其化学成分见表3所示。

从表3可以看出：AH-348A牌号焊剂，属于高錳型焊剂，它与OCL-45和AH-348等牌号焊剂比较，具有最大的稳定性，甚至在60~65伏的交流电半自动焊接时，电弧都能稳定地燃烧。由于含氟量减少，因而焊接时，放出对健康有害的气体也最少；焊缝的成形和去渣性，都较AH-348为佳。同时，AH-348A焊剂，以氧化鎂代替鈣的化合物，而鈣是能促使焊缝形成气孔的元素，因而，对气孔的减少也有好处。

3. 工件的焊前准备工作

工件在焊前全部经过吹砂清理，工件的坡口，按不同的要求加工。

表3 焊剂的化学成分

焊剂牌号	化 学 成 分 (%)				P	S	Mn ₂ O ₃	Na ₂ O	MnO	Fe ₂ O ₃	GaF ₂	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	SiO ₂
AH-348A											小粒焊药 3.5~4.5 大粒焊药 4~5.5	Al ₂ O ₃ + Fe ₃ O ₄ ~4.5	5.5~7.5	>5.6	41.0~43.5
AH-348												~2.5	0.7~3.5	6.5~6.9	43.5~45.5
													总 数 量 9.0~17.0		
OCU-45											6.0~7.5	~2.5	~1.0	~5.0	42~45

焊接坡口，是用车削方法进行加工的。根据技术条件要求，允许半球体仅允许有一定值的椭圆度，而用普通车外圆的方法，是较难保证坡口钝边尺寸符合要求的。为此，提出了如图3所示的专用刀杆来解决加工问题，以保证所要求的壁厚的均匀性。



图3 专用刀杆

加工半球体坡口用的专用刀杆，是以工件内圆作为其加工基准面的。用滚轮紧贴着半球体内圆，调节好刀具和滚轮间距离后，予以固定，这样，在工件旋转后，即能进行车切坡口。

三、零件焊接的主要工艺特点及主要参数的影响

在进行环形焊缝焊接时，一般是工件的直径愈大，则其焊接过程的特点愈接近于平板焊缝。而小直径的环形焊缝，实质上是一种曲面焊接的类型，焊缝熔池的位置，在焊接过程中的各个时期内都不一样，处于水平状态的时间是极为短暂的。因此，它对焊接参数的要求是较为严格的。否则，极易产生熔融金属或熔渣的流溢，造成未焊透、夹渣及焊缝成形不良等缺陷。焊缝的形状、尺寸和熔透深度，在很大程度上，取决于电流大小、电弧电压、焊接速度、焊条的偏移量、焊条的外伸量和焊剂的性能等。

1. 焊剂的保护

在焊接时，零件是需要转动的。因此，当焊剂从输送管送到电弧区时，不能很好地停留在零件的表面，而是向四面流散。按一般情况，在焊剂层下自动电弧焊时，复盖电弧的焊剂层厚度，

应在20~30毫米。因而，在试验工作一开始，就使用了一种承受和保持焊剂的装置。但由于结构不良，仍不能有效地保持住焊剂，如当焊接区域内，焊剂的厚度过小时，电弧就有可能部分地裸露在外面，引起弧压及弧柱截面大小的改变，焊接电流及电弧电压也相应地发生了变化；另一方面，由于导电嘴在焊剂输送管的出口处，妨碍着焊剂的顺利流出和均匀分布，使得焊剂不能很好地对电弧起到保护作用，而使其稳定地燃烧。为此，制作了一个“焊剂承受器”，用来保护焊剂不从工件上流散。“焊剂承受器”是一个上下方向开口的盒子，焊接时，将盒子套在熔剂嘴的下面，阻止焊剂向下流散，而将焊剂很好地聚集起来，有效地保护了电弧的正常燃烧。其次，为了使焊剂在焊接区域内能得以分布均匀，而将焊剂输送管的出口提到稍为高于导电嘴端头的位置上，从而就比较有利地改善了焊剂的分布情况。

