



冷压光加工

赵丕承、門积深 等著

国防工业出版社

冷 压 光 加 工

赵丕承、門积深等著



國防工業出版社

1965

出版者的話

本书主要阐述了冷压光加工所采用的各种工具的形式和用途、压光工艺参数的选择、压光加工后零件表层质量的特点。并介绍了压光加工中容易出现的一些缺陷及其消除方法，另外对压光加工的实质也作了探讨。

本书在实际生产经验的基础上作了理论概述，对生产有实际指导作用。

参加本书著作的有万丁丁、王乃敏、王泽鏊、門积深、倪鎮东、任年、朱继偉、刘純嘏、易长根、許生众、孙德祥、李永年、岑源銘、周鴻真、吳忠俊、吳鶴齡、姜祖林、楊平夷、張德修、赵丕承、夏永明、郝春学、韓久忆、韓秀华、唱太隆、雷雨潤。参加协助著作的有唐晋熊、謝惠娟。在此一并致謝。

冷压光加工

赵丕承、門积深等著

*

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业许可出字第074号

国防工业出版社印刷厂印装 内部发行

*

850×1168 $\frac{1}{32}$ 印张 $3\frac{1}{4}$ 81千字

1965年4月第一版 1965年7月第二次印刷 印数：5,001—11,000册

统一书号：N15034·980 定价：(科六) 0.55元

序

毛主席教导我們：“在生产斗争和科学实验范围内，人类总是不断发展的，自然界也总是不断发展的，永远不会停止在一个水平上。因此，人类总得不断地总结经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。”

今年初，出版了“铝镁合金铸造实践”一书，由于它具有总结实践经验、为生产服务、破除迷信、打破洋框框、集体创作等特点和及时传播新工艺、新技术的现实意义，出版后深受读者欢迎。时间才过去两个多月，在几个技术领域内，相继以同样的特点，总结了自己的经验。可以指望，这一批新书将使相应的新工艺、新技术得到更广泛的采用和进一步发展。

著作者都是生产基层领导干部、技术人员和工人。他们以无产阶级的政治挂帅，一不为名，二不要钱，而是全心全意的为社会主义建设服务。把总结经验，传播新工艺、新技术，推进技术发展作为自己的光荣职责。我们以极其兴奋的心情，祝贺这些新书和广大读者见面，并且期待有更多的专业人员总结自己的实践经验推广传播，不断前进。

新技术推广所

一九六五年三月

目 录

序	3
第一章 冷压光加工的特点、实质和应用范围	5
第一节 冷压光加工的特点	5
第二节 冷压光加工的实质	8
第三节 冷压光加工的应用范围	13
第二章 冷压光加工采用的工具	23
第一节 滚珠式滚压工具	23
第二节 滚轮、滚柱式滚压工具	39
第三节 拉挤和推挤工具	43
第四节 特种挤压工具	47
第五节 压光工具主要零件的技术要求及加工	51
第六节 金刚石挤压头的研磨	53
第三章 冷压光加工工艺参数的选择	56
第一节 压光元件或工具压光部分的几何尺寸	56
第二节 压光力或压光盈量	63
第三节 进给量	69
第四节 行程次数	72
第五节 压光速度	74
第六节 工件的原始条件	75
第七节 压光余量	77
第八节 冷却润滑剂和机床设备	78
第四章 冷压光加工中容易出现的问题	82
第一节 表面缺陷	82
第二节 薄壁零件的变形	85
第三节 喇叭口	86
第五章 冷压光加工后零件表层质量的分析	88
第六章 技术经济效果及发展方向	97

