

金屬的電化學拋光

鮑 格 拉 德 著

郭 澤 沛 譯



國防工業出版社

序 言

在生產中貫徹先進科學思想的最新成就的鬥爭是我們
社會主義工業技術進步的最重要的條件。

近幾年來，由於工業工作人員及科學活動家創造性勞動的結果，出現了金屬和合金加工的新方法——電火花法、陽極機械加工法等。

發明和研究這些新方法的優先權是屬於蘇聯的科學家們。蘇聯政府對這些發明的重要性是十分重視的，並授予B. P. 拉扎連柯、H. И. 拉扎連柯和B. H. 古塞夫等發明家以斯大林獎金獲得者的崇高稱號。

不用貴重的和複雜的工具，而利用電能來切削金屬和合金的方法，為提高工業生產率、改善產品質量和降低產品成本提供了廣闊可能性。

在金屬加工過程中運用工藝，將使生產過渡到更高的技藝階段。

要使電工藝能夠在技術上廣泛地、正確地應用在工業中，我們就得對它的本質和特點具有淵博的知識，並熟悉某些個別企業在這方面所積累的实际經驗。

為了運用电加工方法並普遍推廣使用這些方法的先進經驗，機器制造書籍出版社列寧格勒分社根據「Лонито-маш」電工委員會的建議，出版了包括下列小冊子的「電工藝叢書」：

1. B. H. Гусев 著「金屬的陽極機械加工」；

2. Е. М. Левинсон 著「金屬的电火花加工」；
3. И. Г. Космачев, П. С. Крыжановский, П. Д. Клименков 合著「硬質合金工具陽極机械法刃磨」；
4. Е. М. Левинсон, Б. Г. Гуткин, А. П. Дятченко, Е. И. Владимиров 合著「金屬內腔和孔的电火花制作法」；
5. Н. Р. Четыркин 著「陽極机械切削法」；
6. В. К. Иванов 著「拉絲模和冲模的陽極机械加工」；
7. Б. И. Кан, И. Г. Космачев 合著「陽極机械精加工」；
8. Б. Г. Гуткин, А. Л. Вишницкий 合著「电火花和陽極机械加工机床工作規範的調節器」；
9. А. В. Алексеев, Л. Я. Попилов 合著「工具的电強化法」；
10. Л. Я. Богорад 著「金屬的电化学抛光」。

还應該指出，由於沒有确定有关电加工方面的專門術語，在已出版的書籍中有些術語尙待訂正，但在实际工作中却已通用。

我們認為，「电工工藝叢書」整个來說对生產者們在掌握电加工方面和進一步將电加工运用到祖國工業中，將有很大的幫助。

Лонитомаш电加工委員會

目 錄

序言

I. 电 抛 光 过 程

1. 电抛光原理·····	6
2. 基本的規律性·····	11
3. 电抛光表面的性能·····	15

II. 电抛光的工藝規程

4. 工藝規程·····	19
5. 工藝規程中的各工序·····	21
6. 炭素鋼和合金鋼的电抛光·····	25
7. 銅鍍層的电抛光·····	31
8. 鎳鍍層的电抛光·····	33
9. 电解液的檢驗·····	36

III. 电抛光在工業上的应用

10. 設備及其平面佈置·····	41
11. 切削工具的电抛光·····	44
12. 紡織机械零件的电抛光·····	45
13. 光面圓柱形量規的电化学精加工·····	48

序 言

在生產中貫徹先進科學思想的最新成就的鬥爭是我們
社會主義工業技術進步的最重要的條件。

近幾年來，由於工業工作人員及科學活動家創造性勞動的結果，出現了金屬和合金加工的新方法——電火花法、陽極機械加工法等。

發明和研究這些新方法的優先權是屬於蘇聯的科學家們。蘇聯政府對這些發明的重要性是十分重視的，並授予B. P. 拉扎連柯、H. И. 拉扎連柯和B. H. 古塞夫等發明家以斯大林獎金獲得者的崇高稱號。

不用貴重的和複雜的工具，而利用電能來切削金屬和合金的方法，為提高工業生產率、改善產品質量和降低產品成本提供了廣闊可能性。

在金屬加工過程中運用工藝，將使生產過渡到更高的技藝階段。

要使電工藝能夠在技術上廣泛地、正確地應用在工業中，我們就得對它的本質和特點具有淵博的知識，並熟悉某些個別企業在這方面所積累的实际經驗。

為了運用电加工方法並普遍推廣使用這些方法的先進經驗，機器制造書籍出版社列寧格勒分社根據「Лонито-маш」電工委員會的建議，出版了包括下列小冊子的「電工藝叢書」：

