

汽車曲軸的电振动堆焊法

[苏联]Н.И.陀倩科著 錢仲宁、徐增永譯

人 民 交 通 出 版 社

汽車曲軸的电振动堆焊法

[苏联] Н. И. 陀倩科著 錢仲宁、徐增永譯

人 民 交 通 出 版 社

本書內容包括探傷機的使用、電焊絲和堆焊規範的選擇，以及應用鋁雷的冷作硬化法，並闡述了提高用電振動堆焊修復格斯-51發動機曲軸疲勞強度的研究結果。
本書可供汽車修理企業的工程技術人員參考。

汽車曲軸的電振動堆焊法

Н. И. ДОЦЕНКО

ВОССТАНОВЛЕНИЕ КОЛЕНЧАТЫХ ВАЛОВ
АВТОМОБИЛЕЙ ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОЙ НАПЛАВКОЙ
АВТОТРАНСИЗДАТ

Москва 1962

本書根據蘇聯汽車運輸出版社1962年莫斯科俄文版本譯出

錢仲寧 徐增永 譯

人民交通出版社出版

(北京安定門外和平里)

北京市書刊出版業營業許可証出字第〇〇六號

新華書店北京發行所發行 全國新華書店經售

人民交通出版社印刷廠印刷

1965年1月北京第一版 1965年1月北京第一次印刷

開本：787×1092 $\frac{1}{16}$ 印張：1 $\frac{3}{4}$ 張

全書：37,000字 印數：1—9,000冊

統一書號：15044·4427

定價(科六)：0.24元

目 录

序 言.....	2
堆焊前曲軸的檢查.....	3
电焊絲和堆焊規範的选擇.....	11
堆焊規範及其对曲軸疲劳强度的影响.....	25
用冷作硬化法提高曲軸的疲劳强度.....	39
总结和建議.....	44
附 录.....	47

序 言

近年来，許多汽車修理厂开始用电振动自动堆焊修复汽車发动机的曲軸。用这种方法所花的費用一般不超过新曲軸价格的20~25%，因此修复这种零件是有利的。但是，在汽車的使用过程中还会发生曲軸断裂和軸瓦擦伤的情况。产生断裂和擦伤的原因通常是由于：堆焊前連杆軸頸有裂縫，被堆焊表面的准备工作做得不好，堆焊方法不正确和堆焊后零件的机械加工质量不好。

并非处处都对要修复的曲軸在探伤机上进行检查，因此部分曲軸在堆焊时是带着裂紋的，这些裂紋在使用过程中可能引起断裂。格斯-51发动机的曲軸断裂的較多，吉尔-120 发动机曲軸則較少。在使用中經常发现未經堆焊修复的和未磨損到允許极限尺寸的格斯-51 汽車 曲軸发生断裂，这就証明这些零件的强度不够。同时各个不同的汽車修理厂用电振动堆焊修复的格斯-51发动机曲軸断裂的数量在1.5到11%之間，这就說明这些工厂所采用的堆焊工艺过程是有缺陷的。

針對上述情况苏联汽車运输科学研究院(НИИАТ)在1960和1961年間进行了这方面的研究工作，制定了电振动自动堆焊修复曲軸的工艺，并提高了曲軸在各种使用条件下的工作能力。

参加該項工作的有：工程师 В.С. 依勃拉季 莫夫（焊絲、堆焊规范及其对曲軸疲劳强度的影响），Е.Ф. 連奇娜（曲軸疲劳强度試驗），Н.М. 庫尼娜及 В.Н. 戈勃拉塔爾斯卡婭（金相研究）及技術員 Ю.С. 鮑利索夫，Л.В. 莫亨，В.Т. 多皮阿斯等。該項工作系在技术科学碩士 Н.И. 陀倩科的领导下进行的。

