

出版者的話

为了滿足我国机械制造工艺人員的需要，我們准备將苏联机械工业出版社的电加工和超声加工丛书（Библиотека электротехнолога и ультразвуковика）陸續翻譯出版。这套丛书共有七册，分別介紹金屬的电流脉冲加工、金屬阴极机械加工、金屬电化学加工、金屬电接触加工、金屬超声加工等問題，系統地敘述了加工基本方法的原理和工艺以及所用的設備。

这套丛书适于在机械制造工厂从事电加工和超声加工的工艺人員、技术工人和工长閱讀。

这一册“工艺过程的超声强化”敘述了清洗、脫脂、电镀、釐接、焊接、热处理等工艺过程，通过在加工区中引入超声振动的方法而加以强化的問題；同时还說明了这些方法的实际应用和設備特性。此外，书中給出了很有参考价值的數據資料。本书可供工艺人員在生产中参考。

УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

〔苏联〕И. С. Демчук

МАШГИЗ 1960

*

工艺过程的超声强化

意毅譯

范国良校

*

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业许可証出字第 074 号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店經售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092¹/₃₂ 印張 3³/₁₆ 66千字

1964年9月第一版 1964年9月第一次印刷 印数：0,001—6,200册

統一书号：15034·794 定价：（科七）0.44元

引 言

在工业中，特别是在机器制造业中采用以新技术为基础的、原理上新的及较为完善的工艺过程，系进一步发展生产、提高产品产量的途径之一。超声处理便是这样的一种方法。

在本世纪初期，法国物理学家H. 兰惹文和俄国工程师K. 希洛夫斯基第一次利用超声振动来侦察1914~1918年战争期间封锁海上交通线的德国潜水艇。1928年，苏联学者C. Я. 索科洛夫在世界上第一次从理论上研究了并在实际中实现了应用超声对金属制件进行探伤的方法。

目前很难说出有哪一个技术领域是不能利用超声振动的。利用超声来强化许多工艺过程，是极为有效的。已经肯定，超声频率弹性振动能使传播这些振动的介质发生变化。例如，这些振动能够搅拌液体，在液体中形成声喷泉，加速某些质点的运动，在液体中造成空化泡，而这些空化泡的出现（特别是砰的一声闭合）会引起一系列机械的和化学的效应。弹性超声振动的这些作用以及其它的作用被成功地用来解决极其多种的技术问题：零件的清洗、硬脆材料的钻孔和切割、铝合金和其它合金的钎接、在熔融金属结晶时改善金属组织、加速电化学过程、取得各种金属及合金的不可卸结合（焊接）等等。

在电加工与超声加工丛书的这一分册中，引述在机器制造、冶金和仪器制造业各部门中利用超声振动来强化工艺过程的一些基本知识，其内容足以解决在具体条件下合理利用此种强化的问题。

目 录

引言	4
一、超声在零件清洗中的应用	5
超声清洗方法的实质	5
在清洗中应用超声的实例	8
超声清洗设备	20
二、超声在电镀技术中的应用	40
超声对电镀过程影响的实质	41
在电镀技术中应用超声的实例	43
在电镀技术中应用的超声设备	53
三、超声在焊接技术中的应用	57
超声焊接方法的实质	58
超声焊接的应用实例	60
超声焊接设备	65
超声在电弧焊和电渣焊中的应用	70
超声在接触电焊中的应用	75
四、超声在钎接中的应用	77
超声钎接方法的实质	78
超声钎接的应用实例	79
超声钎接设备	84
五、超声在冶金中的应用	87
超声对金属与合金初次结晶的影响	87
超声对多相转变和弥散硬化的影响	97
参考文献	101

电加工和超声加工丛书七

工艺过程的超声强化

[苏联] И. С. 杰姆丘克著

高 毅 译

范 国 良 校

出版者的話

为了滿足我国机械制造工艺人員的需要，我們准备將苏联机械工业出版社的电加工和超声加工丛书（Библиотека электротехнолога и ультразвуковика）陸續翻譯出版。这套丛书共有七册，分別介紹金屬的电流脉冲加工、金屬阴极机械加工、金屬电化学加工、金屬电接触加工、金屬超声加工等問題，系統地敘述了加工基本方法的原理和工艺以及所用的設備。

