汽车零件内孔挤光新工艺

□ 上海汽车变速器有限公司/王佳佳 赵峰冰

给出用相对简单凸模或凹模成形后的各种带有台阶的空心零件内表面挤光的可行工艺。列出基本计算公式，成功运用于设计挤光工艺过程。通过与实验数据比较，证明理论公式具有高精度。

汽车上大量使用的高精度空心零件大都采用金属加工后磨削内孔而成，这不仅提高了零件的制造成本，而且其使用性能也远不如挤光内孔。

沿着内表面挤光的工艺工序主要计算略图如图1所示，它关系到金属非常高的利用系数，通常＞90%，常常采用冷模锻。

与传统的模锻方法比较，运用冷模锻优点在于：

（1）由于没有氧化皮形成，极大地提高了所获得的零件质量、精度（因为实际上不存在毛坯和模具的变形温度）、生产率（制造一个零件只要转瞬之间）、零件的使用性能——强度和磨损寿命（冷作硬化效果）。

（2）改善劳动条件并提高安全性。

（3）为全自动化生产过程提供可行性。

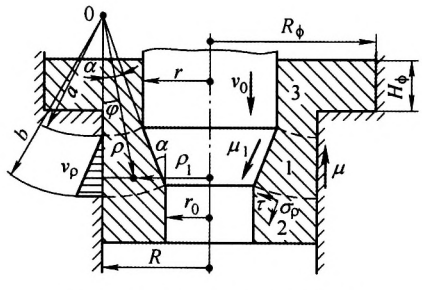


图1 沿零件内表面挤光的计算略图

在许多情况下，运用挤光工艺可以省去冷模锻后的研磨工序。

带台阶空心零件的挤光

在现代小批量和小批量多品种带台阶空心零件的生产中，为了保证产品有竞争性必须建立有效的工艺过程，这个工艺过程就是成组模锻。

研究结果表明，在目前条件下，该方法是很有前途的。但为了它的合理性，必须建立并运用可靠的、有效的科学的变形过程，达到制造具体零件过程的最佳化。考虑阐明深入科学研究和现代化生产条

件下成组生产锻件的方法是现实任务。

运用挤光内表面文献不多。本文拟定了基本理论和原始毛坯用所述方法制造的可行性。

简单替代一个或几个模锻零件，使用各种形状的凸模和凹模能够获得各种形状挤光内孔，甚至零件的外表面。最简单的形状是圆柱形内外表面，而使用六角形状凸模，能够获得六角形横截面孔，制作齿形面孔得到满齿形面。

在目前条件下，最好保证金属优先在径向流动，因为金属在轴向剧烈流动会形成齿的塌角或者齿形充不满。因此，为了获得齿形，用对应凹模突出部分或支撑衬套合理地限制金属轴向流动（见图2），这样原始毛坯的内径由凸模在金属变形过程中挤出体积必须充满齿形沟槽。

在必要条件下，使用衬套支撑容易获得平滑圆柱体凸台，这个凸台位于螺纹下面（见图3a）。为此，首先在毛坯下部用衬套支撑成形螺纹牙齿，然后移走衬套，并在凸模进一步下行中获得分布在螺纹下面平滑的圆柱体凸台，并且能够轻而易举获得网纹、沟槽或者类似各种形状槽孔。为此，必须具有凹模或凸模，这个模具在对应位置要有对应形状，例如图3b零件的法兰上平面上的沟槽；按照图3b略图，去掉平滑部位，能够得到另一个表面，例如六角螺帽；按照图3c略图，能够获得内凹的喇叭形法兰零件。各种形状凸模和凹模能够相互组合，借助于挤光内表面获得更复杂形状的零件。