堆焊前曲軸的檢查

待修的曲軸可能變形（彎曲）、有污垢和在連杆軸頸及主軸頸上有各種類型的裂紋。所有這些都會對已修復零件的堆焊質量及在各種使用條件下的工作性能有不良的影響。因此對所有待修的曲軸均應檢查其主軸頸的同軸度，清除污泥和銹蝕及經探傷機檢查裂紋，亦即應為堆焊曲軸進行專門的准备工作。

曲軸探傷和堆焊的準備

要堆焊的曲軸常常是成堆存放，這會引起曲軸變形，因此堆焊前應檢查其主軸頸的同軸度。當曲軸的偏擺大於0.20毫米時就應校正。必需校正曲軸的原因，在於變形的曲軸在堆焊和機械加工後所得的堆焊金屬由於層厚不一而機械性能不同。當無校正設備時變形的曲軸必須報廢。

連杆和主軸頸應用磨削加工來清潔。軸頸脏污會引起同基體金屬不良的熔合和在堆焊金屬內產生裂紋。裂紋的形成是由於熔融的金屬收縮，及在其變硬後產生很大的拉應力所致。

自然，未熔合的部分就是出現裂紋的中心，這種部分愈多，則所生裂紋愈多。裂紋通常位於堆焊焊縫（圓環焊縫）的橫向或軸頸的縱向位置。為了得到粗糙的表面應用粗粒砂輪清潔軸頸，這能促使堆焊的和基體的金屬獲得良好的結合能力和減少裂紋的形成。當磨削軸頸時不允許磨掉圓角，磨掉圓角常是曲軸損壞的原因。如軸頸清潔不好，則由於污物燃燒時形成氣體會使堆焊金屬有多孔性。堆焊金屬多孔性嚴重，常會引起曲軸軸瓦的加速磨損。

在磁力探伤机上检查曲軸

在制造时及以后的使用过程中許多曲軸的軸頸上产生裂紋，这些裂紋常会引起曲軸断裂。当然，軸頸上的裂紋会引起經电振动堆焊修复后的曲軸断裂。由于这个緣故，曲軸和其他零件一样，在堆焊前必需检查有无裂紋。在汽車修理厂中堆焊前曲軸并不检查，通常断裂的数量不超过 $8 \sim 11\%$ ；因此，显而易见并非所有具有裂紋的曲軸都应报废。探查裂紋一般是用磁力探伤机检查軸頸表面，而不破坏或损伤零件。为了在磁化了的零件上查明裂紋，采用鉄磁粉末在煤油中的悬浮液，粉末在其中呈悬浮状态。进入气隙磁場內的粉末顆粒被磁化并如被吸向磁极一样，被吸到裂紋的邊緣。聚集在裂紋上的粉末顆粒形成一条寬达裂紋100倍的黑綫。磁場愈强則所得缺陷的图形愈明晰。現在一般使用苏联

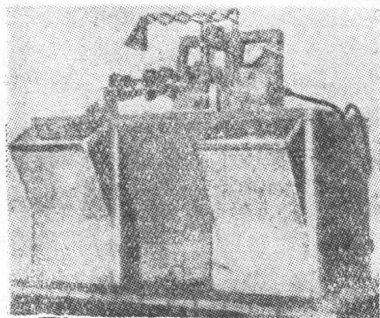


图1 МЭД-2型磁电探伤机

汽車运输科学研究院(НИИАТ)列宁格勒分院設計的 МЭД-2型磁电探伤机检查曲軸(图1)。这种探伤机能以直流电进行极向磁化和用交流电进行环形磁化。当检查曲軸时用环形磁化作用。

МЭД-2 型磁电探伤机的技术特性：

电源变压器功率(千瓦)	30
环形磁化时的最大电流(安)	4500
交流电源供电时电压(伏)	220/127
外形尺寸(毫米)	1650 × 800 × 1250

极向磁化时，探伤机能检查直径 80 毫米以下和长度 350 毫米以下的零件；环形磁化时，能检查直径 90 毫米以下和长度 900 毫米以下的零件。检查一根曲轴费时约 1.5 到 2 分钟。为了曲轴退磁，采用线圈（螺线管）室（图 2），其长度为 350 毫米，并具有直径为 210 毫米的通孔，供零件通过。线圈绕组系用断面为 3.8 毫米² 的 ПБД 导线。为了便利工作，线圈装在斜木桌上。带有木桌的线圈尺寸为：长 1200 毫米；宽 530 毫米和高 700 毫米。

