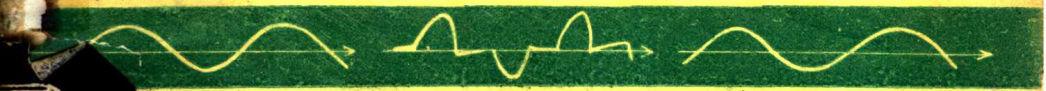


苏联汽车运输科学研究院

汽车零件修理中的 电脉冲堆焊

Н. И. 陀倩科 著
何 光 里 译



人民交通出版社

苏联汽车运输科学研究院

汽车零件修理中的 电脉冲堆焊

Н. И. 陀倩科 著
何 光 里 译

人民交通出版社

本書介紹汽車零件修焊工作中的一種新方法。電脈沖接觸電弧堆焊的特點是修復後不需熱處理，提高了勞動生產率，降低了電能和材料的消耗，因此這種修復工藝在國外已日益廣泛地被採用。

本書內容包括金屬接觸電弧堆焊過程的研究、堆焊設備和零件修復的工藝過程、磨損零件的修復及其工作能力的檢查、技術經濟指標以及附錄修復曲軸軸頸的工序和工步次序。

本書供汽車修理廠的技術人員和技工閱讀參考。

蘇聯汽車運輸科學研究院
汽車零件修理中的電脈沖堆焊

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА
НИИАТ

Н. И. ДОЦЕНКО

ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНАЯ
НАПЛАВКА МЕТАЛЛА
ПРИ РЕМОНТЕ
АВТОМОБИЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
АВТОТРАНСПОРТНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
Москва 1968

本書根據蘇聯汽車運輸出版社1956年莫斯科俄文版本譯出

何光里 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

1962年7月北京第一版 1962年7月北京第一次印刷

開本：787×1092 $\frac{1}{32}$ 印張：2 $\frac{3}{4}$ 張

全書：43800字 印數：1—2,850冊

統一書號：15014·4386

定價(10)：0.30元

目 录

序.....	2
第一章 金属接触电弧堆焊过程的研究.....	4
1. 金属电脉冲堆焊的变态.....	4
2. 金属接触电弧堆焊的电脉冲装置.....	7
3. 各个因素对堆焊过程的影响.....	7
4. 堆焊层的结构与硬度.....	22
5. 堆焊金属与基部金属的連結强度.....	27
6. 弯曲变形.....	28
7. 内应力.....	29
8. 疲劳强度.....	33
9. 堆焊层的耐磨性.....	37
結論.....	39
第二章 堆焊设备和零件修复的工艺过程.....	40
1. 零件电脉冲堆焊工作地的设备.....	40
2. 零件堆焊工艺过程.....	45
3. 选取电极絲和堆焊规范的实例.....	49
第三章 磨损零件的修复及其工作能力的检查.....	50
1. 汽車零件磨损部位的修复.....	50
2. 磨损的曲軸軸頸的修复.....	55
第四章 技术经济指标.....	61
1. 堆焊过程的生产率.....	61
2. 运用費用.....	61
附录: 电脉冲堆焊修复格斯-51曲軸軸頸的 工序和工步次序.....	63
参考文献.....	66

序

汽車運輸貨物周轉量的增加和運輸成本的降低在很大程度上取決於汽車技術保養和修理的改進。在這方面一個很重要的任務是要在汽車修理生產中運用新技術和修復磨損零件的新工藝。

現在大約40%的零件是用电弧堆焊和气焊修复，但是在修理企业中堆焊工作不是机械化而主要是用手工来完成的；同时堆焊金属层厚度一般都大于1.5~2.0毫米，而实际上許多零件的磨損量不超过0.2~0.3毫米，因此80%的堆焊金属都成为机械加工时的切屑。

此外，采用气焊和电弧堆焊时，零件受热較深，而使金属的質量改变和零件变形，因此堆焊后，零件应进行热处理，有时还要校正；所有这些都使电能和材料消耗增大，使工艺过程复杂，增加零件的修理成本。

