

一九五六年全國鐵道科學工作會議

論文報告叢刊

(45)

**機車車輛輪箍輪緣
電銲試驗報告**

人民鐵道出版社

前 言

1956年全国铁道科学工作会议征集了技术报告、总结、论文三百余篇。它的内容，包括铁路业务的各个方面，基本上显示着全体铁路技术人员和有关高等学校教师们几年来在科学技术方面辛勤劳动的成果。对现场实际工作有参考价值，对铁路新技术的采用和发展方向，有启示作用。为此，刊印丛刊，广泛流传，保存这一阶段内的科技文献，以推动科学研究的进一步开展。

会议以后，我们对全部文件进行一次整编工作，然后组织部内设计总局、工程总局、工厂管理局、人民铁道出版社、车务、商务、机务、车辆、工务、电务各局、铁道科学研究院、北京和唐山铁道学院、同济大学、大桥、定型、电务等设计事务所的有关专业同志对每篇内容仔细斟酌，不选其中对目前铁路业务有广泛交流意义，或是介绍铁路新技术方向和系统的经验总结，将性质相近的文件合订一册，单独发行。为了节省篇幅，凡是其内容已在其他刊物或以其他方式刊印过的文件，除特殊必要外，一般都不再转载。出版顺序根据编辑和定稿的先后，排定丛刊号码，交付印刷，並無主次之分。

苏联铁道科学代表团在会议期间曾经做过九次学术报告，我们将文字整理，编入了丛刊。

文件中的论点，只代表作者意见，引用或采用时，还应由采用人根据具体情况选择判断。

丛刊方式还是一种尝试，我们缺少经验，希望读者提供意见，逐步地改进。

铁道部技术局

1957年2月

機車車輛輪箍輪緣電鋸試驗報告

郭希烈 張景弼

I. 引言

II. 試驗所用方法和材料

III. 試驗結果和分析

一、電鋸輪緣時各種因素對於輪箍變形的影響

二、各種因素和輪箍熱影響區材質硬化變質的關係

三、各種因素對於鋸波裂紋和熱影響區裂紋的影響

四、輪箍材質和其晶粒大小與在低溫、常溫的沖擊韌性的關係

IV. 試驗結果的討論

V. 結語和建議

I. 引言

機車車輛的輪箍在運行中，大都產生偏磨耗現象，就是輪箍輪緣較踏面部分磨耗的為多。這種偏磨耗部分，如果採用電鋸堆補，則比完全旋削加工修復的方法可以節省許多輪箍鋼，而使輪箍使用壽命提高到2.3倍左右。因此，電鋸維修輪箍是一種經濟合理的方法。但是，目前各現場電鋸輪緣的質量還達不到要求，存在着嚴重的問題，因而時常發生崩箍的事故。例如1954年，僅據不完全的統計，就發生了崩箍事故100起，其中大部分是由於電鋸輪緣而引起的。這種現象的產生，一方面威脅着行車的安全，一方面則將導致不實行電鋸而代之以完全旋削的方法。這兩種情況，都要使國家遭受到一定程度的損失。

鐵道科學研究院金屬研究組為了解決這個問題，曾進行了一些試驗研究。主要是從以下三個問題着手：即

1. 輪箍因電鋸輪緣所產生的變形問題；

2. 輪箍熱影響區材質的硬化變質問題；

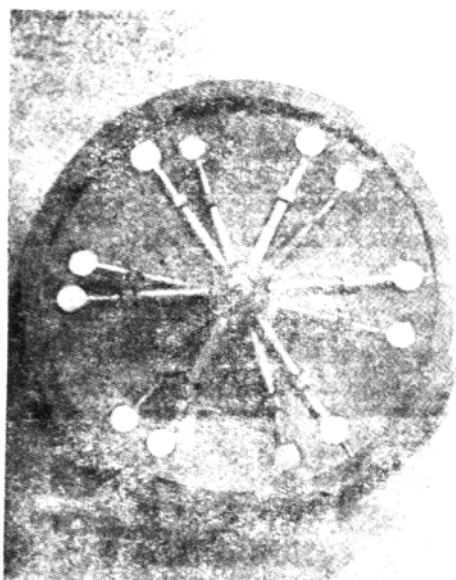
3. 鋸波金屬和熱影響區的裂紋問題，

其目的是試圖查明影響這些問題的因素和其規律性，以及現場一般所採用的大電流的一次堆鋸法的危險性，從而進一步提高輪箍輪緣電鋸的質量，以達到減少崩箍的目的。

此外，並進行了輪箍材質和晶粒大小與在低溫、常溫中沖擊韌性關係的試驗。

II. 試驗所用方法和材料

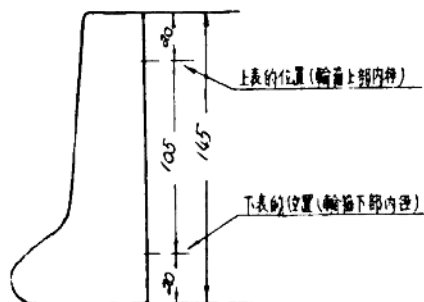
1. 輪箍內徑變形的測定方法。我們採用了如圖一所示的裝置，將12個 $\frac{1}{100}$ 公厘的千分表分成上下二層，裝在各距離輪箍上下端部20公厘處相對稱的六個位置上，作為測定變形量的標準（圖二）。自試鋸開始至整個輪箍鋸後冷卻到室溫為止，都記錄出12個千分表變動的情況。在試鋸過程中，每鋸完長300公厘的4條（一次堆鋸為300公厘的一段）



圖一 測定輪箍內部變形的位置

后記錄一次；試焊終了冷却時則每隔30分鐘記錄一次。

2. 所用輪箍和鋸條。 除去個別輪箍（例如試驗輪箍厚度對於變形影響的厚輪箍）外，均為日本住友公司製造的使用過限或有部分缺陷但不妨礙試驗的客貨車輪箍，其化學成分和機械性能如表一所列。



圖二 上下二層下分長放的位置

輪箍的化學成分和機械性能

表一

碳 (%)	矽 (%)	錳 (%)	磷 (%)	硫 (%)	拉力(公斤/公厘 ²)	伸率(50公厘) (%)	斷面 收縮率 (%)	硬度 (R _c)
0.63	0.28	0.84	0.03	0.03	83.6	11.7	12.9	約15

各種堆焊方法的解釋 (參看圖三)