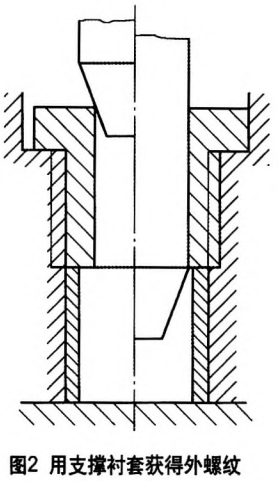
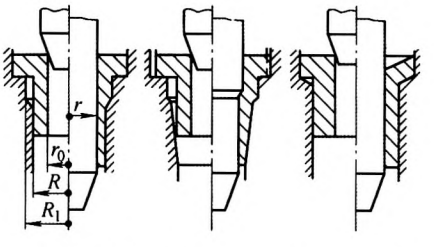


图2 用支撑衬套获得外螺纹



(a) 带有台阶和锥形过度　(b) 法兰上带有沟槽的外形　(c) 带有内凹法兰大锥度回转体

图3 用挤光内孔法获得带有圆柱段组合零件

近似于上述研究的零件有各种形状螺纹植入，能够预测运用所研究的必须具有螺纹挤光工序的可行性。

挤光力的计算

为了研究在挤光工序中金属塑性流动的理论，我们使用普通的理论方法，提出了深远的半加工的塑性理论方法。该理论基于对应的最普遍的和最严格的现行科学的塑性流动理论上，故命名为塑性流动方法。用此方法成功解决了许多复杂压力加工理论课题，所获得的结果与已知试验数据比较证明，塑性流动方法是一个高精度和高可靠性研究。

基于使用物理系统塑性流动理论运动学方程及其平衡方程联立来解决塑性流动方法。出发点是在塑性领域里选择合适的流动速度函数式，这个函数满足边界条件和变形材料不可压缩性条件。由于解决并确定塑性变形网格中任一点应力和运动学状态，甚至变形区域尺寸和形状（必要条件下）。这个方法能够得到在金属压力加工过程中全部塑性变形参数信息。挤光力具体计算过程请扫描下方二维码查看。

比较计算结果表明，所述零件沿着内表面全部用挤压方法制造比用拉拔方法制造力要高10倍以上。因此，数倍增加了能耗，并由于极大地降低模具寿命而消耗了昂贵的模具材料。

应该指出，在这种情况下，模具没有参与面积较大的法兰挤压（见图4），在开始阶段，法兰部位挤光变形力实际上超出随后套筒内表面挤光力。

例如，在制造圆孔锻模铝合金零件时，凸模通过法兰区域为最大力P_s=9.5kN，而在随后套筒内表面挤光部位降到P=7.5kN。

原始毛坯铝合金A198.0孔半径r_0=2.5mm，R=7.5mm，原始法兰半径$R_{\phi 0}$=10mm，凸模尺寸冲头外半径r=5mm，凸模锥角α=15°进行表面挤光。在试验中，没有限制法兰金属径向流动。

首先完成法兰区域挤光阶段的计算。经计算，累积变形e_i=1.155。对应的铝合金A198.0近似强度曲线σ_s（MPa）

扫描二维码，查看比较结果

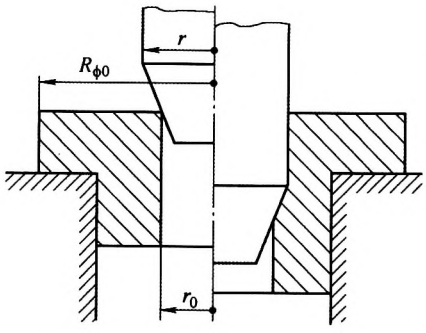


图4 法兰径向无限制扩展内表面挤光示意

=180-130e_{-ei}-10e_{-20ei}具有高精度，对应手册数据，初始流动应力σ_{s0}=40MPa，变形结束时流动应力σ_{sk}=140MPa，计算得出平均流动应力σ_s=89.5MPa。μ（凹模与毛坯间摩擦系数）=μ_1（凸模与毛坯间摩擦系数）=0.1，得到P_s=9.93kN，与试验值9.5kN相比，差δ=4.3%。

