

金属电抛光 工艺学

波庇洛夫著



机械工业出版社

金屬电抛光工艺学

波庇洛夫著

熊大達、王子馨譯



机械工业出版社

1957

出版者的話

本書叙述金屬电加工方法之一——电拋光法的本質，工艺特点及应用范围。本書可供广大的生产部門中接触到金屬光整加工問題的工程技術人員、从事电化学及金屬加工工艺的實驗室工作人員、以及技术学校的学生参考。

苏联 Л. Я. Понылов 著 ‘Технология электрополирования металлов’ (Машгиз 1953 年第一版)

*

*

*

NO. 1460

1957 年 10 月第一版 1957 年 10 月第一版第一次印刷

850×1168 $\frac{1}{32}$ 字数 182 千字 印張 7 $\frac{3}{16}$ 0,001—1,700 册

机械工業出版社(北京东交民巷 27 号)出版

机械工業出版社印刷厂印刷 新华書店發行

北京市書刊出版業營業許可証出字第 008 号 定价(10) 1.40 元

目 次

原序	4
第一章 金屬零件的表面質量	7
1 表面質量及決定表面質量的因素	7
2 表面質量對金屬零件運轉時技術性能的影響	15
3 控制表面質量的方法	20
第二章 電拋光的本質	24
4 電拋光的原理和用途	24
5 關於電拋光機構的現代觀念	27
6 電拋光的基本規律性及規範的選擇	35
第三章 電拋光工藝	45
7 電拋光技術及標準工藝過程	45
8 設備	49
9 電源和電規範	74
第四章 電拋光用的電解液	83
10 電解液的成分	83
11 電解液的制備和使用	100
12 電解液的檢查	117
第五章 電拋光工藝的特點	127
13 各種金屬的可拋光性	127
14 金屬原來狀態及表面預加工情況對其可拋光性的影響	150
15 電拋光表面的缺陷	141
第六章 電拋光對零件性能的影響	147
16 電拋光對表面物理-機械性能的影響	147
17 電拋光對金屬表面物理-化學性質的影響	161
18 電拋光對零件工藝性能的影響	169
第七章 電拋光的應用範圍	174
19 電拋光在機器零件加工方面的應用	174
20 電拋光在工具加工方面的應用	185
21 電拋光在金相學中的應用	198
第八章 電拋光的效能	220
22 電拋光的應用範圍	220
23 電拋光的技術-經濟特徵	220
24 電拋光的發展前途	224
中俄名詞對照表	228

原 序

在最近几年中，随着偉大的共产主义建設的进展，我国（苏联）电气化的規模將有空前的增長。

电的应用將要非凡广闊地滲入国民經济、工業、技术及日常生活的一切方面。

新的、前所未知的或未加利用的各种应用电的可能性將会發現。

这些大有前途的并且近年来已經成功地發展着的电的应用之一就是金屬加工的一个新領域——由我国（苏联）科学家和生产者所創立的电加工工艺。

电加工工艺是以直接利用电能而不必在中途將其轉变成热能或机械力为基础的，这就为材料加工技术开辟了广闊的新天地。

电加工工艺的应用乃是在現代条件下技术进步的最主要的因素之一。应用电加工工艺能提高生产水平，改善生产組織，保証材料、工具、电力及燃料的大量节省，减少劳动量以及使繁重操作过程机械化。电加工工艺能提高設計的工艺性，使复杂的工艺問題得到解决，提高产品质量，并使快速加工方法容易运用。此外，电加工工艺还能够縮短生产周期，并为实行社会主义劳动方式創造有利的条件。