这套丛书适于在机械制造工厂从事电加工和超声加工的工艺人員、技术工人和工长閱讀。

这一册“工艺过程的超声强化”敘述了清洗、脫脂、电镀、釐接、焊接、热处理等工艺过程，通过在加工区中引入超声振动的方法而加以强化的問題；同时还說明了这些方法的实际应用和設備特性。此外，书中給出了很有参考价值的數據資料。本书可供工艺人員在生产中参考。

УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

〔苏联〕И. С. Демчук

МАШГИЗ 1960

*

工艺过程的超声强化

意毅譯

范国良校

*

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业許可証出字第 074 号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店經售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092¹/₃₂ 印張 3³/₁₆ 66千字

1964年9月第一版 1964年9月第一次印刷 印数：0,001—6,200册

統一书号：15034·794 定价：（科七）0.44元

目 录

引言	4
一、超声在零件清洗中的应用	5
超声清洗方法的实质	5
在清洗中应用超声的实例	8
超声清洗设备	20
二、超声在电镀技术中的应用	40
超声对电镀过程影响的实质	41
在电镀技术中应用超声的实例	43
在电镀技术中应用的超声设备	53
三、超声在焊接技术中的应用	57
超声焊接方法的实质	58
超声焊接的应用实例	60
超声焊接设备	65
超声在电弧焊和电渣焊中的应用	70
超声在接触电焊中的应用	75
四、超声在钎接中的应用	77
超声钎接方法的实质	78
超声钎接的应用实例	79
超声钎接设备	84
五、超声在冶金中的应用	87
超声对金属与合金初次结晶的影响	87
超声对多相转变和弥散硬化的影响	97
参考文献	101

引 言

在工业中，特别是在机器制造业中采用以新技术为基础的、原理上新的及较为完善的工艺过程，系进一步发展生产、提高产品产量的途径之一。超声处理便是这样的一种方法。

在本世纪初期，法国物理学家H. 兰惹文和俄国工程师K. 希洛夫斯基第一次利用超声振动来侦察1914~1918年战争期间封锁海上交通线的德国潜水艇。1928年，苏联学者C. Я. 索科洛夫在世界上第一次从理论上研究了并在实际中实现了应用超声对金属制件进行探伤的方法。

目前很难说出有哪一个技术领域是不能利用超声振动的。利用超声来强化许多工艺过程，是极为有效的。已经肯定，超声频率弹性振动能使传播这些振动的介质发生变化。例如，这些振动能够搅拌液体，在液体中形成声喷泉，加速某些质点的运动，在液体中造成空化泡，而这些空化泡的出现（特别是砰的一声闭合）会引起一系列机械的和化学的效应。弹性超声振动的这些作用以及其它的作用被成功地用来解决极其多种的技术问题：零件的清洗、硬脆材料的钻孔和切割、铝合金和其它合金的钎接、在熔融金属结晶时改善金属组织、加速电化学过程、取得各种金属及合金的不可卸结合（焊接）等等。

在电加工与超声加工丛书的这一分册中，引述在机器制造、冶金和仪器制造业各部门中利用超声振动来强化工艺过程的一些基本知识，其内容足以解决在具体条件下合理利用此种强化的问题。

一、超声在零件清洗中的应用

根据各国实验室和研究所进行的大量研究，特别是近二十年来的研究工作[1]，已经肯定，将高频弹性机械振动（即所谓超声振动）引进各种物理化学过程中，就会使这些过程的强烈程度和性质发生巨大变化。

特别要提到是，这种作用对在两相分界面上发生的过程——例如清洗、溶解、乳化、电解沉积等过程，有着良好的影响。在清洗时应用超声频率振动作用，可以获得用其它方法清洗所达不到的表面质量。此外，采用超声不仅能大大改善已制定的工艺过程，而且有可能用化学清洗方法来消除或代替某些不理想的工序（喷砂、刷洗）。

近几年来，超声清洗法已开始广泛地应用来清洗外廓尺寸较小的、对清洗质量要求很高的零件（例如，光学、钟表、滚珠轴承、电真空以及其它工业部门中的零件）。

有根据推想，在有更大功率的超声能源的条件下，超声清洗的应用范围还会扩大到更大尺寸的制作。

超声清洗方法的实质

超声清洗的过程相当复杂。因为它系由传给清洗液的极大加速度作用，对于清洗制品表面有破坏作用的局部空化作用，以及油脂掺和物的乳化作用等结合而成的。

清洗过程的机理、控制此过程的规律以及伴随所发生的

現象，尚未完全研究清楚。但苏联声学研究所超声實驗室所进行的工作〔2〕可以証实，在超声場的作用下，液体中产生空化泡，这些空化泡对于零件的髒污表面发生机械作用。此种作用系由两种基本原因引起的：在空化泡閉合时产生的冲击波，以及渗透在污垢膜与零件基本表面之間的尚未閉合的空化泡的强烈振蕩。