第一章 冷压光加工的特点、 实质和应用范围

第一节 冷压光加工的特点

零件的表层质量（光洁度、冷硬程度和冷硬层深度、残余应力的性质和大小）对零件使用性能有很大的影响，因为零件在使用中可能产生的磨损、腐蚀或疲劳破裂都是从表面开始的。

由此可见，提高零件表面加工质量就具有非常重要的意义。

实践证明，冷压光加工是一种可以获得良好表面质量的新工艺。目前，这种新工艺已引起我国各机械制造工业部门的重视，并且正在获得日益广泛的应用。

冷压光加工属于无屑加工。它是在冷态下，通过由硬材料（淬火钢、硬质合金、红宝石、金刚石等）制成的工具对工件表面施加压力，使工件表层金属产生塑性变形的一种工艺方法。这种工艺方法，除了可以达到光整表面的效果外，在一定程度上还起校正工件几何尺寸和强化表面的作用。冷压光加工按工具的压光元件或工具的压光部分相对于工件运动的形式（滚动或滑动），可以分为滚压加工和挤压加工。

为了明确冷压光加工在机器零件表面精加工工艺中所占的地位，便于在生产中正确地、广泛地运用，现将冷压光加工的特点分述于后。

在本质上，切削加工和冷压光加工都是以塑性变形为基础的，但是一般说来，切削加工是使较多的金属经过弹性变形、塑性变形到形成切屑，以获得所要求的光洁度和精度的几何表面。而冷压光加工则是使预先加工过的工件的表层金属经弹性变形到塑性变形、改变表层金属的组织状况，以得到光整和强化的表面。因

此，这种工艺方法，可以用作机器零件非尺寸性的終加工。

同切削加工相比較，冷压光加工有以下几点优点：

1. 可以获得光洁度較高 ($\nabla\nabla\nabla 9 \sim \nabla\nabla\nabla\nabla 13$) 的表面
在鉋削过程中，由于鉋削余量选择不当(过小或过大)、鉋刀刃口不鋒利和排屑不良等原因，鉋削后工件孔不是殘留有钻鋸沟紋，就是产生刮伤現象，从而破坏了孔壁的光洁度。在磨削、珩磨、研磨和超級研磨等过程中，容易脫落的細碎磨粒經常挤在磨具与工件之間，引起不正常地切削，这样也会破坏已加工的表面，冷压光加工則无此种現象。

用內、外圓磨削方法加工低碳鋼很难得到 $\nabla\nabla\nabla 9$ 以上光洁度的表面。而銅、鋁合金等軟金屬，用磨削方法加工，几乎是不可能的。但是采用冷压光方法加工这些軟金屬，同样可以得到光洁度較高 ($\nabla\nabla\nabla 9 \sim \nabla\nabla\nabla\nabla 11$) 的表面。若采用金剛石工具挤压，可以使工件的表面光洁度从 $\nabla\nabla\nabla\nabla 10$ 提高到 $\nabla\nabla\nabla\nabla 12$ ，甚至达到 $\nabla\nabla\nabla\nabla 13$ 。

2. 可以提高零件表面的显微硬度和零件的疲劳寿命 由于压力的作用，冷压光加工不仅沒有破坏零件表层金屬纖維的完整性，而且可以使零件表层金屬得到强化，使組織更加紧密。因此，冷压光加工可以大大提高零件表层金屬的显微硬度。

对于碳鋼和普通合金鋼，冷压光加工后，其表层显微硬度可以提高10%左右；对于生鉄和鋁合金，可以提高50%左右；而对于鉻鎳不銹鋼則可以提高100%左右。

冷压光加工后，在零件表层会形成一种殘余压应力。这种殘余压应力可使零件的疲劳寿命提高。我們曾将材料 30CrMnSiA 和 18CrNiWA 經热处理后的試件，分別用磨削、抛光和冷压光方法加工到同样的光洁度，然后在同样交变載荷的条件下进行弯曲試驗。試驗結果表明，冷压光加工試件的疲劳寿命比磨削或抛光加工試件的疲劳寿命提高 2~8 倍。

3. 可以提高零件配合的稳定性和零件的耐磨性 一般切削

加工的零件，在工作过程中，其表面微观不平的凸峰会迅速磨平，配合间隙增大，因而大大降低零件配合精度和使用性能。磨削加工的零件，由于金属表面被嵌入了高硬度的磨粒，在工作中也会很快磨损。冷压光加工后的零件，则具有微观峰高很小、峰距较大的表面。因此，可以增大零件的有效支承面积，一般比磨削零件的支承面积大 20%，从而提高了零件配合的稳定性和工作中的耐磨性。我们在修理外圆磨床时，曾采用冷压光方法强化主轴表面，经长时间运转使用，效果很好。