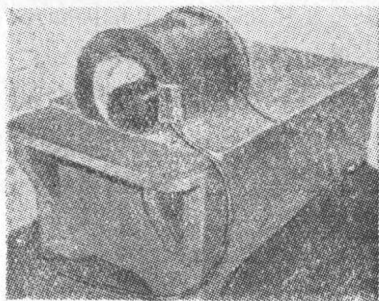


图 2 曲轴退磁室

1960~1961 年间曾在莫斯科第三汽车修理厂的 МЭД-2 型磁力探伤机上检查过格斯-51 发动机的许多曲轴。因为在主轴颈上的裂纹几乎很少发现，所以只对连杆轴颈进行了检查。

根据检查 1717 根曲轴后的资料整理结果，可以确定在 654 根（38.2% 的零件）曲轴上有疲劳裂纹。在各连杆轴颈上裂纹的分布示于表 1。

表 1

名 称	连 杆 轴 颈						曲轴总数
	第 1 轴颈	第 2 轴颈	第 3 轴颈	第 4 轴颈	第 5 轴颈	第 6 轴颈	
具有裂纹的轴颈数	114	362	83	83	303	118	654

由表 1 可以看出裂纹最多的为第 2、第 5 和第 6 连杆轴颈。图 3 所示出现在第 2、第 5 和第 6 连杆轴颈上最典型的裂纹分布图。连杆轴颈表面上裂纹，相对于曲轴中心线分布常有三种

基本类型：环形(图3а、б)；斜角形(图3в、г)和纵向(图3д~к)裂紋。纵向裂紋主要产生在軸頸的中央，也就是位于最厚的淬火金属层处，但也有单排和双排裂紋分布在淬火金属和未淬火金属的交界处(图3л~о)。具有环形和斜角形裂紋的曲軸为数不多，不超过1.6~1.8%。环形裂紋由于曲軸的弯曲而产生，而斜角形裂紋則由于扭轉而产生。环形和斜角形裂紋最为有害，因此有这种裂紋的曲軸不应堆焊。这种曲軸必須报废。

