

难加工材料高效加工解决方案

■ 山高刀具上海有限公司供稿

摘要：根据材料的加工特性，以最难加工的高温合金和高轻度材料为例，提出加工要点，并进行加工案例分析。

在金属切削行业中，最难加工的工件材料莫过于以高温合金为代表的耐高温材料和以钛合金为代表的高强度材料。这些合金被归类为ISO-S材料（简称：S材料），它们主要用于需要高耐腐蚀性、抗蠕变性，同时还能在极端温度下具有高强度的组件。以下产品要求使用具有这些特征的组件：起落架、喷气发动机、发动机支架、蒸汽轮机、油气零件和具有生物相容性要求的植入物，如膝关节、髋关节和牙科置换组件。因此，山高的整硬铣削部门主要关注航空航天、能源和医疗的应用，以便为客户提供最高效、最有效地攻克这些难加工材料的支持。

材料的加工性分析

1. 加工属性分类

山高根据5个重要属性对材料的可加工性进行了分类，这些属性是耐磨性、延展性、应变硬化、导热性和硬度。

(1) 耐磨性：指由能够形成硬质合金、氧化物和金属间颗粒的合金元素导致的硬度变化。耐磨性会导致切削刃过度磨损。高耐磨性材料包括镍合金和碳纤维增强塑料等。

(2) 延展性：指材料破裂时的高伸长率，该属性会导致粘附性和积屑瘤，是铝合金和钛合金加工时的主要难点之一。

(3) 应变硬化：会在受切削力的情况下使表面材料产生硬化。这是加工镍基合金时需要克服的一个已知挑战。

(4) 导热性：指材料的热量传导性。工件材料的导热性越低，集中在切削刃上的热量越多，从而造成

切削刃温度过高。

(5) 硬度：指材料的抗变形能力。硬度越高，使材料变形所需的力越大。高硬度还会产生大量热量。

2. 加工特性与要点

综合考虑所有这些特征时，可以绘制一张极坐标图，以便直观地查看工件材料的可加工性。与相对容易加工的钢相比，钛和Inconel 718均具有显著的粘附性、更低的导热性和更高的应变硬化。这些属性显示在极坐标图中，构成了切削过程中的挑战。

(1) 高温合金（HRSA）。其加工特征如图1所示。

在高温合金组中，关键的合金元素为：①镍（Ni），基于该元素的合金具有优异的高温属性。②钴（Co）、钼（Mo）和钨（W）在高温下拥有

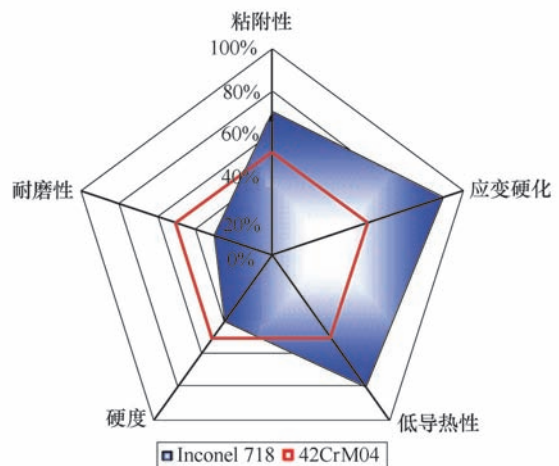


图1 高温合金加工特征极坐标图

高强度。③铬 (Cr)、铝 (Al) 和硅 (Si) 可提高氧化物强度。④碳 (C)，该元素可提高抗蠕变强度。

加工要点：①采用相对较大的切削深度以及较小的切削宽度或使用不断变化的切削深度来尽可能减少应变硬化导致的沟槽磨损。②使用具有PVD 镀层的正角槽型，因为这样可以减小压力和断裂。③相对较低的切削速度与相对较大的每齿进给量，可减少热量生成并降低切削刃上的温度。④使用高压乳化液来进一步控制温度。

