高强度不锈钢Custom465高速车削

刘壮壮，周鹏
西安庆安航空机械制造有限公司　陕西西安　710018

摘要：通过对Custom465不锈钢的切削过程进行研究，得出高效切削的几个关键要素，对于此类材料的高速加工有一定的指导意义。

关键词：不锈钢；Custom465；高速车削；切削性能

1　序言

马氏体沉淀硬化不锈钢兼具马氏体时效钢良好的力学性能和不锈钢良好的耐蚀性，其基体含碳量很低。Custom465是美国卡朋特公司研发的一种新型的马氏体沉淀硬化不锈钢，抗拉强度可达1800MPa，是一种性能优异的不锈钢，它拥有良好的耐蚀性、高抗拉强度和较高的断裂韧性，其冷拔断面的收缩率可以超过70%，这些优良的金属性能使此材料相对于其他不锈钢，加工难度大大增加。

2　Custom465的化学成分及金属特性

Custom465的化学成分（质量分数）见表 1 。从表1可以看出，此材料中铬、镍、钼及钛等成分含量较高，因此具有良好的金属特性，其特点主要有以下几点。

（1）耐蚀性良好　材料中含有Cr等元素，使得此材料具有良好的耐蚀性，在许多情况下其耐蚀特性可与Custom630或者13-8Mo相媲美。

（2）硬度高　此材料在H950的状态下，具有非常高的硬度，其硬度可达到47HRC，使得其具有优良的力学性能。

（3）强度高　此材料的抗拉强度是1800MPa，在这种状态下，其冷拉拔断面的收缩率可以超过70%。

（4）耐磨性差　此材料具有良好的韧性和耐蚀性，但是有一个显著的缺点就是其耐磨性能不足。

此材料拥有较高的硬度和抗拉强度，并且含有比例较高的Ni、Ti等元素，使得其成为难加工的材料。

在加工过程中主要会出现下述几种情况：①刀具与切屑的直接摩擦加剧，刀具材料与工件材料产生亲和作用，加之材料硬质点的存在和严重的加工硬化现象，刀具在切削过程中易产生磨损，使刀具丧失切削性能。②合金有高塑性和高韧性的特点，再加上强化系数高，在切削力和切削热的作用下产生巨大的塑性变形，造成加工硬化。在切削热的作用下，材料吸收周围介质中的氢、氧及氮等元素的原子，形成硬脆的表层，给切削带来很大的困难。③由于材料具有高的硬度和强度，原子密度和结合力大，抗断裂韧性和持久塑性高，在切削过程中切削力大，而且切削力的波动也比较大。④合金在切削过程中消耗的切削变形功率大，产生的热量多，在切削区集中了大量的切削热，形成了很高的 切削温度。

表1　Custom465的化学成分（质量分数）　（%）

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Ti	N
≤0.02	≤0.25	≤0.25	≤0.015	≤0.010	11.00～12.5	0.75～1.25	10.75～11.25	1.50～1.80	≤0.01

3　影响切削的因素分析

切削热以及由切削热而产生的切削温度是影响切削过程的非常重要的物理因素。大量的切削热使得切削区域的温度升高，直接影响刀具的磨损和使用寿命，并且影响工件的加工精度和表面质量。因此，对加工过程的切削温度进行研究对于高效、稳定地生产制造具有重要的意义。

（1）切削热　被切削的金属材料在刀具切削的作用下发生弹性变形和塑性变形，这个过程会产生大量的切削热。同时，切屑与前刀面、工件及后刀面之间消耗的摩擦功也将转化为热量，这是切削热的另一个来源。

（2）影响切削温度的主要因素　①工件材料。工件材料的强度、硬度越高，切削时产生的热量就越多，切削温度就越高，工件材料的热导率大时，温度会下降得快一点。②刀具的几何参数。刀具的前角、主偏角、刀尖*R*及断屑槽的结构等都会影响切削过程中切削热的产生。③切削参数。切削速度对温度的影响最大，其次是进给量和背吃力量。④其他因素。当刀具出现磨损时，加剧了刀具与工件的摩擦，会使得切削温度升高，使用切削液对于降低切削温度有良好的作用。

