

汽车修理论文集

(第一集)

B. B. 耶弗列莫夫 等著

人民交通出版社

汽车修理论文集

(第一集)

B.B.耶弗列莫夫 等著

孙 凯 南 等译

人民交通出版社

本集包括有关汽車磨損零件修复方面的論文十三篇，主要内容为介紹用數焊、压力加工和鍍鉻等方法修复零件的一些科学研究工作，并为这些新技术在汽車修理生产中的应用提出了具体的建議。

本書供从事汽車使用与修理的技术員和工程师之用。

汽車修理論文集 (第一集)

РЕМОНТ АВТОМОБИЛЕЙ

СБОРНИК НАУЧНЫХ СТАТЕЙ

Выпуск I

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ
НАПЛАВКОЙ, ДАВЛЕНИЕМ
И ХРОМИРОВАНИЕМ

Под общей редакцией
доктора техн. наук, проф. В. В. Ефремова
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
АВТОТРАНСПОРТНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
Москва 1956

本書根据苏联汽車運輸出版社1956年莫斯科俄文版本譯出

孙凱南 等譯

人民交通出版社出版
(北京安定門外和平里)

北京市書刊出版业營業許可証出字第〇〇六号

新华書店发行

人民交通出版社印刷厂印刷

1960年5月北京第一版 1960年5月北京第一次印刷

开本: 850×1168 1/32 印張: 7 1/2 張

全書: 253,000字 印数: 1—5,500 册

統一書号: 15044·4313

定价(10): 1.35元

目 录

前 言	技术科学博士 B. B. 耶弗列莫夫教授 (2)
汽車磨損零件修复工艺发展的	
基本方向	技术科学博士 B. B. 耶弗列莫夫教授 (3)
磨損零件的自动敷焊	
修复法	技术科学副博士 И. И. 达里脱启克副教授 (20)
用敷焊及焊接法修复磨損的及损坏的	
铝合金零件	技术科学副博士 Ю. Е. 克涅杜夫斯基 (27)
用敷焊法修复零件时表面机械强化	
方法的研究	技术科学副博士 И. И. 魯涅夫斯基 (45)
磨損零件的压力修	
复法	技术科学副博士 А. И. 阿斯利揚茨 Н. Э. 斯特魯微 (64)
花鍵的加压修复法	技术科学副博士 А. А. 波諾馬列夫 (88)
圓柱直齒輪的加压修复法	技术科学副博士 Л. В. 傑赫捷林斯基 (112)
弯曲与扭曲零件的压力	
修复法	技术科学副博士 Г. Г. 巴罗夫涅夫 (129)
修理发动机时曲軸的	
校正	工程师 Г. С. 薩莫伊洛維奇 Е. М. 瓦西耳科夫 (153)
用压花法修复磨損軸的研究	工程师 О. Ф. 史特連姆 (180)
用多孔鍍銘法修复气	
缸套	技术科学博士 B. B. 耶弗列莫夫 (207) 技术科学副博士 В. А. 齐 赫 (207)
多孔鍍銘气缸套的加工	技术科学副博士 А. И. 安德里阿諾夫 (221)
发动机修理时活塞环的	
多孔鍍銘	技术科学副博士 В. А. 伊赫 (234)

前 言

苏联发展的历史經驗教导我們，社会主义生产的不断增长，只有在高度的技术基础上，和在不不停的技术进步的条件下才能实现。苏联共产党第二十次代表大会为我們整个工业和其每个具体的重要部門規定了明确的爭取技术进步的綱領。

根据这些指示，必須为汽車修理生产做出一系列的重要結論。这一生产的发展方針，應該是大大地增加現有的汽車的使用寿命，并力求最大限度地降低汽車客貨运输的運費。

汽車磨損零件的修复，是汽車修理生产的主要問題之一，因为這個問題如果能在技术上得到正确的解决，便可降低修理生产的成本，節約大量的優質金屬，并可使汽車制造厂减少配件的制造数量，以騰出力量来制造新汽車。

爭取汽車修理生产技术进步的任务，只有在生产人員和科学技术人員共同努力下才能順利完成。

作为国民經济的一个新部門的汽車修理生产，其技术水平的提高，需要进行一系列的科学研究工作。这些研究工作的結果，將陸續在“汽車修理”論文集中发表。本集（第1集）內所刊載的論文，介紹了用敷焊、压力加工和鍍鉻等方法修复零件的一些科学研究工作。所有这些論文，都为新技术在修理生产中的采用提出了具体建議。