试验用的AH-348A焊剂，其粘度尚不能完全合乎使用要求，仍有焊渣下淌的现象。根据试验证实，如在AH-348A原有的化学成份基础上，提高SiO₂的含量，相应降低MnO和CaF₂的含量，是可以提高焊剂的粘度的。曾经用过如表4所示的化学成份的焊剂，并进行过试焊，经各种方法检查后，效果良好。

表4 焊剂的化学成分

焊剂牌号	化 学 成 分 (%)							
	SiO ₂	MnO	MgO	FeO	Al ₂ O ₃	CaO+CaF ₂ 以CaO計算	S	P
AH-348 A (变动)	44.4	36.1	4.22	1.35	2.91	6.69	<0.05	<0.10

2. 焊件的坡口、形状和装配间隙

坡口的形状和尺寸，是直接影响焊接质量的重要因素。根据被焊材料的厚度，曾选用了两种形状的坡口——“U”形和“V”

形。经多次试验表明：采用“U”形坡口，坡口的加工精确度不易得到保证，装配时坡口上下不易对准，在焊接时，极易造成未焊透。而采用“V”形坡口时，上述缺陷基本上能得到消除。

“V”形坡口的尺寸，以工件Ⅱ为例(见表5)，示于图4中。

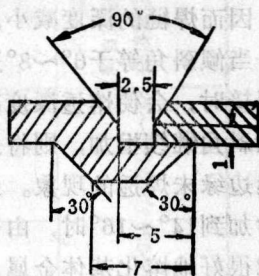


图4 V形坡口的尺寸

试验结果表明：采用 90° 的坡口是较适宜的，试焊工件的焊缝，外表成形良好，无表面气孔，焊缝与基体金属有良好的圆滑过渡，经用X光透视检查，没有任何缺陷。由于坡口角度大，因而能保证100%焊透。曾经试验过坡口为 70° 、 80° 的角度，其结果均未能达到100%焊透，甚至有整条焊缝未焊透的现象。

3. 焊丝与工件中心线的偏移距离“E”

焊丝与工件中心线的偏移距离，简称偏距(E)。在小直径环形焊缝焊接时，焊丝应与工件中心线有一定的偏距“E”，如图5所示(偏向于工件转动方向的相反方向)，以避免熔融金属及熔渣的流溢。“E”值的大小，要选择恰当，如选得过大，熔融金属及熔渣会向工件旋转方向的相反方向流溢，使待焊处被流溢的金属所复盖，以致形成未焊透、夹渣等现象；如选得过小，熔融金属及熔渣来不及凝固，便被旋转到向下的位置，而向工件的旋转方向流溢，致使焊缝与基体金属过渡不圆滑，形成凹凸不平的焊缝。

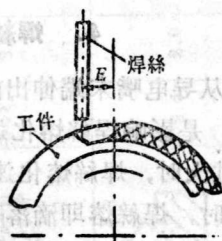


图5 焊丝与工件中心线的偏移距离

焊件的倾斜度对焊缝形式尺寸的影响，如图6所示。在下坡焊时，液体金属因重力作用，而流向电弧的前方。若焊件的倾斜度

越大，则在电弧前方的液体金属层越厚，阻止了电弧潜入基体金属，因而焊缝的深度减小，而焊缝的宽度则增加。从图 6 可以看出：当倾斜角等于 $6^{\circ}\sim 8^{\circ}$ 进行下坡焊接时，会使熔透深度减小。若倾斜角继续增加，则将会产生焊缝边缘未焊透的现象。当倾斜角增加到 $14^{\circ}\sim 16^{\circ}$ 时，由于电弧不能很好地熔化基体金属，而焊丝仍继续熔化，因此液体金属与基体金属不能熔合，造成严重的未焊透现象。所以，在下坡焊接时，较适宜的倾斜角为 $6^{\circ}\sim 8^{\circ}$ 。

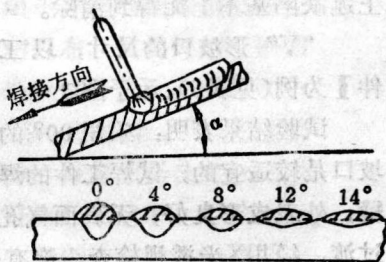


图 6 焊件的倾斜度对焊缝形成尺寸的影响

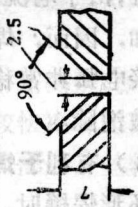
进行试验的环形焊缝，近似于此类形式，偏距的大小，是按工件直径的大小，由表 5 所列的“E”值进行选择的。

