

S03（022Cr12Ni10MoTi）不锈钢铣削工艺研究

江水 周晖 何学斌
(武汉重型机床集团有限公司 湖北 武汉 430000)

摘要：S03 不锈钢因其具有高强度和低温韧性的特性，越来越多的应用到低温工作条件下的产品零件中，但因其强度高、塑性高和导热性差，导致在加工中出现切削困难、刀具磨损、零件变形等问题，致使零件质量难以控制，加工成本高、生产效率低。通过对 S03 不锈钢的加工性能的分析，研究其加工规律，设计出有利的加工条件，在试验中加以应用，验证其有效性。

关键词：S03 不锈钢；铣削工艺；工艺研究

0 引言

S03 为低温用马氏体不锈钢，其具有高强度和低温韧性的特性，已成为低温工作条件下的重要用钢，近年来，在航天、军工、核电等领域产品设计制造过程中应用越来越多。由于不锈钢材料具有强度高、塑性高、导热性差等特性，导致在加工中切削困难、刀具磨损、零件变形等，致使零件质量难以控制，加工成本高，生产效率低。因此，研究 S03 不锈钢的切削性能，成为降本增效、提高和保证产品质量的重要途径。

1 S03 不锈钢的力学性能分析

经 500℃时效处理后成品锻件、棒材的室温 / 低温力学性能应分别符合的规定（如表所示）：

S03 不锈钢相对于普通碳钢（如 45 钢）具有强度高、韧性高的特点。

2 S03 不锈钢的切削加工性能

通常以 45 钢的可切削性作为 1，常用材料相对可切削性 Kr 可分为 1 ~ 8 级，不锈钢 Kr=0.15 ~ 0.55 是相对可切削性能较差的材料。

此外，材料的加工难易程度主要决定于材料的硬度、抗拉强度 σ_b 、延伸率 δ 、冲击值 α_k 和导热系数 k，通常还按他们数值的大小来划分加工性能等级，S03 加工性等级属于较难切削的等级，其加工过程有如下特点：

2.1 切削力大

S03 不锈钢相对于碳钢，强度高、塑性好、韧性好，切削时弹性变形及塑性变形所需的力较普通碳钢大，不易断屑，切屑与刀具间的摩擦力也较大，作用在切削刀具的力比较大。

2.2 切削区域温度高

切削时，切削力较大，切屑不易切离，分离切屑所消耗的功也比较大，产生的切削热多。其导热性差，不锈钢的

热导率仅为 45 钢热导率的 1/3，在同等切削条件下，不锈钢切削区域温度比 45 钢高约 200 ~ 300℃。

2.3 刀具易产生粘附磨损

不锈钢材料韧性强，在切削过程中与刀具之间的亲合趋势强，容易产生粘接、扩散等现象，并生成“切屑瘤”，造成刀具粘附磨损。

3 S03 不锈钢的切削条件的分析

3.1 刀具材料

切削刀具应该具有强度高、韧性强的特点，同时还要具有较好的耐磨与耐热性能，并确保与不锈钢的亲合作用较小。目前，最常用刀具材料多是硬质合金基体 + 涂层，其表层硬度可达 HV2500 ~ 4200，具有较高的耐磨性和抗月牙洼磨损能力，有低摩擦系数，可降低切削力及切削温度，提高刀具的耐用度。

3.2 刀具几何形状

一般情况下，要尽可能地选用较大的前角，能降低摩擦及切削变形，从而使切削力小，一般加工不锈钢的刀具前角选 15° ~ 20°。增大后角能有效减小后刀面与加工表面之间的摩擦，但刀具的强度以及散热能力也有一定的降低。所以在不锈钢粗加工时以确保强度为主，选 4° ~ 6°，在精加工时以保证加工表面质量为主，选 8° ~ 12°。同时选择较大的刀尖圆弧半径，通常取刃倾角为负值，可有效增加刀尖强度。选用带涂层刀具，以获得更光滑的刀具切削表面，降低刀具的前刀面和后刀面以及刃口处的表面粗糙度，可解决加工时切屑与刀具之间粘附性强的问题。

3.3 切削用量

在切削用量参数中，对刀具耐用度影响最大的是切削速度 Vc，其次是进给量 f，背吃刀量影响 ap 最小。因此，在选择 S03 不锈钢切削用量时，其切削速度要比加工碳钢的切削速度低的多，而背吃刀量 ap 的选用，应在该加工余

表 棒材、锻件（厚度 < 100mm）经时效处理后力学性能

热处理制度	试验温度 (℃)	拉伸试验				冲击试验		三次深冷循环处理后冲击性能		硬度
		Rm(MPa)	Rp0.2(MPa)	A(%)	Z(%)	AKV (J)	AKU(J)	AKV(J)	AKU(J)	
500℃时效处理	室温	≥ 980	≥ 950	≥ 12	≥ 65	≥ 115	≥ 130	≥ 90	≥ 110	≥ 30
	-196	≥ 1300	≥ 1200	≥ 10	≥ 60	≥ 70	≥ 90	≥ 55	≥ 70	

