铅锡等超软金属材料的切削加工

陕西汉江机床有限公司 （汉中 723003） 张二木

在现有的车工培训教材中，无论是初级、中级、高级或是技师的培训课程，只有对黑色金属和一般有色金属的加工论述。即使介绍了纯铜的加工，硬度也在35～45 HBW，而对硬度在25 HBW以下的如铅、锡和锌等超软金属材料却没有涉及。

笔者根据自己的实践经验，从刀具的材料选择、刃磨方法、刃磨角度选择和铰独特的形状设计进行了探索。

1. 超软金属材料的特性及对切削加工的影响

通常有色金属都比较软，如纯铜的硬度为35～45 HBW，纯铝的硬度为67 HBW等，它们的共同特点就是密度小、硬度低、导热性好、散热快、强度低和切削加工性好，加工中易变形，熔点相对黑色金属要低，如铜的熔点为1 083 ℃，而铝的熔点则为660 ℃，在中速切削时，易起切削瘤。

而超软金属中，铅的硬度为15 HBW，熔点为327℃；锡的硬度为20 HBW，熔点为232 ℃；锌的硬度为25 HBW，熔点为419 ℃。它们的共同特点是在固态下都属于超软金属，硬度都在25 HBW及以下，抗蠕变强度低，热变形大，尺寸稳定性差，切削容易，排屑困难，用指甲划一下都能出现凹痕。

表2 齿圈齿轮精度检测 （单位：mm）

公差组	第Ⅰ公差组 F_p	第Ⅱ公差组 F_f	第Ⅲ公差组 F_β
标准值	0.50	0.14	0.05
实测值（平均）	0.197	0.100	0.048

齿面粗糙度对齿轮的传动精度（与噪声和振动有关）、表面承载能力（与点蚀、胶合和磨损有关）和弯曲强度（与齿根过渡曲面状况有关）等都会产生很大的影响。采用MarSurf PS1粗糙度检测仪对齿面进行检测（见图5），测得 $R_a=3.2\ \mu m$，满足图样要求。

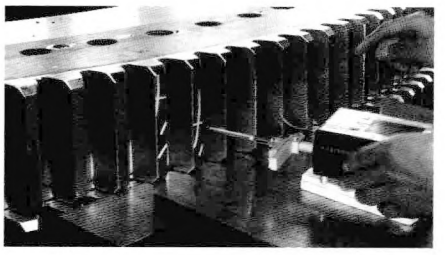


图5 齿面粗糙度检测

通过滚刀应用及工艺改进，我们对两种滚刀进行了综合经济分析及对比，使用可转位齿轮滚刀可以使加工效率提高10倍（见表3），每件滚刀可节约加工费用约3 000元、滚刀刃磨人工费用约1 000元。各项数据表明，可转位齿轮滚刀从产品质量、加工成本和加工时间等各方面来看都是批量化生产的最佳选择。

表3 两种滚刀滚切工艺参数对比

序号	比较项目	普通滚刀	可转位滚刀
1	应用机床	普通滚齿机	数控滚齿机
2	单件切削时间 t/h	30	2.7
3	滚切冷却方式	油冷	风冷
4	刃磨情况	刃磨	不刃磨
5	砂轮消耗	消耗	不消耗

4. 结语

通过可转位硬质合金滚刀滚切齿轮的应用及综合经济分析可知，可转位齿轮滚刀滚切后的齿轮精度、刀片的耐用度及刀具寿命、经济成本、滚切效率等都是普通滚刀不可比的。风冷加工不仅降低了成本，而且改善了工作人员的工作环境。**MW**

（收稿日期：20131213）

为了克服其弱点，通常情况下，它们都是以合金的形式出现，如铅铜合金、铅锌合金、锌铝合金等。但是，在特定环境中，必须用单一金属，如核设施、放射设备用等。在需要用纯软金属时，对它的切削加工采用通常的方法就难以实现了。问题主要表现在：

（1）硬度低。加工时，切屑与工件表面摩擦后会产生冷焊现象，大块切屑与加工表面接触，脱落后会留下屑瘤。

（2）由于硬度低，切屑的变形大，特别是在不易排屑时，如外圆深槽、大直径棒料切断、端面深槽、小孔镗削等情况下，都会因切屑与已加工表面的摩擦而划伤已加工表面或产生冷焊现象，造成扎刀，影响表面质量或造成零件报废。