利用以化学作用、热效应或机械作用为基础的不同方法，在液体中可以造成充滿气体及充滿蒸汽的或真空的空腔。这些空腔的尺寸变动范围可以从低于显微值到很大；一些空腔存在的时间可能很短，而另一些空腔存在的时间可能很长。这些空腔的形成和它們在出現空腔的介质中所引起的作用，通常称为空化。在各种水利工程設施中常見的是在某种障碍物附近高速流动或通过細孔的液体中，會出現空腔。由于水下爆炸、机械冲击波、在压力下以及在超声和声輻射作用下加热液体，均会产生空化。

已經查明〔3〕，要产生强烈的空化，必須有核心。在固体粒子和液体的边界上經常有的縫隙或裂口处产生的气泡，均可作为核心。复有油膜或粘附有細小金屬粒子的表面，显然是空化核心的根源。如果超声的强度相当大，則直接在固体物质的表面发生空化爆炸。这种爆炸所引起的极大的、同时又是瞬时的静态液压，会使貼附的粒子脱离固体表面；由超声振动引起的連續液流，將細小的粒子迅速排除。当两种物体（污垢膜和工件）分界面上的表面張力降低时，則液体的潤湿作用就会增强，从而促进了异种粒子的排除。

液体的化学活性对超声清洗的速度和质量均有影响。如果液体对于所去除的污垢膜來說在化学上是中性的，則清洗

过程的基础主要是空化泡的机械作用。如果在其中进行清洗的液体能溶解污垢，则除了机械破坏作用外，还有溶剂和污垢相互间的化学作用。在这种情况下，超声振动会大大加速溶解和扩散过程，因而除了空化现象之外，清洗还取决于在超声场中产生的运动液流的作用。

清洗时所采用的主要是磁致伸缩式和压电式换能器。根据所采用的换能器的型式不同，超声清洗在原理上可能有两种方式。

用压电式辐射器清洗时（图 1 a），必要的条件是要具备中介液体介质 2，由它将弹性振动从辐射器 7 的表面传给洗涤液 5，并且用来冷却压电石英片或钛酸钡片。此外，当压电辐射器两极板上的电压很高时（达数千伏），中介介质就用作电介质。通常采用绝缘强度高的变压器油作中介介质。

中介介质和装有洗涤溶液 5 的容器 4，用蓄有流动水的蛇形管 3 冷却。待清洗的制件浸入装有洗涤溶液 5 的容器中。容器的底部用一定厚度的适当材料制成隔膜 6 的形状，以使超声振动的损失最小（即隔膜应是透声的）。在工业中，利用压电式辐射器的洗涤装置有多种不同的结构型式。

用磁致伸缩式辐射器清洗时（图 1 b），一般不需要中介介质。在装有洗涤溶液 2 的槽 1 的底部装有带变换器 3 的磁致伸缩式换能器 4（变换器用耐洗涤溶液腐蚀作用的材料制造）。待清洗的制件浸入盛有洗涤溶液的槽中；超声振动直接从磁致伸缩式辐射器的变换器表面传给溶液。