1. B. H. Гусев 著「金屬的陽極機械加工」；

2. Е. М. Левинсон 著「金屬的电火花加工」；
3. И. Г. Космачев, П. С. Крыжановский, П. Д. Клименков 合著「硬質合金工具陽極机械法刃磨」；
4. Е. М. Левинсон, Б. Г. Гуткин, А. П. Дятченко, Е. И. Владимиров 合著「金屬內腔和孔的电火花制作法」；
5. Н. Р. Четыркин 著「陽極机械切削法」；
6. В. К. Иванов 著「拉絲模和冲模的陽極机械加工」；
7. Б. И. Кан, И. Г. Космачев 合著「陽極机械精加工」；
8. Б. Г. Гуткин, А. Л. Вишницкий 合著「电火花和陽極机械加工机床工作規範的調節器」；
9. А. В. Алексеев, Л. Я. Попилов 合著「工具的电強化法」；
10. Л. Я. Богорад 著「金屬的电化学抛光」。

还應該指出，由於沒有确定有关电加工方面的專門術語，在已出版的書籍中有些術語尙待訂正，但在实际工作中却已通用。

我們認為，「电工工藝叢書」整个來說对生產者們在掌握电加工方面和進一步將电加工运用到祖國工業中，將有很大的幫助。

Лонитомаш电加工委員會

目 錄

序言

I. 电 抛 光 过 程

1. 电抛光原理·····	6
2. 基本的規律性·····	11
3. 电抛光表面的性能·····	15

II. 电抛光的工藝規程

4. 工藝規程·····	19
5. 工藝規程中的各工序·····	21
6. 炭素鋼和合金鋼的电抛光·····	25
7. 銅鍍層的电抛光·····	31
8. 鎳鍍層的电抛光·····	33
9. 电解液的檢驗·····	36

III. 电抛光在工業上的应用

10. 設備及其平面佈置·····	41
11. 切削工具的电抛光·····	44
12. 紡織机械零件的电抛光·····	45
13. 光面圓柱形量規的电化学精加工·····	48

I. 电 抛 光 过 程

新机器的設計員和工藝員們，愈來愈多地触及到如何提高零件表面質量的各种問題。表面光潔度对零件的耐磨性、抗疲性，以及对配合处的強度，都起着决定性的影响。

如零件接触面的加工未达到所要求的光潔度时，就不可能保持所需的配合。

裝飾性加工时，表面光潔度同样具有極重要的意义。零件的耐蝕性在極大程度上，是与零件表面不平情形的分佈特点及不平高度有关的。

欲使零件表面达到所需的光潔度，可採用各种方法，最普遍的首先是机械方法。但是由於这种方法具有不少缺点，因而其应用範圍受到了限制。

机械方法的缺点有：

- 1) 由於机械作用，而引起表層組織歪曲並可能使零件变形；
- 2) 形狀复雜的零件加工困难，有时甚至不可能加工；
- 3) 所費劳动量較高，尤其当加工的表面增大时，所需的劳动量也隨着增長。

