方钢叶片加工效率优化

无锡透平叶片有限公司 （江苏 214023） 张 渊 徐 进 张家军

叶片开发部方钢室主任张渊

随着方钢产品的增多，方钢线的产能需要得到进一步的提高。如何在不添加设备的情况下，尽可能地提高方钢叶片的加工效率？为此，我们以优化方钢五轴加工效率为目的，成立了专门项目小组。经过项目组成员在调试加工过程中不断试验、分析、讨论→再试验、总结→应用这一系列的工作，总结积累了大量的叶片调试加工经验和现场生产情况，项目的进展有了较大的突破，方钢叶片的加工速度有了大幅度提升，加工时间得到进一步缩短。在此，对五轴方钢加工各个方面试验改进的情况作出分析。

一、刀具的改进

1. 刀具对比

我们对多个刀具生产厂家的刀具进行了多次试验，包括山高、瓦尔特、斯特拉姆、磐石等。通过加工试验后分析各个刀具厂家刀具加工情况，找出其各自的优势和弱点。

（1）对于叶片平面和型面的粗加工，各厂家提供的参数如表1所示。

表1 各厂提供的叶片平面和型面粗加工参数对比

刀具厂家	山高	瓦尔特		斯特拉姆	磐石
刀具规格	D80R3	D40R6		D40R6	D40R6
工件材料	X19Cr-MoNb VN11-1-5	X19Cr-MoNb VN11-1-5	NiCr20-Ti-T6	NiCr20-Ti-T6	NiCr20 Ti-T6
齿数z	6	4		4	4
线速度 v_c/(m·min^{-1})	250	250	40	56	56
每齿进给量 f_z/(mm·z^{-1})	1.2	0.3	0.25	0.36	0.32
切深 a_p/mm	1.5	2.5	2	2.5	2.5
走刀速度v_f/(mm·min^{-1})	7 162	2 387	318	642	570
切宽 a_e/d(%)	60	80	70	70	70
加工效果	不好	较好	一般	一般	较好

从试验的结果看，山高的刀具切削速度很高，但是受工件装夹和机床刚性的限制，在加工中出现了振动和噪声，导致刀片很快失效，但是这款刀具可以在模具的加工中尝试应用。

瓦尔特刀具体现了加工适应面广的特点，在不锈钢和高温合金粗加工中都有不错的表现，所以在加工不锈钢叶片中还是沿用这款刀具。

斯特拉姆虽然应用了X700的材质刀片，但在加工高温合金中并没突出的表现。

磐石应用了新的刀片材质，这款刀片在加工高温合金中表现突出，效率和寿命都有不错的体现，所以我们选用了这款刀片来加工高温合金。

（2）对于叶片槽的加工刀具，我们也做了试验（见表2）。

从以上情况考虑，目前我们还是采用了本厂自制的硬质合金刀具。综合考虑后，粗加工刀具目前

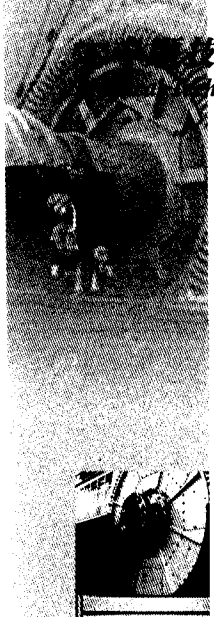


表2 叶片槽加工刀具试验

刀具厂家	山高	WTB		斯特拉姆	波波林克
刀具规格	D10R1	D20R4		D25R4（刀片）	D25R2
工件材料	X19Cr-MoNb-VN11-1-5	X19Cr-MoNb-VN11-1-5	NiCr20Ti-T6	NiCr20-Ti-T6	X19Cr-MoNb-VN11-1-5
齿数z	3	4		3	4
线速度v_c/(m·min^{-1})	100	120	50	50	80
每齿进给量f_z/(mm·z^{-1})	0.03	0.1	0.06	0.08	0.08
切深a_p/mm	8	2	2	5	5
走刀速度v_f/(mm·min^{-1})	286	764	191	152	325
切宽a_e/d(%)	10	20	20	25	25
加工效果	一般	较好	一般	较好	一般

