

切削刀具上应用固体润滑膜的介绍

邵 本 述 程 国 梁

(上海科技情报研究所 上海电器科学研究所)

当前世界各国每年在金属切削加工中都要花费大量的资金。例如美国每年要花费 500~600 亿美元。为此,有关部门极为重视。

任何金属切削加工都希望以最低的经济成本生产出优质的产品。对于金属切削加工中的经济成本包括工件装卸,切削液控制,刀具安装、调换、修理等一系列的操作费用,刀具的成本和切削费用等。为了降低切削加工中的经济成本,人们往往从提高切削效率和延长刀具使用寿命着手,因为那些必要的操作费用已无巨大潜力可挖。提高切削效率的方法之一是减少刀具与工件之间的摩擦阻力,由此可降低刀刃处的温升、提高切削速度和增大进刀量;同时可减少因刀具塑性变形所引起的磨损,达到提高切削效率和延长刀具寿命的目的。

本文对在金属切削加工中的温度、摩擦和切削液三者之间的关系,以及三者对提高切削效率和延长刀具寿命所起的作用进行了分析,还对美、英等国在切削刀具上试用固体润滑膜后的效果作了简单介绍。

一、金属切削中的温度和摩擦

金属切削过程中沿剪切面和刀具面产生的材料变形和摩擦均系不可逆地转化为热量,这些热量可按下式计算^[1, 2]:

$$Q = F_s \cdot V \approx Q_s + Q_f;$$

式中: Q 为切削过程中的总热量;

F_s 为主切削力;

V 为切削速度;

Q_s 为切削层金属的剪切变形所产生的热量;

Q_f 为切屑与刀具面上滑动摩擦所产生的热量。

其中 $Q_f = F \cdot V_f$;

式中: F 为切屑在前刀面上的滑动摩擦阻力;

V_f 为切屑在前刀面上的滑动速度。

切屑在前刀面上滑动所产生的热量要比因工件材料剪切变形所产生的热量高得多,它是刀具温升的主要热源。温升导致刀具材料的屈服极限降低,使刀刃容易发生塑性变形,由此,加速了刀具的磨损。因此,减小切屑在前刀面上滑动的摩擦阻力可能是提高切削效率和延长刀具寿命的主要措施之一。

二、切 削 液

切削液的主要作用是冷却工件、刀具和减小滑动面之间的摩擦和磨损^[1~3]。虽然切削液有冷却作用,但由于工件与刀具间的摩擦阻力很大,刀刃上的温度仍然极高。良好的切削液还可当作一种边界润滑剂,它可在高温和高压下有效地工作。如果要使切削液有效地降低切削温度和刀具上的摩擦力,则切削液应到达刀刃上。然而,在切削过程中产生的高比压和刀具面上的切屑运动阻止了切削液到达刀刃上;同样,工件横过刀具面所作的运动也阻止切削液进入刀刃上。因此,采用常规的切削液,只有极少量的切削液能到达刀刃上。所以,它对刀具的冷却和工件与刀具间的减摩效果是不够理想的。将固体润滑膜涂在切削刀具上,可在刀具面和刀刃上产生所需的润滑作用,减小工件、切屑与刀具间的摩擦阻力,由此降低了刀具的温升和磨损,从而可提高切削效率和延长刀具寿命。

三、刀具上应用固体润滑膜的效果

美、英等国很多单位和学者将几种不同牌号的粘结固体润滑膜涂敷在钻头、丝锥、铣刀、切削刀片等切削刀具上对 AISI4340、Ti-6 Al-4 V、L-605、Ti-6 Al-6 V-2 Sn、AMS-5643、AMS-5541 等合金材料进行了切削试验,现将试验结果分别介绍如下。

1. 美国海军航空指挥部和海军航空发展中心将七种固体润滑膜(表1中所列)涂在NA S986铣刀上对三种工件材料所进行的切削试验结果列于表2^[3]。

表1 固体润滑膜的编号及其成份

涂 层 编 号	成 分
A (MIL-L-8937)	MoS ₂ + 酚醛树脂
B (MIL-L-81329)	MoS ₂ + 石墨 + 硅酸钠粘结剂
C (MIL-L-46010)	MoS ₂ + 金属氧化物 + 改良环氧树脂粘结剂
D	98% 石墨 + 无机粘结剂
E	MoS ₂ + Sb ₂ O ₃ + 聚酰亚胺粘结剂
F	无载体或粘结剂的WS ₂ 分子键合膜
G	刷镀镍-钨层

表2中的数据表明,固体润滑膜可减少刀具的磨损率和降低切削力;在七种涂层中,C (MIL-L-46010) 涂层表现出最佳的性能。

2. 美国海军航空研究中心将MoS₂的粘结润滑膜涂敷到钻头上^[4],在不用冷却液条件下的钻孔数量比无涂层钻头在用冷却液条件下的钻孔数量有显著的增加(未涂时为2,有涂层时为70~100)。在此试验中,钻头失效的判断标准为钻孔周围出现毛刺,被加工件为3.2毫米厚的钛合金(Ti-6 Al-6 V-2 Sn)板,钻头转速为300转/分。

3. 美国海军航空工程中心在丝锥上通过特殊方法涂敷含有MoS₂的MIL-L-8937固体润滑膜^[4],在水溶性油冷却下,对AISI4340锻钢件(硬度为H_{RC}34~38)使用摇臂钻床攻丝试验,结果表明,固体润滑膜防止了螺纹的扯裂;未涂敷丝锥通常需要两种或两种以上的丝