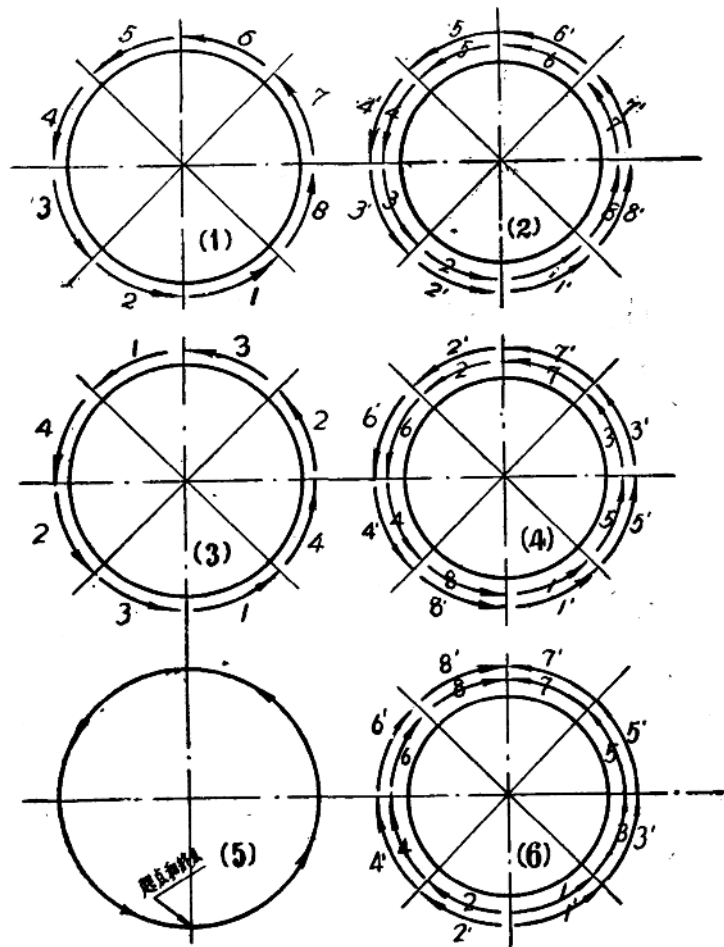
表二

圖中號數	名 稱	解 釋
(1)	分 逆 向 分 段 法	把一個輪箍分成約300公厘長的八段，在每一段內逐條堆完，再進行隣接的上一段，如此一直按圖中箭頭所指方向和號數順序，將輪緣堆完。
(2)	逐 逆 向 分 段 法	把一個輪箍分成約300公厘長的八段，按照圖中箭頭所指方向和號數1、2、3、4、……的順序堆完一周後，再按1'、2'、3'、4'、……的順序堆第二周，如此逐條逐周地把整個輪緣堆完為止。
(3)	二 人 逐 條 均 衡 分 段 堆 法	把一個輪箍分成約300公厘長的八段，隨後兩個人按圖中箭頭所示方向和號數順序比照逐條均衡分段堆法進行堆焊。
(4)	逐 均 衡 分 段 堆 法	把一個輪箍分成約300公厘長的八段，按照圖內各段所列號數順序1、2、3、……8堆完一周後，再按1'、2'、3'、……8'的順序堆第二周，如此逐條逐周地把整個輪緣堆完為止。
(5)	一 次 連 續 堆 法	堆焊輪緣時，按照圖中箭頭方向一次堆完，不分段，不分條。
(6)	逐 條 分 段 堆 法	把一個輪箍分成約300公厘長的八段，按照圖中箭頭所指的方向和號數1、2、3、4、……的順序堆完一周後，再按1'、2'、3'、4'、……的順序堆第二周，如此逐條逐周地把整個輪緣堆完為止。

在試驗輪箍變形時，文內未註出輪箍尺寸的，均以其內徑711公厘、厚度37公厘作為標準。作硬化變質和裂紋試驗時，均先將輪緣部分用砂布打磨，經磁性探傷器檢查，若沒有裂紋和擦傷，才進行試焊。

所用焊條，除去輪箍變形試驗有很少部分使用了「臨一」4公厘直徑焊條外，文內未註明者，均為蘇聯 МЭЗ-04牌號4公厘直徑的焊條。

3. 各種堆焊方法，如圖三所示。表二是對各種方法的解釋。



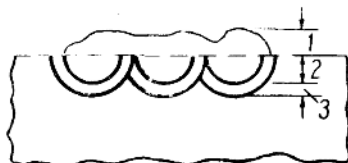
圖三 各種堆焊方法

4. 裂紋的檢查。 焊波裂紋是將焊波表面打磨平整後，利用交流磁性探傷器檢查記錄裂紋的大小，再根據檢查面積換算成單位面積裂紋，以公厘/10公分²表示；並在橫、縱斷面上檢查熱影響區部分有無裂紋。

5. 硬度的檢查。 利用洛氏硬度計在熱影響區部分測定，找出最高硬度。

6. 試焊是在室溫中進行和冷卻的。

7. 穿度和熱影響區深度的檢查。 利用金相



圖四 1—焊波；2—穿度；3—熱影響區

檢查磨蝕後的樣品，以卡尺測量穿度及熱影響區的深度，如圖四所示。

Ⅲ. 試驗結果和分析

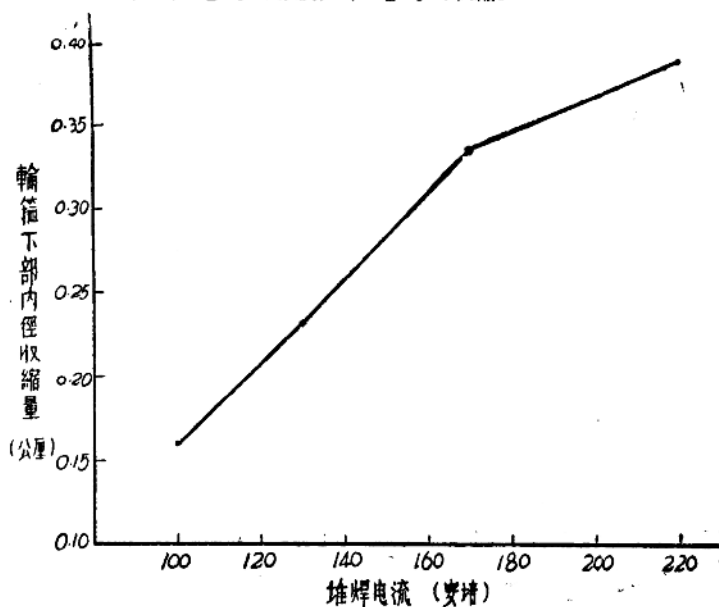
一、電焊輪緣時各種因素對於輪箍變形的影響

輪箍鑲嵌在輪心上，都要有一定程度的鑲入量，以便使輪箍牢固地鑲在輪心上。如果輪箍因輪緣電焊產生了大的變形——收縮，也就等於大大地增加了輪箍的鑲入量而使鑲嵌應力提高。因此，輪箍因電焊所產生的變形大小和能否使變形減輕，是一個相當重要的問題。

