

# 铸造高温合金K423A的切削加工性能研究

徐 宁

(福建信息职业技术学院; 福建 福州 350003)

**摘 要:** 对铸造高温合金的切削加工进行了分析, 重点对 K423A 的材料特点和加工性能进行了分析, 并对其切削加工的条件从刀具材料、几何参数、切削用量的选择等方面进行了研究。

**关键词:** K423A; 高温合金; 切削加工

中图分类号: TH142.2

文献标识码: A

文章编号: 1671-2153(2006)05-0007-04

## 0 引言

铸造高温合金通常分为铁基、镍基和钴基三大类, 除分别含有大量的铁、镍、钴基本元素外, 还含有铝、钛、钼、铌、钨、钽等强化元素, 合金中强化元素含量越高, 则越难加工。常见的铸造高温合金有: K213、KK418B、K423A、K424、K4169、K497、K4537、K4648 等, 这些合金适用于 650~1100℃ 范围内的不同温度, 这是一类在高温及氧化腐蚀环境中性能优异的金属结构材料, 主要用于制造飞机和火箭发动机的导向叶片、涡轮工作叶片、整器导向器、整器涡轮、整器扩压器机匣、尾喷口调节片等关键部件和多种民用高温、耐热零件。

## 1 化学成分及特点

在不同基体的高温合金中, 铁基高温合金虽然价格较低, 但抗高温氧化性差。铁-镍基高温合金, 其含镍量为 30%~50% 左右, 抗氧化性能高于铁基高温合金, 应用较为广泛。镍基高温合金其含镍量大于 50%, 是目前抗高温氧化性能最好的高温合金, 钴基高温合金以钴为基体, 特点是高温强度高, 能耐 1000℃ 以上的高温, 但我国的钴资源较少, 价格较高。

K423A 属于镍基高温合金, 其化学成分如表 1 所示。

表 1 K423A 镍基高温合金化学成分

元素	质量分数 / %	元素	质量分数 / %
C	0.12~0.15	Si	≤0.2
Cr	14.0~15.5	Mn	≤0.2
Al	余	S	≤0.010
Co	2.2~2.9	As	≤0.0005
Mo	6.2~8.5	Bi	≤0.00005
Al	5.9~4.4	Fe	≤0.5
Ti	5.4~5.8	Nb	≤0.25
B	0.005~0.015	Pb	≤0.0010
		W	≤0.2

K423A 的主要特性如下:

- (1) 含有高熔点合金元素和其他合金元素;
- (2) 它的沉淀硬化物呈弥散分布, 其稳定性强;
- (3) 导热系数小  $\lambda=0.105 \text{ J}/(\text{cm}^2 \cdot ^\circ\text{C})$  (45℃ 钢的  $\lambda=0.481 \text{ J}/(\text{cm}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ), 不利于散热, 对刀具的影响较大;

(4) 基体为奥氏体, 金属间化合物作为主要强化物, 在相当高的温度范围内, 随温度升高, 其硬度反而有所上升, 即在一定的温度范围内, 仍能保持相当高的硬度和强度。

## 2 切削加工的主要特点

### 2.1 切削力大

切削一般材料时, 由于切削温度升高, 硬度明显下降, 使切削易于进行, 而 K423A 由于含有大量

的合金元素，不但有很高的常温硬度，而且有很高的高温硬度。在切削加工时，随着切削速度的升高，其硬度还有所上升。这是切削力大的主要原因。通常情况下切削 K423A 的切削力要比一般中碳钢约增大 2~3 倍。

## 2.2 加工硬化现象严重

切削镍基高温合金时，硬化程度 H' (加工后与加工前的硬度之比) 可达 200%~500%。加工一般金属材料时也存在加工硬化，但随着切削速度而引起的软化现象可减少一部分硬化的程度。由于高温合金的软化程度高、速度慢，在刀具热硬性允许的切削速度范围内，随着切削的变形，硬化程度大于软化程度。此外，在较高的切削速度下，合金中的强化相常常从固溶体中分解出来，呈极细弥散相均匀分布，又进一步加大了硬化的程度。

## 2.3 切削温度高

切削 K423A 时，由于材料强度高，塑性变形大，刀面与切屑和工件间有剧烈摩擦，单位切削功大，消耗的功率多，因此产生大量的切削热，而它的热导率很低，使得切削热从切削区向外传递很慢，大部分切削热集中在切削区，使切削区平均温度很高，通常达 750~1000℃。高温不仅会加剧刀具的扩散磨损和氧化磨损，也会使工件产生变形，使尺寸及形状精度不易控制。

## 2.4 刀具易磨损

切削 K423A 时，由于材料的高温强度高，加工硬化严重，而且 K423A 中含有大量合金元素的化合物，如金属间化合物等形成的硬质点，尤其是具有 γ 相结构的硬质点，因此机液摩擦磨损严重。又由于切削力大，切削速度高，高温高压下，使刀具切削界面间产生粘结，造成刀具粘结磨损。另外，在较高的切削速度下，加剧了刀具材料中某些合金元素（如钨、钽、铌、铪等）向工件及切削中的扩散作用，造成扩散磨损。同时，在高温条件下，周围介质中碳、氢、氧、氮等元素易浸入切削界面，使刀具材料生成相间脆性相，加大了刀具材料表层的应力集中，使刀具产生裂纹，甚至崩刀。