量相应系统刚度条件下,以求尽可能的高效率加工完成。进给量 f 对刀具的耐用度影响不如切削速度,但是会影响断屑和排屑,影响加工的表面质量,此外还对切削抗力,切削温度有直接影响,因此背吃刀量 a_p 若取大时,进给量就要相应减少。

3.4 冷却

选择的切削液应尽可能选用含有 S、Cl、P 等极压添加剂的乳化液、硫化油,能极大地提高冷却润滑液的渗透性,能在高温条件下显著提高冷却和润滑效果,特别适用于不锈钢材料的精加工。此外,应尽可能采用高压冷却等方法,提高冷却效果。

4 S03 不锈钢的切削试验过程

在 S03 不锈钢的切削研究中,我们选取几种品牌不锈钢专用加工刀片进行试验对比,刀片材料均为:高强度高韧性硬质合金基体 +TiAlN 涂层。从加工时间、加工成本、切削效率等方面综合分析,选出合适的切削用量参数及刀具品牌。

4.1 粗铣切削试验

选用了 A、B 及 C 三种品牌的铣刀片进行粗加工切削试验,切削参数分别为: A:

$V_c=120\text{m/min}$

$f=0.9\text{mm/齿}$

$a_p=1\text{mm}$

B:

$V_c=110\text{m/min}$

$f=1\text{mm/齿}$

$a_p=1.5\text{mm}$

C:

$V_c=130\text{m/min}$

$f=1\text{mm/齿}$

$a_p=1.5\text{mm}$

切削效果分析:

粗铣表面粗糙度达到 $Ra3.2 \sim 6.3$,切屑为带状切屑,断屑均匀,这表明粗铣时切削过程平稳,切削力小,切削工况良好。

刀片寿命及成本分析:

(1) 经切削对比, A 品牌刀盘可连续切削 65min; B 品牌刀盘可连续切削 35min; C 品牌可连续切削 45min。A 品牌刀盘使用寿命略高,但相差不大。

(2) 在切削效率上, A 刀盘金属去除率 $135\text{cm}^3/\text{min}$; B 刀盘金属去除率 $145\text{cm}^3/\text{min}$; C 品牌去除率 $140\text{cm}^3/\text{min}$ 。B 品牌的效率最高。

(3) 在使用成本上, A 品牌刀片 65 元一片,刀盘 7 齿,需要 455 元; B 品牌刀片 70 元一片,刀盘 5 个齿,需要 350 元; C 品牌 80 元一片,刀盘 7 个齿,需要 560 元。C 品牌最高,但 A 品牌刀片寿命及效率都比 B、C 品牌高,经对比,

加工同等数量的零件, A 品牌的成本要低不少。

因此,优选 A 品牌刀盘粗铣加工。

4.2、精铣切削试验

选用了 D、E 两种品牌的铣刀片进行粗加工切削试验,切削参数分别为:

D:

$V_c=120\text{m/min}$

$f=0.25\text{mm/齿}$

$a_p=0.2\text{mm}$

E:

$V_c=120\text{m/min}$

$f=0.2\text{mm/齿}$

$a_p=0.2\text{mm}$

切削效果分析:

两种品牌刀片铣后表面粗糙度都很好,达到 $Ra1.6$,切屑为带状切屑,断屑均匀,这表明精铣时切削过程平稳,切削力小,切削工况很好。

刀片寿命及成本分析:

(1) 经切削对比, D 品牌刀片单个切削刃可连续切削将近 $40 \sim 50\text{min}$; E 品牌刀片单个切削刃可连续切削超过 2 小时。E 品牌刀片切削刃的使用寿命比 D 的高出一倍以上。

(2) 从切削参数上看,两刀盘的切削速度差别不大。

(3) 从使用成本上看, E 品牌刀片一个刀片价格 90 元左右, 6 个刀片 540 元; D 品牌刀片 70 元左右一片, 7 个刀片 490 元。但是 E 品牌刀片单个切削刃的使用寿命比 D 品牌高出一倍,换算后 D 品牌刀片的使用成本比 E 品牌刀片高 80% 左右。

(4) 两种刀盘的切削速度一样,但 D 品牌刀片的单个切削刃持续切削时间短,换切削刃的次数比 E 品牌频繁,其切削效率比 D 品牌要低。

因此,优选 E 品牌刀片精铣加工。

5 结语

综上所述, S03 不锈钢材料虽属难切削材料,但由于其在某些行业有较多的应用需求,通过分析其力学性能,研究切削规律,设计出有利切削条件,在选择刀具时从加工时间、加工成本、切削效率等方面综合分析,既可以加工出满足设计及用户要求的零件,又可以降低成本,提高效率。

参考文献:

- [1] 曾志新,吕明,等.机械制造技术基础[M].武汉:武汉理工大学出版社,2004.
- [2] 王章中,乔斌.机械工程材料[M].北京:机械工业出版社,2001.
- [3] 陈建,沈兴东.不锈钢的切削性能研究[J].机电产品开发与创新,2004.
- [4] 陆剑忠.金属切削原理及刀具[M].北京:机械工业出版社,2000.