4　加工过程模拟分析

近年来，有限元方法在切削工艺中的应用表明，切削过程中的有限元模拟加工对了解切削机理，提高切削质量很有帮助。通过有限元仿真可以减少基础试验、重新设计刀具，减少试验过程产生的材料浪费，缩短零件的加工周期，并且减少加工过程的整体费用。

应用有限元方法的7个主要步骤是：建立积分方程→区域单元划分→确定单元基函数→单元分析→总体合成→边界条件处理→解有限元方程。由于没必要得出科研级别的精确结果，因此可将上述7个步骤简化成以下5个主要步骤：建立几何模型→网格划分→设置初始条件→模拟运行过程→后处理。笔者结合已有的有限元分析技术，利用分析软件Deform 3D，对高强度不锈钢Custom465的加工过程进行分析，主要分析加工过程的切削温度及切削温度与加工参数的关系。

（1）刀具前角对切削温度的影响　利用Deform 3D进行模拟，可使用不同的切削速度、不同刀具前角的刀具进行切削分析。使用8组数据进行模拟分析，数据及试验结果见表2。

表2　刀具前角对切削温度的影响

切削速度/（m/min）	背吃刀量/mm	刀具前角/（°）	切削温度/℃
150	1	−10	815
150	1	−5	780
150	1	0	755
150	1	5	725
150	1	10	700
150	1	15	710
150	1	20	740
150	1	25	765

由表2可得出刀具前角对切削温度的影响，如图1所示。随着前角的增大，切削温度会降低，但是前角过大，又会使切削区域的温度散热面积减小。

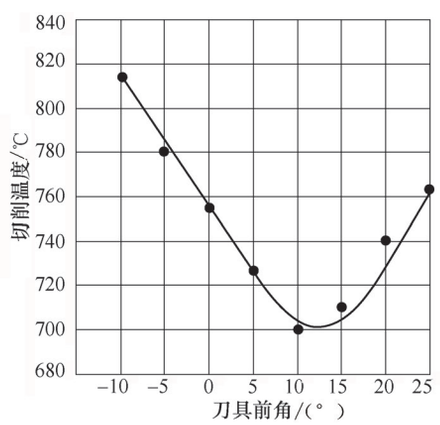


图1　刀具前角对切削温度的影响

（2）切削速度的影响　同样使用8组试验参数，模拟切削速度与切削温度的关系，使用的试验参数及试验结果见表3，其线性关系如图2所示。

表3　切削速度对切削温度的影响

切削速度/（m/min）	背吃刀量/mm	进给量/（mm/r）	切削温度/℃
20	1	0.2	425
30	1	0.2	490
40	1	0.2	550
60	1	0.2	610
80	1	0.2	670
100	1	0.2	735
150	1	0.2	810
300	1	0.2	1030

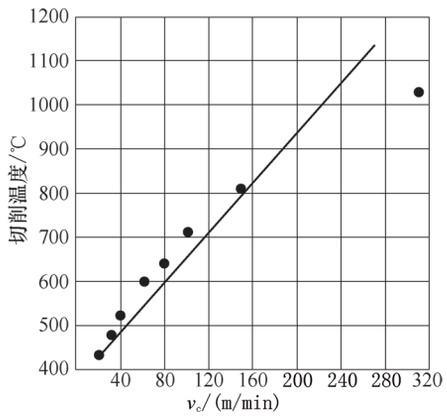


图2　切削速度对切削温度的影响

通过试验可以得出，在切削速度提升的情况下，切削区的切削温度提升很快。因此要选用高硬度、涂覆耐高温涂层的刀具，此类刀具的切削寿命长且能控制加工过程的稳定性。刀具的前角以及切削参数要进行适当的控制，以便取得良好的加工质量。

（3）进给量的影响　使用8组试验参数模拟进给量与切削温度的关系，使用的试验参数及试验结果见表4，其线性关系如图3所示。

表4　进给量对切削温度的影响

切削速度/（m/min）	背吃刀量/mm	进给量/（mm/r）	切削温度/℃
100	0.2	0.02	490
100	0.2	0.03	540
100	0.2	0.05	610
100	0.2	0.08	645
100	0.2	0.10	689
100	0.2	0.15	715
100	0.2	0.30	745
100	0.2	0.40	790