为了在生产中运用先进的磨損零件的修复工艺，生产人員和研究工作者必須共同努力。

技术科学博士B.B.耶弗列莫夫教授

汽車磨損零件修复工艺发展的基本方向

技术科学博士B.B.耶弗列莫夫教授

迅速发展着的我国国民经济，要求大大地增加汽車的客运和貨运。由于共产党和苏联政府的关怀，我国的汽車数量在逐年增加着。

为使現有的汽車具有很高的技术完好系数，必須对汽車进行及时的和保証質量的保养和修理。

为了提高汽車的寿命，在我国实行計劃預防技术保养和修理的制度。实行这种制度，汽車要强制检视，以查明毛病，查出的毛病立即予以修理。汽車运输部門的革新者，他們正确地贯彻这种制度，使汽車达到很高的大修間隔行駛里程。

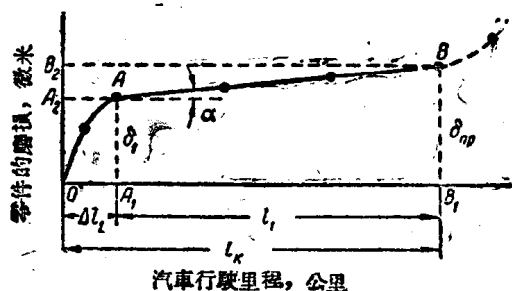


图1 零件标准磨损曲线

虽然我們在很好地实行这种計劃預防技术保养和修理的制度，但是随着汽車使用年代的增加，其零件的自然磨损也在增长。这便需要把汽車的某一总成拆开，修复磨损的零件。零件的自然磨损一般都是按着标准磨损曲线（图1）发生。在这一曲线上，有二个点是典型的：A和B。A点相当行駛里程 $OA_1 = \Delta l_1$ ，并表示該零件已走合完毕。从O点到A点磨损曲线剧烈地上升，在A点上，零件工作表面的磨损等于 $OA_2 = \delta_1$ 。

零件的磨损从O点至A点的剧烈增长，可由零件走合过程来解释。

从A点至B点（行駛里程 l_1 ），零件磨损逐渐地增长，几乎呈一直线，与水平轴成一 α 角。这一种磨损称为零件的正常使用磨损。

最后，在 B 点（行驶里程等于 $OB_1 = l_K$ ），零件磨损又重新开始剧烈上升。 B 点表示零件的最大磨损。磨损值 $OB_2 = \delta_{nP}$ 称为零件的极限磨损。行驶里程 $OB_1 = l_K$ 相当零件的使用期，以公里计算。超过 B 点，再继续使用，零件便有危险，因为自然磨损也可能成为一种造成事故的毛病。

因此，磨损的零件必须予以修复或换新。在汽车上所要修复的零件，应以其修理在经济上合算为原则。

在实践中，通常所要修复的零件，都以是否符合下一不等式为准则，

$$\frac{S_B}{l_B} < \frac{S_H}{l_H},$$

式中： S_B ——磨损零件修复的价值（卢布）；

l_B ——修复的零件至极限磨损前的行驶里程（修复零件的使用期）（公里）；

S_H ——新零件的价值（卢布）；

l_H ——新零件至极限磨损前的行驶里程（新零件的使用期）（公里）

正如修理实践表明，大部分汽车零件的修复在经济上都是合算的。这便给国家保存了大量金属，并使汽车制造厂和配件厂腾出能力来制造新汽车。

磨损的汽车零件的修复工艺，在我国之所以迅速的发展，其道理正是如此。

磨损的零件有两种修复方法：一种是达到修理尺寸，另一种是达到标称尺寸。

汽车维修生产实践指出，根据理论确定，复杂的和主要的汽车零件最好修复至修理尺寸。修复至修理尺寸的有发动机气缸、曲轴轴颈、凸轮轴轴颈及其它零件。确定零件修理尺寸的方法如下。图2示出曲轴轴颈的断面，其标称尺寸 d_H 在经过一定的行驶里程后便减少至 d_1 。曲轴轴颈的磨损照例是不均匀的。其磨损（与标称直径的比值）一面较小（ δ'_1 ），另一面较大（ δ''_1 ）。