採用零件表層电化学溶解的方法，可以順利解决有关光加工的一系列問題。

苏联科学家所研究出來的电抛光方法，日前在工業中得到廣泛使用。

电抛光方法虽然不能完全代替光加工的机械方法，但

是它常常可以使我們便於獲得零件表面的所需質量，並且在很多情況下，它能擴大機械制造的工藝可能性。

1. 电 抛 光 原 理

把准备進行电抛光的零件放在導電的特制溶液——電解液中（圖 1）接通陽極（零件）和陰極之間的電流，在一定條件下可使零件表層溶解，而使表面不平處平滑。

從外表上看电抛光与鍍鎳、鍍鋅、尤其与鍍鉻很相似，但有一些原則性的區別和不同的特點。

電鍍時，零件與電源的負極連接，金屬在零件上沉積。但电抛光時，零件與正極連接，而在零件表面上金屬產生溶解現象。電鍍的主要目的是尽可能獲得良好的鍍層（沒

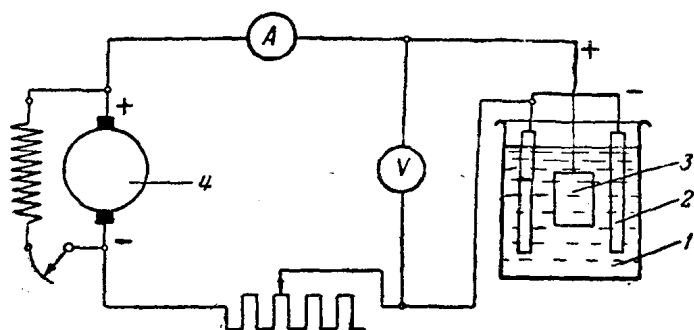


圖 1. 电抛光原理略圖

1—電解液； 2—陰極； 3—陽極； 4—發電機。

有松孔，與原金屬有良好的結合力、均勻度等）。而电抛光的目的是在金屬溶掉的最少及零件（陽極）表面溶解的最均勻的條件下，尽可能得到光滑的表面。

机械加工之后，零件具有凸起不平的表面，由於加工光潔度不同，凸起不平程度的大小也不同。电抛光可以保证使高度不超过 1~2 公微的凸起不平处平滑。当凸起不平处的高度大於 2 公微时，虽然表面具有鏡面一样的光澤，但不平現象却仍然存在。

电抛光时，零件上金屬之所以溶掉，是由於陽極金屬电化学溶解的結果。此种电化学溶解反应符合於一定的法則，其中主要的法則是电力条件与金屬溶掉量的关系。顯然对于陽極表面某一部分上金屬的溶解速度來說（單位時間內溶解的金屬層厚度），在一定限度内电流密度愈大，則金屬的溶解速度也愈大。

同样，陽極表面某些部分上的电流密度，也与电解液抵抗电流通向該部分的电阻有关。

电抛光时，由於凸起处頂部比凹陷处的金屬溶解得剧烈，因而使表面平滑。零件表面上某些部分產生上述不均匀溶解的原因，是由於金屬的陽極溶解物填滿了所有的凹陷地方，这些陽極溶解物阻碍着电流对凹陷表面的作用，但此时对电流通向凸起表面影响不大。

靠近陽極的电解液層，在抛光表面上形成了一層粘而厚度不均的薄膜（圖 2）。在凸起处頂部上的这种薄膜由於向电解液中的擴散作用較為剧烈，因而比在凹陷处要薄。

在陽極表面各部分上的金屬溶解速度，主要是与这些部分上的电流密度有关。因为薄膜具有高的电阻，所以凹陷处底部上的电流密度比凸起处的要小得多。正因为这样，凸起处頂部的溶解速度才比凹陷处底部的大。在凹陷处与凸起处，薄膜厚度的差別愈大，則电流密度相差也就愈顯著。

薄膜的厚度、粘度及电阻，主要与零件材料、薄膜向电解液中的扩散速度和电解液成分有关。电抛光时，薄膜的上述性能，根据其厚度的不同而各异，直接靠近阳极表面的一层（钝化的）薄膜具有最大的粘度和电阻。

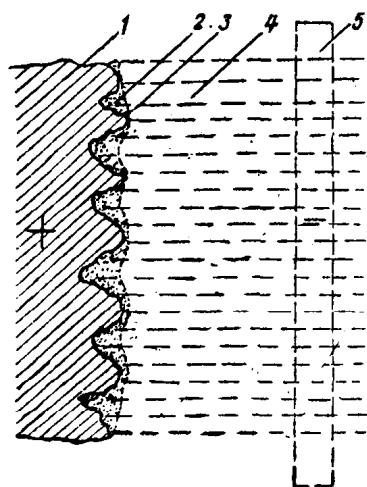


圖 2 . 薄膜在陽極表面上的分佈情形

1 — 陽極；2 — 陽極薄膜，3 — 电阻最大的薄膜層；4 — 電解液；5 — 陰極。

电抛光时，能使零件表面凸起处平滑，主要是由於整个靠近陽極的薄膜的作用。

电抛光后，表面之所以能够光滑，是由於薄層（钝化層）的作用。因为薄層能除掉零件表面凸起处上的小鋸齒形面。

当与薄膜钝化層厚度差不多的小鋸齒形面去掉之后，使表面平滑的速度將顯著減緩。如圖 3 所示，在凸起处及凹陷处上，促使表面平滑的薄膜厚度差，在小鋸齒形面时要比大鋸齒形面时大得多。

在电抛光时，如果凹陷处底部完全不溶解，則电抛光促使表面平滑的能力就更为理想。可是实际上虽然凹陷处底部的溶解速度比凸起处頂部的速度緩慢，但畢竟还是溶解，因此，在电抛光过程中，表面变平的同时，多少总会改变零件的尺寸。例如鋼料电抛光10分鐘可使高度为30~15公微