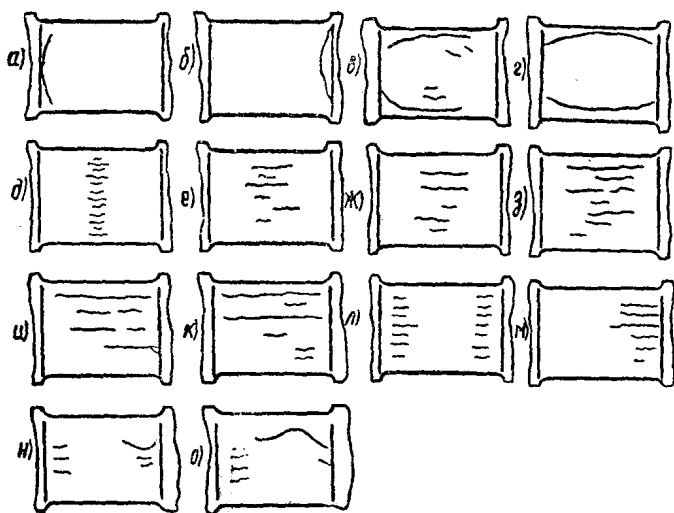


图3 格斯-51汽車曲軸連杆軸頸上裂紋的典型分布图

а、б-环形；в、г-斜角形；д、е、ж、з、и、к-纵向；

л、м、н、о-在淬硬层邊緣的纵向裂紋

由654根曲軸上查覺的裂紋98.2~98.4%为在連杆軸頸上长5~30毫米的纵向裂紋，在一个軸頸上的裂紋数为1~18条。

纵向裂紋在汽車的使用过程中会扩展。淬火的微細裂紋是扩展的起源。在磁力探伤机上曾查出新曲軸亦有长达5毫米的

微細裂紋。这种裂紋大多数位于潤滑油孔附近；这种裂紋在发动机使用过程中不会扩展，因而对曲軸的强度不發生任何影响。部分新曲軸在連杆軸頸上从曲拐內表面发生微細裂紋。这种微細裂紋在使用过程中会扩展并常常延伸到軸頸圓角处。图4所示为扩展到軸頸全长上的裂紋显微照片。这种裂紋深度大于3毫米。由图可見裂紋的发展通过晶粒，亦即是穿晶的，这可証明其为疲劳所生。这类裂紋通常分布在軸頸金属的淬硬部

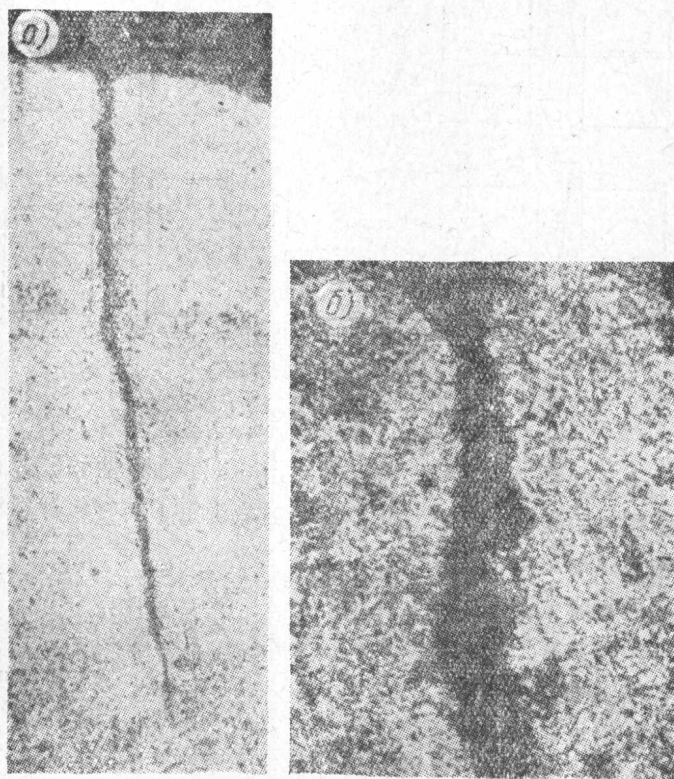


图4 疲劳裂紋的显微照片
a-放大100倍；b-放大500倍

分，当其延伸到軸頸的未淬硬部分时，其沿軸頸长度的发展大为減慢。裂紋的纵向发展是在曲軸自由扭轉振动的作用下发生的。在扭轉振动时曲軸周期性地向不同方向扭轉，几乎扭轉相同的角度，因此原有的或在使用中发生的微細裂紋不能在任一方向呈斜角形发展，而是沿軸心綫纵向发展。