曲轴轴颈的最大磨损 δ''_1 为极限磨损。磨损的轴颈，如果曲轴的结构允许，则可修理至小于 d_H 的修理尺寸 d_{p1} 。为此，可不改变曲轴中心，把轴颈加工至修理尺寸 d_{p1} ——第一修理尺寸，并留有等于 x_1 的加工余量。

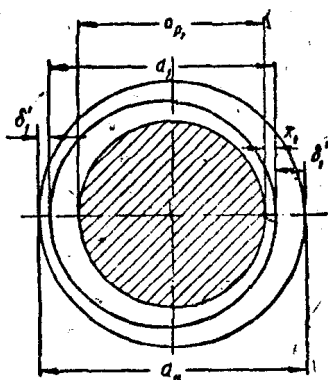


图2 磨损的轴颈断面

这时曲軸軸頸的第一修理尺寸將為：

$$d_{p1} = d_n - 2(\delta_1' + x_1)。$$

為了測量磨損 δ_1' ，必須把曲軸安裝在頂尖上，并按指示器的最大偏差確定 δ_1' 。在生產條件下檢驗疵病時，這種測量法太複雜，不宜廣泛採用。

在檢驗疵病時，可以很簡單地用千分尺測量磨損的軸頸的直徑 d_1 和確定：

$$\delta_1 = d' - d_1 = \delta_1' + \delta_1''，$$

即確定曲軸軸頸總的最大磨損。

如果加上磨損的不均勻系數 $\rho_1 = \frac{\delta_1''}{\delta_1'}$ ，則得：

$$\delta_1'' = \rho_1 \delta_1'$$

再求出均勻系數的範圍：

1) 在均勻磨損時：

$$\delta_1' = \delta_1''； \quad \delta_1 = 2\delta_1' = 2\delta_1''，$$

這時：

$$\rho = \frac{\delta_1''}{\delta_1'} = \frac{\delta_1''}{2\delta_1''} = 0.5；$$

2) 在一面磨損時：

$$\delta_1' = 0； \quad \delta_1 = \delta_1''；$$

$$\rho_1 = \frac{\delta_1''}{\delta_1''} = 1.0$$

這樣，曲軸軸頸磨損的不均勻系數將在下一範圍以內：

$$\rho_1 = 0.5 \sim 1.0$$

根據對磨損軸頸各項測量的分析結果，便可確定該曲軸軸頸磨損的平均不均勻系數。根據以上所述，軸頸的第一修理尺寸可由下式確定：

$$d_{p1} = d_H - 2(\delta_1^* + x_1) = d_H - 2(\rho_1 \delta_1 + x_1)$$

在确定加工余量值 x_1 时，必须考虑以下几点：

1. 曲轴轴颈加工至修理尺寸的加工种类（车削、磨削等）；
2. 整个系统（机床——零件——工具）的刚性；
3. 零件在机床上安装的准确度及其紧固；
4. 对于长的曲轴，还要考虑曲轴在加工前的永久变形。

等式 $2(P_1 \delta_1 + x_1) = \gamma_B$ 一般称为曲轴的修理间距。为了确定曲轴轴颈修理尺寸的数目，必须知道轴颈的最小容许尺寸 $d_{\min}$ （根据曲轴的强度）。这时轴颈修理尺寸的数目 n_B ，在轴颈的各个修理尺寸的修理间距均为一致的情况下，可由下式确定：