的不平处平滑，但却去掉了 0.1 公厘厚的一層金屬。

用电抛光法所变平的不平高度与溶掉的金屬層厚度的比率，表示电抛光的效率。

金屬的溶解速度決定於电抛光的条件，但也可以預先确定。採用最好的工作条件时，溶解速度为 $0.005 \sim 0.01$ 公厘/分。

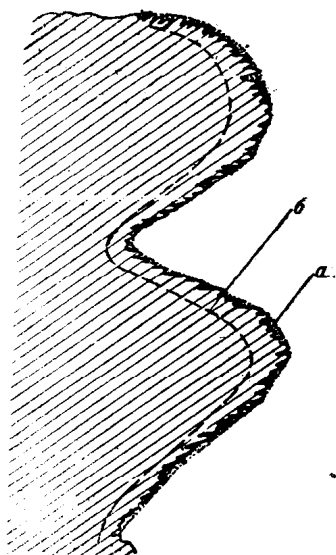


圖 3. 电抛光时的陽極表面
a—开始时的状态；b—一小
鋸齒形面除掉后的状态（只
表示陽極薄膜鈍化層）。

要达到的表面光潔度決定於原來表面的状态及电抛光工序的持續時間。通常表面光潔度比原來表面高 1 ~ 2 級，在个别情況下，表面光潔度提高得还要多。

电抛光后，表面微分几何形状的特性，對於零件接触面的工作來說，極為重要。机械加工时，多半不平处的頂部較為尖銳，而电抛光却与很多机械加工方法不同，它可保證使頂部变圓。如果，不平高度最初很大，甚至在电抛光过程中不能完全除掉，然而在电抛光之后，表面也能獲得光澤，並沒有机械加工后所常有的那些缺陷（裂紋擦伤）。

电抛光工序的最大优点，就是当电源具有足夠的电力时，工序的持續時間与被加工表面的大小無關。在盛有电

解液的槽子中，可以同时裝入大量的零件或裝入几个大零件。工序的持續時間僅僅決定於电拋光的工作条件。因此，在很多情況下，电拋光的生產率要比机械拋光大得多。應該着重指出，被加工表面的形狀對生產率几乎沒有影响。

在电拋光后的表面上，完全沒有能夠阻碍鍍層与零件表面良好結合的任何雜質，因而這對於电鍍工藝具有很大的意义。由於这个特点，电拋光工序可以包括在电鍍車間的流水作業線中。电拋光几乎可使多層裝飾性电鍍工藝規程中的工序数減少一半。除了电拋光的上述优点之外，還必須指出採用电拋光过程中所產生的一系列困难。

首先應該指出的就是电拋光「使表面平滑的能力」比較小。因此，电拋光主要用作精加工工序。近來为了提高电拋光使表面平滑的能力起見，進行了許多研究工作，从而为大大提高电拋光使表面平滑的能力提供了可能性，因而擴大了电拋光的应用範圍。

其次，就是电解液的消耗量較大。目前鋼料的电拋光溶液，在每 1 公升电解液通过 150~300 安培/小时的电量之后就失效了。然而却有可能用多次再生法來大大提高溶液的使用期限。

同时还應指出，电拋光沒有万能的电解液。目前几乎每种金屬都有專門成分的电解液，因而有几种金屬的电拋光，在車間內就應有几个槽子。

作为精加工工序的电拋光的主要特点，是能夠顯露出被加工表面上金屬所有缺陷（松孔、非金屬雜質、裂紋、金屬雜質等），当必須顯露这些缺陷时，电拋光可作檢驗方法用。

2. 基本的規律性¹

影响表面变平及金屬溶掉的因素 在电抛光时，表面变平的程度与金屬溶掉的多寡，決定於电解液的成分、电流密度、电解液的温度及电抛光的持續時間。對於鋼料的电抛光，这些因素的影响已基本上有了研究，而对其他金屬則研究得較少。

电解液成分 鋼料电抛光用的电解液中包括磷酸、硫酸、鉻酐和水。根据被抛光鋼料牌号的不同，所採用的溶液的成分含量和比重（1.65~1.74）也不同。銅鍍層和鎳鍍層电抛光用的电解液，基本上也是由上述成分組成。在鎳鍍層电抛光用的电解液中补加檸檬酸。

电流密度² 电流密度对鋼料表面变平速度及金屬溶掉量的影响如圖 4 所示。如加工時間相同，而电流密度大时，表面变平和金屬溶掉的速度都較快。不平处的相对变平率（即电抛光后不平高度与原來表面不平高度之比）在