超声清洗方式的选择，取决于许多因素。目前很难提出对某种超声清洗方式作最佳选择的方法。但是可以推测〔6〕，在比较高的超声频率（几百千赫）范围内，超声振动在敷盖

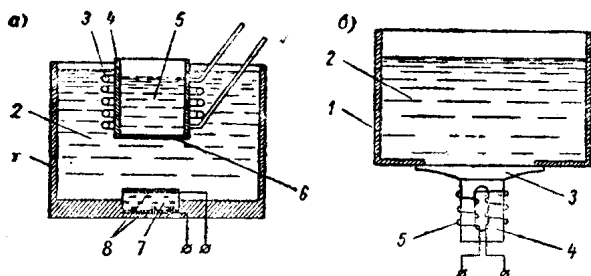


图1 超声清洗示意图。

a—利用压电石英辐射器：

1—槽；2—中介液体介质；3—蛇形管；4—容器；
5—洗涤溶液；6—隔膜；7—石英片；8—金属板。

b—利用磁致伸缩式辐射器：

1—槽；2—洗涤溶液；3—超声振动变换器；4—磁致伸缩换能器；5—电振荡和磁化激励绕组。

待清洗表面的薄层脂肪中的吸收具有重要意义。因此，高频超声（压电换能器的工作范围）主要用来清洗小型零件，这时要求的振幅不大，但是，需要很大的能量来排除污垢。

为了清洗零件上较大的污垢粒子，最好选用较低频率的超声振动（15~30千赫范围内）。这种频率范围内超声清洗的机理，主要决定于空化及伴随空化而发生的现象。

在清洗中应用超声的实例

大量机器零件、仪器及仪表的制造精度，与要求它们的表面具有很高的光洁度有着不可分割的联系。对于小型零件，例如光学玻璃、钟表机构的零件、继电器的接触点、滚珠轴承、电子管的阴极和栅极、电机的电刷、电刮脸刀片等，这一点更是特别重要的。表面上残留有不多的污垢和灰尘可能严重地影响其工作效果。零件和制品在用含有磨料的溶液

和膏剂加工以后再經過清洗是特別重要的，因为不把这些污垢彻底清除掉，就会导致零件的损伤。

現代的清洗技术可以順利地清除掉多种类型的污垢，例如，氧化物、油脂和油的殘迹、研磨膏和拋光膏等。然而，在零件上染有油污和髒污的地方已基本上被清洗以后，与基体金屬的微观粒子結合在一起的殘余細碎污垢物质仍会殘留在表面上，尤其在形状复杂零件的难接近的部位。因此，为了彻底清洗零件，尤其是清洗被各种膏剂严重髒污了的零件，要采用費工的手工洗滌工序。但是，这也不能經常获得完全洁淨的零件表面；手工清洗后出現廢品的情況也不少。

超声清洗方法，由于效率高而且經濟，已大大改变了清洗各种零件的工艺，并成功地用于各种工业部門。

零件上的油脂污垢、拋光膏和研磨膏的清洗 在液体中激励起强烈的超声場是各种超声清洗的共同原理。这些过程的特点取决于所清除的污垢、待清洗材料以及洗滌液体的特性。因此，具体零件的最佳清洗工艺規範，要由試驗的方法根据下列因素来确定：如待清洗表面的尺寸和形状、装入槽內的方法、待清洗金屬对氧化的傾向等。

已經肯定[4]，銓子油、机器油、魚油、硫化切削油、乳浊液和拋光膏这些类型的油脂污垢，在 $50\sim 60^{\circ}\text{C}$ 的溫度下用 1 号溶液（約 1 分钟）和 2 号溶液（ $0.5\sim 1.0$ 分钟）清洗得最快。洗滌溶液的成份列于表 1。

在 20°C 的溫度下，以 1 号溶液清洗魚油和拋光膏的效果很不好。在其它溶液內（在 $50\sim 60^{\circ}\text{C}$ 的溫度下）清洗，需 $2\sim 5$ 分钟。在沒有超声作用时，在 2 号溶液中清洗，需要 10 分钟。某些油脂污垢在 2 号溶液中清洗时的速度不同。例如，銓子油的清

表 1 洗滌溶液的成份

組 分 名 称	溶 液 編 号						
	1	2	3	4	5	6	7
	組分含量, 克/升						
苛性鈉NaOH	10	—	—	—	—	—	10
碳酸鈉Na ₂ CO ₃	30	—	30	40	5	40	70
磷酸鈉Na ₃ PO ₄	30	30	—	—	—	—	30
OH-7 ①	3	3	—	3	—	—	3
日用肥皂	—	—	2	—	—	—	—
亚硝酸鈉NaNO ₂	—	—	—	50	50	50	—
硅酸鈉Na ₂ SiO ₃	—	—	—	—	3	3	—

① OH-7 — 提高溶液洗滌能力的非离子化的表面活性物质。

除需1.5~2分钟(零件处于傾斜位置时)或3分钟(在水平位置时); 机器油的清除需1.5分钟(在傾斜位置时)或2分钟(在水平位置时); 硫化切削油的清除需2分钟(在零件摆动时)或需2~2.5分钟(在水平位置时); 魚油的清除需3.5分钟(在水平位置时)。