并没有大的改变，基本延用了以前较成熟的刀具方案。

2. 刀具切削参数的优化

对于现有刀具切削参数的改变在基于刀具寿命并没急剧下降的前提下获得，但加工时间得到缩短（见表3）。

表3 刀具切削参数的优化

刀具规格	D40R6（圆刀片）瓦尔特		D20R2 WTB		T20 山高		WP20 斯特拉姆	
工件材料	X19CrMoNb VN11-1-5		X19CrMoNb VN11-1-5		X19CrMoNb VN11-1-5		X19CrMoNb VN11-1-5	
参数对比	原参数	优化参数	原参数	优化参数	原参数	优化参数	原参数	优化参数
齿数z	4		4		3		3	
线速度v_c/(m·min^{-1})	220	250	120	160	300	350	120	160
每齿进给量f_z/(mm·z^{-1})	0.25	0.3	0.08	0.1	0.15	0.25	0.1	0.15
切深a_p/mm	2	2.5	1.5	2	0.5	0.5	1.5	2
走刀速度v_f/(mm·min^{-1})	1 750	2 387	611	1 018	2 148	3 342	572	1 145

3. 刀具试验

通过几种刀具在同一种叶片上的加工试验，发现LMT（南京蓝帜金属加工技术有限公司）的φ66R3.5高速快进给铣刀在方钢叶片的开粗加工上是有一定优势的，不仅切削速度较快，而且刀片的寿命也较长，该刀具在加工时切削轻快，产生的噪声也比较小，只是在加工叶冠时有时会有轻微的振动，加工出的工件表面还比较平整，不影响下一步的精铣加工，而且在加工中还发现，该刀具的切削速度还可在一定程度上进一步的提高，这将在下面的生产加工中继续进行试验，以期达到最优化的组合（见表4）。

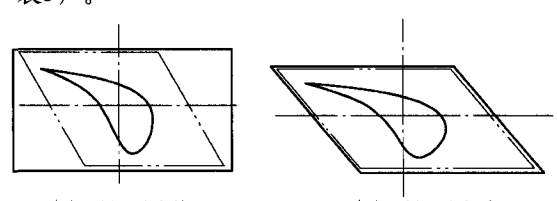
表4 刀具试验

刀具厂商	Walter	LMT	山高
刀具名称	φ40R6	φ66R3.5 快进给铣刀	φ66R4.4 快进给铣刀
刀片类型	圆刀片	四方刀片（刀刃为圆弧面）	四方刀片（刀刃为直面）
齿数z	4	6	4
线速度v_c/(m·min^{-1})	250	250	220
转速n/(r·min^{-1})	1 989	1 200	1 061
每齿进给量f_z/(mm·z^{-1})	0.3	1	1.5
切深a_p/mm	2 387	7 000	6 366
走刀速度v_f/(mm·min^{-1})	2.5	1	1
切宽a_e/d(%)	80	70	70
试切机床	HAMUEL-HSTM300		
试切叶片	S205L（前6步开粗）		
叶片材料	X20Cr13-5		
加工时间/min	6.62	3.74	3.9
节省时间/min		2.88	2.72
提高效率(%)		43.5	41
刀具寿命	4片(约26min)	6片(约23min)	3片(约12min)

