

铁基粉末冶金零件加工用刀具选用研究

张小粉

(咸阳职业技术学院机电(技师)学院, 陕西 西咸新区 712046)

摘要: 铁基粉末冶金零件经过压制烧结成型, 其工作表面精度难以满足使用要求, 需要经过适当的机械加工以保证其精度与表面粗糙度。然而在切削加工过程中, 发现刀具磨损严重、寿命不高, 频繁的换刀影响到生产效率。为了选择出适合生产的刀具, 传统的基于经验的试刀法有很大缺陷, 耗费成本高, 试验结果不稳定, 实践中妨碍了企业组织高效低成本的生产制造。为了解决生产中刀具的选型与应用难点, 本文依据其切削性能表现并结合车削刀具切削参数, 运用deform 3D仿真对铁基粉末冶金零件切削过程中温度、磨损区域详细分析, 实验中观察所用刀具的磨损表现, 将仿真数据和实验结果对比分析, 为选择合适的加工刀具提供实际可操作性依据。

关键词: 铁基, 粉末冶金, 刀具磨损, 仿真分析

中图分类号: TG712

文献标识码: A

文章编号: 2019-SY035-(2020)04-006

0 概述

近些年伴随我国工业化发展浪潮, 铁基粉末冶金技术也进入跃进式的发展, 航空航天工业中使用的多孔渗透性材料、高温合金涡轮盘和压气机盘和刹车片中, 很多是粉末冶金制作的。汽车工业中, 铁基粉末冶金应用在底盘中零件有导向器、减振器、低阀座和活塞, 制动系统中有刹车片、传感器以及泵类零件中关键件, 在发动机中的导管、连杆、可变气门和轴承座、排气管支座关键零部件, 变速器中齿轮架和同步器锥环零件。在各个行业的工业领域内零部件制造中得到广泛应用^[1]。粉末冶金之所以在工业领域出现诸多应用, 是因为制成零件本身优良的性能, 材料制作过程损耗极低, 在大批量的生产中以低廉的价格表现出稳定优异的产品性能^[2]。粉末冶金材料在汽车、机械以及航空工业中正逐步取代传统的锻造、铸造工艺, 成为工业零部件制造的重要主导材料^[3]。

铁基粉末冶金产品在成型工艺上属于半精加工, 毛坯形状与成品形状高度相似, 最后关键的烧结工艺极大的保证成型型。由于烧结工艺过程中, 零件有收缩变形, 虽然经过误差补偿, 难以保证零件精度完全达到要求。在实现毛坯向成品的转变过

程中, 成品工作中与相邻零件的配合表面, 需要进行钻、车、铣精加工方可满足零件的配合要求, 机加工工艺依然是粉末冶金零件成型过程中最可靠的保证质量的关键成型工序, 由于增材制造与机加工工艺知识体系各成体系, 粉末冶金技术的研究重点大多集中在压制、烧结工艺, 经常忽视精加工工艺。研究铁基粉末冶金零件机加性能的资料较少, 铁基粉末冶金工件经过压制、烧结成型工艺后, 其材质在微观结构层面表现出不均匀多孔特性, 由于这种不均匀的气相与固相, 导致这种材质在机加工过程存在许多问题, 在切削过程中表现出的关键问题在刀具磨损快、生产效率低、以及加工件质量缺陷多样化^[4]。针对生产中质量问题, 本文研究选用合理的加工刀具, 仿真和实验分析机加工刀具的磨损过程, 改善加工中工艺条件, 提高材料切削去除效率, 预防加工质量缺陷。

1 铁基粉末冶金零件在加工过程中的刀具磨损现象与机理分析

当使用刀具对铁基粉末冶金零件切削一段时间后, 刀具会发生严重磨损, 认真观察后, 对问题进行分析, 总结如下:

①切削刃微崩。铁基粉末冶金零件属于多孔不

收稿日期: 2020-10-13

作者简介: 张小粉(1977—), 女, 陕西渭南人。硕士, 讲师, 主要从事机械设计、计算机辅助制造等方面的研究。

均匀材质,从微观层面看其切削过程属于断续切削,刀具反复在气泡与金属切过,刃口受到持续的不规律的冲击。刀具的切削刃棱边与刀尖圆角为三角尖锐形状,前刀面首当其冲出现微观疲劳,虽然每次切削产生的冲击对刃口的损伤不算大,但在长时间连续工作后,刃口结构的微小疲劳积累,由量变积累质变,三角刃口部分就会出现磨圆或缺损,表现出切削刃口微崩,这种微崩分布区域比较小,属于正常的基本磨损。

②刀具产生裂纹、变形。粉末冶金材料的多孔性导致在加工过程中导热性能与散热性能不佳,切屑带走的热量不足,刀具切削刃口温度上升快速,当选用刀具材质红硬性能不足时,刃口硬度下降太快,刀具易严重磨损。当切削液排出时,刃口重新降温,引起刀具产生裂纹或者局部变形,这种情况在钻削加工中,因冷却不佳和排屑不畅而表现的尤为明显^[5]。

③刃口磨损严重。切削过程中所产生的热量滞留在零件切削区域局部,促使粉末冶金多孔材料出现氧化反应,或者刀具基体发生碳化反应,这种化学反应导致表现结果为,材料被切削表面硬度值提高很大,严重损害刀具基体材料的耐磨性。另外一个现象是材质的局部加工硬化,即当对粉末冶金材料进行加工过程中,材料加工表面硬度显示出显著变化^[6]。大量实际切削实验中,常温下的铁基粉末冶金材料的硬度通常在HRC 24~36之间,但是在切削过程中,工件切削表面存在局部区域,经过测量,该区域材料的微观硬度可达HRC 55以上,当加工过程中如果遇到这种情况,刀具刃口发生严重磨损,大大缩短刀具使用寿命。

2 刀具选择的理论依据

2.1 刀具材料的选择

铁基粉末冶金材料的硬度经测量约为27HRC,从硬度上对比,与45#钢退火硬度相仿,切削过程应该较容易。但粉末冶金材料是首先进过压制工艺成型,成型后的材料具有孔隙结构,而且孔隙的分布沿着压制方向是变化的,无法达到均匀稳定的状态,这种坯料材质不均匀特性使得机加过程中切削性能不佳,刀具刃口在切削过程中不间断受到冲击力作用,载荷呈现不规则交变,刃口随时可能出现

破损,破损区域难以预测;这种交变不规律载荷导致刀具内部逐步出现微细裂纹,当遇到严重冲击时,刀尖突然碎裂,彻底破坏切削过程和工件加工表面。因此,选择加工铁基粉末冶金零件的刀具的首要标准是两次换刀之间切削时间要保持稳定,这不仅对刀具的韧性、硬度、耐磨性以及红硬性各个指标要求都很高,而且对刀具综合性能稳定性提出苛刻要求。从理论性能指标上分析,铁基粉末冶金零件的加工应该是PCBN刀具最适合,再其次选择是硬质合金涂层刀具;但是从长期实际生产经验中看,加工铁基粉末冶金工件时,数小时内便发生刀具严重磨损,必须更换刀具,否则就会破坏工件,这直接导致非常频繁不定期更换刀具,为生产人员带来监视、换刀的繁琐劳动。即使选择口碑好、优质品牌、性能指标高的刀具,对加工效率的提高依然没有太大提升。生产实践中,刀具既有保证加工效率的要求,也有减少企业的成本的需求。结合性能指标,从生产成本角度考虑,硬质合金涂层刀具磨损之后可以进行刃磨、重新涂层恢复大部分性能,成为性价比最适合的选择。上述观点是通过理论分析得出的结论,实际刀具的选择还需结合结构参数综合判断,需经过数值仿真分析、实验验证等阶段才能得出确实合理有效的决策。