1943年苏联 Б.П. 拉札連柯提出了借振动 积复金属来加工的方法。在这些加工中都是利用电脉冲放电。近年来在这个方法的基础上研究出許多电脉冲堆焊方法，这些堆焊方法沒有上述气焊和电焊的缺点，金属的电脉冲接触电弧堆焊是这些方法中的一种。

电脉冲接触电弧堆焊是用低压发电机（具有硬特性）的直流电或硒整流器的整流电进行的，很多汽車修理厂用接触电弧堆焊修复各种汽車零件。堆焊后不需热处理。同时，与手工堆焊比較，大大地提高了劳动生产率，降低了电能和材料的消

耗。

現在修理機器的各種零件時，日益廣泛地採用電脈沖接觸電弧堆焊方法。

汽車運輸科學研究院在工程師 Н.И. 陀情科領導下進行了金屬電脈沖堆焊的研究，機械師 Н.В. 阿羅諾夫、Н.И. 庫浮爾金、В.И. 奧爾洛夫斯基、А.П. 彼得羅維奇和設計工程師 В.В. 彼得洛夫參加了這項研究工作。研究結果闡述在本書中。

技術科學博士 В.В. 叶弗列莫夫教授擔任了研究工作的顧問並校閱了本書。

第一章 金属接触电弧堆焊过程的研究

1. 金属电脉冲堆焊的变态

近来已经知道若干金属电脉冲堆焊的变态，它们包括：按B.P.拉札连柯的方法在低电压下的金属电火花镀复；M.M.列依捷罗夫（切利亚宾斯克拖拉机厂）提出的，在水中进行的金属电接触堆焊，Г.В.古肖夫（莫斯科农业机械化与电气化学学院）研究的，用索尔麦特硬质合金电脉冲堆焊；Г.П.克列克夫金（切利亚宾斯克农业机械化与电气化学学院）提出的，用混流在电解液流中进行的振动接触堆焊；用焊接发电机的振动电弧堆焊（切利亚宾斯克工艺学院）；接触电火花和接触电弧（汽车运输科学研究院）等。

所有这些金属堆焊的变态都是按照一个共同的原理来实现的，即借助于振动的电极。它们的差别主要是在于：装置的能量、电路图、电极材料、它们的形式和尺寸、周围介质和其他因素。

电脉冲堆焊可以用交流、直流和混流进行。电流可以由不同的电源供应，如用焊接变压器、低压直流发电机、硒整流器、焊接发电机，或同时用低压直流发电机和焊接变压器。电脉冲堆焊主要采用电容器式电路（在电路中与电极并联电容器）或感应式电路（在电路中电感与电极串联）。

电脉冲堆焊可以在不同的电压（4~250伏）和不同的电流（1~500安）下进行，堆焊生产率主要是取决于电压和电流值。

作为电脉冲堆焊的材料可以采用不同化学成分的钢丝或硬

質合金條、鑄鐵等。電脈沖堆焊可以在空氣中、中性氣體介質中或在液體中進行。

電脈沖放電和金屬接觸焊接的現象是電脈沖堆焊過程的基礎，脈沖放電能量是在斷路時期積儲在容電器（用容電器式電路時），或在短路時期積儲在自感線圈中（用感應式電路堆焊時）的磁場能量。