二、加工工艺的改进

1. 毛坯改变

通过把原来的方形毛坯改为菱形毛坯，可大大缩短方钢开粗时间，并减少粗铣刀具磨损（见图1、表5）。



(a) 毛坯更改前　(b) 毛坯更改后

图 1

表5　毛坯更新前后加工效率对比

SJ155	毛坯更改前	毛坯更改后
加工时间/min	17.18	2.61
效率提升（%）	84	

2. 装夹方式改变

加工西门子叶片时采用燕尾槽加圆柄夹紧的装夹方式，大大提高了加工尺寸和表面质量的稳定性，刀具加工速度也可有所提高（见图2）。

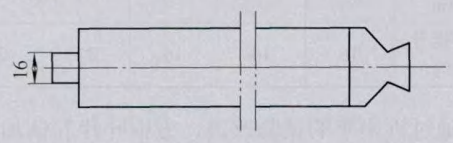


图　2

3. 取消五轴割总长工序

取消在五轴机床上加工总长工序，可较好地保证五轴加工的连续性，并有效地提高五轴加工效率（见表6）。

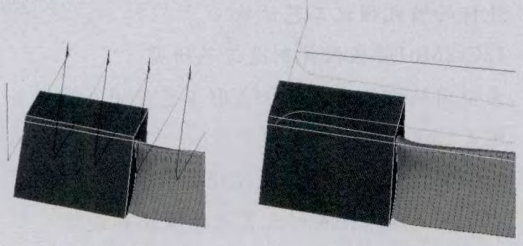
表6　取消五轴割总长工序加工效率对比

SJ155	割总长	取消割总长
加工时间/min	10.84	0
效率提升（%）	100	

三、切削刀轨的优化

1. 对菱形平面的粗加工进行了刀轨优化

由于原来在HSTM300上纵向走刀会闷刀，无法正常加工，现通过优化切削参数，特别是在转角处增加圆角过渡，可以很好地避免闷刀现象（见图3、表7）。目前这种开粗方式已完全应用到各种方钢的加工。



（a）优化前刀轨　　（b）优化后刀轨

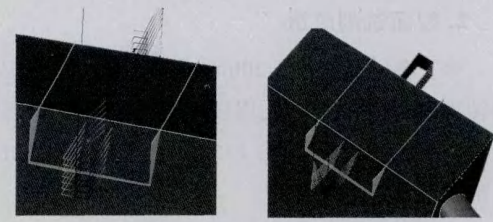
图　3

表7　优化刀轨前后加工效率对比

SJ155	优化刀轨前	优化刀轨后
加工时间/min	2.61	1.76
效率提升（%）	32	

2. 定位槽加工方式简化

槽的粗加工由Triple Pass方式改成Frame Milling方式，由原来的三刀改成两刀（见图4）。这样的刀轨优化在粗加工槽中节省了33%的加工时间。

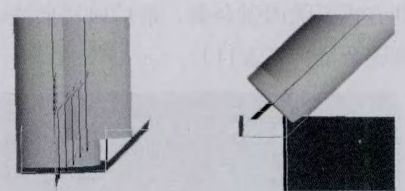


（a）优化前刀轨　　（b）优化后刀轨

图　4

3. 叶根两侧倒角采用侧刃切削

侧刃切削切深为2mm，代替原来用Z12R两步粗铣叶根倒角（切深1mm），时间可节省61%，但这种加工方式对刀具的磨损较大，而且需要叶根有较大的下刀空间，目前仅在部分方钢叶片上试用（见图5、表8）。