2.2 选择切削参数要素的依据

在铁基粉末冶金工件切削过程中,切削释放出的能量,除了极少能量用于产生切屑,其余能量大多转化成热。在全部热能中,50%~80%被切屑和冷却液带走,其次刀具吸收了10%~40%能量,工件则承担剩下的3%~9%的热,约3%的热被其他介质传出。以热量为准则考察切削用量与选择刀具,具有理论上指导性和实践上的合理性。切削用量包括切削速度(v_c)、进给量(f)和背吃刀量(a_p)三个要素,决策时先考虑切削速度,实际生产中,在加工质量得到保证前提下,尽可能通过提高切削速度来提高切削效率。从实验可知,当切削速度提高一倍时,加工表面的切削温度仅上升约25%~30%。其次考虑进给量,将进给量增大一倍时,加工表面的切削温度会提升约10%。最后考虑背吃刀量,生产中经过大量的试验表明,在切削深度增大一倍的情况下,切削温度仅上升3%,因此,切削深度对切削温度的影响最小。在选择切削用量的过程中,对

刀具的影响因素从大到小排序分别是切削速度，进给量，背吃刀量。

2.3 刀具角度的选择依据

本次研究对象选择车刀及其结构参数。车刀加工过程中影响较大的几何参数有前角、后角、主偏角、副偏角和刃倾角，分别对这几个重要的选择原则进行详细的介绍。

①前角。车刀在加工铁基粉末冶金零件的过程中应该选择较小的前角，铁基粉末冶金零件属于硬度、强度都较高，可塑性差的零件，所以比较适合选择小的前角。

②后角。后角的作用主要是为了减少工件和刀具的摩擦。

③主偏角和负偏角。主偏角和负偏角主要是影响加工表面的残余面积，即影响工件表面的加工精度；主、副偏角的大小还影响刀尖的强度和刀具的散热性。主、副偏角的选用原则主要是为了保护刀具的耐用度。

④刃倾角。刃倾角主要的作用是引导切屑的流向、刀具切入的平稳性和刀尖的强度和散热性等因素。加工高硬度材料时应选择负的刃倾角。因此，加工铁基粉末冶金零件时，保证加工质量的情况下尽可能选择负的刃倾角有利于延长刀具的寿命，减少刀具的破损现象。

3 仿真分析

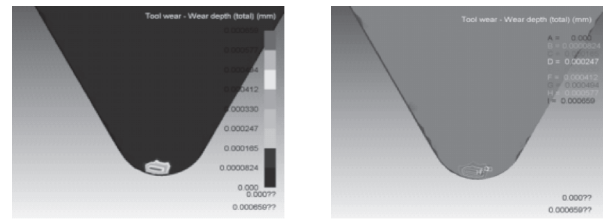
根据上述分析结果，选择合理的几类刀具进行仿真实验。实践中选择DEFORM-3D软件进行刀具的加工的分析，用硬质合金刀具、陶瓷刀具、硬质合金带TiN涂层的刀具以及硬质合金带TiAlN涂层的4类刀具加工同一种零件（同步器锥环）。

3.1 仿真分析设计

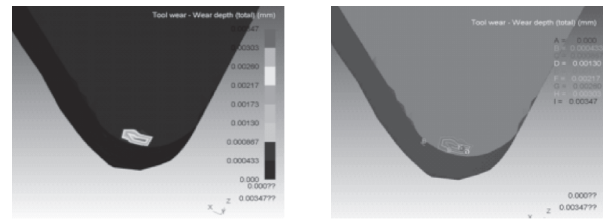
(1) 多种刀具切削给定工件的仿真过程

生产实践中，对于大批量工件加工过程，最影响生产效率的事情就是频繁换刀，浪费机床有效生产时间且耗费人力。如果能选择出保证稳定切削时长的刀具，可以将工人从监视刀具单调重复劳动解放出来，提升工人劳动效率，同时降低工件加工失误率。工厂在可容忍的生产成本内，会尽可能选择磨损最慢且切削时长稳定的刀具及刀片。考虑到此生产实际要求，仿真分析中，首要目标是找到磨损积累量最小的刀具。在仿真分析过程中，选择四种生产上可用刀具，选择相同的加工机床、生产环境，以及等长度的铁基粉末冶金工件（同步器锥环），仿真过程中相