从电加工工艺在工業中运用的实际經驗里，可以举出充分的例子来証实上述的情况。

在許多应用金屬电加工的方法中，电化学抛光法占据主要位置之一。此法能够显著地改善金屬工件表面的技术性能，并且在很多場合里代替了金屬光整加工的机械方法。

电化学抛光法是以利用金屬与各种化合物的溶液之間在通过直流电流时所發生的現象为基础的。

大家知道，当直流电流通过导电的溶液（电解液）时，就会發生許多的各式各样的物理-化学現象，統称为电化学現象。

在陰極上或陰極附近發生的这类現象，其中相当大的部分或者已被詳尽地研究过了，或者正在被科学家和生产者們当作長期研究及不断改进的对象。

譬如，这些現象中之一：陰極上析出金屬与气体的現象，乃是从金屬的化合物中提煉金屬、鍍复金屬、制作形狀复杂的金屬

零件、制碱和制氫等工艺的基础。

在陽極表面所發生的現象則研究得很少，因为這些現象一方面具有陽極过程的高度复杂性，而另一方面又具有比較少的工艺价值。

这些在不久以前尚未引起研究工作者注意且尚未获得工業应用的陽極現象之一，就是陽極表面出現强烈的金屬光澤同时在一定条件下变成平滑的現象。

这个很少被研究过的現象，就是金屬电抛光法的基础。

这个現象在 1909 年，即在国外技术中出現之前的 20 年，就在俄国被發現。它在技术中被称为电化学抛光或电解抛光，又簡称为电抛光[●]，而到本世紀的 30~40 年代才获得工艺的形式而开始在工業上应用。

苏联有許多研究工作者和生产者曾經从事过及正在从事着电抛光理論基础的探討及其工艺的研究。

由于巴依馬可夫 (Ю. В. Баймаков) 和巴达雪夫 (К. П. Баташев)、菲道节夫 (Н. П. Федотьев) 及其同事、沃茲德維然斯基 (Г. С. Воздвиженский) 及其同事、賴涅尔 (В. И. Лайнер)、列文 (А. И. Левин)、菲杜尔金 (В. В. Федуркин)、以及其他許多建立了电抛光过程的理論与实践的基本原理的人們的工作，才奠定了使得电抛光能够相当成功地应用到工業中去的基础。

联共党第十九次代表大会关于在 1951~1955 年苏联国民經济發展的第五个五年計划的指示中，規定了作为苏联国民經济所有部門中新的强大的技术革新基础的机械制造工業的巨大發展速度。指示中規定，机械制造工業及金屬加工工業的产量在五年中应当大約增加一倍。

要完成如此巨大的任务，就必须不断改进工艺过程，在工業中推广能够提高生产率及产品質量的金屬加工的新方法。电抛光就是这样的方法之一。

利用电抛光就能够用电化学工序来代替繁重的机械抛光工序，能够作到任何硬度的、形狀复杂的金屬工件的抛光以及金屬工件內孔或腔穴的抛光，能够显著地改善金屬表面的机械性能并达到許多其他的效果。

除了許多优点以外，电抛光也有其重大的缺点。

在目前的情况下，电抛光的应用还只限于一部分（虽然是相

● 为了簡便起見，以后只用「电抛光」这一名称。

当大的一部分) 金屬及合金, 所用的大多数化学物料料的耐久性不够高。进行电抛光时所需的电流密度比較高。

电抛光的原理虽然异常簡單, 但是要得到穩定的、可以重复的及良好的結果, 就必须遵守一系列确定的条件。

揭明这些条件的內容、研究及概括这些条件的本質, 乃是电化学的一个新部門——金屬电抛光工艺学的主要任务。本書就是为了闡述金屬电抛光工艺学的基础而作的。

作者概括了刊于文献中的許多研究者和生产者的經驗, 并根据自己在电抛光方面与同事們集体进行的工作, 試圖在本書中对工程技术人员提供选择和应用这种先进工艺过程所必需的原始資料。

由于有关电抛光法的本質的理論概念仍在不断發展着并且日益精确起来, 同时工業經驗也在日益增加, 因此許多最近的新成就便無法收入本書之中, 而这一点也正是本書的缺点之一。但是作者已尽了最大可能来减小这一缺点。