（a）优化前刀轨　　（b）优化后刀轨

图　5

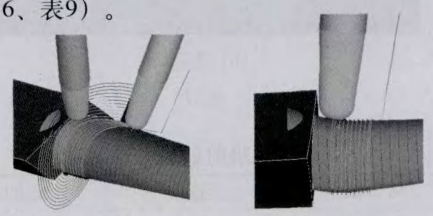
表8　优化刀轨前后加工效率对比

S148	优化刀轨前	优化刀轨后
加工时间/min	1.06	0.41
效率提升（%）	61	

四、编程策略的改进

1. 转接加工简化

针对转接平面粗加工更改了加工策略，由原来的两步合并成一步，通过球头刀侧刃铣削转接平面（见图6、表9）。



（a）改进前　　（b）改进后

图　6

表9　改进前后加工效率对比

S148	改进前	改进后
加工时间/min	4.48	2.55
效率提升（%）	43	

2. 型面铣削改进

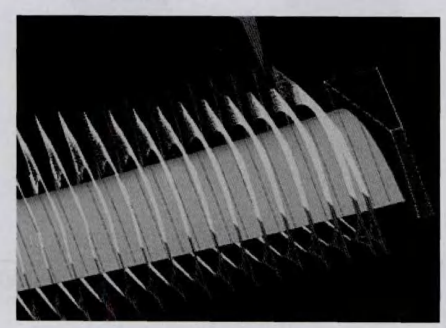
对于汽道高度小于200mm的方钢叶片，仍采用回转铣削方式加工，先用较大步距（25mm）进行粗铣，然后用较小步距（15mm）半精铣型面,以保证精铣余量（见表10）。

表10　改进前后加工效率对比

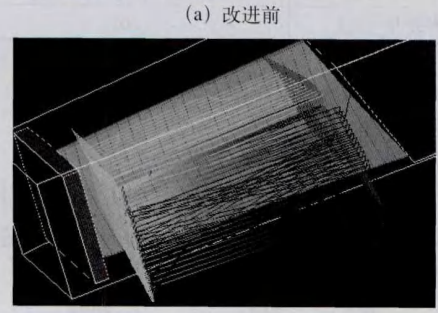
SJ273	改进前	改进后
加工时间/min	8.4	6.4
效率提升（%）	24	

3. 大方钢叶片型面加工优化

对于汽道长度大于200mm的方钢叶片，型面粗铣采用V形铣削方式可节省大量时间（以纵向铣削方式分别去除型面进出汽边和背弧余量，然后用V形铣削方式去除内弧余量，最后回转半精铣型面，保证精铣余量，见表11）。



（a）改进前



（b）改进后

图 7

表11　改进前后加工效率对比

SM344R	改进前	改进后
加工时间/min	49.3	33.83
效率提升（%）	31	

五、结语

综合以上的优化项目，我们选择了几个典型产品，做效率提升的比较（见表12），现汇总如下：

表12　典型产品加工效率综合对比

典型产品	SJ155	S148	S273	SM344	H224
原切削时间/min	49	53	134	175	73
现切削时间/min	41	44	113	120	53
效率提升（%）	16	16	16	31	27

通过近半年的试验改进，方钢叶片五轴加工效率提升了20%～30%，这些改进措施都已经实际应用到了各方钢叶片的正常加工生产中了，而且在效率提高的同时也不会影响叶片的整体质量，确保了方钢线的产能得到大幅提高，随着方钢叶片加工研究的继续深入，方钢叶片加工的效率会有更大的提高，为公司领导制定公司战略提供坚实的基础。

MW（收稿日期：20120505）

《金属加工（热加工）》2012年第13期要目

电磁阀用软磁合金热处理工艺
感应淬火技术在风电增速齿轮箱内齿圈上的应用
细长比大的轴类零件表面淬火工装
薄壁钛合金材料零件旋压的热处理工艺
5A06板材钣金成形件退火工艺研究
2A12铝合金固溶处理后残留应力的测试分析
连杆的喷丸强化工艺试验
12Cr2Mo1管板锻件制造工艺研究
大型前轴锻件永久标识成形工艺应用与探索
端盖拉深工艺与模具设计
42CrMoL钢环锻件形变过烧的研究
TC1钛合金端板成形工艺及拉深模具设计
钢质无缝气瓶强力减薄旋压工装模具设计
不锈钢小壳体内键槽成形工艺研究
改进型无限冷硬铸铁辊的离心铸造
转轮下环的铸造工艺研究
熔模铸件热裂纹缺陷的分析与实践
一种有效生产铁素体球墨铸铁的方法