另外，我们感到经冷压光加工的衬套的外表面和壳体孔的内表面，在保持压配合的条件下，它们的压装过程是很顺利的，没有像在一般压装过程中容易出现的那种挤住和相互擦伤现象。

4. 加工过程比较稳定，产生的热量也比较小 冷压光加工过程比切削加工过程稳定得多，冷压光加工过程中工件表层产生的热量也比切削光加工产生的小，因此，不会像磨削经热处理后的工件那样容易出现表面回火、烧伤和裂纹等缺陷。

5. 加工效率高 冷压光加工能在一次行程中，将表面光洁度提高 2~3 级，比切削加工的效率 high 几倍到十几倍。从我们加工圆筒零件的孔表明，达到同样的光洁度 ($\nabla\nabla\nabla\nabla 10$)，珩磨一件需要 50 分钟，而冷压光加工只需要 7 分钟。加工效率提高约 7 倍。

另外，冷压光加工的劳动强度比研磨、抛光加工的劳动强度小得多。因此能够减轻工人的体力劳动。

6. 采用的工具简单，不需要专用设备 冷压光加工采用的工具结构简单、易于制造。所用滚珠可从普通的轴承中直接选取，不需要再经加工即可应用。采用冷压光加工方法后，可以减少价格较贵的切削刀具和磨削的消耗。如在加工衬套的小孔时，采用挤压加工方法后，减少了铰刀的消耗。冷压光加工可以在普通机床（如车床、铣床、刨床、钻床、磨床、拉床以及压力机）等设备上进行，不需要专用设备。

7. 操作简便，易于实现自动化 冷压光加工的操作简便、技

术等级不高的工人就能进行操作。冷压光加工不但可以单独进行，还可以与其它切削刀具结合进行。由于工具耐用度高、加工稳定，因而易于实现自动化。

第二节 冷压光加工的实质

冷压光加工的实质是，在工具压光元件（如滚珠）或工具的压光部分（如挤压环）的压力作用下，工件表面的微观凸峰不断地被压塌。凸峰内的金属不仅要沿滚珠相对于工件的前进方向流动，而且还要从凸峰两侧的凹谷挤出。表层金属重新分布时留下的均匀、微小的痕迹代替了工件原始的微观不平度，因而工件的表面得到了光整和强化。新表面的微观形状（峰高和峰距）决定于冷压光的几何因素（冷压光元件的圆弧半径和进给量）及其它冷压光参数。图 1-1 示出了工件表层金属变形的情况。

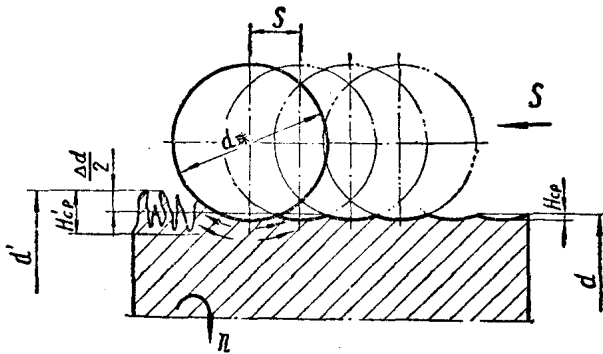


图1-1 工件表层金属变形示意图：

d' —冷压光前工件的直径； d —冷压光后工件的直径； H'_{cp} —冷压光前工件表面微观不平度的高； H_{cp} —冷压光后工件表面微观不平度的高； S —进给量。