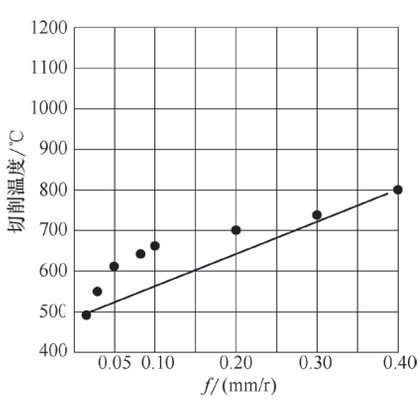


图3　进给量对切削温度的影响

结合试验数据以及图3能够看出，随着进给量的增加，切削温度逐渐上升，但是上升的速度正逐渐下降。

（4）背吃刀量的影响　使用8组试验参数模拟背吃刀量与切削温度的关系，使用的试验参数及试验结果见表5，其线性关系如图4所示。

表5　背吃刀量对切削温度的影响

切削速度/（m/min）	背吃刀量/mm	进给量/（mm/r）	切削温度/℃
100	0.05	0.10	625
100	0.10	0.10	640
100	0.20	0.10	655
100	0.40	0.10	680
100	0.80	0.10	700
100	1.00	0.10	710
100	1.50	0.10	720
100	2.00	0.10	740

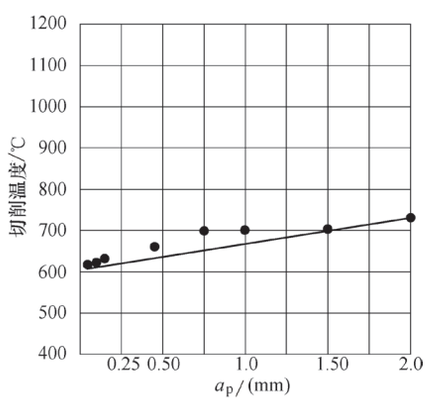


图4　背吃刀量对切削温度的影响

结合试验数据以及图4能够看出，随着背吃刀量的增加，切削温度逐渐上升。

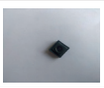
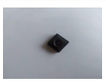
5　加工验证

为了更好地研究Custom465的切削性能及切削过程，使用完全热处理后的H950状态的材料进行切削试验，主要研究合适的切削刀具及加工参数。

1）首先试验车削外圆粗加工过程，试验的切削参数见表6。

结果显示，1号刀具和2号刀具在粗加工中显示出良好的切削性能，在耐用程度上，刀具圆角较大的刀具寿命会更长。3号刀具和4号刀具的切削性能较差，很容易出现磨损，无法正常加工。随着切削速度的提升，1号刀具和2号刀具的切削性能出现直线下降，无法完成单件工件的加工并且出现严重磨损，加工状态极其不稳定。

表6　粗车切削参数

刀号	切削速度/（m/min）	背吃刀量/mm	进给量/（mm/r）	刀具型号	品牌	刀具
1	100	1	0.2	CNMP120404SM TN6010	WIDIA	
2	100	1	0.2	CNMP120408SM TN6010	WIDIA	
3	100	1	0.2	CNMG120408AP TN6010	WIDIA	
4	100	1	0.2	CNMP120408SM TN1025	WIDIA	
5	150	1	0.2	CNMP120404SM TN6010	WIDIA	
6	150	1	0.2	CNMP120408SM TN6010	WIDIA	

2）接下来试验精加工车削外圆，试验的第1组参数见表7，第 2 组参数见表 8 。

结果显示，1号、2号及5号、6号刀具效果较差，在工件外圆出现了明显的色差以及环状的加工纹路，效果较差，不适合精加工。3号、4号刀具效果较好，工件的表面颜色一致，表面粗糙度可以达到图样要求。继续研究3号、4号刀具的切削数据。当切削速度＞120m/min、背吃刀量＞0.15mm时，零件外圆的表面粗糙度又无法稳定保证，刀具磨损加剧，加工状态较差。当加工参数控制在上述参数以内，3号、4号刀具加工状态相近，可保证工件稳定的加工质量。