堆焊過程的穩定性、堆焊層的厚度和質量在很大程度上取決於電極間放電的特性和形式。

按照放電特性和形式，電脈沖堆焊基本上可以分為下列三類過程：接觸電火花過程；接觸電弧過程；振動電弧過程。

在接觸電火花過程中，堆焊是在電壓為 4 ~ 200 伏（甚至還高）、電流為 1 ~ 500 安的情況下進行。堆焊採用各種能量的容電器式或無容電器的低電感式電路。

在接觸電火花過程中基本上是接觸焊接，在過程中焊絲各元素只有很少的被燒掉，它可以用來堆焊硬的和耐磨的金屬層。

這個方法的主要缺點是：生產率低，堆焊層厚度較小（0.1 ~ 0.6 毫米），堆焊層的多孔性和很大的不均勻性。

在接觸電弧過程，堆焊是在 6 ~ 30 伏的電壓下進行，堆焊採用裝有調節電感的電磁式電路。接觸電弧過程可以在空氣中、中性氣體介質中或液體中進行。應用不同化學成分的焊絲可以得到不同程度的堆焊層；獲得沒有氣孔和縮孔、而具有高耐磨性和強度的堆焊層。用接觸電弧堆焊可以獲得 0.3 ~ 2.5 毫米厚的堆焊層，堆焊生產率也比手工堆焊高好幾倍。

振動電弧堆焊是用普通電弧焊接發電機進行，因此它與電弧過程的差別不大。應用振動的電焊絲可以提高堆焊的穩定性。進行堆焊時不用熔劑，或堆焊時採用冷卻液，將冷卻液供給到堆焊區。

在上述的电脉冲堆焊的变态中，接触电弧是更通用的方法，用它可以修复磨损达 2.5 毫米的大多数零件，絕大多数企业在修复汽車拖拉机零件时都采用这个方法。下面闡述应用这个方法修复汽車零件的研究結果。

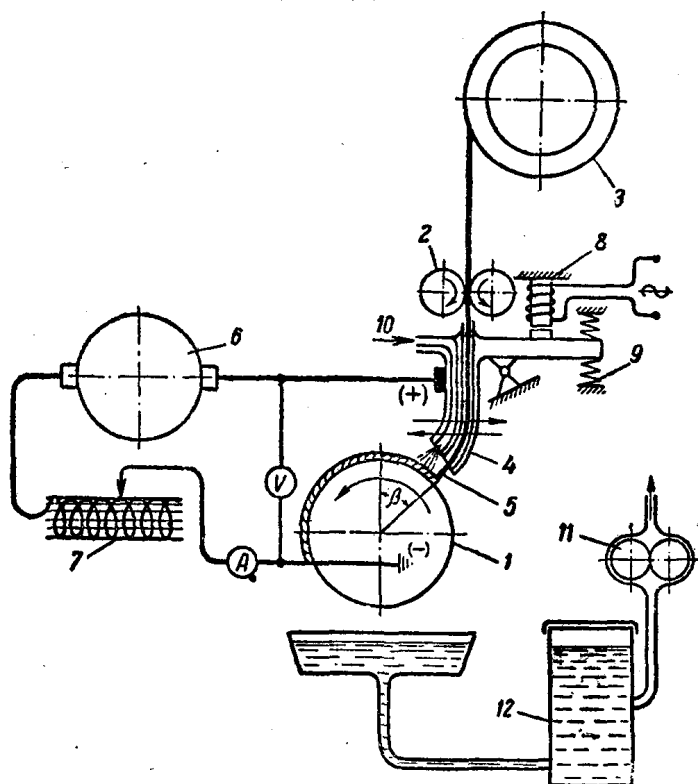


图1 金屬接触电弧堆焊的电脉冲装置簡图

- 1-被堆焊零件; 2-供給机构的滾輪; 3-焊絲卷盤; 4-振動焊咀; 5-電極焊絲; 6-發電機; 7-自感變圈; 8-振動器; 9-彈簧; 10-液體供給管; 11-齒輪泵; 12-濾清沉淀器; β -焊絲接近零件的角度

2. 金属接触电弧堆焊的电脉冲装置

图1是接触电弧堆焊零件的电脉冲装置简图。堆焊是在車床上进行，堆焊机头固定在車床刀架上，零件安装在車床頂針間。堆焊过程如下：焊絲5从卷盘3經過振动焊咀4用滾輪2向旋轉零件表面1供送，焊絲在工作时振动，并与零件表面接触，焊絲在电源6供应的脉冲放电的作用下熔化，这时熔化的电极金属以顆粒的形态积复在零件表面。用泵11經過振动焊咀4中的管10向零件表面和堆焊区供送液体，以冷却零件。