本書共計八章, 依次闡述表面質量对金屬性能的影响, 电抛光的本質及主要工艺方法, 电抛光对被抛光工件的主要性能的影响及其对于解决各种技术問題的适用程度。

第一章中对于金屬在机械加工后的表面状态問題給予了較多的注意。因为这是一个重要的問題, 并且希望由此而引起讀者对这个問題的注意。

第二十一节[电抛光在金相学中的应用]的篇幅較大是因为在文献中还沒有关于电抛光在这个重要方面的报导。这节的写作尚有副博士扎依采夫(Л.П.Зайцев)参加。

作者認為有必要請讀者注意到, 本書中闡述的材料可以从兩方面加以利用。

对于設計師、机械加工工艺师、技术檢查工作人員及工程技术领导人員, 本書所載的知識足以使他們能够有意識地在其面临的条件下拟定电抛光法的可能应用場所并且能够評估所得到的結果, 但是还不足以使他們能够不用电化学專家或化学專家的协助而广泛独立地掌握电抛光过程。

对于已經在电抛光方面工作及开始熟悉电抛光的电化学專家和化学專家們, 本書中的材料可以使他們对于电抛光过程的本质获得更精确的理解并且能够更加有目的地进行电抛光工艺的研究。

第一章 金屬零件的表面質量

1 表面質量及決定表面質量的因素

固体和液体之間的主要区别在于液体中的質点能够很容易地相互移动到任何距离，而固体中的質点却是固定在一定的位置上的（实际上可以看作是不动的）。

固体質点这种不可移动性的最主要的后果之一，就是固体表面在受到机械、化学、热及別种作用时所發生的各式各样的变化痕迹，都能够持久地保留下来。

在技术中沒有一种物体、零件或工件的表面在制造或加工过程中不受到各种工艺的作用的，并且也沒有不留下这些作用的痕迹的。

因此，任何实际固体的表面都具有与其母体不同的性質。这些表面性質的总和通常用[表面質量]这个术语来表示。

从物理性質及物理机械性質的观点来看，表面質量是由很薄的表面層的結構（組織）及其机械特征所决定的。

从几何学的观点来看，表面質量的特征是表面的形狀：在大的范围是宏观几何形狀，在小的地区（一般定为1平方公厘以下）是显微几何形狀（表面光潔度）。

从化学性質及物理化学性質的观点来看，表面質量包含着表面薄層的化学成分、表面吸附膜的存在、表面催化活动性及其他一些特殊性質的概念。

大量的研究和实际观察表明，表面質量几乎对零件和工件的全部技术性能和运转使用性能都發生重大的影响。

表1中列举表面質量与其性能之間的一些主要的和已經确定了的关系。

表1 表面質量对表面性能的影响

表面的技术性能及运转性能	表面質量因素							
	显微几何形状(光洁度,粗糙度)	冷作硬化(表面层的强度)	细微裂纹(表面完整性)	条纹的方	波	組織变化	化学成分的变化	吸附层的存在
显微硬度	—	+	—	—	—	+	+	+
摩擦系数	+	—	—	+	—	—	—	+
耐磨性	+	+	—	+	+	+	+	+
疲劳强度	+	+	+	+	—	+	+	+
强度特征(疲劳强度除外)	+	+	+	+	—	+	+	+
配合質量	+	—	—	+	+	—	—	—
压力配合强度	+	+	—	+	+	—	—	—
可动及不可动联接的紧密性	+	+	—	+	+	—	—	—
应力集中的發生	+	—	+	+	—	—	—	—
剩余应力的产生	—	+	—	—	—	+	—	—
耐腐蝕性	+	+	+	—	—	+	+	—
耐侵蝕性	+	+	—	—	—	+	—	—
傳热系数	+	—	—	—	—	+	+	—
表面电阻	+	+	—	—	—	+	+	+
磁性	—	+	—	—	—	+	+	—
光反射系数	+	—	—	+	—	+	—	+
表面鍍層的附着能力	+	—	—	+	—	—	—	+
催化活动性	+	—	+	—	—	—	+	+
發射性質	+	+	—	—	—	+	+	+
吸附性質	+	—	—	—	—	—	—	+
电化学势	+	+	—	—	—	+	+	+
对蒸汽凝結的影响	+	—	—	—	—	—	—	+
表面可潤湿性	+	—	—	—	—	—	—	+
对表面上蒸汽發生的影响	+	—	—	—	—	—	—	+