3）由于内孔较小，因此镗孔时选择尺寸较小的刀片，根据车削外圆的加工经验，设置试验的切削参数（见表9）。2号刀具在切削速度、背吃刀量、进给量、刀具寿命以及工件表面质量几个方面都表现出优良的性能，提高了整体的切削效率，试验较为成功。

4）精加工镗削内孔的试验切削参数见表10。由表10数据可知，将进给量控制在0.08mm/r，进给速度控制在30～60m/min，背吃刀量控制在0.05～0.10mm，可保证1号刀具切削效果良好，2号刀具的状态较差。

表7　第1组精车切削参数

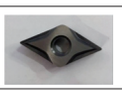
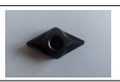
刀号	切削速度/（m/min）	背吃刀量/mm	进给量/（mm/r）	刀具型号	品牌	刀具
1	100	0.15	0.04	VNMP160402MS KC5010	肯纳	
2	100	0.15	0.04	VNMP160402 TN10U	WIDIA	
3	100	0.15	0.04	DNMP150604SM TN6010	WIDIA	
4	100	0.15	0.04	DNMP150604SM TN6010	WIDIA	
5	100	0.15	0.04	DNMP150608SM TN6010	WIDIA	
6	100	0.15	0.04	DNMG150604-XF GC30	山特维克可乐满	

表8　第2组精车切削参数

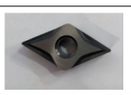
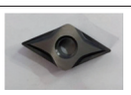
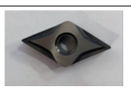
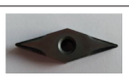
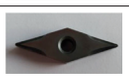
刀号	切削速度/（m/min）	背吃刀量/mm	进给量/（mm/r）	刀具型号	品牌	刀具
3	100	0.15	0.08	DNMP150604SM TN6010	WIDIA	
3	100	0.15	0.10	DNMP150604SM TN6010	WIDIA	
3	100	0.20	0.10	DNMP150604SM TN6010	WIDIA	
4	120	0.15	0.08	VNMP160404SM TN6010	WIDIA	
4	150	0.15	0.10	VNMP160404SM TN6010	WIDIA	
4	180	0.20	0.10	VNMP160404SM TN6010	WIDIA	

表9　粗镗孔切削参数

刀号	切削速度/（m/min）	背吃刀量/mm	进给量/（mm/r）	刀具型号	品牌	刀具
1	30	0.5	0.12	CCMT32510F R323	WIDIA	
1	50	0.5	0.12	CCMT32510F R323	WIDIA	
1	60	0.5	0.12	CCMT32510F R323	WIDIA	
2	30	2	0.15	CCMT09T304SM-IC907	伊斯卡	
2	50	2	0.15	CCMT09T304SM-IC907	伊斯卡	
2	60	2	0.15	CCMT09T304SM-IC907	伊斯卡	

表10　精加工镗削内孔切削参数

刀号	切削速度/（m/min）	背吃刀量/mm	进给量/（mm/r）	刀具型号	品牌	刀具
1	30	0.05	0.08	DCMT 11 T3 04-MF 2220	山特维克可乐满	
1	50	0.08	0.08	DCMT 11 T3 04-MF 2220	山特维克可乐满	
1	60	0.10	0.08	DCMT 11 T3 04-MF 2220	山特维克可乐满	
2	30	0.05	0.08	DCMT 11 T3 02-MF 1115	山特维克可乐满	
2	50	0.08	0.08	DCMT 11 T3 02-MF 1115	山特维克可乐满	
2	60	0.10	0.08	DCMT 11 T3 02-MF 1115	山特维克可乐满	

