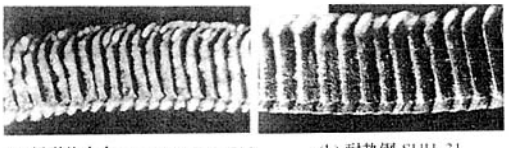
金属的被削性与刀具材料选择（下）

东华大学 （上海 200051） 章宗城

6.S类刀具材料

S类刀具材料适合切削耐热合金、钛合金等难加工材料。钛合金（Ti6Al4V等）、耐热合金（Inconel18、Hastelloy、Waspaloy、Reue41、Stellite等）为典型难加工材料。以往只知它们用在航空航天工业，实际上还用在核电、船舶、垃圾焚烧、工业炉、电子工业、汽车零部件、石油工业、建筑业及人造骨髓等方面。其中Inconel718是最典型的难加工材料，它硬度高、强度高、耐蚀、耐高温，在高温下具有耐蠕变、抗断裂、抗氧化等性能。Inconel718含大量合金元素，其中 w（Ni）= 50%～55%，w（Cr）= 17%～20%，其他尚有N6、Ta、Mo、Ti、Co等，合金总量高达80%～87%，各种合金构成多种碳化物，非常难于加工，其切屑形态如图14。



(a) 超耐热合金 Inconel Alloy 718 (b) 耐热钢 SUH 31

图14 耐热合金的切屑

他们难以加工，主要难在什么地方呢？应该说主要是一个“热”字。切削过程中由于耐热合金硬度高、强度高、合金成分多，合金元素与碳构成各种碳化物、复杂碳化物；这些碳化物不熔于合金中，又不聚集长大。而是以极细的颗粒形式弥散分布在晶界处，强化晶界，阻止在外力作用下晶界滑移，使得合金显示超强的性质，要加工它必须做更大的功，从而产生更多的热。

另外，其切屑特别容易粘接、熔接在刀尖刀刃附近，或形成积屑瘤。它不像普通钢切削时仅在前刀面因切屑流动产生高热，刀屑间因扩散作用，造成月牙洼磨损。耐热合金高温区，则是在整个刀尖附近前后刀面上，且后刀面同时损伤，更促使切削温度提高，常常温度达1000℃以上，高温使磨损加剧。在高温持续的切削中，粘接物、熔接物受到后续加工的冲击，在其强迫被冲离的过程中更易带走了部分刀具材料造成刀具缺损、破损（微崩、崩刃）。另外在切削过程中可见切屑的形态，呈锯齿状切屑近似粒状切屑形态，可知在加工中切削力是波动的，使刀具承受冲击载荷加剧。此外，刀片有时也出现明显的边界（沟状）磨损。故加工时，用一般刀具材料很快损伤，使用寿命极短。在这种特殊恶劣条件下，过去，往往非涂层刀片比涂层刀片效果还好些，适应耐热钢加工的涂层直到最近才有较多进展，但在对Ti6Al4V的加工时，无涂层的尚比现有涂层效果好，用得更普遍。长期以来各大刀具公司、研究部门、大学一直在设法研究开发加工此类材料用的新刀具材料、刀具几何形状，包括冷却润滑液等。

切削这类难加工材料时，选择的刀具材料应是耐热性好、导热易、硬度高、韧性大、抗氧化性能强，切屑与刀具材料不易粘接、熔接，能很快分离，同时在刀具几何角度与结构形状上也要注意做到这几方面。

三菱公司在这方面材料开发上也取得了进展，他们开发了RT9005、RT9010这两类材料，因为K类硬质合金中，WC导热较好，但被结合剂Co分开，若在组织结构上使WC适当相连，则导热性即可提高，这是RT9005、RT9010性能提高的原理，在此二者材料表面若再涂以AlTiN涂层，则更可提高其切削性能。

总结耐热合金、钛合金的被削性特点近似不锈钢，切削温度高，易磨损，切屑易粘接、熔接在刀片上，易崩刃，生成锯齿状切屑，切削力变化有振动，程度上比不锈钢更高、更难切，故要求性能更高的刀具材料，除用特殊硬质合金材料外也可用CBN等刀具材料。