$$n_B = \frac{d_H - d_{\min}}{\gamma_B}$$

这样，便可得出以下的曲轴轴颈修理尺寸：

$$d_{p1} = d_H - \gamma_B;$$

$$d_{p2} = d_H - 2\gamma_B;$$

$$d_{p3} = d_H - 3\gamma_B;$$

$$d_{pn} = d_H - n\gamma_B.$$

无论哪种修理尺寸，其公差均为标称尺寸的公差。孔的修理尺寸也用这种方法确定。如果零件修复至修理尺寸，则其相配零件亦须修复或换新。

修复至修理尺寸的方法，其优点是：复杂的主要零件的修复很简单，而且成本低廉。例如，发动机气缸搪削和精磨至修理尺寸，曲轴轴颈磨削和精磨至修理尺寸等。

修复至修理尺寸的方法，其缺点是仓库里必须准备具有修理尺寸的相配零件。这便增加了仓库零件的储备量，并使仓库的管理复杂化了。

因此，采用修复至修理尺寸的方法，仅限于复杂的主要零件的修理。

零件修复至标称尺寸是采用最广的一种方法。在这种情况下，磨损的零件用许多不同的方法修补。

在修复零件时，为了正确地采用不同的修补方法，必须知道汽车各零件的磨损值。

对汽车零件磨损的研究工作指出，如果零件的磨损以径向计，则磨损可按下一方法分类：

1. 小的磨损——0.1毫米以下；

2. 中等磨損——0.3毫米以下；

3. 大的磨損——0.3毫米以上。

具有小的磨損的零件，一般用壓力修復、電火花修補和鍍鉻等方法修復至原來的尺寸。

具有中等磨損的零件，可用壓力修復法、補加零件（修理用零件）法、鍍鋼、鍍鉻和補焊等方法修復之。

具有大的磨損的零件，用壓力修復法、補加零件法、更換零件磨損部分、鍍鋼或鍍鉻等方法修復之。

因此，在現代的條件下，修復工藝擁有以下幾種把磨損零件修理至標稱尺寸的方法：壓力修復、補加零件（修理用零件）、更換零件磨損部分、電火花修補、鍍鉻、鍍鋼、金屬噴鍍和補焊。

這些方法不僅能保證質量地把磨損的零件修復，並使其具有較新零件更高的耐磨性。

下面我們簡略地談談各種零件的修復方法。

壓力修復法 這種方法的實質，是利用金屬的可塑性使零件變形，而將金屬擠向零件的磨損部位。

在修復磨損零件時，採用以下幾種壓力加工法：鍛粗、擠壓、沖大、壓小和滾壓。

鍛粗法用來擴大外徑（實心和空心零件）和減小空心零件的內徑（由於零件高度的縮小）。

在鍛粗零件時，作用力的方向與零件要求變形的方向不是一致的。

採用鍛粗法，尤其是在修復青銅軸套磨損的內孔時，有時甚至可以不必把軸套從零件中壓出。在這種情況下，把青銅軸套在長度上用特種沖頭上下擠壓。這樣，從軸套總長度上便把金屬擠出來，使其內徑得以縮小。然後再把軸套內徑擴至標稱尺寸。軸套的長度縮短很少，在一般情況下，就軸套所承受的单位壓力說來，這完全是容許的。軸套僅能用這種方法修復一次。

擠壓法是用來擴大零件外表面的尺寸，其方法是把零件非工作部分某一區域的金屬擠壓出來。採用擠壓法時，作用力的方向與零件要求變形的方向是不一致的。採用金屬擠壓法可修復氣門的磨損工作面（倒角）、軸上的鍵槽、圓柱齒輪以及其它零件。

這一過程是在密閉的模子裏進行的，例如，在修復氣門時，氣門頭四周的金屬從下面被擠至氣門的磨損工作表面。為了修復磨損的齒輪牙齒，要利用齒輪輪緣四周的金屬。氣門和齒輪均預先在電爐中加熱。

軸的磨損的鍵槽，用一個特殊的圓柱壓入鍵槽予以沖大。因為鍵槽的磨損一般不大，所以鍵槽在寬度上只須沖大很小的尺寸。鍵槽上的縱向槽可以保持原來的敞開狀態或加以填焊。鍵槽經沖大後，其側面加以磨削。

在沖大和壓小零件時，作用力的方向與要求變形的方向一致。沖大的方法用來修復空心的軸和銷子，尤其是空心的活塞銷常用這種方法修復。活塞銷可在冷狀態下進行沖大，但要預先退火。退火在廢滲碳劑或鑄鐵屑中進行。活塞銷的沖大用球或特種穿孔器進行，並要留出以後磨削和精磨的加工余量。在磨削前，活塞銷要進行相應的熱處理。

壓小法用來修復青銅軸套。為此，軸套要經特種陰模壓過，這時其外徑和內徑便減小。將軸套的內徑擴至標稱尺寸，而軸套的外徑則用鍍銅或（如果軸套的內徑具有較大的磨損）壓上鋼套的方法修復。在這種情況下，便獲得了雙金屬軸套：外邊是鋼套，里边是青銅套。這種修復方法的優點是能保持磨損的青銅軸套的標稱長度。