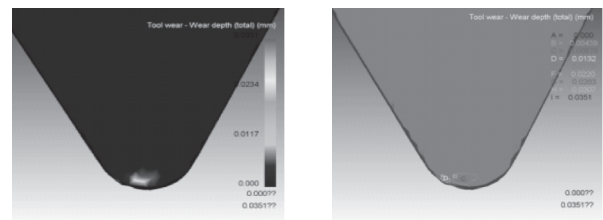
关设置参数保持相同，对刀具加工的磨损情况进行仿真，得出仿真结果如图1所示。



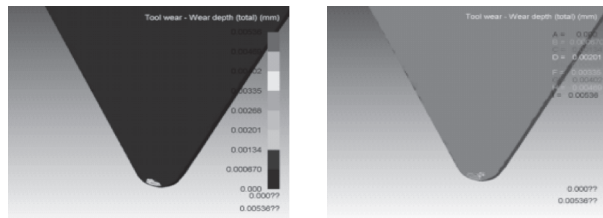
(a) 带TiN涂层硬质合金车刀



(b) (Al₂O₃-TiC) 陶瓷材料车刀



(c) 不带涂层硬质合金车刀



(d) 带TiAlN涂层硬质合金车刀

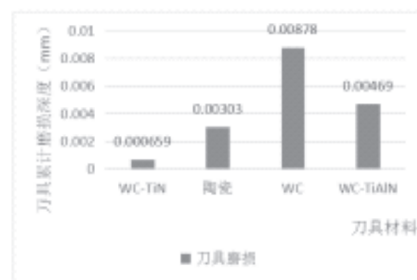


图2 典型车刀加工同步器锥环的磨损变坏情况

图2是对刀具的磨损情况作出图表进行可视化分析。通过磨损结果条形对比图可以看出，不带涂层的硬质合金刀具发生磨损最严重，磨损程度超出其它刀具很多。带TiAlN涂层硬质合金车刀也发生很大量磨损，陶瓷刀具发生磨损程度更轻微一些，带TiN涂层的硬质合金刀具磨损是四种刀具中最小

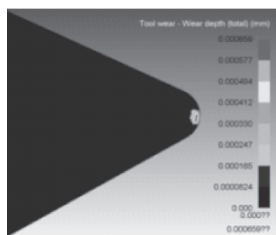
的,约为不带涂层的硬质合金刀具的7.5%,约是昂贵的陶瓷刀具磨损量的1/5。综合考虑生产成本和刀具磨损程度,带TiN涂层的硬质合金车刀在生产环境下最适合加工同步器锥环。

(2) 给定材料工件下不同切削参数的仿真过程

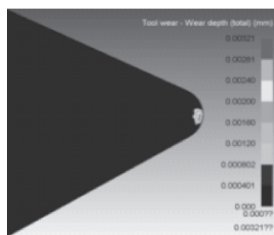
刀具供应商提供硬质合金刀具时,一般都会推荐一个切削参数范围,该参数范围仅能作为试用参数,而不是最优加工参数,使用过程中需要根据生产情况调整与择优。对于切削参数的切削速度、进给量和背吃刀量3个因素,每个因素根据最小值、最大值、中值设计三组数据,若想得出最优切削参数组合,需要做27组实验或仿真。实际中,仿真过程需要很大计算量,试验法耗费大量材料,故均采用正交试验法。本次研究采用仿真计算与正交试验相结合作为研究方法。仿真过程选择刀具磨损程度及刀具的温度作为评价指标,计算切削参数相对车削性能的量化规律。正交试验设计选择常见的三因素三水平,三因素为切削速度、进给量和背吃刀量,水平的确定是根据刀具供应商推荐切削参数范围,分别选极小值、中值、极大值,故得出三组数据(150, 160, 170)(0.3, 0.5, 0.4)(0.2, 0.3, 0.4),设计出L9(33)切削参数正交实验表,如表1。

表1 L9(33) 切削参数正交实验方案 (TiN涂层硬质合金车刀)