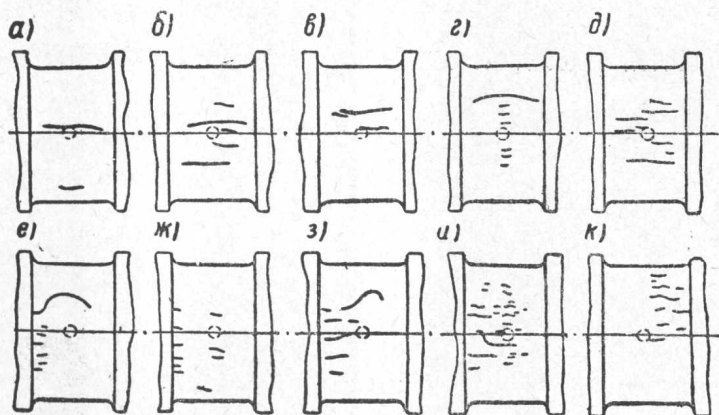


图5 曲軸連杆軸頸

a、б、в、г、д-帶有未发展至圓角处的裂紋；
e、ж、з、и、к-在軸頸圓角处有裂紋

为了判断裂紋的分布特性对格斯-51 发动机 曲軸疲劳强度的影响，曾进行了疲劳試驗，根据試驗确定了具有何种裂紋的曲軸堆焊前即应报废。

进行疲劳强度試驗的曲軸連杆軸頸共有三組：无裂紋；未伸展到軸頸圓角处、具有不同数量的纵向裂紋(图5a~д)；伸展到軸頸圓角处、具有不同数量的纵向裂紋(图5e~к)。

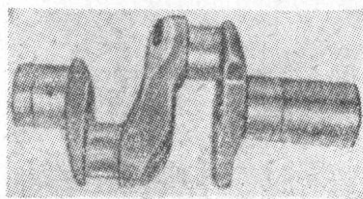


图6 疲劳强度試驗用的試件

为了作連杆軸頸疲劳試驗，由曲軸上切取的試件为第 5 和第 6 連杆軸頸及与之相联的第 3 和第 4 主軸頸（图 6）。在中央机器制造与工艺科学研究所（ЦНИИТМАШ）設計的 УП-50 型共振式疲劳試驗机（图 7）上进行疲劳試驗。該試驗机靠二个质量相等的摆作强迫周期振动，以实現在同一平面內对称循环的交变弯曲。用具有每分钟 500 到 3000 轉可变轉速的电动机带动的慣性振动器使摆摆动。用改变慣性振动器电动机的轉速的方法来产生共振，也就是使摆的振动頻率与試件的自由振动頻率相一致。振动器装在一个摆內。振动器由在軸上旋轉的不平衡质量組成，軸借挠性橡皮軸与电动机相联接。根据变形的数值（由应力-应变图确定）选择試驗所需的弯曲力矩。这时要預先对每一試件做靜力校驗。

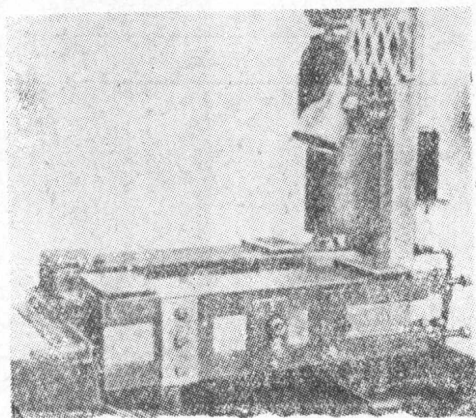


图 7 УП-50 型共振式疲劳試驗机

按下式确定試件的应力：

$$\sigma = \frac{M}{W}$$

式中：M——根据試件的弹性变形求得的弯曲力矩；
W——抗弯矩。

$$W = \frac{bh^2}{6}$$

式中： b ——曲拐寬度；

h ——曲拐厚度。

試驗基数取为一千万个循环，振动数为每分钟 600 到 1000 次。每組試驗用 5 个試件。

所有磨損曲軸的連杆軸頸直径均磨削到 49~49.1 毫米，圓角半径为 2.5 毫米。

无裂紋，具有不伸入圓角处的裂紋和具有伸入圓角处有裂紋的試件的試驗結果列于表 2。

表 2

曲 軸 种 类	疲 勞 強 度 極 限	
	公斤/毫米 ²	相对于无裂紋試件的%
无裂紋	3.5	100
具有不伸入圓角处的裂紋	3.5	100
具有伸入圓角处有裂紋	2.5	71

由列于表 2 的数据可見，在連杆軸頸上具有不伸入圓角处的纵向裂紋的曲軸和无裂紋的曲軸有相同的疲劳强度，因而就能用电振动堆焊来修复。具有伸入圓角处的纵向裂紋的曲軸疲劳强度比在連杆軸頸上无裂紋的曲軸低 29%，因此在用磁力探伤机检查后这种曲軸即应报废。