堆焊过程和堆焊質量取决于一系列的电参数和运动参数，如取决于电流种类和极性、电感和电容、堆焊速度、焊絲供給速度、焊絲振幅等。

3. 各个因素对堆焊过程的影响

电流种类和極性：为了闡明电流种类、极性和其他因素对堆焊过程和堆焊質量的影响，在电极与堆焊表面每一短路时，电极金属以单个顆粒的形态积复在被堆焊表面。图2所示为相应的試件，在試件上用表1的規範积复了单个金属粒。

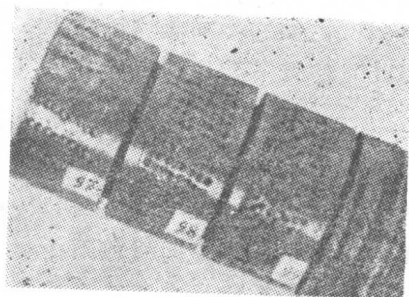


图2 用混流(97試件)、直流(98試件)和交流(99試件)積复的金属粒

表 1

电流种类和極性	电 压 (伏)	电 流 (安)	鎮定电阻 (欧姆)	焊 絲 供 給 速度(米/分)	冷却液供給 量(升/分)	焊絲振幅 (毫米)
混流(交流+直 流);反極……	7.5+10	160+100	0.02	0.4	0.5	1.2
直流;反極……	12	160	—	0.4	0.5	1.2
交流……	16	280	0.02	0.4	0.5	1.2

为了得到淬火的金属,顆粒的积复是用 OBC 牌号焊絲 (ГОСТ Б 1546-53)(含碳量 0.8%) 在 45 号鋼制的高频率淬火試件上进行,試件的硬度为洛氏 54~58。当电极振动频率每秒 100 周、圓周速度 24 米/分和堆焊机头縱向进給为 4 毫米/轉时,在每一短路中能积复单个金属粒。当按 Г. П. 克列柯夫金方案(参考文献 1) 用混流堆焊时,在电路内除发电机外还串联了一焊接变压器,当电压比值 $U_{\text{直流}} = \sqrt{2} U_{\text{交流}}$ 时,交流阴极半周是这样凑合的,使在电路中作用的脉冲不是 100,而是 50 同名脉冲(图 3 a)。因此当电极振动 100 次时,经过每一短路时期以点的形态在試件表面上积复大約 50 粒大顆粒电极金属(图 2 中 97 試件)。在另外的交流和直流比值时,可以得到:或者是同名脉冲电流,它具有依次更换的不同值的每秒 100 脉冲 ($U_{\text{直流}} > U_{\text{交流}} \sqrt{2}$ 时)(图 3 б),或者不同值的脉冲交流 ($U_{\text{直流}} < U_{\text{交流}} \sqrt{2}$ 时)(图 3 в)。

这样,所有的混流方案中在每一短路时,脉冲值都不相同,因此堆焊过程不稳定,而且堆焊金属質量低。用交流时(图 4),在每一半周依次积复阴极和阳极金属粒,在 99 試件上(图 2)可以看出它們如何交替。阴极顆粒是光亮和平滑的,没有氧化物。阳极顆粒是黑色的,它被氧化物和飞溅物弄髒。