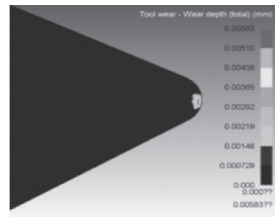
因素 试验号	切削速度 (m/min)	进给量 (mm)	被吃刀量 (mm)
1	150	0.3	0.2
2	150	0.35	0.3
3	150	0.4	0.4
4	160	0.3	0.2
5	160	0.35	0.3
6	160	0.4	0.4
7	170	0.3	0.2
8	170	0.35	0.3
9	170	0.4	0.4



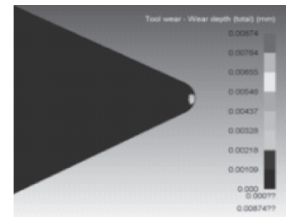
(a) $v_c, f_a, a_p=150, 0.3, 0.2$



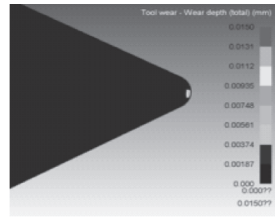
(b) $v_c, f_a, a_p=150, 0.35, 0.3$



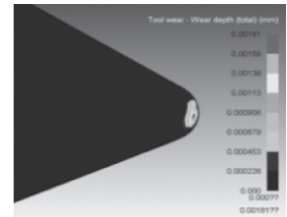
(c) $v_c, f_a, a_p=150, 0.4, 0.4$



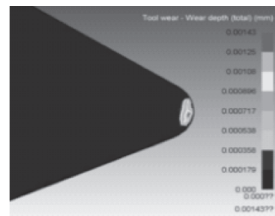
(d) $v_c, f_a, a_p=160, 0.3, 0.2$



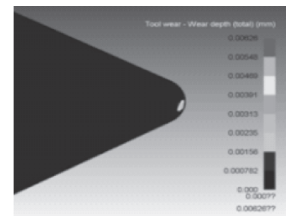
(e) $v_c, f_a, a_p=160, 0.35, 0.3$



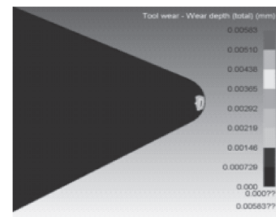
(f) $v_c, f_a, a_p=160, 0.4, 0.4$



(g) $v_c, f_a, a_p=170, 0.3, 0.2$



(h) $v_c, f_a, a_p=170, 0.35, 0.3$



(i) $v_c, f_a, a_p=170, 0.4, 0.4$

图3 带TiN涂层硬质合金车刀给定切削参数下刀具磨损累积图
单位: V_c m/min, a_p mm, f mm/r

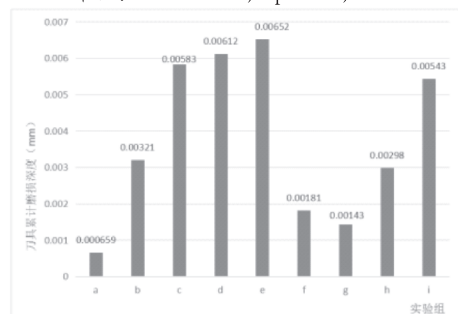


图4 不同切削参数下刀具累积磨损变化折线图

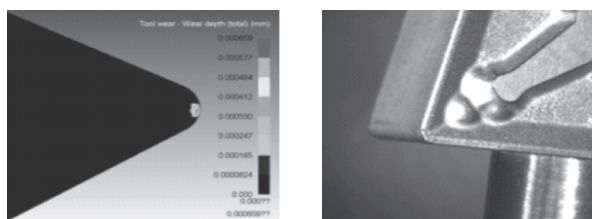
图3是在正交试验中,指定切削参数下刀具的磨损情况,根据仿真结果得出的TiN涂层硬质合金车刀磨损图变化规律为:对于切削速度、进给量、被吃刀量三个因素,当保持其中任意两个因素值不变时,随着第三个因素增大,刀具的磨损量也增大。图4则对仿真结果进行数据处理与统计分析,根据指定切削参数下,刀具累积磨损深度量变化规

律来看, 实验组中a、f、g组磨损量都处于较小区间, 从全体数据来看, 第1组(a组)试验中, 刀具磨损量最小, 因此, 该组切削参数($v_c=150$ $a_p=0.2$ $f=0.3$) 优于对比组其它值。