表三

堆 焊 方 法	輪箍焊後冷卻終了時，上下內徑各平均最大變形量（公厘）			以下部內徑變形量作基準鑲入量的變動
	上部內徑	下部內徑	上下相差	
分條逆向分段焊法	+0.061	-0.317	0.378	44.6×10^{-5}
逐條逆向分段焊法	+0.055	-0.272	0.327	38.3×10^{-5}
二人逐條均衡分段焊法	+0.163	-0.184	0.347	26.0×10^{-5}
逐條均衡分段焊法	+0.104	-0.160	0.264	22.5×10^{-5}
一次連續焊法	+0.060	-0.413	0.473	58.0×10^{-5}
逐條對稱分段焊法	-0.010	-0.166	0.156	23.4×10^{-5}

附註：（1）各種堆焊方法的堆焊速度約為1.5公厘/秒左右；一次堆焊約為9.5公厘/秒；
 （2）所用電流除去一次堆焊為170安培外，其餘均為100安培；
 （3）表內所列「+」號為膨脹；「-」號為收縮。



圖五 電流大小和輪箍下部內徑變形量（收縮）的關係

（所用堆焊速度為1.5公厘/秒左右；堆焊方法為逐條均衡分段焊法；170安培電流以下為4公厘直徑的鐸條；以上為5公厘直徑的鐸條。）

1. 各种堆焊方法對於變形的影响。 各种焊法對於輪箍內徑平均最大變形量的影响如表三所列。

由表三可以看出，大电流一次連續焊法（一次堆焊）的下部內徑收縮量和上下相差为最大；以逐条均衡分段焊法、逐条对称分段焊法为最小。实际上过去現場大都採用大电流的一次堆焊，这就恰恰使輪箍產生了相当大的变形。

2. 电流大小對於輪箍變形的影响。 試驗結果如圖五所示。

圖五指出，堆焊輪箍輪緣时，如果速度一定，則电流增大时，輪箍內徑收縮量也大。因輪箍所產生的变形是与堆焊时所加热量的多寡和温度分佈是否均匀有关，所加热量多寡的調整，除去适当地控制堆焊速度之外，則直接受着电流大小的影响。

3. 焊波金屬量對於輪箍變形的影响。 我們曾以四种不同焊条量進行試驗，所得結果如表四。

表四

焊条 用量 (公斤)	輪箍焊后冷却終了时，上下內徑 各平均最大變形量（公厘）			以下部內徑變形量作基準鑲入量的变动
	上部內徑	下部內徑	上下相差	
1.9	+0.024	-0.113	0.137	16.0×10^{-5}
2.6	+0.053	-0.136	0.189	19.2×10^{-5}
3.3	+0.100	-0.152	0.252	21.5×10^{-5}
4.3	+0.074	-0.173	0.247	24.3×10^{-5}

附註：（1）所用堆焊方法为逐条均衡分段；（2）电流为 100 安培；（3）堆焊速度約为 1.5 公厘/秒；（4）焊条直徑 4 公厘。

表四說明輪箍輪緣堆焊，如果所用焊条量越多，也就是焊波金屬量越多，則輪箍变形程度也越大。

4. 輪箍厚度對於變形的关系。 为了找出不同輪箍厚度所產生不同变形的数据，曾利用逐条均衡分段焊法（电流为 100 安培、堆焊速度約为 1.5 公厘/秒）進行了試驗，其結果如表五所列。