7.H类刀具材料

H类刀具材料适加工高硬钢类材料。

高硬钢类材料包括含碳量高的碳素工具钢、合金含

量较高的合金工具钢、模具钢、高速钢，以及结构钢的淬硬件等。碳素工具钢的含碳量一般在0.8%以上，合金工、模具钢主要添加W、Mo、Cr、V、Si、Mn、Ni等元素，合金元素可以提高淬透性并与钢中的碳构成多种碳化物使硬度与耐磨性同时提高，合金含量达5%以上，其高温强度与耐磨性也得以提高。这类材料若再通过各种热处理其硬度常达40～65HRC，故一般刀具材料切削时，寿命非常短。这类材料的切削加工应用H类刀具材料加工。当前属于H类的刀具材料主要是CBN（立方氮化硼）其硬度达到5000～8000HV用它可在一定条件下，以车代磨。大大地提高了切削效率。除CBN外，如陶瓷、涂层硬质合金等也在不断努力提高自己切削硬材的能力，也能在不如CBN耐磨、在相应较低的切削条件下得到应用。

陶瓷刀片也可以切削高硬钢（55～65HRC），如德国SPK公司的刀片在连续稳定切削时可达220m/min，国产如山东大学开发的SG4、FG2、FH1—1、FH1—2等也可以切削淬硬钢。

涂层硬质合金刀片涂层技术不断发展，能加工硬度也愈来愈高，如（Al、Ti）N涂层自身硬度达2800HV、（Al、Ti、Si）N达3200HV、AlCrN达3200HV、新型的TiAlN可达3300～3700HV，这类涂层再配以超微粒硬质合金基体制成刀片或立铣刀、钻头均可加工60HRC以上的高硬钢。在一定条件下使用非CBN刀具材料，成本可降低。

模具工业中有时用一种称预硬钢（Preharden）的模具用钢，它是钢厂将已经相当调质（即淬火后高温回火）处理后硬化的钢直接提供给模具厂，让模具厂免除因先加工后热处理造成工件变形不均而导致出废品（如

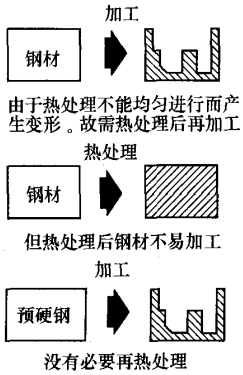


图15 预硬钢优点

图15），模具厂加工高硬材能力愈高，可要求钢厂相应提高钢的硬度。

至于非高硬钢类的硬质材料如硬质合金、陶瓷、复合材料为玻璃纤维基（GFRP）与金属基（MERP）等只能用金刚石刀具来切削。

8. 高速钢所适应的加工材料

在硬质合金未作为主要刀具材料之前，高速钢承担主要切削加工任务。在现代切削加工中，它的使用范围正在不断缩小。高速钢的特点是性能稳定，可成形加工，韧性好，上述P、M、K、N甚至S类所适各类被加工材料均可以较低的速度、进给量、背吃刀量用高速钢刀具加工，目前高速钢材料尚在各类刀具中使用，齿轮刀具与拉刀的材料仍以高速钢为主。

高速钢主要缺点是红硬性低，耐磨性差，刚性不足，在现代高速、高效、高精度加工中而略嫌不足。故当前在数控车床、加工中心这类机床上很少看见应用它，但在齿轮加工机床上、拉床上高速钢刀具仍占主流。某些优质高速钢滚刀由于能在较高进给速度下工作，每小时加工齿轮数可高于硬质合金滚刀。世界上一些大高速钢公司仍在努力开发新合金成分的高速钢，使其性能接近硬质合金，新型高速钢甚至可用干式切削，竭力试图把硬质合金占领的部分市场夺回来。

我国常用W18Cr4V，相当美国AISIT1、日本SKH2；W6Mo5Cr4V2相当美国M2、日本SKH51，以上作为普通标准高速钢材料（63～66HRC），另外，还有可提高淬硬硬度的钴高速钢，其耐磨性较高（65～69HRC）。

熔炼型的高速钢受热平衡的影响，合金含量是有限的，过多的合金元素会构成偏析组织，反使力学性能恶化，粉末高速钢的主要工艺是将合金元素的预炼高速钢用感应炉熔化，用气体喷雾造粒，喷后迅速固化成均匀固体颗粒，然后将颗粒装入一大型可压缩圆筒，对它进行热等静压，形成了致密毛坯，然后进行锻造或轧制，此法优点是可熔入更多合金元素，并防止偏析，提高材料均匀性，制成又硬又韧的优质粉末高速钢，其粉末可细至1～3μm，硬度可达69HRC，当然在齿轮切削时，由于都是断续切削，不能过于强调硬度，以致造成韧性不足，故一般达到64～68HRC即可，在此硬度下保证有足够韧性。（全文完）

（收稿日期：20070620）