¹ 作者与 C. E. 羅馬琴柯夫、C. Я. 格里利赫斯、P. C. 阿尔宋及 H. B. 維賽洛夫共同進行了电抛光規律性的研究和鍍層抛光用电解液成分的确定工作。

² 圖中所举的各种規律性是在下列成分（以重量的百分比計算）的电解液中抛光时得到的：

正磷酸	65
硫酸	15
鉻酐	6
水	14
电解液比重	1.74

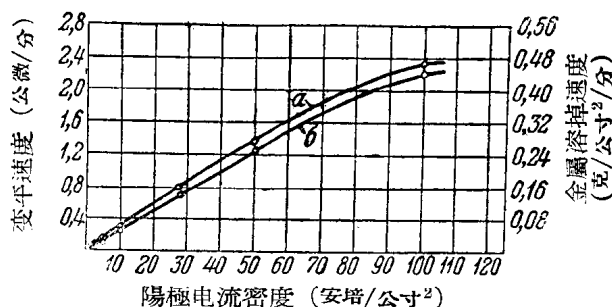


圖 4. 当加工時間相同 (10分鐘) 时, 电流密度对鋼料表面变平速度(a)及金屬溶掉量(b)的影响

同一电量时与电流密度無关 (圖 5) 。

电解液的温度 电解液的温度对溶液的黏度以及对陽

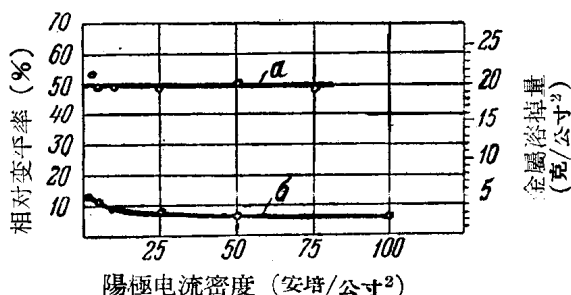


圖 5. 当电解液中通过的电量相同(500安培-分/公寸²)时, 电流密度对鋼料表面的变平(a)及金屬溶掉量(b)的影响

極薄膜的性能和成分都有很大的影响。从圖 6 中可以看出,最好的相对变平率是在电解液温度大約等於 100°C 时,然而通常电抛光却在温度 70°C 时進行,因为此时工作較方便。电解液的温度对变平速度和金屬溶掉量的影响可參看圖 7。

溶液的温度从 30 提高到 100°C 时,將使金屬的溶掉速

度几乎增大了1.5倍。因此，要使尺寸精确的零件均匀地电抛光，就必需尽可能使溶液的温度保持恒定。

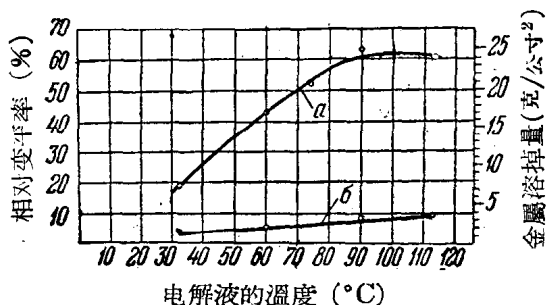


圖 6. 当电流密度为50安培/公寸²,电抛光的持續时间为10分鐘时, 电解液温度对鋼料表面的相对变平率(a)及金屬溶掉量(b)的影响

电抛光的持續时间 不平处的变平速度和溶掉的金屬層厚度，在頗大程度上，是与电抛光的持續时间有关。在

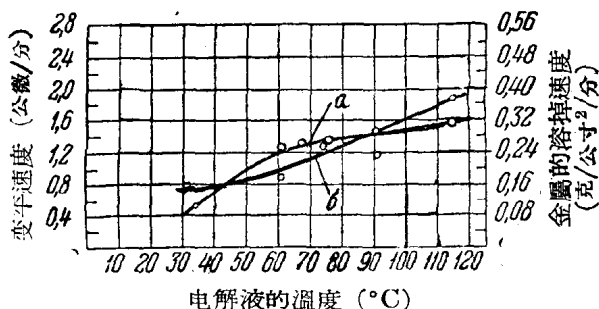


圖 7. 当电流密度为50安培/公寸²和电抛光时间为10分鐘时, 电解液温度对变平速度(a)及金屬溶掉速度(b)的影响

开始的10~15分鐘內，变平得最为剧烈（圖 8）。再繼續延長时间，則对相对变平率的影响很小。这是因为金屬在凹