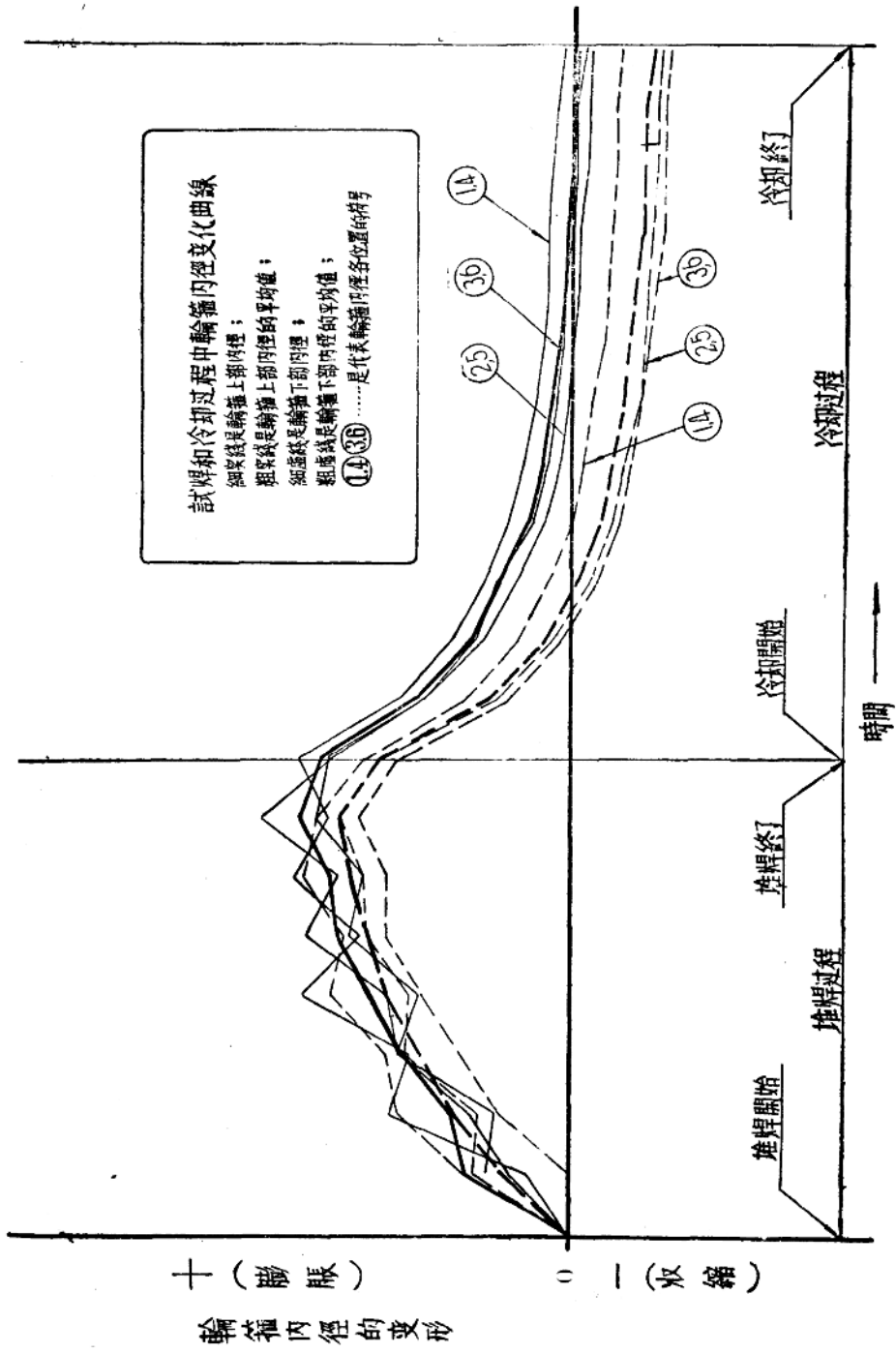
不同厚度輪箍所產生的變形量

表五

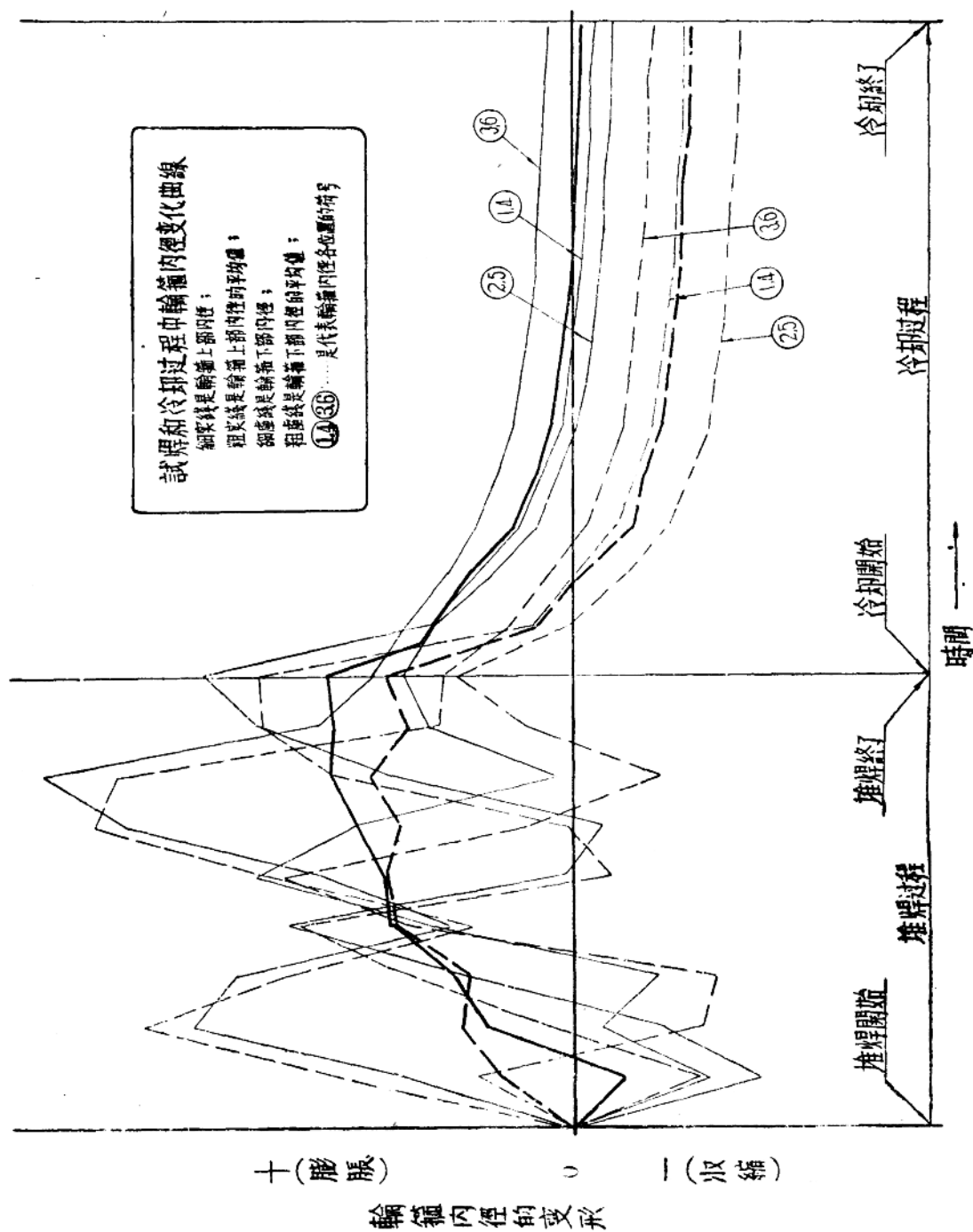
輪箍厚度 (公厘)	輪箍焊后冷却終了时上下內徑各 平均最大變形量（公厘）			以下部內徑變形量作基準鑲入量的变动
	上部內徑	下部內徑	上下相差	
37	+0.104	-0.160	0.264	22.5×10^{-5}
54	+0.048	-0.129	0.177	18.2×10^{-5}
77	+0.051	-0.032	0.083	4.5×10^{-5}

表五指出，輪箍厚度增大时，所發生的收縮量就随之減少，例如 77 公厘厚的輪箍，如果鑲在輪心上堆焊时，則僅增加 $\frac{0.045}{1000}$ 的鑲入量。

5. 堆焊和冷却过程中的輪箍变形曲線。 在輪箍輪緣堆焊和焊后冷却过程中，輪箍內徑的变形曲線随着堆焊方法的不同也有差異，大致可以分成两种类型：



圖六 均勻變化的曲線——逐條均衡分段鑄法輪箱內徑變形曲線圖



圖七 不均勻變化的曲線——一次堆焊鋼法輪箍內徑變形曲線圖

(1) 均匀变化的曲线型式。这种曲线型式的特点，就是在堆焊过程中，整个轮箍的变形，表现为缓和的上升和下降——轮箍膨胀和收缩，——直径和直径之间变形的差别不大，如图六所示。这说明整个轮箍在轮缘堆焊时的加热是比较均匀的。前面所述的逐条均衡分段焊法和逐条对称分段焊法就属于这一类。

(2) 不均匀变化的曲线型式。这种曲线型式，是在堆焊过程中各条曲线的变化相当不一致，升降的变化很大，也就是各个轮箍内径的变形不是缓和的，而是突然的。还有和第一种型式不同之点，就是在堆焊过程中有的部分呈现收缩的变形。显然，这种加热是不均匀的。一次连续焊法（一次堆焊）就构成这种曲线，如图七所示。