在莫斯科第三汽車修理厂，在所有检查过的曲軸中 1.8% 有环形和斜角形裂紋；13.7% 为在圓角处有裂紋。这些曲軸予以报废，因而使修复曲軸的断裂数量由 7% 降低至 2.6%。剩下的曲軸断裂数由于采用了新的堆焊連杆軸頸的方法而得以消除。

电焊絲和堆焊规范的选择

曲軸的工作能力系根据其耐磨性及疲劳强度来决定。因此，当修复这种零件时应特别注意正确地选择电焊絲及堆焊规范。

当用电振动堆焊修复曲軸时，大多数采用 OBC、BC、ΠK、ΠK-1、65Γ 及其他牌号的高碳弹簧鋼絲。有时也采用其他牌号的焊絲，其中有低碳鋼焊絲 CB-08、合金焊絲 CB-10X13 等。

上述大多数牌号的焊絲，沒有被推荐用于堆焊曲軸。因此曾进行了适合于电振动堆焊修复曲軸用的电焊絲的选择工作。

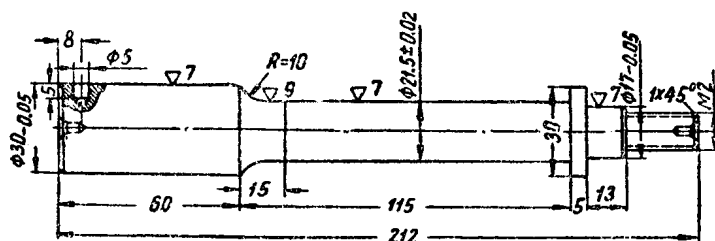


图 8 疲劳强度試驗用的試件

在試驗室中就試件进行了疲劳强度和耐磨性的检查，然后在汽車使用中就曲軸进行了同样的检查。

疲劳强度試驗用的試件系用 45 号鋼制成。試件鋼棒在 850°C 溫度下經受 1.5 小时的正火作用，随后在空气中冷却 20 分钟。疲劳强度試驗用試件示于图 8。图 9 和图 10 所示为堆焊后及磨光后的試件。

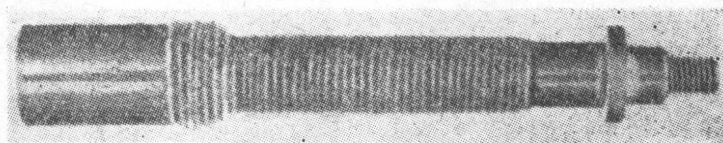


图9 堆焊后的試件

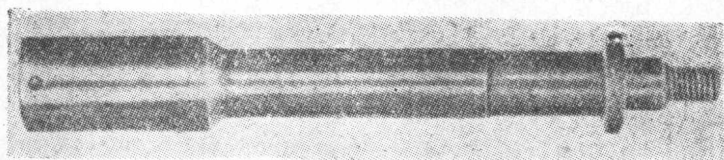


图10 磨光后的試件

为了确定电极材料含碳量对疲劳强度的影响，曾以СВ-08和50号、80号及У12А鋼(含碳量平均百分数相应为0.08、0.50、0.8和1.2)牌号的焊絲进行了焊接。上述鋼种其他元素的含量很小，因此，可不检查其对疲劳强度的影响。

用苏联汽車运输科学研究院(НИИАТ)設計的УАНЖ-6型电振动装置堆焊試件。在中央机器制造与工艺科学研究所(ЦНИИТМАШ)設計的У-20型机器上进行疲劳强度的比較試驗。該机工作原理是旋轉的試件受悬臂載荷而产生弯曲。試驗基数按ГОСТ2860-45采用5百万次循环。为了确定疲劳强度及硬度与电焊絲中含碳量的关系，曾以不用冷却液和用冷却液(供給到被堆焊的焊缝上的冷却液距金属熔化区10~12毫米)堆焊的試件做过試驗。按照堆焊試件一般采用的规范堆焊格斯-51发动机曲軸的連杆軸頸：