一、冷压光加工主应力状态的分析

冷压光加工时，作用于工件的外力有：压光力和摩擦力（图 1-2）。由于外力的作用，物体会产生相应的变形并有内力发生。

一方面，內力是由平衡外部机械作用引起的；另一方面，在塑性变形时，由于各部分变形的不均匀性也会在物体内部引起阻止这种不均匀变形的內力发生。

因此，物体在产生变形时，也就处于某一种应力状态之下。

由于冷压光加工的方法不同，被加工工件所处的应力状态也是不同的。现将下列几种冷压光加工方法作一些肤浅的分析。

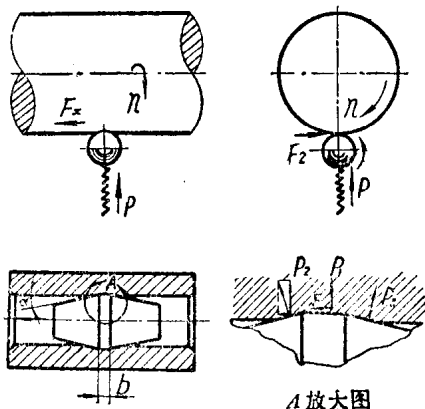


图1-2 冷压光时工件受力示意图。

1. 用单滚珠工具滚压外圆柱表面时，工件变形区

域的主应力状态如图 1-3 所示。从图 1-3 中可以看出：用单滚珠滚压外圆柱表面时，其主应力状态图是一种三向不等的压应力状态图。其中：径向压应力 σ_r 是在外力（滚压力）垂直作用下引起的；轴向压应力 σ_z 和切向压应力 σ_t 是由变形金属与滚珠之间的外摩擦以及相邻金属层的阻碍引起的。

2. 用推挤或拉挤工具挤压内圆柱表面时，工件变形区域的

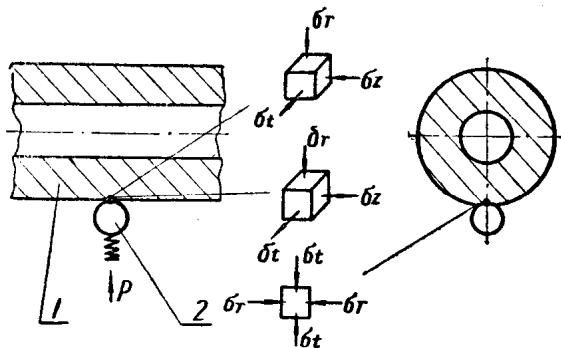


图 1-3

1—工件；2—滚珠。

主应力状态, 如图 1-4 所示。从图 1-4 中可以看出: 用推挤或拉挤工具挤压内圆柱表面时, 其主应力状态图是三向异号应力状态图。其中: 径向压应力 σ_r 是由挤压环作用在金属上的垂直压力引起的。轴向压应力 σ_z 是由变形金属与挤压环之间的外摩擦以及相邻金属层的阻碍引起的; 而切向拉应力 σ_t 则是由内径受挤压环作用向外扩张引起的。