二、各种因素和轮箍热影响区材质硬化变质的关系

从检查分析崩箍的样品和实际现场电焊轮缘情况看来，轮箍热影响区都存在着一定的缺点，有的是晶粒特别粗大，有的是轮箍根部相当硬，甚至不能加工，其热影响区和穿度一般是太大，这就使轮箍材质因电焊而受到了过多的损伤，对整个轮箍来讲是相当不利的。

电焊轮箍是一种高碳钢的堆焊，它所要求的是轮箍材质在电焊热影响的最小限度下，堆焊上一层耐磨金属。因之，在目的和施焊条件上，都和低碳钢焊接有所不同。

从高碳钢的性质上来说，当其热到变态温度以上的范围时，可以依冷却速度的不同而生成各种变态组织，因为加热时间的长短和温度的高低，可以改变其晶粒的大小等。这种冷却速度和加热时间的长短等，可以因电焊条件不同而有所差别。我们所进行的试验就是企图改变电焊条件来控制调节热影响区的组织和晶粒、穿度、热影响区的大小。

表六

电 流 (安培)	速 度 (公厘/秒)	热影响区最高硬度 (R_c)	热影响区和穿度的深度 (公厘)
90	0.4	37.5	6
90	1.0	41.0	5.0
90	2.6	50.0	3.1
90	3.6	58.0	2.2
110	0.4	41.0	6.8
110	1.0	43.0	6.0
110	2.1	54.5	4.7
130	0.6	34.0	12.1
130	1.1	40.5	4.9
130	2.0	45.3	4.7
130	3.1	57.5	4.5
150	1.0	40.3	8.4
150	1.5	43.0	5.9
150	2.0	44.5	5.8
150	3.0	55.0	5.5
170	0.5	38.0	14.1
170	2.1	42.5	6.2
170	3.0	49.0	6.0

热影响区因堆焊电流和速度的不同所产生的差别 (堆焊方法为三条并列)

1. 堆焊速度对于轮箍材质硬化变质的影响。 在我们所试各种堆焊速度的范围内, 如果堆焊速度快, 则硬化程度加大, 即热影响区中的硬度高, 反之就低, 如表六所列。

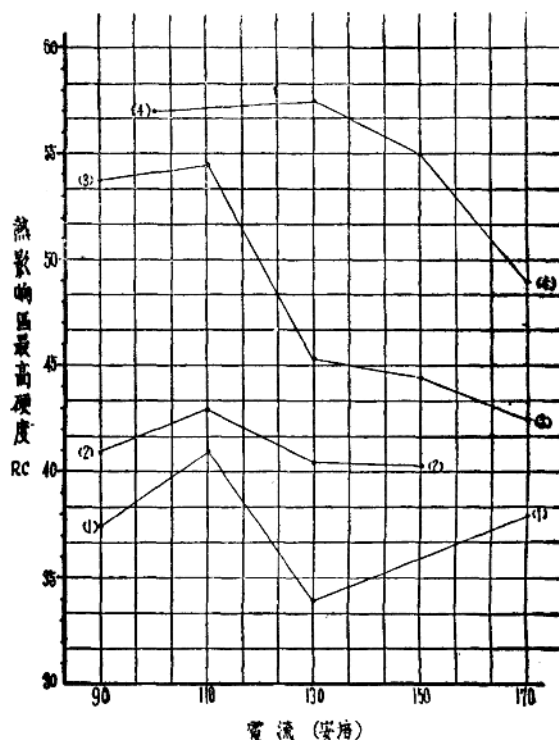
2. 堆焊电流对于轮箍材质硬化变质的影响。 如图八所示, 在小电流时, 慢速度和快速度的硬化差别较大; 当大电流时, 因热量较多, 则快速度和慢速度对于热影响区的硬化差别较小。

3. 堆焊电流和速度对于热影响区及穿度深浅的影响。 速度越慢, 电流越大, 则热影响区和穿度也越大, 反之则越窄, 如表六。

4. 堆焊电流和速度对于金属组织的影响。 以慢速度堆焊, 大电流主要生成索比体和珠光体, 小电流主要生成屈氏体和索比体; 以快速度堆焊, 则主要生成马金体和屈氏体, 不过马金体和屈氏体两者所估的比例, 大电流与小电流有着差别。一般来看, 快速度、小电流则得到较细的组织; 慢速度、大电流则容易引起晶粒长大的现象。根据我们检验的结果, 热影响区晶粒最大的为1~2级, 最小的为7~8级。

焊波组织一般为柱状组织, 夹有魏氏组织。若以慢速度施焊, 虽然也略有些铸造组织, 但魏氏组织特别严重。快速度一般产生较细的柱状组织, 魏氏组织不显著, 如加大电流, 则柱状组织、魏氏组织都变粗大。

以上这些试验结果, 说明高碳钢堆焊时, 热影响区材质硬化变质的程度和所应用的堆焊电流和速度有着极大的关系。

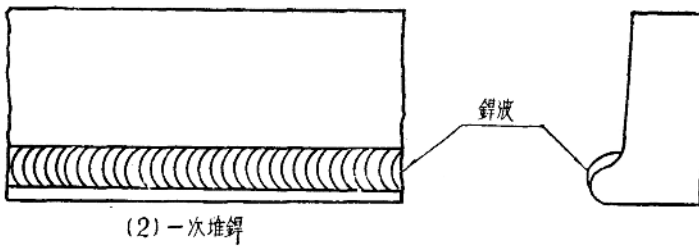
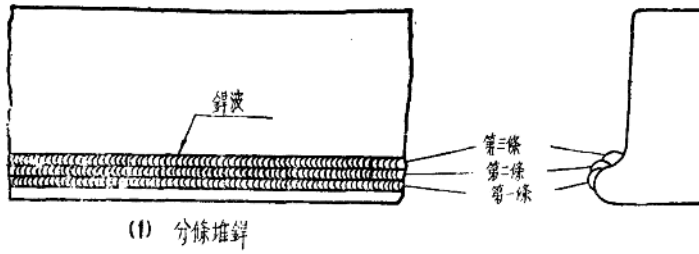