表2

刀具切削试验数据

材 料	涂 层	切 削 力 (牛顿)	表面光洁度 (微米)	刃带磨损 均匀/局部(毫米)
AISI4340 (Rc39) 切削时间为 27分钟	无	3200	1.78	0.23/0.51
	D	2710	1.91	0.30/0.43
	B	2433	2.24	0.41/0.48
	G	2110	3.05	0.20/0.36
	A	1783	1.78	0.30/0.38
	E	1632	1.78	0.19/0.36
	F	1507	1.78	0.10/0.30
	C	1490	1.98	0.09/0.10
Ti-6 Al-4 V (BHN 297) 切削时间为 50分钟	无	1230	2.54	0.18/0.25
	E	1140	3.81	0.28/0.36
	D	1130	2.54	0.19/0.33
	A	1120	2.54	0.15/0.25
	G	1070	3.30	0.25/0.36
	F	1010	1.78~2.29	0.14/0.24
	B	1010	2.29	0.15/0.30
	C	880	1.52~2.03	0.10/0.15
L-605 (BHN290) 切削时间为 50分钟	无	2390	3.05	0.10/0.41
	F	2230	2.54	0.15/0.05
	D	2040	1.52	0.15/0.25
	B	1980	1.83	0.15/0.20
	E	1530	1.52	0.15/0.36
	G	1510	1.21	0.15/0.18
	A	1310	2.79	0.17/0.41
	C	1230	3.05	0.11/0.30

锥,而涂敷的丝锥只需一道工序,并完成的攻丝孔数等于未涂敷丝锥的2~4倍。丝锥失效的判断标准为孔径尺寸不足或光洁度低。

他们还将MIL-L-8937固体润滑膜涂敷在可更换刀片和麻花钻上进行了切削性能评价。结果表明,涂敷有固体润滑膜的刀片,切削抗拉强度为155000磅/时²的AMS-5643不锈钢比未涂敷的刀片切得更深,大大地节省了加工时间;涂敷有固体润滑膜的麻花钻头的加工工件数虽然比未涂敷的仅增加了一件(工件材料为AISI 1020锻钢),但前者的磨损面积仅是后者的三分之一,而且前者的钻尖无冷焊现象。这大大缩短了重磨钻头的时间。

4.加利福尼亚州北岛的海军航空修配厂对用专利工艺涂敷MoS₂润滑膜(MIL-L-8947)的丝锥和铣刀所进行的切削试验结果表明^[4],涂敷有MoS₂润滑膜的丝锥完成的攻丝量是未涂敷丝锥的七倍(工件材料为铬镍铁合金AMS5541);涂敷有MoS₂膜的铣刀加工的零件数为未涂敷的2.8倍(工件材料为AISI 4340、切削液为水溶性油)。

5.英国D. Hartley等人研制出一种含有MoS₂的无机涂层^[5],将它应用于金属切削和成型工具时,在某些情况下,可大大地延长工具的使用寿命。该涂层的配方见表3。这种涂层的优点是:1.其性能完全不受热油或金属加工用润滑剂的影响;2.与多种金属表面有良好的粘着性;3.具有较高的硬度及抗磨粒磨损性;4.耐高温。成膜方法可用刷涂、浸渍或喷涂,经升温固化后即成固体润滑膜。

表 3 MoS₂无机涂层的配方

组 分 方	A	B
磷酸铝溶液 (52%)	24.70	12.35
三氧化铬	1.30	0.65
二硫化钼	20.00	20.00
烷基苯酚聚乙二醇醚	0.40	0.40
水	53.60	66.60
总 计	100.00	100.00

注: 1.分散体系的pH: A为1.5, B为1.5。
 2.分散体系的比重: A为1.37, B为1.22。
 3.固化后的润滑剂与粘结剂的比例: A为 3:2, B为 3:1。
 4.涂层A用于流体润滑, 涂层B用于干摩擦。
 5.烷基苯酚聚乙二醇醚是一种非离子型的润滑剂。
 6.磷酸铝溶液中52%这个数据是按固化后的固体含量而定的。

表 4 涂敷固体润滑膜的切削和成型工具的试验结果

工 具	试验次数	提高了工具寿命的次数	工具寿命平均提高的倍数
铣刀	7	6	2.65
丝锥	6	5	2.76
钻头	5	2	1.60
齿轮滚刀	2	1	1.31
拉刀	2	0	0
圆盘锯	1	0	0
插齿机	1	0	0
硬质合金刀片	1	1	1.5
插入式冲头	1	1	300
冷成型冲头	1	1	88.6
冲切刀具	1	1	2.0
螺纹压辊	1	0	0
剪切刀具	1	1	3.0
总 计	30	19	31

将这种固体润滑膜涂敷于金属切削和成型工具上所获得的效果见表 4。表 4 中的数据表明, 固体润滑膜对提高金属切削工具的寿命是较明显的。

从上面所介绍的切削刀具上应用固体润滑膜的试验结果可以看出, 固体润滑膜能提高刀具的切削效率和使用寿命。因此可节约能源, 降低金属切削加工中的经济成本。

参 考 文 献

1. Trent, E.M., *Industry Tribology*, Printed by Swansea University, England, Sept., 1979.
2. Moore, D. F., *Principles and Applications of Tribology*, Pergamon, Oxford, England, 1975, 51.
3. Koury, A.J., *Lubrication Eng.*, 35 (1979), 6:315.
4. Stallings, L., *Cutting Tool Eng.*, 32 (1980), 5:22.
5. Hartley, D., Wainwright, P., ASLE Proceedings-2nd International Conference on Solid Lubrication, Denver, Colorado, 1978, 281.