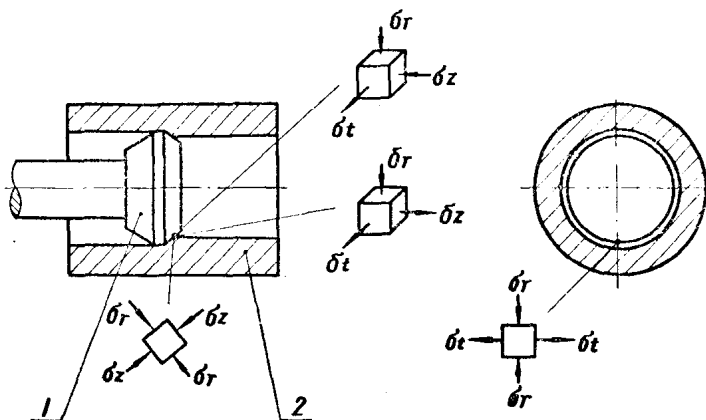


图 1-4

1—挤压环; 2—工件。

3. 用单滚珠工具滚压内圆柱表面时, 工件变形区域的主应力状态, 如图 1-5 所示。为了便于分析, 必须假设滚珠直径

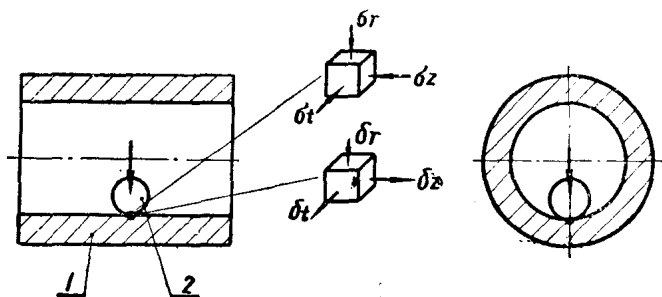


图 1-5

1—工件; 2—滚珠。

远小于工件的内径；滚珠与工件之间的接触近似点接触；并且不考虑弯曲和扭矩的影响。在这种前提下，可以把滚压内圆柱表面近似视为滚压平面。因此，用滚珠滚压内圆柱表面，其应力状态图也是一个三向不等的压应力状态图。

但是，随着滚珠数量的增加，其主应力状态图，不再是三向不等的压应力状态图，而愈来愈趋近于三向异号应力状态图，与用推挤或拉挤工具挤压的主应力状态图相似。

根据压力加工原理可知：主应力状态对金属的塑性有很大的影响。压应力状态，尤其是三向压应力状态会阻止晶粒间的剪变位发生，使金属的塑性增加。而拉应力状态则会促使这种剪变位发生，使金属的塑性降低。从图 1-3 和 1-5 中可以看出：用单滚珠滚压内、外圆柱表面时，工件变形区域的三向不等的压应力有利于发挥金属的塑性，易于使工件的表层金属产生变形。

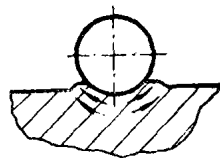
另外，从上述分析可以看出：用推挤或拉挤工具挤压孔和用多滚珠工具滚压孔，都有使孔径增大、孔壁变薄和孔的尺寸精度降低的趋势。对于壁薄和壁厚不均匀的工件来说，这一点尤为突出。因此，在用推挤或拉挤工具挤压和用多滚珠工具滚压孔时，要根据工件结构的特点选择压光力、压光元件的几何尺寸和压光元件的数量。

二、冷压光加工主形变状态的分析

对压光加工时工件表层金属流动的研究表明：工件表层金属的主形变图如 1-3, 1-4, 1-5 所示。 δ_r 为负的主形变，即径向的压缩形变， δ_z 、 δ_t 为正的主形变，即轴向和切向的延伸形变。这是由体积不变条件和最小阻力定律决定的。

因为冷塑性变形时，金属密度的改变极为微小，没有什么实际意义，所以通常都以体积不变条件为前提。例如，轧制齿轮（或滚压螺纹）时，形成齿谷后，多余的金屬被挤至原始表面上部形成齿顶。冷压光加工时也是如此，只不过新的表面的形成方式与此不同，即凸峰内的金属从凹谷向上挤出而已。

工件表层金属的流向，服从于最小阻力定律，即变形金属的每个微粒沿其阻力最小的方向流动。例如，当滚珠对平板施压时，平板被压出凹坑，并在凹坑的边缘形成均匀的突起。这表明滚珠与平板接触处的阻力比其边缘为大，因此金属要向阻力较小的边缘流动，见图 1-6 所示。