在滾壓（壓花）零件時，作用力的方向恰與要求變形的方向相反。軸頸上壓入滾珠或滾柱軸承內圈的部位具有較小的磨損時，採用滾壓法加以修復。

採用滾壓法，必然使磨損軸頸的金屬平面升高一些，而以後再磨削和精磨至標稱直徑。

但是零件用這種方法修復後，所套上的滾珠或滾柱軸承套圈已經支持在較小的面積上，故零件的單位壓力便增加了。因此，只能是在經過修理後零件的單位壓力在容許限度以內時，才可以採用這種方法把軸頸修復至標稱尺寸。這種方法只能在零件硬度不超過 $400H_B$ 時採用，而且只能採用一次。但是應該指出，經滾壓修復的零件，其疲勞強度甚至有些提高，因為滾壓的表面獲得了硬化。

壓力修復法也成功地用來修復折彎、翹曲和扭曲的零件。零件具有這些缺陷時，壓力修復法便是修理這些零件的唯一方法了。

近年來，曲軸和其它主要的軸成功地採用冷作法校正。用冷作法校正曲軸等零件不致降低其疲勞強度，這對承受動負荷的零件是很重要的。根據以上的敘述，可以得出以下的結論：

1. 用壓力修復法把零件修復至標稱尺寸並不需要另外的金屬，只是使金屬在零件內部重新分配。

2. 用這種方法修復的零件具有很高的質量。

3. 用壓力修復法修復零件的工藝過程簡單，而且在大部分情況下都不需要複雜的設備。

4. 零件的修复費用不大，大大地低于新零件的价值。

压力修理法的发展，应遵循以下的方向：

1. 扩大用压力法修复的零件种类；

2. 广泛地展开零件压力修复法的科学研究工作；在研究时，应对以下的問題加以特別注意：待修理的零件用高频电流加热，創制新式结构的閉式模子和創制简单的質量良好的穿孔器、滾子、压花器具以及其它工具；

3. 为弯曲的主要零件制訂冷作法修复工艺过程，以及其必需的装备。

这一切将促进汽車修理生产更广泛地采用零件的压力修复法。

补加（修理用的）零件法就是把零件的磨損的軸頸或孔加工至一定的尺寸（如果零件結構允許的話），在这种尺寸下能够在零件端頸上压上或在孔內压入薄套筒，然后再加工至标称尺寸。如果是內頸（中間軸頸），則不能压上套筒，这时要装上用焊接、胶接或其它方法坚固的半套筒。

磨損的內螺紋用装入螺塞的方法修复。为此，螺紋已磨損的孔要先扩至較大的尺寸，然后鉸孔并攻螺紋，而螺塞做成两种螺紋，擰入零件孔中用的外螺紋和具有标称尺寸的內螺紋。螺塞用止動銷固定在零件上。套筒与螺塞都用与零件相同的金属制造。經过热处理的零件，其所用的套筒也要加以相应的热处理。

根据以上的論述，可归納成以下几点：

1. 汽車零件的結構應該能够在其磨損最严重的部位便于安装补加的零件。当然，最好还是在設計时就預先安装好必要的套筒和螺塞。这样零件的修复便只是简单地将磨損的补加零件更换新件。

2. 用这种方法把零件修复至标称尺寸，必須另用优質金属。

3. 所修的零件具有很高的質量。

4. 用这种方法修复零件，其工艺过程較為繁难，并且套筒在零件上的压配合也要求精密的加工。安置半套筒的工艺过程更为复杂。

5. 修复成本虽低于購置新零件，但却相当高。

这种方法应该遵循以下的方向发展：

1. 設計師应与汽車使用和修理方面的专家共同拟定：（1）有哪几种零件在制造新汽車时就应当規定安装补加零件；（2）在修理过程中有哪几种零件可以安装补加零件。后者用于这种情况，即已經着手設計零件，但考虑到立即安置补加零件可能使零件的强度降低。