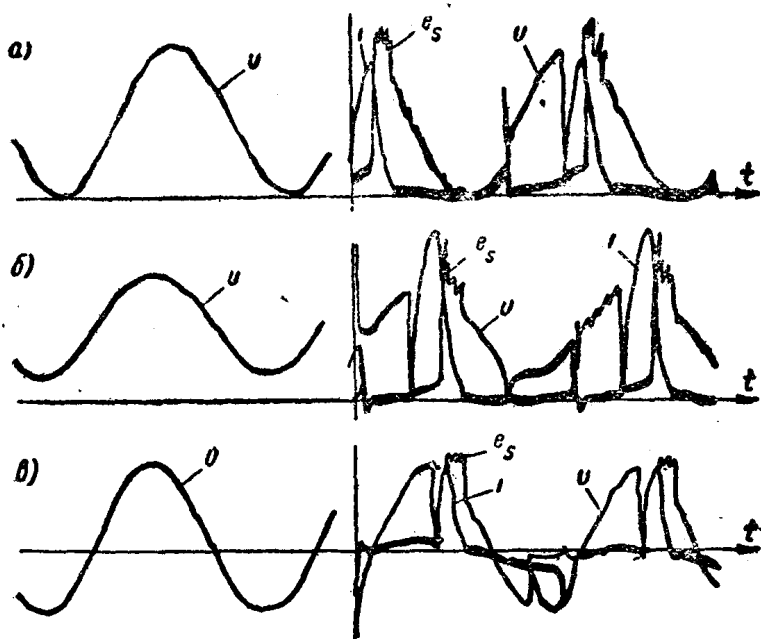


图3 用混流堆焊时电压和电流变化的示波图
U-供给电压；I-短路脉冲电流； e_s -断路时的放电电压

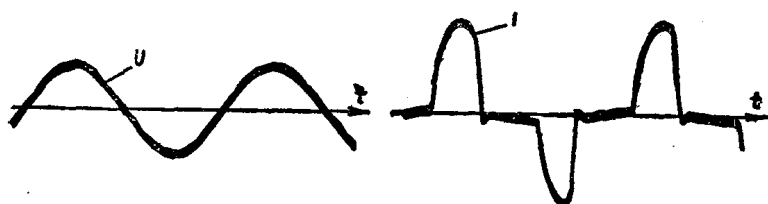


图4 用交流堆焊的脉冲示波图

阳极颗粒与基部金属焊接很差，焊接很差的原因是，在零件（阳极）上析出的热量不够，而在电极上析出很大的热量。混流与交流很坏的可焊性已为截面12.5平方毫米的专用试件破坏试验结果证明。破坏试验是按图5所示简图进行。

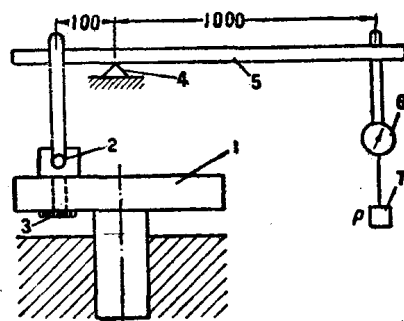


图5 堆焊金屬与基部金屬連接強度的破坏試驗簡图

1-板；2-梢釘；3-堆焊金屬；4-支点；5-杠杆；6-測力計；7-載荷

試驗結果列在表2中。从表中可見，金屬的焊接連接強度在很大程度內取决于電流的極性；而用直流反極性堆焊能得到最強的連結。

表 2

電 流 种 类 和 極 性	平 均 載 荷 公 斤 / 毫 米 ²	σ_B 公 斤 / 毫 米 ²
直 流，反 極	575	46.0
混 流，反 極	469	37.6
交 流	313	25.1
直 流，正 極	85	7.6

電流極性也影响各个元素的燒損过程，因为極性不同时，在電極上析出的热量不同，在直流反極性时碳燒掉5~6%，在混流时为7.5~8%，在交流时为10%，而在直流正極性时为33%。由此得出結論，混流和交流較之直流反極性沒有任何优越性。

电感和电容：焊接发电机具有很大的电感，沒有改装的焊接发电机是不适用于接触电弧堆焊。經驗指出，汽車零件堆焊

时，作为电脉冲堆焊装置的电源可以利用 HD-500/250、HD-1500/750 型的低压发电机或 BCF-3M 型 6 伏 $\times$ 200 安的硒整流器，将整流器串联为 12 伏 $\times$ 200 安来应用。但是为了有效地利用这些电源，这种电路是必须的，它保证在电极上必需的放电。电极间放电的特性决定了过程的稳定性、堆焊质量和堆焊生产率。当用上述具有小电感的电源堆焊时，在短路的瞬间电极供给电压瞬时降至零（图 6a）。然后在短路期间（K），电压逐渐提高到 3 ~ 5 伏，在短路期间，电流从零迅速地增加到 1100 ~ 1300 安（电路中的电流平均值为 180 安）。接触处的金属被焊接。短路时间不超过 0.0025 ~ 0.0030 秒。在断路开始时，接触面积少，而此处的电阻增加，同时围绕焊接电路的磁通消逝，磁能转变为电能。在断裂的焊丝缩颈处电压和电流密度急剧地增加，缩颈金属喷散，在电极空间开始放电。