为了进一步了解压光时金属表层流动的特性，曾做了表层金属流动的模拟试验。试验是这样进行的：在一个铅质的直径为 $\phi 50$ 毫米的试件外表面上，车出螺距较大 ($S=6$ 毫米) 的螺纹，作为被夸大了的表面微观不平度。用大直径滚珠 ($d=20$ 毫米) 外圆滚压工具对准“凸峰”施以静压。此时可以看到被压塌的“凸峰”内金属向“凸峰”的两侧和接触处的前后边缘流动。相互接触表面的形状如图 1-7 a 所示。当以极低的速度旋转工件，并以等于螺距的进给量进给时，可以看到“凸峰”内金属连续流动的情况。当压力不够大时，原来“凹谷”的最低点随着金属的流动，虽有显著的升高，但尚未形成新的表面 (见图 1-7 b)，这称为不完全压光。当压力加到足够大时，原来凹谷的最低点，被挤成为新表面的最高点；而原来“凹谷”的最高点，反而被压到新表面的最低点，并形成完整的新表面 (见图 1-7 c)，这可称为完全压光。整个压光过程如图 1-7 d 所示。

实际上在压光工件时，滚珠不是压塌一个凸峰，而是同时压塌几个凸峰。滚压工具的进给量与预加工的进给量也不完全相同，更不可能重合。但从上述试验可知，凸峰内金属还是沿其两侧对称地重新分布。在不完全压光时，凹谷之间的距离没有改变，只有当完全压光时，新形成表面的微观不平度才决定于压光的几何因素及其它压光参数。

凸峰内的金属在径向受压缩后主要沿轴向延伸，而延伸的金属只用以填充凸峰两侧的凹谷使表面得到光整。因为变形的金属

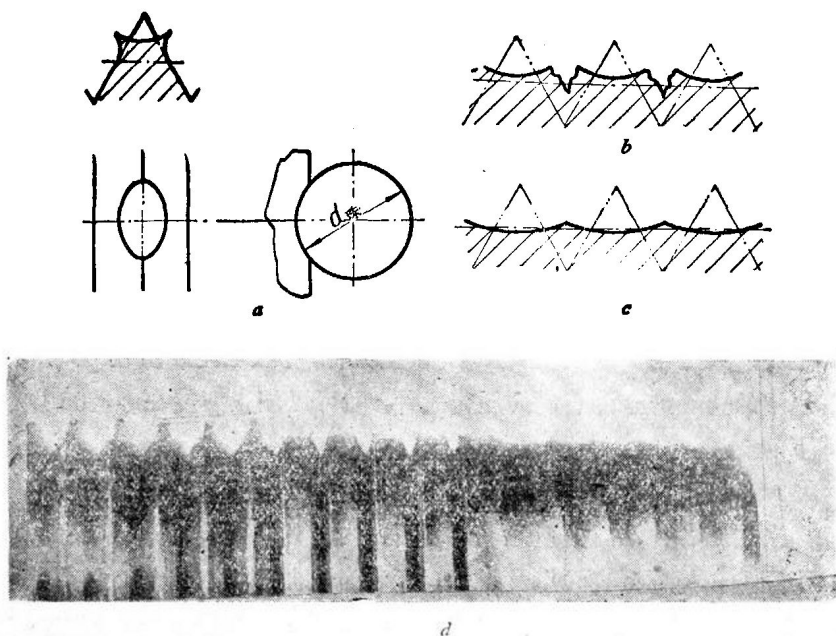


图1-7 滚压时金属流动示意图。

层极浅且受内层很大的阻力（内摩擦），所以不会引起表层金属大量的流动，自然不会使工件整体产生变形。但压光力过大时，也会因过多的金属流动和变形不均匀引起工件整体变形。压光时，在轴和孔的端面、台阶根部以及切槽边缘会出现多余的金属，使工件的尺寸产生误差。除了用切削方法修整外，用其他方法阻止金属向端面流动，也可以减小这种误差。

工件表层金属冷塑性变形引起的金属组织和机械、物理性能的改变将在第五章中详细叙述。

第三节 冷压光加工的应用范围

从冷压光加工的特点和实质中可以看出，凡是冷态下可以产生塑性变形的金属，都可以采用冷压光方法加工。实践证明，采

用这种方法加工碳鋼、合金鋼、銅合金、鋁合金以及生鉄等金屬，都可以获得良好的效果。但是，随着金屬硬度的提高，变形拉力增大，因而增加了金屬塑性变形的困难。用冷压光方法加工硬度較高的金屬的效果不如加工硬度較低的金屬那样显著。若采用金剛石或紅宝石作压光元件，加工高硬度金屬，在工件預加工表面光洁度較高的条件下，可以获得良好的光整效果。在試驗和生产实践中体会：淬火鋼制的压光元件，可以加工硬度在 HR_c45 以下的金屬；硬质合金制的压光元件，可以加工硬度在 HR_c50 以下的金屬；人造剛玉（紅宝石）制的压光元件，可以加工硬度在 HR_c55 以下的金屬；金剛石制的压光元件，則可以加工硬度在 HR_c65 以下的金屬。