根据 K423A 的性质及加工特点，切削时应注意降低切削速度，减小加工硬化，刀具刀口应保持锋利，而且工艺系统的刚性要好。

## 3 合理切削加工条件

### 3.1 选择合理的热处理方式改善切削性能

K423A 采用固溶处工艺可基本消除该合金的枝

晶组织，使晶粒析出均匀，从而改善塑性。随着固溶处理冷却速度的提高，晶粒得到细化，可降低切削时的阻力，改善切削加工性。

### 3.2 正确选择刀具材料

加工 K423A 时刀具材料应具有高温硬度高（即热硬性好），硬度足够，抗冲击能力强、耐磨性好、导热性好的特点。

高速钢，主要是新型高性能高速钢，如含钴高速钢中，W2Mo9Cr4VCo8 (M42)，W7Mo4Cr4V2Co5 (M41)，W6Mo5Cr4V2Co8 (M36)，W12Mo3Cr4V3Co5Si (Co5Si) 等都有良好的高温硬度和抗氧化能力，均可用于加工 K423A，其中应用最广的是 M42。它的综合性能好，热处理硬度可达 HRC70，高温硬度和基体硬度高，因而耐磨性好，另外，可磨性较好，所以应用非常普遍，但这种钢含有较多的钴元素，所以价格较昂贵。除此之外，无钴高速钢如含铝超硬高速钢 W6Mo5Cr4V2Al (M2A) 和含铌铪铝的超硬高速钢 W12Mo3Cr4V3SiNbAl 等也可用于加工镍基高温合金，但由于热处理温度难以控制，且这几种材料的可磨性能较差，因此采用较少。

硬质合金刀具材料，通常选用钨钴类 (YG) 硬质合金，常用牌号为 YG8 和 YG6 等。目前，国内研究的一批细晶粒、超细晶粒含钽、铌、铪碳化物的新型硬质合金，如 YS2，YD15，643H，813 等，切削镍基高温合金也取得了很好的效果。需要提出的是，不宜选用钨钛钴类硬质合金 (YT 类)，因为 YT 类硬质合金抗弯强度低，导热性也差 (YT15 的热导率只有 YG8 的 1/2)，切削热难以向周围介质传出，使切削区温度增加。此外，刀具材料中的 TiC 在镍中的溶解度极大，在高温状态下容易产生磨损。

### 3.3 切削时的机床及冷却介质的选择

加工 K423A 高温合金时，由于切削力较大，要选用刚性好，功率大的机床，使用加工过程尽可能地平稳。

根据 K423A 材质硬质点多、热导率低，切削热不易散出，刀具磨损较快的特点，对切削液的冷却润滑作用都有高要求，应选用极压切削油或极压乳化液。

## 4 合理选择刀具的几何参数

切削 K423A 时，应注意降低切削速度和减少加工硬化程度，因此刀具应尽可能磨得锋利。

### 4.1 前角的选择



为保证刀具锋利, 前角宜取正值。——  
刀具有足够的强度, 前角不宜过大。实验表明, 每一种高合金都有自己的合理前角。如图1所示, 用YG8和YG6 切削K423A 高合金, 前角与刀具相对磨损量的关系曲线。由图1可知, 用硬质合金刀具切削K423A 的前角取 $3^{\circ} \sim 6^{\circ}$ 为宜。

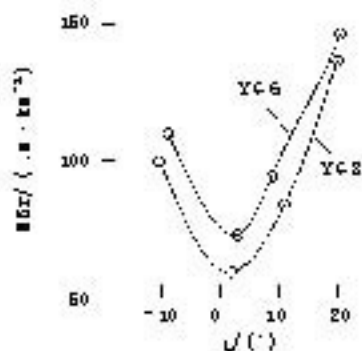


图1 前角与刀具相对磨损量的关系

#### 4.2 后角的选择

为了减小刀具后刀面与加工表面的摩擦, 应选较大的后角。后角适当增大, 可显著减小后刀面的主要磨损, 而提高刀具的耐用度。粗加工时高速钢刀具的后角可选 $10^{\circ} \sim 12^{\circ}$ , 硬质合金刀具后角则取 $8^{\circ} \sim 10^{\circ}$ ; 精加工时高速钢刀具后角取 $12^{\circ} \sim 15^{\circ}$ , 硬质合金刀具后角应取 $10^{\circ} \sim 12^{\circ}$ 。

#### 4.3 刀口及槽形

为减小加工硬化程度, 切削K423A 时, 断屑槽磨成平面形即可。刀口用天然油石进行“钝化”处理, 即将刀口研磨成 $R_0.018 \sim 0.026$ 的圆角, 而不是呈锯齿状的锐口, 以保证刀口平直无缺陷。同时, 前刀面的表面粗糙度值要小于 $R_a$ 为 $0.4\mu\text{m}$ , 最好达到 $R_a$ 为 $0.2\mu\text{m}$ 以内。