2. 解决在軸的內頸（中間軸頸）上安置半套筒的問題。这点对于曲軸軸頸更有特別的意义，曲軸軸頸在采用以巴氏合金浇鑄的薄壁軸承时，在使用

过程中磨损的特别厉害。

3. 解决压入薄壁套筒时的公差问题及其热处理方法。

以上三个问题的正确解决，可使这种方法在汽车修理生产中获得更为广泛的应用。

更换零件磨损部分的方法，就是把磨损的部分切掉，再焊上（一般用对焊）一个新的部分，然后再将这部分加工至标称尺寸。用这种方法修复的零件有：半轴、转向节、变速器宝塔齿轮与从动轴，以及其它零件。在修理齿轮时，首先切掉磨损的齿圈，制造一个新的齿圈并加以热处理，然后把新齿圈压装在切掉的部分上，并在周围加以焊接。

近来，更换零件磨损部分的修复方法在汽车修理生产中的采用越来越广泛了。

根据以上的叙述，可归纳成以下几点：

1. 在设计汽车零件时，必须使其具有采用更换磨损部分方法修理的可能性。其中，变速器宝塔齿轮在磨损最大的齿圈上应具有可更换的齿圈。

2. 在采用更换磨损部分的方法修复零件时，必须另外使用优质金属。

3. 零件修复质量很高。

4. 用这种方法修复零件的工艺过程比以上的几种方法复杂，尤其是制造新的齿圈。

5. 修复成本一般较高，但比新零件的价值低。

这一切可以说明，在采用对焊和现代的零件加工方法时，这种修复方法是十分先进的。

这种方法的发展，可遵循以下几个方向：

1. 重新审查许多零件的设计，尤其是宝塔齿轮；比其它齿轮易受磨损的齿轮，应具有可更换的齿圈；

2. 确定可以采用更换磨损部分的方法加以修复的全部轴、半轴、转向节及其它零件；

3. 制订修复这些零件的工艺过程，这时要特别注意提高其疲劳强度；

4. 选择必需的设备，尤其是对焊机。

科学研究工作在这个方向的正确发展，将促进更换磨损部分的修理方法在汽车修理生产中获得广泛的应用。

磨损零件的电火花修补（强化）方法。随着零件电火花加工法在苏联的发明和研究，便产生了在汽车修理生产中（也就是修补磨损的零件）采用这种方法的课题。

大家知道，在电腐蚀时，一对工作着的触点从阳极（+）至阴极（-）的方向上发生不均匀的破坏。这时，阳极金属微粒被所产生的电动力移至阴极并焊在后者上。

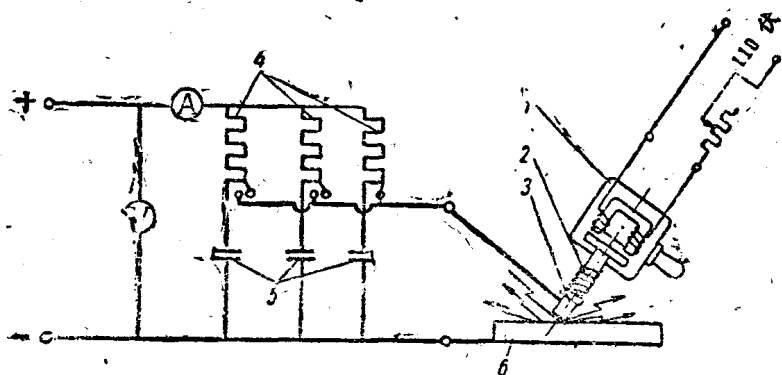


图3 用电火花修补法修复磨损零件的设备的电路图：

- 1-电磁振动器；2-电极卡头；3-电极；4-调节电阻；5-电容器；
6-待修补的零件

图3示出用电火花修补磨损零件的设备的电路图。用来修补的金属固装（在阳极上）在枪式振动器夹子内。待修补的零件作为阴极；用来修补的金属与磨损的零件表面接触时，便产生火花放电，火花放电使金属从阳极移至阴极（零件）上。枪式振动器电枢的振动频率与振动器电路网电流频率成正比。

枪式振动器在零件磨损表面上移动时，在表面上便施上一层金属，这层金属与零件的基体金属结合的十分坚固。这种修补是干式的，也就是在空气中进行。在金属修补过程中，零件的温度几乎没有升高，也不破坏其热处理。