6　结束语

利用软件模拟加工过程，根据模拟结果试验Custom465车削性能，可以得出如下结论。

（1）粗加工　在粗加工阶段，选择C形刀片，可保证刀具拥有足够的强度，同时选择较大的刀具圆角，保证刀具具有足够的耐磨性能。

（2）精加工　精加工要保证工件良好的表面质量，一般会选择V形刀片，刀具的圆角可选择*R*0.2mm或者*R*0.4mm，这样能保证刀具足够锋利，使加工出的工件具有良好的表面质量。

（3）断屑槽　因为此材料拥有良好的塑性，不易断屑，在选择断屑槽时，要尽量选择轮廓变化较快的结构，可以保证切屑易于折断，防止切屑缠绕，损伤已加工表面。例如WIDIA的SM刀具的断屑槽，这种槽形可以最大限度地减少材料与刀片的连接，容易断屑。该刀片所拥有的特征使得其加工Custom465材料时，可以获得良好的表面粗糙度。

（4）刀具涂层　由模拟试验可知，在加工时，切削区域的切削温度非常高，选择的刀具要耐高温，保证刀具在切削时拥有良好的切削状态。例如，选择PVD涂层、TN6010涂层等，这些涂层使刀具适用于加工硬度较高的材料。

（5）合理的加工参数　在切削性能优良的材料时，不能一味地追求高的切削用量，必须保证稳定的加工状态，在此基础上提高切削效率。

（6）科学的工艺安排　高强型不锈钢一般都具有两种状态，在最终热处理前，零件的硬度和强度都比较低，可使用较大的切削用量，因此要在最终热处理前尽量多去除一些材料，减少精加工的切削量，提高效率。

根据上述分析，结合试验结果可知：粗加工外圆时，可选择较大的切削量，其产生的切屑较厚，为卷曲状，如图5所示。镗削内孔时，粗加工阶段的切削用量较车削外圆时低，其切屑厚度比粗加工薄，如图6所示。精车外圆和精镗内孔时，切削用量较小，切屑为絮状，如图7所示。

使用合理的加工参数，可保证加工出的工件有良好的表面质量，并且加工时状态比较稳定，过程受控，工件的外圆及内孔表面状态如图8、图9所示。

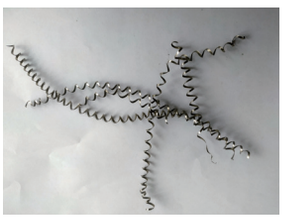


图5　粗车外圆切屑

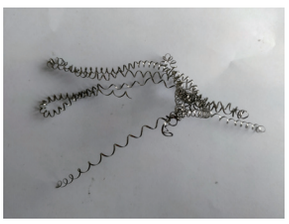


图6　粗镗内孔切屑

图7　精车外圆和精镗内孔切屑

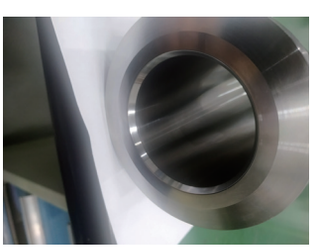


图8　外圆精加工状态

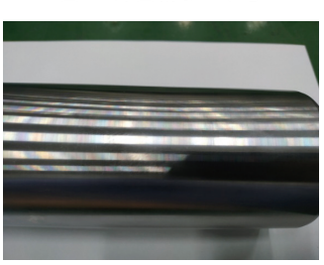


图9　内孔精加工状态

参考文献：

[1] 付航涛，张津，吴帅，等. 低温盐浴渗氮对Custom465钢耐蚀及耐磨性的影响[J]. 工程科学学报，2016，38（2）：235-240.

[2] 陈嘉砚，杨卓越，张永权. 冷变形对Custom465钢组织与性能的影响[J]. 钢铁研究学报，2008（8）：31-37.

[3] 陈嘉砚，杨卓越，宋维顺，等. 时效温度对Custom465钢力学性能的影响[J]. 钢铁研究学报，2008（12）：31-34.

[4] 陈明，安庆龙，刘志强. 高速切削技术基础与应用[M]. 上海：上海科学技术出版社，2012.

[5] 刘献礼. 数控刀具选用指南[M]. 北京：机械工业出版社，2014.

MW 20210704