由于电路中电感小和没有电容，在 0.0005 ~ 0.0008 秒后，放电便熄灭，而转入空程（x），空程延续 62 ~ 70% 循环时间。以后重复上述过程。根据示波图计算，这个过程中在接触（短路）期间大约析出 50% 热量。在断路期间大约也析出同样的热量。在断路期间焊丝缩颈喷散或爆炸，因此大约抛弃了 40% 电极金属，其余的电极金属积复在零件上。这个过程可以称为爆炸电火花过程。显然，为了减少金属的抛弃，必须减少焊丝脱开期间的脉冲能量；为此可以采取两种措施：a) 在焊接电路中与电极并联电容；6) 在焊接电路中接入自感线圈。

当与电极并联的电容在 1200 微法拉以下时，在短路期间电容器经过触点放电，接触处的电极金属在析出的热量作用下熔化，并与零件焊接。在电极脱开时，一部分能量储入电容器，而另一部分能量以电火花的形态在电极空间析出。火花放电的延续时间不超过 0.003 秒，这个过程中大约 50% 的热量在短路期

間析出在触点上，在电极空間大約也析出50%的热量，因为在
 断路时电流下降比較平稳，所以电极材料的損耗小于14~17%。
 由于接触析出热量占优势，用电容器式綫路堆焊时可以获得
 0.1~0.6毫米的堆焊层，这个方法可以用来修复磨損較小的零
 件。

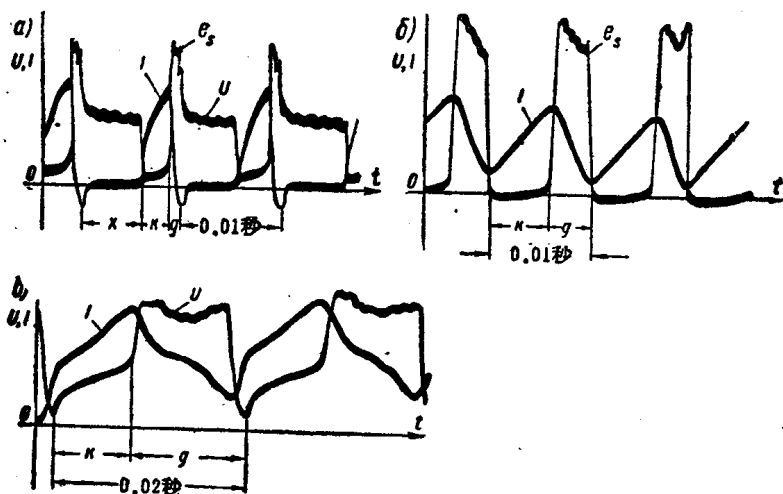


图 6 电压和电流变化的示波图

a-接触电火花法；б-接触电弧法；в-振动电弧法；κ-短路时期；π-电极空
 間的放电时期；x-放电结束后的空程时期；0.01-0.02秒-一个振动循环的
 延續時間

当用电感式綫路堆焊时，电极間可以实现接触电火花或接
 触电弧放电。

用电感式綫路堆焊的过程中，电极間发生下述现象：当电
 极接近时，电路电流等于零，而电极电压等于发电机空程电
 电压。当焊接电路闭合时，电流从发电机經触点流通，这时发电
 机的一部分能量耗費在自感綫圈和电路其他元件中創造磁通，
 这一过程从电路短路的瞬間进行到断路开始。当电路断开时，