在空气中的修补法，目前只能获得厚度在0.1毫米以下的金属层。这主要是由于用来修补的金属的强烈氧化和氮化的缘故。要想增大金属层的厚度，只能在惰性和还原介质中进行修补。技术科学副博士В.И. 斯妥亚诺夫在氢和氢的介质中使移过去的Т15К6硬合金层的厚度达到0.4毫米。

零件磨损表面的修补，可使用任意硬度的金属和合金，如索尔玛特（Сормайт）、钴铬钨钼合金、钨和其它等。修补上的金属层是硬度很高的多孔层；其粗糙度决定于电火花修补的规范。

电火花修补法也可以成功地用来修复磨损不大的和主要是静座配合的零

件，如用以修复磨损的轴颈和圆孔（与滚珠和滚柱轴承座圈配合者），或加强变速器齿轮换挡叉及其它零件的磨损表面等。

根据以上所述，可以看出：

1. 在用电火花修补法修复零件时，需要使用优质金属或硬质合金。
2. 零件的修复质量很好；零件表面一般具有很高的耐磨性。
3. 零件修补的工艺过程简单，但需要专用设备。
4. 零件修复成本不高。

这种修复方法应遵循以下的几个方向发展：

1. 增加所修补上的金属层的厚度；
2. 广泛研究所修补的零件的疲劳强度，使其有所提高；
3. 提高所修补的零件的表面质量（避免再机械加工）；
4. 研究修补层多孔度对相配零件磨损的影响（不润滑和加以润滑）。
5. 创造一种良好的振动器，使之保证所修补的表面具有很高的质量。

电火花修补法修复零件是一种有前途的修理方法，首先是用以加强和修补磨损不大的零件。

磨损零件的镀铬。用镀铬的方法修补零件的实质，是在阴极上固装待修补的零件，用铅片作为阳极。电镀槽中的电解液用铬酐（150~250克/升）和硫酸（1.5~2.5克/升）。电解液加热至50~60°。直流电经零件和阳极通过，电流密度25~50安培/分米²，电压6伏特。

镀铬前，零件应先加以处理：磨削、脱脂、腐蚀和用热水与冷水多次清洗。

镀铬后，零件同样要经过几次清洗，并进行干燥和加热处理（从镀层中驱除氢气），以及最后加工（磨削）至标称尺寸。

铬镀层分为光滑的和多孔的两种。光滑的镀层视槽内电流密度（ D_K ）和温度的不同可为灰色的（ $D_K=35\sim45$ 安培/分米²，温度50°）、光亮的（ $D_K=25\sim30$ 安培/分米²，温度55°）和乳色的（ $D_K=15\sim20$ 安培/分米²，温度60°）。

最坚硬的镀层是灰色的（ $H_v=900\sim1200$ ），光亮的次之（ $H_v=600\sim900$ ），最软的是乳色镀层（ $H_v=500\sim600$ ）。

把光滑镀层放在镀铬槽中阳极腐蚀6到12分钟，便可获得多孔镀层。多孔镀层分为沟状和点状两种。沟状镀层可以有三种形式沟状网：稀疏的，平面面积2.0~2.5毫米²；中等的，平面面积0.85~1.0毫米²；稠密的，平面面积0.35~0.5毫米²。将乳白色铬层进行阳极腐蚀，可获得沟状镀层，灰白