#### 4.4 刀具类型的选择

断续切削和粗车时, 宜用焊接式硬质合金刀具在普通车床上加工。刀具可重磨以降低刀具成本。连续切削和精车时, 可采用机夹可转位刀具在数控车床上加工, 以提高效率和保持尺寸的稳定性。

### 5 合理切削用量的选择

#### 5.1 切削深度

为使刀刀不在加工硬化层里切削, 宜取较大的切削深度 $a_p$ 。粗加工时, 宜取 $a_p=1 \sim 6\text{mm}$ ; 精加工时,  $a_p$ 不能小于 $0.2\text{mm}$ , 取 $a_p=0.2 \sim 0.35$ 为宜。

#### 5.2 进给量

由于切削K423A 时变形抗力大, 因此进给量不

宜过大。——  
加工硬化层后宜取较小值。粗加工时取 $f=0.3 \sim 0.5\text{mm/r}$ , 精加工时宜取 $f=0.2 \sim 0.3\text{mm/r}$ 。

#### 5.3 切削速度

切削高合金的切削速度主要受刀具耐用度的制约。在不同的切削速度下, 刀具的磨损情况是不同的。当切削深度和进给量确定后, 最佳切削速度对应的最佳进给量称作最佳切削进给量。用高速钢刀具切削K423A 时, 其最佳切削进给量以 $425 \sim 600^{\circ}\text{C}$ 为宜。用硬质合金切削K423A 时, 切削进给量以 $750 \sim 1000^{\circ}\text{C}$ 较好。其对应的切削速度, 高速钢刀具,  $V_c=20 \sim 25\text{m/min}$ , 硬质合金刀具,  $V_c=30 \sim 40\text{m/min}$ 。

进给量对最佳切削速度也有影响, 如图2所示, 用YG8和YG6 刀具加工高合金, 当 $f=0.1\text{mm/r}$ 时, 相对磨损为最小的最佳切削速度分别为 $40\text{m/min}$ 和 $35\text{m/min}$ ; 当 $f=0.2\text{mm/r}$ 时, 相对磨损为最小的最佳切削速度分别为 $25\text{m/min}$ 和 $18\text{m/min}$ ; 当 $f=0.3\text{mm/r}$ 时, 相对磨损为最小的最佳切削速度分别为 $20\text{m/min}$ 和 $25\text{m/min}$ 。

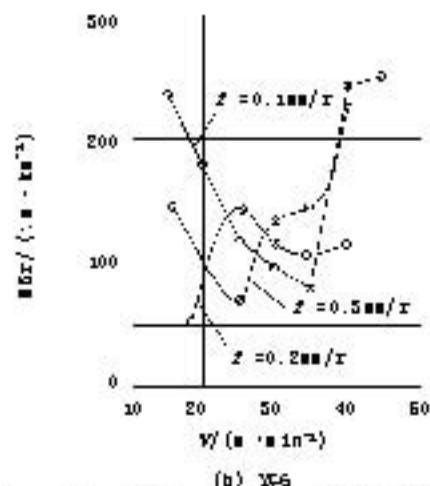
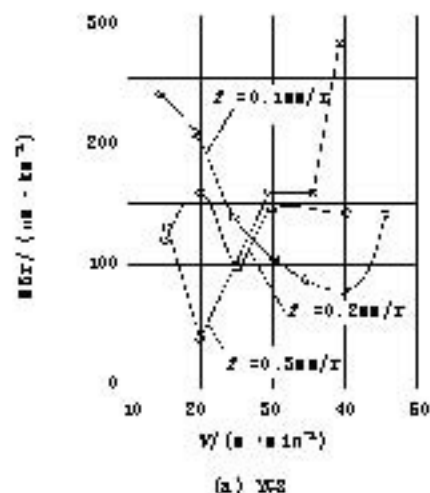


图2 刀具相对磨损与切削速度、进给量的关系



## 6 结束语

铸造高温合金是一种难加工材料。通过对K423A 切削加工性能的研究, 并且针对某航空产品的加工进行全程跟踪, 不断改进工艺参数, 取得了很好的效果。生产效率提高一倍以上, 而且加工精度和尺寸很稳定。应用以上参数对加工同类铸造高温合金材料有一定的实际指导意义。

参考文献:

- [1] 黄毅尧, 师燕瑜. K423A 铸造高温合金的固溶处理[J]. 钢铁研究学报, 2003, (7).
- [2] 李金芳. 难加工材料的加工技术 [M]. 北京: 北京科学技术出版社, 1992.
- [3] 韩荣聚, 于启勋. 难加工材料切削加工 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1996.
- [4] 张勃松. 金属切削原理及刀具 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1990.

## Research on cutting procedure of casting high temperature alloy K423A

XU Ning

(Fujian Information Occupation Technical College, Fuzhou 350003, China)

Abstract: The paper introduces the cutting machining procedure of casting high temperature alloy K423A and researches on the cutting condition in the aspects of cutter material, geometric parameter, and selection of cutting parameter.

Key words: cutter material; high temperature alloy; casting machining

世通刀具管理软件 (销售版) 为刀具企业量身打造!!