圖八 曲線 (1) 的速度約0.5公厘/秒;
(2) 的速度約1.0公厘/秒;
(3) 的速度約2.0公厘/秒;
(4) 的速度約3.0公厘/秒

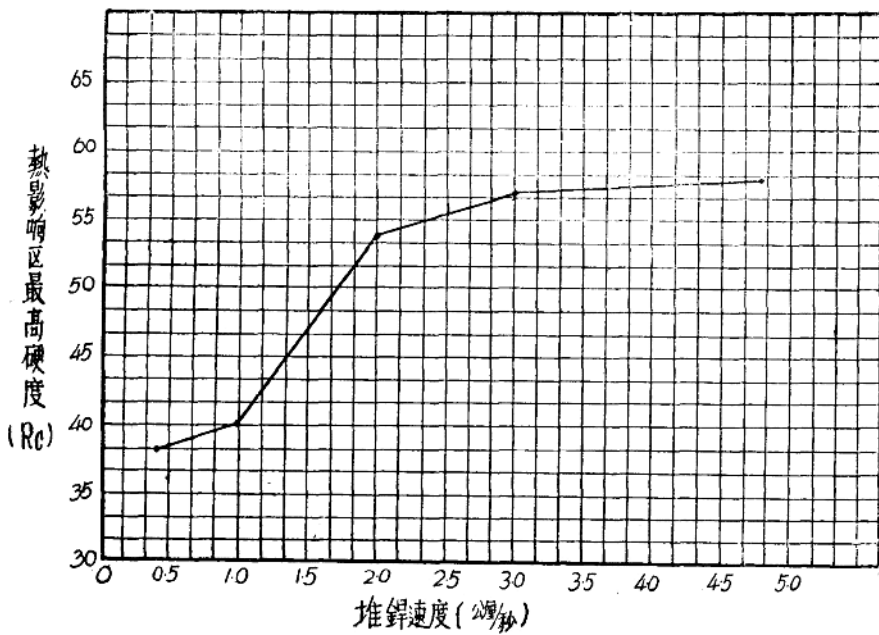
各种堆焊方法对于轮箍材质硬化变质的影响

1. 分条堆焊和一次堆焊方法的比较。 堆焊方法如图九所示。其试验结果如下:

i) 热影响区硬度。 在分条堆焊时, 如果电流一定, 则堆焊速度越快, 热影响区硬化程度越大, 亦即最高硬度越高, 如图十所示。至于一次堆焊, 在速度方面是没有显著之分, 换句话说也就是都要用慢速度才能一次焊成, 不过只是大电流比小电流时要快一些。表七所示为一次堆焊热影响区硬化的情况。由表中可以看到, 不论是大电流和小电流, 对于热影响区硬化程度都没有显著的区别, 约在 $R_c 31 \sim 36.5$ 的范围内。



圖九 分條堆鐸和一次堆鐸的情況



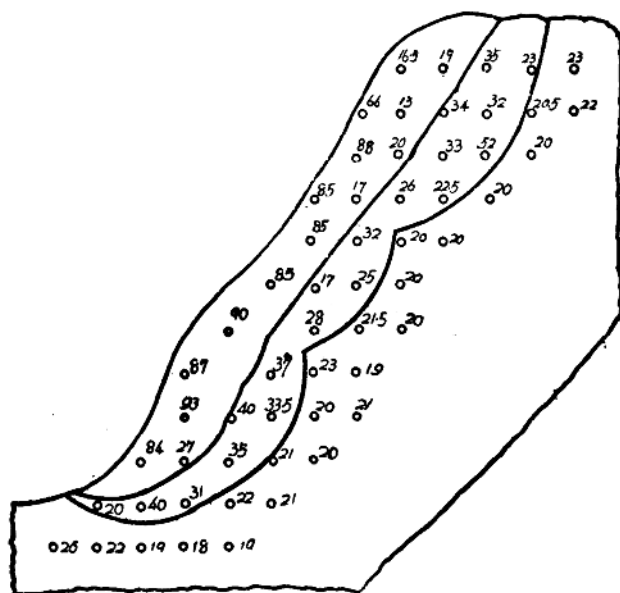
圖十 分條堆鐸時各種堆鐸速度對於熱影響區硬化的影響 (電流為100安培)

一次堆焊對於熱影響區硬化的影响

表七

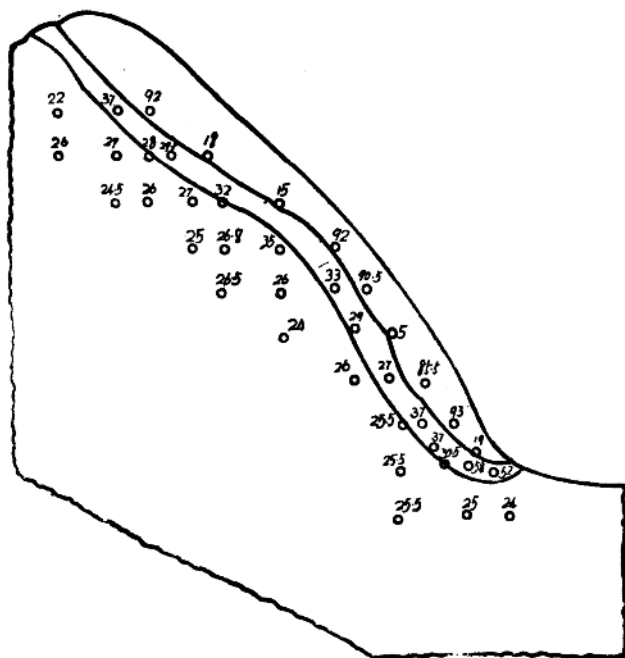
堆焊电流 (安培)	堆焊速度 (公厘/秒)	熱影響區最高硬度 (R_c)
90	0.23	32
100	0.41	31
110	0.21	32
120	0.39	36
130	0.59	36.5
150	0.51	33.5
170	0.53	34

圖十一、十二、十三是分條堆焊和一次堆焊熱影響區硬度分佈圖。由圖中可以看到，當分條堆焊時，不論是快速度和慢速度，在熱影響區中硬度最高的地方均為輪緣根部，當電流為 100 安培，堆焊速度為 4.8 公厘/秒時，輪緣根部最高硬度為 $R_c 58$ ；如果電流相同，堆焊速度為 1.1 公厘/秒，則輪緣根部最高硬度為 $R_c 40$ 。所以產生這種情況的原因，主要是由於分條堆焊時，最後一條焊波未能得到回火的机会。一次堆焊硬度分佈則大抵相差不多。



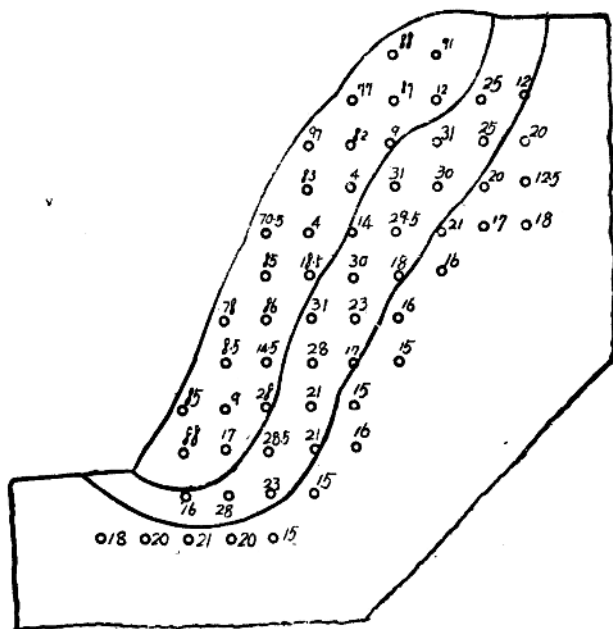
圖十一 分條堆焊熱影響區硬度分佈圖

〔電流為 100 安培；堆焊速度為 1.1 公厘/秒；熱影響區最高硬度為 $R_c 40$ (66 以上為 H_R) 〕



圖十二 分条堆鐸熱影響區硬度分佈圖

[電流為 100 安培；堆鐸速度為 4.8 公厘/秒；最高硬度為 R_{e58} (85.5 以上為 R_g)]