鉻层在阳极腐蝕時可获得点状（麻点状）鉻层。

鉻层厚度在不超过0.3毫米時，其耐磨性很好。鍍鉻过程具有很小的电流效率（在13~18%的范围内），在一小时內，一共只鍍上厚度仅达0.015~0.03毫米的鉻层。

鍍鉻过程可以自动化。零件可以鍍鉻到相当的尺寸，以后不必再机械加工。

光滑鉻层广泛地用于靜座配合的零件，多孔鉻层广泛地用于易磨損的加以潤滑的零件。

不同沟状网的沟状鉻鍍层成功地用于內燃发动机气缸套筒工作表面上，而点状鉻鍍层則成功地用在活塞环工作表面的修复上。

研究結果表明，在采用鍍鉻的气缸套筒和鑄鉄活塞环時，这两种相配零件的寿命提高3~6倍。采用鍍鉻的第一道压缩环和鑄鉄气缸套筒，可使这两种零件的寿命提高2~2.5倍。

多孔鍍鉻的电鍍过程较为复杂，因此应该研究如何加以簡化，其中首先要研究用机械方法获得多孔鉻层的问题。

根据以上所述，可以总结为：

1. 具有較小的徑向磨損（在0.3毫米以下）的零件，采用鍍鉻的方法修补至标称尺寸是合理的。

2. 在鍍鉻時，需要鉻酐、硫酸、以及較大的电流密度。

3. 零件的修复質量很好，其耐磨性比新零件高很多。

4. 鉻鍍层的硬度很高，故很难机械加工。

5. 鍍鉻工艺过程较为复杂，并要特別小心操作。这一过程可以自动化。

特別需要注意的，是研究零件挂在槽內用的挂具結構。

6. 零件用鍍鉻法修复，其成本較高，但以汽車的每公里行駛里程計，这一成本一般大大地低于新零件。

这一修复方法的发展，应遵循以下的方向：

1. 广泛地展开科学研究工作，以提高鍍鉻時的电流效率；

2. 創制簡單和可靠的設備，以便自动地控制槽內电解液的温度和电流密度；

3. 在修复零件時，更广泛地采用多孔鍍鉻的方法，無論是点状鉻层或沟状鉻层；

4. 进行用机械方法获得多孔鉻层的科学研究工作；

5. 广泛采用把零件鍍至要求尺寸的鍍鉻工艺；

6. 設法降低零件鍍鉻修復法的成本。

磨損零件的鍍鋼修復法。鍍鋼修復法的實質，是在陰極上挂上待修復的零件，而用鋼片 ($C=0.08\sim0.1\%$) 作為陽極。

最常用的電解液是含有少量氯化鈉 ($100\sim200$ 克/升) 的氯化亞鐵 (500 克/升) 和鹽酸 ($3.0\sim3.5$ 克/升)。這一電解液加熱至溫度 $95\sim97^{\circ}\text{C}$ 。

電流密度一般在 $10\sim20$ 安培/分米² 之間。

鋼鍍層的硬度在 170 到 $200H_B$ 之間。鍍層的硬度可用熱處理 (滲碳、淬火和回火) 或鍍鉻的方法加以提高。近年來在電解液中加入了氯化錳，使鋼鍍層的硬度增加至 $300\sim350H_B$ 。

用鍍鋼的方法可以修補磨損較大 (徑向達 5 毫米) 的零件。這種方法的生產率較高，並保證每小時有厚 $0.13\sim0.26$ 毫米的鋼鍍層。這種方法的生產率比鍍鉻過程大 7 倍，成本也比後者低廉的多。允許電流密度約比鍍鉻時低五分之三。

鋼鍍層進行滲碳，在淬火後具有很高的硬度。在滲碳時，鍍層與基體金屬的界限幾乎完全消失。此外，在鋼鍍層上還可以薄薄地鍍一層鉻，大家知道，鉻層是很耐磨的。

可是除了優點之外，這種方法也有許多重大缺點。由於電解液具有很大的化學活性，鍍鋼槽必須使用特种材料。目前，石棉塑膠槽成功地用於鍍鋼中。電解液的高的加熱溫度和石棉塑膠的很差的傳熱性，使得電解液的加熱設備複雜化了。近來電解液的加熱用特种電極進行，這種電極放入電解液內，由電焊變壓器供電。由於電解液的強烈蒸發，需要自動地在其中加入酸液。

由於在槽中生成大量的沉淀，必須經常濾清電解液。

目前正大力研究增加鍍層與基體金屬 (鋼) 結合能力的問題，並獲得了良好的結果。鍍鋼過程，與鍍鉻一樣，要求廣泛地加以自動化。

据此，我們可總結如下：

1. 磨損較大的零件，採用鍍鋼法修復是合理的。
2. 鋼鍍層的硬度可以用熱處理 (滲碳) 或鍍鉻的方法予以提高。
3. 鍍鋼電解液成份 (氯化亞鐵) 簡單，在鹽酸中浸蝕銹屑 ($C=0.08\sim0.1\%$) 即可制得。
4. 如果正確地遵守工藝過程，則修復至標稱尺寸的零件具有足夠高的質量。
5. 鍍鋼工藝過程較為複雜，並要求特別準確的操作，也可以不化費特別