注: 符号 [+] 表示該表面質量因素对表面的技术性能及运转性能有影响。

把表1的内容加以分析后就很容易看出, 在所有对工件的技术性能及运转性能發生影响的表面質量因素之中, 表面显微几何

形状（表面光洁度和粗糙度）具有最大的意义。

由于这种因素的意义，自然地，研究工作者与生产工作者們也就相应地对它給予極大的注意。

在苏联很早就制定并且已在工業中广泛推行了一个标准（ГОСТ 2789-51^①），规定表面显微几何形状（光洁度）的等級划分及其測定規則。

这个标准是大家都知道的，因此不必在此多加說明。

前面已經指出了，显微几何形状是金屬表面受到机械、热或化学作用的結果。

从表 2 可以看到：1）每种加工方式、每种工艺过程或工序都有与其相符的某种一定的表面显微几何形状；2）改变工件的加工工艺，能够在很寬的範圍內改变表面显微几何形状的特征。

有关表面質量概念的其次一个主要因素为極薄的表面層的物理状态，特别是其組織。关于这个問題曾經进行过和正在进行着大量的研究工作，并且目前可以認為表面層的本性基本上已經弄清楚了。

圖 1 为机械加工（磨削）过的金屬包括表面層在內的断面在高倍放大后的示意图。从圖 1 中可以看到，表面層与在其下面的金屬基体的組織有显著的区别。

在表面層的最上面与周圍介質接界的部分 1 只有万分之几个公忽

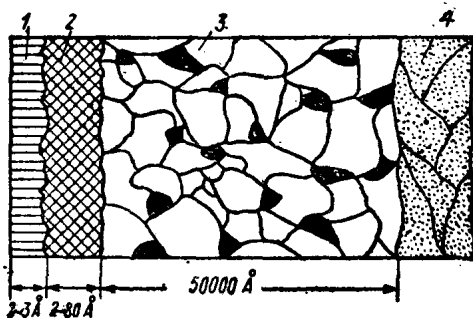


圖 1 表面經过磨削的金屬的組織。

1 只有万分之几个公忽（几个埃）厚，并且是由气体吸附膜所組成的。只有將金屬在真空中加热才能去除这層膜。

① 过去为 ГОСТ 2789-45。

表 2 不同方式机械加工后的表面光潔度

加工方式		根据ГОСТ 2789-51的表面光洁度等级									
車削	粗 中 精 細	1~4 — 5~8 6~10	4 5 6 7	4~5 — 6~7 8~9	— — — —	3 5 6 —	2~4 — 4~6 —	1~3 — 4~7 7~9	1~7 1~7 1~7 7~9	2~4 — 4~6 5~7	
		2~4 5~8 6~10	— — —	— 6~7 —	— 7~9 —	— — —	— — —	— — —	1~7 1~7 7	2~4 4~6 5~7	
		7 8~9	7 —	— 7~8	5~7 —	— —	5~7 —	7 8~9	6~9 6~9	5~6 7~9	
圓柱銑削	粗 精	2~5 5~7	— —	4~6 —	— 6~7	5 —	3~5 5~8	1~3 4~5	2~8 2~8	3~5 6~7	
		2~6 5~7 7~8 6~9	— — — 7	4~6 — 7~8	— — —	3~4 — — 10	— — —	1~3 4~6 7 —	1~7 1~7 1~7 —	3~5 6~9 — —	
刨削	粗 精 光	— — —	— — —	— 6~8 9	— 7 —	— — —	— — —	1~3 4~7 7~9	— — —	1~3 4~6 —	

(續)

加工方式		根据ГОСТ 2789-51的表面光潔度等級									
用砂布磨光	粗 精 細	— — —	— — —	— — —	6~7 8~9 9~10	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —
磨 齒		—	—	8~9	—	—	—	—	—	—	—
珩磨(磨磨)	粗(初) 細(終)	8~9 10~12	8~9 9~10	10~12	7~9 10~11	9	—	10~12 13~14	7~12 7~12	8~9 10~11	—
微 珩 磨		—	12~14	—	—	—	—	—	—	—	—
研 磨	精 細	10~11 12~14	9~10 12	—	9~10 11	11 12~13	—	—	—	—	—
拋 光	精 細	8~10 11~13	8 —	—	—	—	—	9~12 12~13	7~14 7~14	— 12~14	—
光 磨		—	—	12~14	—	—	—	—	8~14	—	—
超光加工	精 細	10~11 11~14	8~9 9~12	12~14	—	13	—	11~13 13~14	9~14 9~14	— —	—
鋼輪滾壓		—	—	—	9~10	—	—	—	—	—	—