从目前國內、外冷压光加工发展的情况看来，冷压光方法可用来加工各种不同类型的零件表面：內、外圓柱表面，圓錐表面，平面，各种成型表面以及螺紋表面和齒輪曲面等。但是，目前这种方法仅被用来加工內、外圓柱表面，圓錐表面以及在圓周上的一些簡單的成型表面。由于采用的压光工具的种类和型式不同，內、外圓柱表面的冷压光加工又可以分为下列几种方法：

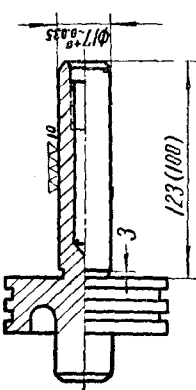
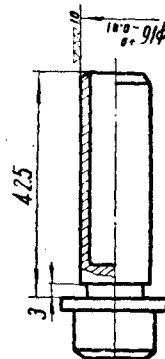
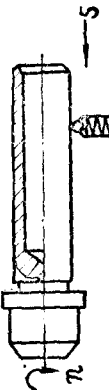
1. 用滾珠式和滾輪式工具滾压外圓柱表面；
2. 用金剛石或紅宝石工具挤压外圓柱表面；
3. 用滾珠式和滾柱式工具滾压內圓柱表面；
4. 用离心式工具滾压內圓柱表面；
5. 用金剛石或紅宝石工具挤压內圓柱表面；
6. 用单滾珠、推挤或拉挤工具挤压內圓柱表面。

用冷压光方法加工內、外圓柱表面的直徑一般在 $\phi 3 \sim \phi 300$ 毫米範圍內。

表 1 列出了采用各种不同形式的冷压光方法加工內、外圓柱表面的情况。

實踐証明，冷压光加工在很大程度上可以代替精車、精銑、精刨、拉、鉸、磨、精磨、珩磨、研磨和超級研磨等精加工工序。

表 1

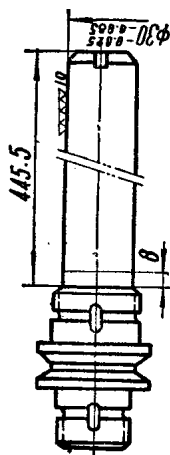
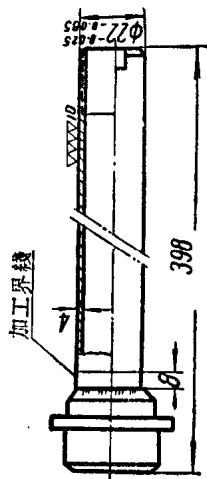
零件技术要求	加工示意图
 材料: 30CrMnSiA, $\sigma_b = 120 \pm 10$ 公斤/毫米²	
 材料: 45号钢, $\sigma_b = 60$ 公斤/毫米²	

工具类型: 单球弹性外国液压工具。设备: 车床

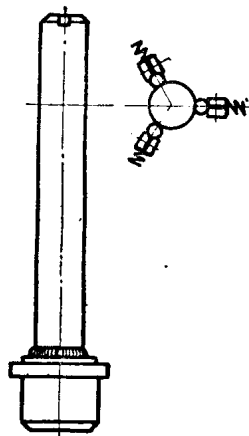
(續)

零件技术要求

加工示意图



材料: 30CrMnSiA, $\sigma_b = 125 \pm 15$ 公斤/毫米²



工具类型: 三球弹性外圆滚压工具。设备: 车床