圖十三 一次堆鐸熱影響區硬度分佈圖

[電流為 100 安培；堆鐸速度為 0.3 公厘/秒；最高硬度為 R_{c31} (70 以上為 R_g)]

ii) 熱影響區的組織和晶粒。 分条堆鐸和一次堆鐸在熱影響區組織和晶粒大小上也

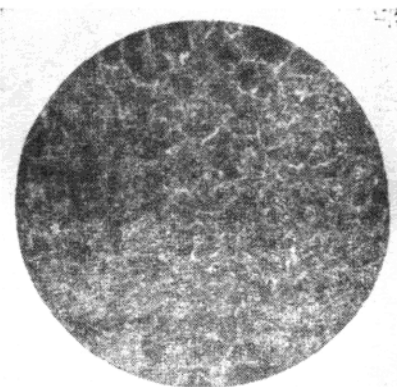
有着相当的差别。分条堆焊时，在最后焊波的下部多为索比体、屈氏体或马金体的组织，视堆焊速度而定；而一次堆焊时，一般则为细珠光体。

热影响区的晶粒，分条堆焊时一般为5~6级，如图十四所示；而一次堆焊则一般为1~3级（用大电流时较用小电流时晶粒为大）。图十五为100安培电流，图十六为170安培电流一次堆焊热影响区的晶粒。

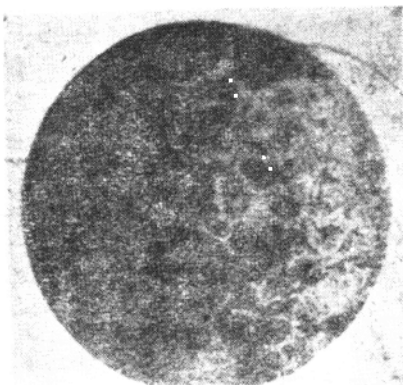
iii) 焊波组织。一次堆焊焊波的组织大部分是柱状组织和魏氏组织，只有少量的纯铁体和珠光体。分条堆焊的焊波内部，纯铁体和珠光体的数量比一次堆焊为多，而柱状组织和魏氏组织则比一次堆焊为少。

综合上述，一次堆焊和分条堆焊对于材质硬化变质的影响，在分条堆焊时除去轮缘根部的硬度随着堆焊速度的加大而升高外，其他各项，例如热影响区晶粒和焊波组织都是较一次堆焊优良。

2. 分条分层焊。从上面结果中，我们已了解到在分条堆焊时，热影响区硬度分布不均匀，而以轮缘根部硬度最高。如果利用分条分层焊，就可以避免这种现象。



图十四 分条堆焊时热影响区晶粒
(6级, x100; 电流为100安培;
堆焊速度1公厘/秒)



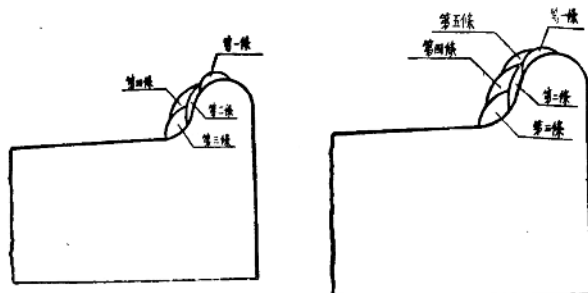
图十五 一次堆焊热影响区晶粒
(3级, x100)



图十六 一次堆焊热影响区晶粒
(1级, x100)

所谓分条分层焊（图十七），就是在堆焊轮缘时，于最后一条焊波上，加上一条焊波或于整个焊波上再加焊薄薄一层。换句话说，也就是实行分层。其试验结果如图十八所示。

由图十八的热影响区硬度分布图看来，比分条堆焊时最高硬度为低（参阅图十一）。分



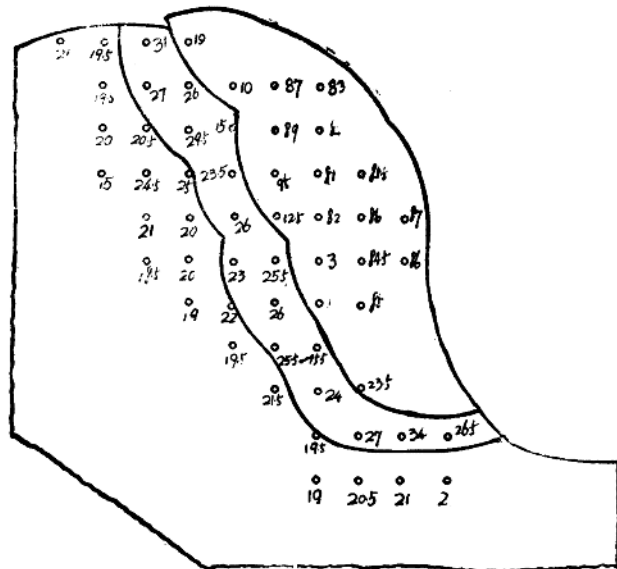
图十七 分条分层焊的焊法

条堆焊当电流为 100 安培，速度为 1.1 公厘/秒时，热影响区最高硬度为 $R_C 40$ ，但在同样电流和速度实行分条分層焊时，则 R_C 为 34。这是仅就最高硬度而言，至於整个热影响区的硬度，分条分層焊也比分条堆焊要低。圖十九就是两种焊法热影响区硬度的比較圖。