(2) 钛合金。其加工特征如图2所示。

钛和钛合金具有较高的强度密度比，因此被广泛用于航空航天行业中。此外，由于具有卓越的生物相容性，它们还常用于医疗植入物中。这些材料可分为三组：低合金钛、中合金钛和高合金钛，其可加工性逐渐降低。

加工要点：①由于具有极低的导热性，建议使用高压乳化液。油雾也非常适用，但出于安全考虑并不常用。②切削速度取决于策略，但通常相对较低，变化范围为50m/min（传统）到150m/min（高速或高级粗加工）。③由于延展性以及高化学反应性，建议采用具有坚韧切削刃的正角槽型。AlTiN和AlCrN PVD 镀层均适用于钛应用，并且都在此领域大获成功。

3. 解决方案

(1) 针对高温合金高性能加工的JHP780系列。其特性为：优化的螺旋角和前角；双芯设计；MEGA-64 镀层 (AlTiN系抛光涂层)；采用航空圆

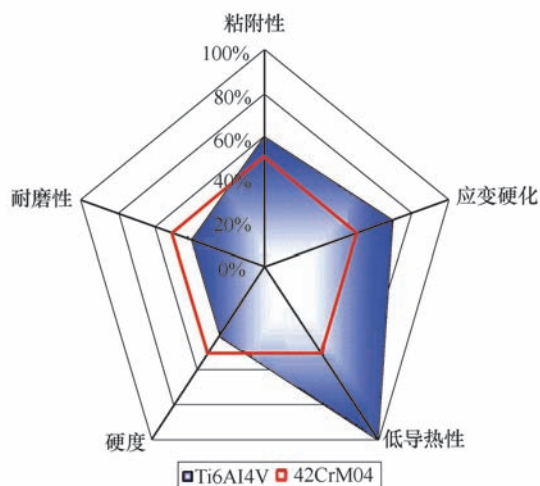


图2 钛合金加工特征极坐标图

弧半径的加强圆弧刀尖；不等齿距；轮廓分明的排屑型腔形状；大前角和极小的刃口钝化减小切削力；缩颈。

案例分析（见图3）。材料：Inconel 625；机床：SAMU；润滑：外部；加工：侧铣精加工；刀柄：HSK-63/Weldon；刀具：JHP780160E2R040.Z4-MEGA64（见图4）；切削参数： $N=3\ 183\text{r/min}$ ， $V_c=60\text{m/min}$ ， $F_z=0.024\text{mm}$ ， $z_n=4$ ， $a_p=9\text{mm}$ ， $a_e=0.3\text{mm}$ ， $v_f=300\text{mm/min}$ ；结果：刀具寿命达到50min，生产率比之前的竞争对手刀具提高25%。

(2) 针对钛合金高性能加工的JHP770系列。其特性为：不等齿距；优化的螺旋和前角；内冷通道；采用航空圆弧半径的加强圆弧刀尖；径向排屑和切削刃研磨；轮廓分明的排屑型腔形状；缩颈；SIRA 镀层（不含钛）可防止亲和反应（AlCrN系抛光涂层）；提供圆柱型、侧固型和Safelock。

案例分析（见图5）。材料：钛合金；机床：Hermle C30U；润滑：乳化液；加工：槽铣；刀柄：HSK-63/Weldon；刀具：JHP770100E2R40.3Z4A-SIRA（见图6）；切削参数： $N=1\ 019\text{r/min}$ ， $V_c=70\text{m/min}$ ， $F_z=0.03\text{mm}$ ， $z_n=4$ ， $a_p=20\text{mm}$ ， $a_e=10\text{mm}$ ， $v_f=3\ 819\text{mm/min}$ ；结果：无振动、声音正常、排屑出色。



图 3



图4 JHP780系列



图 5



图6 JHP770系列

MW（收稿日期：20160826）