4. 焊丝的外伸量“h”

焊丝从导电嘴末端伸出的量，称焊丝的外伸量“h”。焊丝的外伸量“h”，是影响焊丝熔化速度和焊缝成形的重要因素之一。当“h”值过大时，焊丝熔化速度就会加快，在基体金属尚未被加热到足够时，焊丝熔即滴落下来，这样，将易造成未焊透及焊缝成形不良；反之，若外伸量过小时，恰好与上述情况相反，但同样会造成焊缝成形不良等缺陷。

外伸量“h”的大小，与电流强度及焊丝直径有着密切的关系。当保持电流强度不变时，若焊丝直径减小，则“h”值也就相应地减小。试验结果表明：当用 $\phi 2.0$ 和 $\phi 1.6$ 毫米的焊丝、且其电流密度在 $60\sim 75$ 安培/公厘²之间时，则外伸量为 $15\sim 20$ 毫米较宜，可以得到较理想的焊缝熔深和外观。

表5 零件焊接时的规范

工件 序号	工件 直径 (毫米)	坡 口 形 式	間隙 (毫米)	焊絲 直径 (毫米)	焊接速度 (米/小时)	焊絲 偏距 (E) (毫米)	焊 外 伸 量 (h) (毫米)	电 流 (安)		电 压 (伏)		备 注
								第一层	第二层	第一层	第二层	
I	160		0~1.5	1.6	24.7	15	15~21	18~20	180~200	—	25~30	—
II	140		2~2.5	2.0	18.7	15	15~18	15~18	180~200	180	25~30	25~30
III	300		2.5	2.0	28.0	—	—	—	190~210	280~280	31~33	33~33

用不加填
料自动氩弧
焊焊接底层

5. 焊絲直徑对焊接过程及質量的影响

試驗初期，在进行模拟样件试焊时，曾采用大电流、高焊速的规范。其结果是，造成了熔融金属和熔渣的严重流溢，产生了夹渣和焊缝成形不良等缺陷；当改用大电流、小焊速时，则又易于造成烧穿工件；而用小电流，又使之不易焊透。

为防止制件烧穿，曾采取了一些措施。例如将永久性垫板加宽、加厚，采用小的焊接规范——即小的焊接速度，借此来防止焊漏和烧穿，但这却导致了引弧困难和焊接过程的不稳定；同时，出现了短路和灭弧等现象，又使未焊透的可能性增加了。

为了稳定焊接过程，解决未焊透现象，从改变焊絲直徑着手，采用了 $\phi 1.6$ 毫米的小直徑焊絲。由于采用了细焊絲焊接，提高了电流密度，得到了用粗焊絲焊接时所不易得到的效果：

(1) 增加了被焊工件的熔深 试验证明：用细焊絲焊接时，要达到和粗焊絲相等熔深的焊缝，所选用的电流强度可比粗焊絲小得多。由于电流强度的减小，有效地防止了工件的烧穿，而且能获得一定熔深的焊缝。例如在试工零件 I 时，原来用的是 $\phi 2.0$ 毫米的焊絲，焊后经 X 光透视，发现未焊透。而当改用了 $\phi 1.6$ 毫米的焊絲时，焊后经 X 光透视检查，沒有未焊透现象。

(2) 加速了焊絲金属在焊接过程中热放射作用 当用细焊絲焊接时，由于电流密度增大，所以焊絲在单位截面上所放出的热量也增加，因而，焊絲金属的热电放射作用也就显得更强烈，因而使焊接电弧非常稳定，引弧也很容易，焊接过程中的短路现象，也完全被消除。

(3) 有利于焊剂和液态金属间的反应趋向于完善 在焊接小直徑环形焊缝时，由于熔融金属处于水平位置的时间极为短暂，所以希望熔池的体积小，熔融金属凝固快。否则，当焊缝金属转到倾斜位置时，会由于来不及冷凝，而产生液态金属的流溢。这就要求采用小的焊接规范来焊接。但是，熔池冷却愈快，焊剂与液态金属间的反应就愈不易完全，从而促使其它焊接缺陷：如