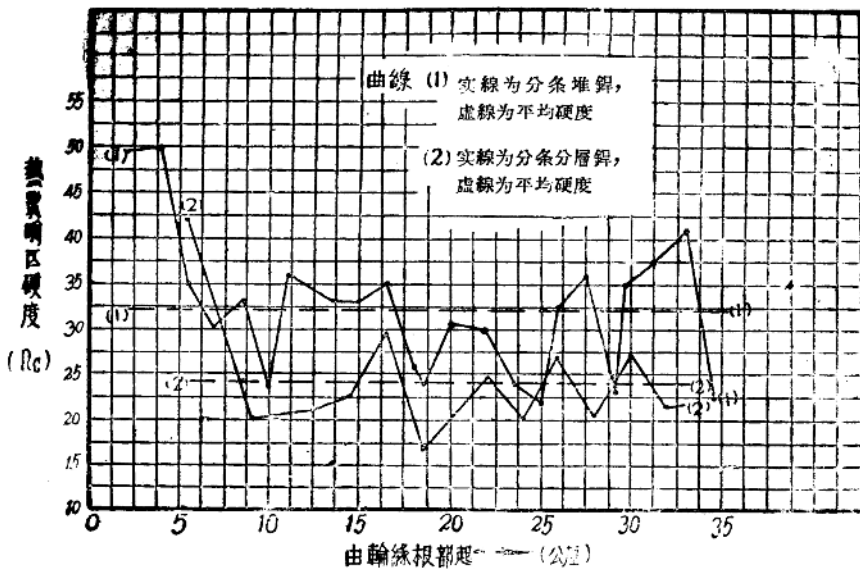
但应注意的是不論加一条或把整个焊波盖滿，第二層焊波都不应接触到基本金属，以防止新的硬点产生。

3. 各种焊法的比較。

圖二十所示是应用各种电流实行分条分層焊和分条堆焊热影响区最高硬度的比較圖，其中以分条分層焊时为低。

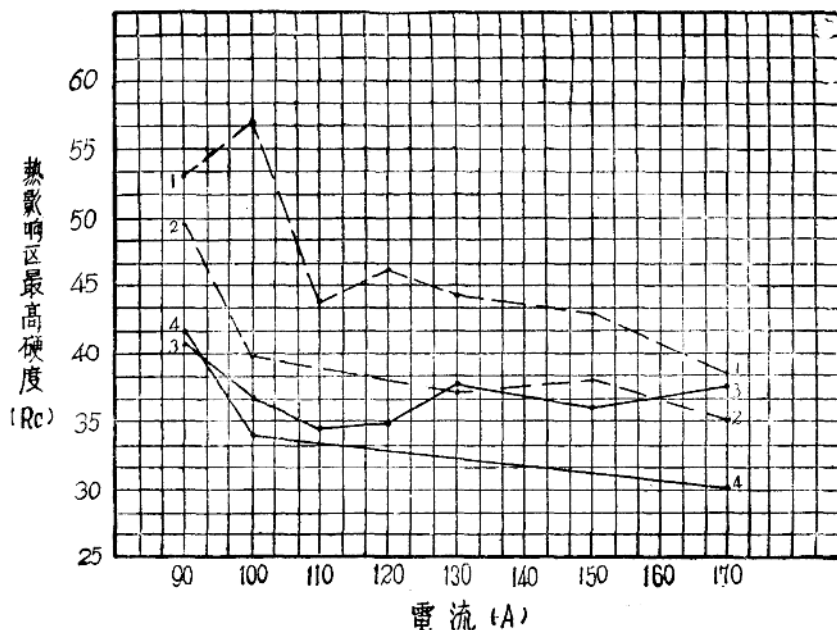


圖十八 分条分層焊热影响区硬度分佈圖
〔电流 100 安培；堆焊速度为 1.1 公厘/秒；
热影响区最高硬度为 $R_C 34$ (81 以上为 R_B)〕

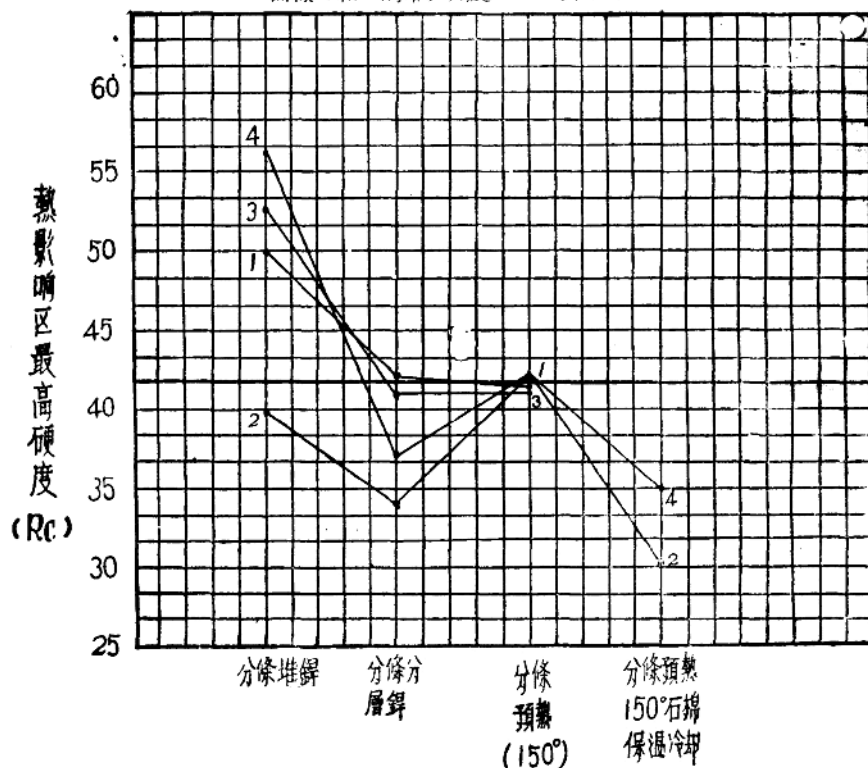


圖十九 分条分層焊和分条堆焊热影响区硬度比較圖
(堆焊电流 90 安培；堆焊速度 1.1 公厘/秒；分条分層焊热影响区平均硬度为 $R_C 21$ ，分条堆焊时为 $R_C 32$)

圖二十一 是四种焊法的比較，即分条堆焊法，分条分層焊法，分条予热 150°C 的焊法，分条予热 150°C 並於焊后用石綿埋起冷却焊法（以下简称分条予热保温）。由圖中可以看出，热影响区的最高硬度以分条堆焊法为最高，分条予热保温最低，而分条予热 150°C 則几乎



圖二-1 各種電流分條分層鐸和分條堆鐸熱影響區最高硬度比較圖
實線——分條分層鐸；虛線——分條堆鐸；曲線1和3的堆鐸速度約為2公厘/秒；
曲線2和4的堆鐸速度約為1公厘/秒



圖二-1-1 各種鐸法對於熱影響區中最高硬度的影響
曲線1——電流 90安培，速度約1.0公厘/秒；2——電流100安培，速度約1.0公厘/秒；
3——電流 90安培，速度約2.0公厘/秒；4——電流100安培，速度約2.0公厘/秒