（3）由于硬度低，切屑排不出，造成冷却困难。铅、锡等超软金属的熔点又很低（300 ℃左右），会造成热熔现象，形成热熔焊接，影响已加工表面的质量。

（4）由于硬度低，切屑变形大，在切削加工中，还会因为各种原因产生碎屑。这些碎屑在零件与刀具之间产生摩擦，影响被加工表面的质量和切屑排出方向以及切屑的顺畅排出。

（5）超软材料还有一个特性就是，受热后膨胀系数大，在限定范围内切屑受热宽度远远大于切削槽宽度，对槽两边形成摩擦，增加了出屑难度。

2. 制定解决方案

根据超软金属材料的变形特性，制定解决方案（以切断刀切削深度大于 30 mm 为例）。

（1）首先解决切屑受热膨胀增宽，摩擦已加工面的问题。方法是：切刀前刀面上磨出 $R3 \sim R5$ mm 的圆弧凹槽，让凸出的两刀尖先切入，中间凹部分后切入。先切入部分瞬间受热、冷却和硬化，后切入部分随后受热、冷却和硬化，两部分变化产生时间差，使切屑剥落后只能随着凹刀口向内收缩、弯曲，减少展开面，也就减少了弧形截面的弦长，自然对零件两侧摩擦力就减少了。

（2）其次是解决切屑的流向问题。超软材料深槽加工，最忌切屑流向待加工表面。由于工件转动力的作用，会使切屑在槽中起卷、打转和结团，使摩擦力增加，刀杆受力太大，造成扎刀现象。解决方法是：刀具的前角选为 0°，让切屑沿着前刀面直线流出。切忌前角选正或增加前角角度。

我们知道，切屑是根据前角的角度形状而流动的。前角选正，切屑流向待加工表面；前角选负，切屑流向前刀面；刀具前角选 0°，则切屑根据工件以及刀具受力情况产生变化，当工件受力较大时，工件向上抬起，刀具向下弯曲，就增加了前角，切屑就向前弯曲，由于前角较小，切屑就会形成一个大的弧形，不致完全流向待加工表面缠绕结团；当工件和刀具受力较小时，则能保持设定刀具前角，切屑就流向前刀面方向，垂直于工件流出。

理论上，切削超软金属时刀具越锋利越好。刀具锋利，减少了刀具与工件的摩擦，可以防止热变形过大和熔化焊接。而让刀具锋利的方法就是增大前角，这又是一种矛盾。为了解决刀具不锋利的问题，可适当增大后角，这样，刀具的楔角减小了，一样对工件减少摩擦，增加了锋利程度。

（3）解决碎屑在前刀面上流动，楔入刀具与工件已加工表面缝隙影响已加工表面质量，增加刀具阻力问题。方法是：①在前刀面，沿前刀面方向开 $R3 \sim R5$ mm 圆弧槽（如前所述）。②负偏角取 $\kappa_r = 0°$，增加两侧面副刀刃的锋利程度，刮掉附着在切削槽两侧面的屑瘤。③同时，切屑时崩掉的碎屑，收集在前刀面的圆弧槽中，不致因乱跑而造成楔塞。

3. 刀具材料的选择

由于超软金属硬度低，故刀具材料选择一般的 W18Cr4V 高速钢材料就足够用了。特别是由于其熔点低，切削时，在刀刃口上的熔化层能有效地润滑保护刀口不致严重磨损，故刀具（切割刀）刃磨好后，切削上万米仍能保持锋利。