表面層的其次一部分 2 的厚度約为千分之几个公忽，它是金屬在受到磨削时产生的高溫作用后形成的氧化物、氮化物及純金屬顆粒变形后的一層物質。

表面層的底下部分 3 的厚度約为几个公忽。組成这一層的是在砂輪压力下受到强烈变形的金屬及因磨削高溫作用而造成的組織形式不同的金屬。繼这層之后就是未受改变的基体金屬 4。

表面層的 2 和 3 兩部分的厚度和性質，根据不同的加工条件及金屬性質，可以有很大的变化。表面層的最外部分 1 在空气中实际上可以看作总是保持着不变的几个埃的厚度。

表 3 中列举發生变化的表面層厚度与加工方式之間的关系的几个例子。

即使像在机械抛光时所發生的那么微小的力量也能够在金屬表面造成变形層。

表 3 机械加工时受热及受到有害变形的表面層的厚度

加工方式	厚度(公忽)
車削	250~2000
砂輪磨削	12~75
砂輪細磨削	2.5~25
超光加工	0.25

机械抛光后的金屬表面層往往具有較高的硬度和脆性；其組織有时宛如凝固的玻璃狀物質，而这也就是产生表面層金屬在机械加工时轉变成不是金屬所常有的〔非晶形〕状态的論据的根源之一。

这种在机械加工过的金屬表面上借足够高倍的放大后就能观察到的〔非晶形〕層，根据一些充分可靠的論据，乃是極度細碎的晶粒以及氧和氧化亞鉄 (FeO) 在鉄中的固溶体。

机械加工（切削加工、压力加工等）过程使得金屬表面变成更为致密并取得所謂冷作硬化的性質——提高硬度和强度。

冷作硬化的量（程度和深度）是由金屬性質及所加的力量的性質（大小、方向）所决定的。

从表 4 和圖 2 可以得到有关在各种不同方式加工后的表面冷作硬化的質和量的概念。

表4 不同方式机械加工时的冷作硬化的深度

材料——45号鋼

加工方式		規 范		冷作硬化的深度 (公忽)	
		V (公尺/分)	S (公厘/轉)	在該規 范时	平均值
車 削	精粗	20 —	0.05 0.2	160 220	150 200
平面銑削	粗精	— —	— —	— —	120 100
鑽 孔		10 40	0.28 0.28	295~305 175~205	250 —
扩 孔		10 30	0.76 0.76	188~177 200~213	250 —
鉸 孔		2 57 100	1.24 1.24 0.39	360~252 218~228 215~242	250~300 — —
拉 削		—	—	—	15~80
銑齿或插齿	粗精	— —	— —	— —	140 120
剃 齿		—	—	—	100

在工艺过程选择不夠适当或不遵守其規程的情况下，許多种合金的表面在机械加工时能够受到强烈的温度作用。其后果乃是很深的金屬組織变化，并在表面生成独特的、几乎無組織的〔白色〕層（圖3），或者表面層發生燒伤或裂紋（圖4）。这些缺陷在硬的淬火鋼上最常見。

金屬表面層中的組織变化以及外来的机械作用和热的作用常常引起不同大小和符号的〔殘余〕內应力，并在表面層中保留下来。

圖5中的曲綫表示在某些情况下这种应力的特点。

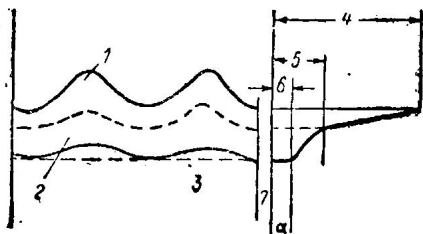


圖2 加工后鋼表面冷作硬化的量：
1—被破坏的組織；2—冷作硬化層；
3—原来的金屬；4—被破坏組織的
硬度；5—冷作硬化層的硬度；6—
原来的硬度；7—离最外層的距离。