清洗用鋼或鋁合金制造的钟表零件时, 含有30克/升的磷酸鈉和3克/升的OH-7的2号溶液在50~60°C时的洗滌能力最好。例如, 装在网眼尺寸为1×1毫米的网筐内浸入超声槽的鋁合金制件(直径30毫米的小平板), 清洗乳浊液的时间为2~3分钟。表面未发现氧化殘迹。清除具有盲孔(直径为3毫米)的鋼帽(高6毫米, 直径5毫米)上的乳浊液和油, 也用了同样的时间。

在大批生产条件下有效地应用超声清洗的有趣实例, 是鋼和黃銅制的小型零件(图2)在电镀前的去油。在采用超声以前, 零件先是在汽油中洗滌(随后手工擦淨), 然后在含

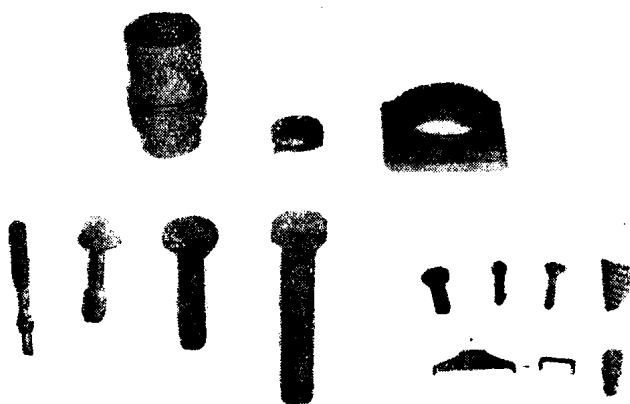


图 2 电镀前经过超声清洗的零件。

有苛性钠、碱灰、磷酸钠和水玻璃的溶液中于 80°C 左右的温度时经过 10~30 分钟的化学或电化学去油。用超声清洗，只需要 2~5 分钟，而且是在盛有含 30 克/升磷酸钠和 3 克/升的 OH-7 的溶液槽中于温度为 $40\sim 50^{\circ}\text{C}$ 时进行的，然后在水中涮洗。由于清洗的质量高，可使镀层（银、镉、锌）很好地附在零件上；并且可以大大减少废品。

用超声去油的效果很好。此种新工艺不仅能用来清洗复杂的零件（有深孔或螺纹孔、有槽的零件等），而且能用来清洗简单的零件（例如紧固零件）。

将零件装在网筐内浸入槽中。一般不要求有特殊的置放位置，但最好将零件的孔向下放置。所举出的清洗零件上油脂污垢的这一实例，使人感兴趣的是它表明可以用普通的碱溶液代替有机溶液（汽油）的可能性。在这种情况下，这种代用不会使零件发生锈蚀，因为零件在清洗之后立即送入电镀槽。

对表面清洁度有很高要求的零件（钟表机构零件、记录仪和打字机零件、轴承环等），清除抛光膏和研磨膏的残迹具

有特別重要的意义。清洗零件的效果在很大程度上取决于抛光膏和研磨膏的成份。在这方面可用清洗ШХ15鋼軸承环作为典型例子。按照一般的工艺, 这些軸承环經抛光之后以拭布用手工擦淨, 然后在含有 10 克/升三乙醇胺和 2 克/升亚硝酸鈉的溶液內, 在 80~90°C 溫度下清洗 2 分钟, 用热水与冷水冲洗后, 重新在上述溶液內洗滌。清洗过程以热水和冷水再次冲洗并在热空气中烘干而結束。在溶液內加入三乙醇胺是为了在零件上形成薄层油膜, 此油膜不影响軸承的摩擦力矩, 而作为工序間的防銹蝕用的保护膜。

超声清洗軸承环上的ГОИ膏, 是在 60~70°C 溫度下进行的。为了避免腐蝕, 未采用碱水溶液, 而是試用了其它溶液(表 2)。

表 2 清洗 ГОИ 膏用的洗滌溶液的成份

組 分 名 称	溶 液 編 号			
	1	2	3	4
	組分含量, 克/升			
三乙醇胺($\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$) ₃	10	10	10	—
亚硝酸鈉	2	—	—	—
ОП-10①	—	2	4	—
鈉皂	—	—	—	20