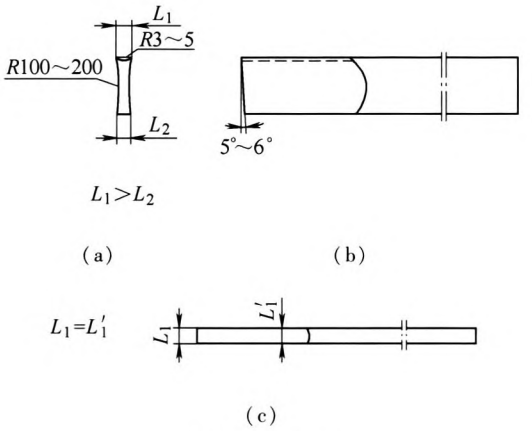
需要说明的是，通常情况下硬度在 50 HBW 以下的软材料，最好选用高速钢做切断刀，最忌用焊接硬质合金刀具。因为：①硬质合金刀具都是焊接刀体，一般都选用 45 号、40Cr 等合金结构钢，托刀部分硬度偏低（280 ~ 320 HBW），表面粗糙度值大，极易与切屑碎粒产生楔塞，造成冷焊，而对于超软金属材料则更甚。②大直径深度切削，由于连续切削，托刀部分受热变形或碎屑的楔塞，使刀托受力不均，偏离方向，在工件端面形成凹凸，增加排屑难度，或使刀具损坏。③硬质合金针对加工材料所

需的刀具形状不易刃磨，锋利度不够，没有弹性，怕振动，易扎刀，成本高。

4. 刀具的刃磨

刀具材料选用W18Cr4V，4 mm×18 mm×160 mm或5 mm×20 mm×200 mm四面磨光的高速钢钢条。

如附图所示，先开前刀面的纵向切削槽（*R*3～*R*5 mm），长度大于30 mm，尽可能靠近副切削刃，但千万不可把副切削刃磨透，距双边副切削刃0.5 mm为最好，前角选0°。



刀具刃磨示意图

然后在砂轮的大外圆上横磨刀具的左右副后面，形成*R*150 mm左右双曲线圆弧，增大两侧副后角，减小副刀刃的楔角，增加其锋利程度，又不影响刀具的刚性。要注意的是：①弧线尽可能靠上，又要防止把刃口磨穿。②下刀面比上刀面小即可，没必要磨得很窄。③尽可能大地保持刀具刚性。④双侧副偏角不用磨，保持0°。最后刃磨主后角5°～6°。

5. 刀具的装夹

刀具选用刀片刀排装夹。装夹时，由于刀具两侧副偏角为0°，所以左刀面一定要与已加工面平行。一般方法是，刀具预装好后，靠近卡盘用透光法校平，也可以将刀架左转一点（1°～10°），把待加工零件光出平面，然后再将刀架扶正，靠近已加工表面，用透光法检查刀具的安装情况。

要注意，刀具装夹时，还要对正中心，或偏高0.10 mm，用刀尖轻轻在中心切一点，能完全光出即可。

刀排底面要平整，装夹面要清洁、靠牢，防止刀具倾斜、装夹不稳出事故。

刀具装夹时的小窍门是，刀具中心比零件旋转中心高出0.10 mm，使刀具前角受力后变化量缩小，即使切断到心部，由于是软材料，端面光出也不是问题。

6. 检查、调整机床

调整头架螺母轴承，径向跳动小于0.01 mm，端面跳动小于0.005 mm，转动灵活，防止中心变化影响切削角度变化，以及轴向窜动影响工件端面质量和刀具受力变化。

调整中托板间隙，不能过大；锁紧小托板，防止受力后窜刀。

7. 切削液的选择

切削液尽量选用乳化液，用水稀释。这类切削液比热大、粘度小、流动性好，可以吸收大量的热量，它对刀具和工件的冷却性好，可以提高刀具寿命，减少热变形。

不可选用切削油，因为它比热较小、粘度较大和流动性差，遇热冒烟，污染大，当然，主要还是它散热慢。

也不提倡用压缩空气，切屑呈长条状，刀体冷却不易，同时它会吹散碎切屑，润滑性差，一旦对零件已加工表面和刀具的副后面产生摩擦，会产生冷焊现象，影响已加工表面质量，或造成刀具损坏。

8. 切削速度的选择

由于是超软材料，只要排屑顺畅，即可选用较高的切削速度，速度高反而切削轻快，刀具寿命长。切削速度通常为120 m/min。

所要注意的是，由于切削速度高，工件和切屑的温度就较高，要做好冷却润滑工作。切断大直径工件时，单面深若超过20 mm，应减少进给量，或手动，以便及时排屑冷却。**MW**

（收稿日期：20131217）

提　　示

作者投稿时请务必留下：单位、联系人、电话和身份证号等个人信息，以免影响稿件发表。

本刊编辑部