气孔、氧化物、夹渣等的产生。特别在采用小规范时，更容易出现上述现象。在采用细焊丝焊接时，虽然电流绝对值未变，但由于电流密度的增加，而导致了热反应增强，从而使焊剂和液态金属间的反应趋向于更加完善，克服了由于小规范而带来的焊接缺陷。

综上所述：采用细焊丝、小规范来焊接小直径薄壁零件的环形焊缝，要优于采用粗焊丝焊接所得到的焊缝。

四、工件焊后的各种试验结果

经过较长一段时间的批生产后，其结果证明：工件焊后的质量完全符合产品的技术条件要求。现将试验结果列于表 6。

焊缝及基体金属的金相检查结果如下(以工件Ⅱ为例)：

(1) 焊接接头在焊后經高温回火处理 通过这种情况的研究，可以观察到焊接加热过程对基体金属以及焊缝金属的影响。其大致情况如图 7 所示，并对各区域的情况，作如下分析：



图 7 焊后经高温回火处理后的焊接接头的热影响区的分布

第 1 区——自动电弧焊的最后一层，保持着金属由熔融状态冷却后的树枝状结晶，相当于铸造组织；

第 2 区——自动电弧焊的第 1 和第 2 层，是典型的魏氏组织，它是由于过热以后（接近于熔化温度）较快冷却所形成的；

第 3 区——是自动氩弧焊熔合的基体金属部分，其特点与第 2 区相同；

第 4 区——是基体金属的过热区，在焊接过程中，有部分熔化，但尚未全部熔化，系魏氏组织，但较第 2 区为细；

第 5 区——是基体金属的轻微亚热区，熔焊过程中，此区域达 A_{c1} 以上；

表6 焊接试验结果

序 号	试 验 项 目	机 械 性 能		气 密 性 (公斤/厘米 ²)	液 压 强 度 (公斤/厘米 ²)	爆 破 (公斤/厘米 ²)
		拉伸(公斤/厘米 ²)	弯 曲 (度)			
工 件 Ⅱ	技 术 要 求	120 ±10 -15	≤40	±5 350 (5 分钟)	±5 525 (5 分钟)	>730
工 件 Ⅱ		90±10	≥90	150 (3 分钟)	225 (2 分钟)	>420
工 件 Ⅰ		90±10	≥90	130 (3 分钟)	200 (2 分钟)	>400
工 件 Ⅲ	试 验 结 果	116.9~123.9	60—70, 无裂纹	符合技术要求	符合技术要求	>795
工 件 Ⅱ		90.0~100	>90, 未裂	符合技术要求	符合技术要求	>430
工 件 Ⅰ		85.3~91.6	>90, 未裂	符合技术要求	符合技术要求	>600

第6区——是基体金属未受热影响的区域。

(2) 焊接接头在焊后进行高温回火、正火，然后淬火并回火。这种热处理状态，即为产品的热处理状态，如图8所示。各区均为正常的淬火后组织。区域1、2较为粗糙些，尤其是区域1，同时，晶粒和晶界也较为明显。

(3) 低倍检查 焊缝低倍检查认为：焊接结合良好，没有发现任何焊接缺陷。

根据以上检查结果，焊缝的金相组织完全正常。



图8 焊后经高温回火、正火然后淬火并回火处理后的焊接接头的热影响区的分布

五、结 束 语

通过试验及生产实践，提出以下几点，供使用时参考：

1. 采用焊剂层下自动电弧焊，来焊接小直径的薄壁零件，只要规范选择得正确，是完全可以得到较理想的焊缝的；
2. 薄壁小直径零件，采用小规范的焊剂层下自动焊，不但能获得优良的焊接质量，而且对提高生产率、降低产品成本、改善焊工的劳动条件有着重大的意义；
3. 对如何改进焊剂的化学成份，使焊剂的粘度有所提高，以适合更小直径的环形焊缝焊接，还是一个比较关键的问题，有待于今后更进一步地进行探索。