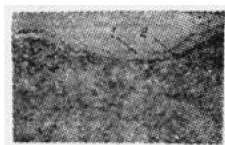


圖3 磨削后鋼表面
上的白色層：
1—白色層；2—基体
金屬。

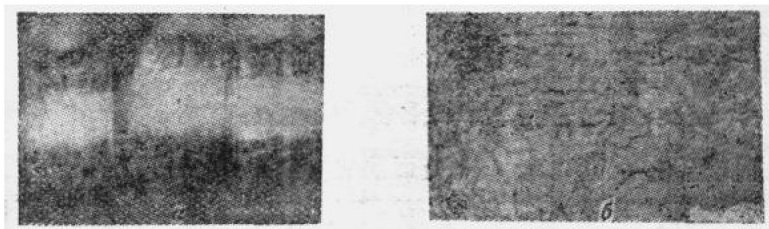


圖4 磨削裂紋：

a—用电拋光法显现出来的；b—用浸蝕法显现出来的。

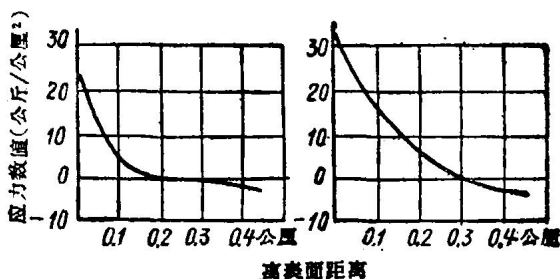


圖5 磨削后金屬中的应力数值及符号。

2 表面質量对金屬零件运轉时技术性能的影响

前面已經講过，表面質量对金屬的各种性質有重大的影响。

下面所举的一些例子可以說明这种影响的定量的特征。

表5~12及圖6中所載为某几种鋼的表面光潔度对其强度的影响資料。

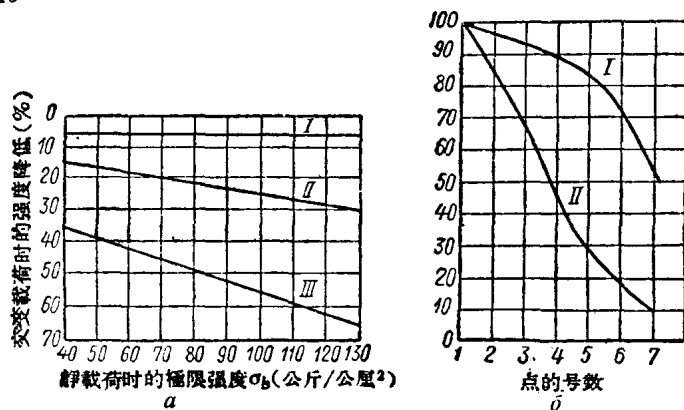


圖 6 加工方式对疲劳强度的影响:

a—在不同的加工后强度的降低: I—抛光的; II—在机床上修光的; III—切槽的; b—各种钢在不同的表面加工后强度的降低; 点的号数: 1—抛光的; 2—磨削的; 3—粗加工后; 4—有抓纹的表面; 5—轧制后的表面; 6—在淡水内腐蚀后; 7—腐蚀后。

表 5 加工方式与表面状态对疲劳强度的影响

加工方式及表面状态	鋼的抗拉强度(公斤/公厘 ²)		
	48	96	144
	疲劳强度(%)		
細抛光及光磨	100	100	100
粗抛光或超光加工	95	93	90
細磨削或細車削	93	90	88
粗磨削或粗車削	90	80	70
軋制后帶皮的	70	50	35
自来水腐蚀后	60	35	20
海水腐蚀后	40	23	13

表 6 机械加工的表面光洁度对疲劳强度的影响

材 料	表面光洁度 $R_{\text{最大}}$ (公忽)	相对疲劳强度(%)
疲劳强度为 34.2(公斤/公厘 ²)的鋼	16	100
	19	96.4
	37	77.4
疲劳强度为 46(公斤/公厘 ²)的鋼	0.25	100
	1.5	97
	16	71.7