再计算套筒内表面挤光部位的力。经计算，e_i=0.543，根据以上近似强度曲线σ_s公式，σ_{s0}=40MPa，σ_{sk}=140MPa，计算得出平均流动应力σ_s=72MPa，$\mu=\mu_1$=0.1，得到P=7.85kN，与试验值7.5kN差δ=4.5%。

为了校验公式（3）（见二维码扫描），相应条件使用凸模在法兰部位限制金属径向流动，铝合金A198.0毛坯r_0=7.3mm，法兰半径R_ϕ=15mm，凸模r=10mm，α=15°，记载试验力值Ps=55kN。

经计算，e_i=0.366。对应的铝合金A198.0近似强度曲线σ_s（MPa）=349-163e-ei-46e-20ei。σ_{s0}=140MPa，σ_{sk}=236MPa，计算得出平均流动应力σ_s=188MPa，$\mu=\mu_1$=0.1，得到P=56.5kN，与试验值P_s=55kN差δ=2.7%。

综上所述，内表面挤光能够顺利应用并建立现代化高效修复工艺过程，该工艺可以用于具有足够复杂外表面台阶形套筒零件。

用拉拔挤光法制造薄壁零件

既然挤光工艺是以零件轴向压缩为特征的，在套筒法兰上下面上的薄壁凸台就妨碍了扩孔挤光工艺过程的施行，这些突出部位会被压皱或失稳。同时，沿着内径拉拔特征无支撑的零件薄壁凸台承受拉应力，即完全消除了压皱或失稳危险。

用于修复见如下经验：由15Cr车削而成带有台阶套筒，套筒内侧表面是重要表面，在使用过程中容易磨损。按照使用条件，公差增加到0.6mm。这就允许扩大孔径、增加外径，或者同时获得要求的几何参数和表面质量，用内孔挤光工艺使之达到要求。

拉拔试验能够获得高质量零件（见图5）。15Cr钢毛坯的r_0=14.7mm，H_ϕ=11mm用凸模尺寸为r=15mm，α=15°进行内表面拉拔。凹模表面和套筒外表面之间间隙为0.2mm。毛坯的润滑采用混合液及MoS_2。最长段的侧表面径向尺寸拉拔结果由R=20mm到R_1=20.15mm。

经计算，e_i=0.057，与15Cr钢的强度曲线相对应（见图6）。σ_{s0}=380MPa，σ_{sR}=460MPa。计算得出σ_s=420MPa。$\mu=\mu_1$=0.1下，得到P=53.68kN，与试验值P_s=48kN(对应套筒台阶最大变形段具有原始半径20mm)差δ=10.6%。

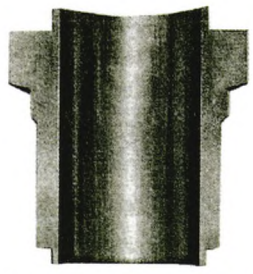


图5 内表面用拉拔方法整新后的15Cr钢毛坯

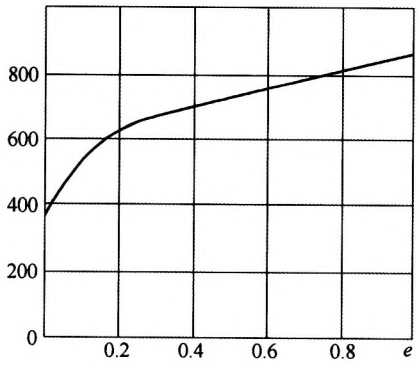


图6 15Cr钢的强度曲线

偏差值增大（与上述偏差值比较）的解释如下：在该试验中，除了金属纵向流动外，甚至大量金属做了径向流动，即台阶处的多余金属处于自由状态，显著地降低变形力。

结语

以上研究成果能够显著证明，沿内表面拉拔获得各种零件的可行性，其中包括精密群组模锻件。

AME

王佳佳

锻造工厂技术工程师 上汽集团变速有限公司

从事汽车零部件模锻工艺设计及锻件强化热处理工作7年