电压(伏)	12~14
电流(安)	140~160
感抗, PCTЭ-34节流圈的圈数	7~9
堆焊速度(米/分)	0.80

焊絲送進速度(米/分)	1.6
焊絲直徑(毫米)	1.6
焊絲振幅(毫米)	1.5~2.0
堆焊間距(毫米/轉)	2.5

冷却液系浓度为 5 % 的焙烧苏打水溶液。冷却液耗量为 0.5 升/分。每組試驗的試件不少于 7 个。

表 3 所示为未堆焊試件和以各种含碳量的焊絲不用冷却液堆焊試件的比較試驗結果。

由表 3 中的数据可以看出, 当不用冷却液堆焊 45 号鋼时, 电焊絲的含碳量由 0.08 至 1.2 %, 在所有情况下所得疲劳强度均比基体金属低; 而且用低含碳量的焊絲堆焊所得疲劳强度值最小。随着焊絲內的含碳量增加到 0.80 %, 疲劳强度也随之增高, 而后略有降低。

表 3

試 件 种 类	試件表面材料	电焊絲中的 含碳量%	硬 度 R_c	疲 勞 强 度 極 限	
				公斤/毫米 ²	相对于基体金属的%
未堆焊的	45 号鋼		207~212*	24.0	100
不用冷却液堆焊	08 号鋼	0.08~0.10	3~4	11.9	48
不用冷却液堆焊	50 号鋼	0.49~0.55	13~20	15.5	62
不用冷却液堆焊	80 号鋼	0.77~0.83	20~28	15.6	63
不用冷却液堆焊	Y12A 鋼	1.16~1.24	30~43	15.1	61

* 为 H_B 硬度。

当用冷却液堆焊时所得疲劳强度极限的变化特性不同。未經堆焊的試件和以同样牌号的电焊絲、但用冷却液堆焊的試件的疲劳强度比較試驗結果示于表 4。

表 4

試 件 种 类	試件表 面材料	电焊絲中的 含碳量%	硬 度 R_c	疲勞强度極限	
				公斤/ 毫米 ²	相对于 基体金 屬的%
未經堆焊的	45号鋼		207~212*	24.0	100
用冷却液堆焊	08号鋼	0.08~0.10	23~43	5.3	21
用冷却液堆焊	50号鋼	0.49~0.55	32~50	7.3	29
用冷却液堆焊	80号鋼	0.77~0.83	38~59	8.2	33
用冷却液堆焊	Y12A鋼	1.16~1.24	49~66	17.1	69

* 为 H_B 硬度。

由表 4 所列数据可知，当以含碳量由 0.08 到 1.20% 的焊絲用冷却液堆焊时，在所有情况下所得疲勞强度均比基体金属低；而且用低含碳量的焊絲堆焊所得疲勞强度值最小。随着焊絲内含碳量由 0.08 增至 1.2% 疲勞强度不断增大。在以含碳量为 0.08 至 1.2% 的焊絲用冷却液堆焊时，疲勞强度均比不用冷却液堆焊的低，但含碳量为 1.2% 的 Y12A 焊絲用冷却液堆焊的試件与不用冷却液堆焊的試件相比較，則有較高的疲勞强度。堆焊金属的硬度随着电焊絲中含碳量不断的增加而增高。由表 4 中的数据可知，当以 Y12A 焊絲用冷却液堆焊时获得最大硬度值 $R_c 49 \sim 66$ 。

图 11 所示为不同含碳量的焊絲不用冷却液堆焊和用冷却液堆焊时試件的疲勞强度曲綫（按表 3 和表 4 的数据繪制）。

由所示曲綫可知，焊絲的含碳量为 1.12% 时，不用冷却液堆焊和用冷却液堆焊所得疲勞强度大致相同，但堆焊层的硬度却不一样。不用冷却液堆焊和用冷却液堆焊时，电焊絲中含碳量与堆焊金属硬度的关系曲綫示于图 12。随着焊絲中含碳量的增加，