零件和焊絲間的接觸面積減小，在減小的焊絲縮頸處電流密度和金屬的溫度迅速地增加；隨後，焊絲縮頸非常迅速地轉化為蒸汽，以致過程具有閃光或爆炸的特性。

在電流截斷的瞬間，圍繞自感線圈和焊接電路導線間的磁通消失，消逝的磁場能量便轉化為電能。在示波圖上(圖 6 a)可以看出，這部分電能開始使電極空間的放電電壓提高，這個電壓 (e_s) 大大地超過供給電壓 (U)，而在電極空間被火花放電击穿之後，電能轉化為熱能。

短路電流值、電極空間放電的延續時間和特性取決於電感值或取決於電路中接入的自感線圈的圈數，當小的電感和電極直徑為 1.6~1.8 毫米時，在短路期間脈衝電流值達 1100~1300 安；當斷路時，放電的延續時間不大於 0.0008~0.001 秒，這時在火花區的電流密度達到 3.6×10^5 安/厘米²。按照 B. H. 佐洛特的資料，電火花加工時電容火花區的電流密度為 $10^5 \sim 10^6$ 安/厘米²，放電的延續時間為 $10^{-4} \sim 10^{-7}$ 秒 (參攷文獻 2)。眾所周知：焊接電弧陰極的電流密度約為 2.0×10^3 安/厘米²，而陽極為 3×10^2 安/厘米²。考慮到在我們的例子中放電的電流密度和放電時間都接近於火花放電，可是放電是在接觸分離時發生，由此，這種放電可以假定地稱為接觸電火花 (根據 P. 賀勒姆的定義，見參攷文獻 3)，而堆焊過程可以稱為電脈衝接觸電火花過程。

當增加電路中的電感時，脈衝電流值、放電形式和時間都改變。例如，當接入焊接變壓器 PCTЭ-34 調節器線圈 5~6 圈時，短路電流值從 1100~1300 安減少到 500~600 安，而放電的延續時間從 0.0008~0.001 秒增至 0.004~0.005 秒，即增大 4 倍。在示波圖上(圖 6 中 b)可以看出，這時空程消滅，並開始連續的接觸電弧過程。由於短路脈衝電流值小，這個過程在短

路时析出不大于15~30%的热量。当电路断开时，焊絲縮頸金属不会爆炸，金属的損耗不超过6~8%。反之，用低电感线路堆焊时金属損失35~40%，接触电弧堆焊过程进行得更稳定，在这个过程可以堆焊0.3~2.5毫米厚（甚至更厚）的金属层。因此接触电弧堆焊法可以用来修复各种磨損值的零件。

必須指出，堆焊裝置的电源用小电感的HD-500/250或HD-1500/750型低压发电机，或用整流器时，当电压为10到16伏在电路內接入适当的电感值时，放电形式和特性能滿足进行电脉冲接触电弧堆焊所需的条件。当堆焊裝置的电源用普通的焊接发电机时，由于这种发电机具有高电感和較大的空程电压，脉冲放电便轉变为一般的振动焊接电弧，这时在电极空間析出95%以上的热量。由于电极空間不經常的閉合，焊絲金属以大熔滴的形态进行轉移。同时只有在低速沒有液体时才能穩定地进行堆焊。因此用它能堆焊低硬度的厚金属。图6中B是振动电弧过程的示波图，在这个过程中沒有脉冲放电，往往要經過一个或两个振动循环才能获得短路期間，由此使各个金属元素被强烈地燒掉（达40~50%）。

为了降低空程电压，在电路中与电极并联分路电阻，在这种电路中电能耗費增大40~50%，但是堆焊过程能更穩定地进行。

电极的侵蝕和金属的轉移：堆焊过程中在电极上发现以下的現象：当电感电流小和在堆焊区供給大量液体时，零件和电极互相破坏或互相侵蝕。当液体供給量減少时，电极金属开始积复在零件上，但是在电极还处在冷状态的过程开始时期发生侵蝕現象，在电极与零件的接触点以車轍和弹坑的形式在基部金属上形成小凹坑；然后，經8~12次短路电极被加热后，在每一次短路时期才开始金属顆粒的积复过程。这样，电极金属