① ОП-10 的化学名称为烷基苯酚聚二甲苯乙烯酯是一种表面活性物质
——譯者。

已經肯定[4], 1 号溶液(表 2)的洗滌能力不合要求(在 3 分钟內不能清除掉零件上的 ГОИ 膏)。采用其它 3 种溶液, 在清洗時間和取得的表面质量方面所得到的結果大致相同。

在一个超声槽內清洗零件时, 經過 0.5~1 分钟就将 ГОИ

膏清除掉了，但表面未能获得充分的潤湿性。在第二个槽內用含有 10 克/升的三乙醇胺和 1 克/升的 OII-10 的 3 号溶液在 65~75°C 温度下补充清洗 30 秒，便得到了零件的充分潤湿性。

超声清洗轴承环上含有凡士林的膏剂，是于 65~75°C 温度时用表 3 所列的溶液进行的。

表 3 清洗含有凡士林膏的洗滌溶液的组成

組 分 名 称	溶 液 編 号						
	1	2	3	4	5	6	7
	組分含量, 克/升						
三乙醇胺($\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$) ₃	10	10	10	10	—	—	—
亚硝酸鈉	2	2	2	2	—	—	—
OII-10	—	2	4	10	—	3	3
鈉皂	—	—	—	—	20	20	—
磷酸鈉 Na_3PO_4	—	—	—	—	—	—	30

采用 1~4 号溶液甚至在两个超声槽中順序进行清洗，也未取得良好的結果。虽然膏被清除了（在每个槽內放置 0.5~1 分钟），而且轴承环的外表面潤湿良好，但內表面（抛光过的表面）甚至在超声槽內放置 10 分钟以上也未得到潤湿性。

采用 5 号和 6 号溶液清除膏剂时，可以得到某些較好的效果，但也不能保証潤湿性。

7 号溶液具有良好的洗滌性能。但在这种溶液中清洗后，零件会很快地腐蝕。所以，为了取得保护膜，必須将零件浸入三乙醇胺和亚硝酸鈉的溶液中。这样，膏剂的彻底清洗和去油脂（檢驗其潤湿性），可以用下列工序保証：

1) 在盛 7 号溶液（表 3）的槽內超声清洗 30 秒；

2) 用流动水涮洗;

3) 在盛 1 号溶液 (表 3) 的槽内浸 2~3 秒。

有效应用超声的另一个例子, 是清除计算机和打字机零件 (梳形板、齿条、字钩等) 上的膏剂。

按照一般工艺, 零件在用 ГОИ 膏抛光后 (在电镀之前以及在镀镍以后、镀铬前的镀铜和镀铬以后) 用牙刷清洗, 然后再进行化学和电机机械去油。超声清洗是在含有 30 克/升磷酸钠和 3 克/升的 ОН-10 溶液 (表 3 中的 7 号溶液) 内于 60~70°C 温度时进行的。表面形状复杂的零件, 例如梳形板, 在电镀前和镀镍后清洗膏剂需要用 2 分钟 (当梳形板的齿向下朝着换能器的辐射表面时) 或需要 3 分钟 (当梳形板的齿向上时), 而较简单的零件 (例如棘轮爪、字钩) 只需要 0.5~2 分钟。镀铜和镀铬的零件用 7 号溶液清洗达不到充分的润湿性 (虽然清除掉了膏剂)。用浸酒精的棉花团擦拭后, 镀铜零件的表面才能完全润湿。

在钟表工业中采用超声清洗法清洗抛光膏是很有前途的。为了进行抛光, 可以将钟表零件 (特别是紧固零件) 装配为直径约 40 毫米的片组; 30% 左右的零件均可以这样装置。在拆开片组以前清洗膏剂。按照一般工艺, 先将紧固零件和齿轮组用毛刷在汽油中清洗 (一组清洗 1~2 分钟), 然后在凡士林油内于 70~80°C 温度时煮沸 5 分钟, 于 40°C 温度时在凡士林油内洗滌 2~3 分钟, 在汽油内洗滌 2~3 分钟, 在洗滌钟表用的肥皂溶液 (100 克/升肥皂, 100 克/升酒精, 0.5% 胺, 0.2% 草酸) 内洗滌 1~2 分钟, 在流水中涮洗 1 分钟, 依次在两个酒精槽内 (在每个槽内 1~2 分钟) 洗滌, 最后用热空气烘干。