综合以上仿真结果, 带TiN涂层硬质合金车刀在加工铁基粉末冶金零件(同步器锥环)时, 在厂商推荐的切削用量数据表中, 计算所得的最适合参数值为: $v_c=150\text{m/min}$, $f=0.3\text{mm/r}$, $a_p=0.2\text{mm}$, 这种选择能尽可能延长生产中刀具换刀时间。

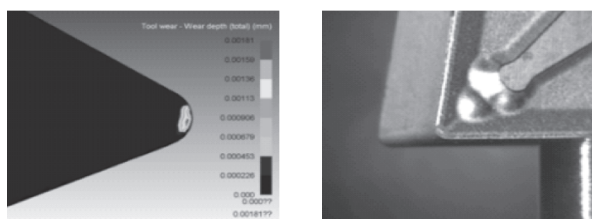
4 实验验证

以刀具的磨损程度为主要参考依据, 通过生产实验考察刀具实际加工中磨损累积深度量, 对本次仿真结果的真实可靠性和准确程度进行验证。图5~7分别在仿真1000步、2000步、3000步时进行了刀具仿真与实际磨损程度对比, 图5属于开始加工阶段, 仿真结果和实验磨损结果相差不大, 在2000步时(图6), 仿真结果的磨损量为 $0.12 \times 10^{-2}\text{mm}$, 实验磨损量为 $0.134 \times 10^{-2}\text{mm}$, 实验与仿真的结果已经有了10%的偏差, 偏差开始增大。加工继续进行至3000步时, 此时刀具磨损速度降低, 磨损量处于缓慢爬升阶段, 磨损速度明显减少(图7)。根据图5~7制作出刀具磨损程度仿真与试验对比趋势图(图8), 可以看出, 实验结果和仿真结果具有高度相似性, 刀具磨损速度的发展趋势也相似。实验验证出仿真结果可信性较高。



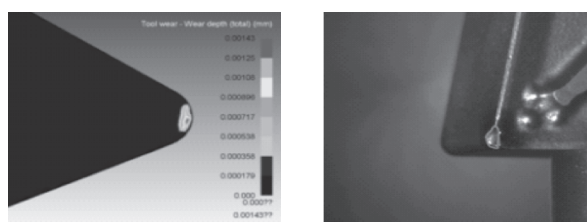
(a) 1000步仿真结果 (b) 同期车刀磨损

图5 1000步仿真与试验刀具磨损结果



(a) 2000步仿真结果 (b) 同期车刀磨损

图6 2000步仿真与试验刀具磨损结果



(a) 3000步仿真结果 (b) 同期车刀磨损

图7 3000步仿真与试验刀具磨损结果

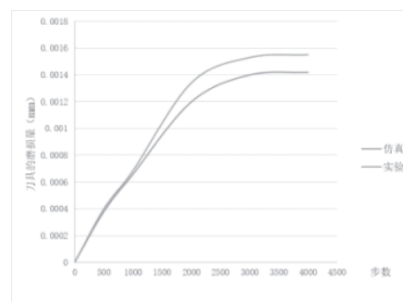


图8 刀具磨损程度仿真与试验对比趋势图

刀具加工指定工件加工表面, 选择3个加工时间阶段进行考查刀具的磨损深度, 得出三组数据, 进行实验和仿真结果对比分析(表2), 经过对比, 试验测量数据相对于仿真结果偏差保持在10.5%以内。考虑到试验方案可能存在的一些偏差因素, 比如生产车间的环境温度、夹具的定位精度与夹紧方式、工件材质的一致性以及刀具夹持方式等, 这些因素都可能造成仿真结果与试验测量结果之间存在偏差, 但偏差值属于可接受区间范围内。deform 3D仿真结果可以作为加工任务工艺设计中的刀具选择的量化依据。

表2 刀具仿真与实际试验磨损量偏差对比

仿真磨损量 (mm)	实验磨损量 (mm)	相对偏差
0.0659×10^{-2}	0.0685×10^{-2}	3.8%
0.12×10^{-2}	0.134×10^{-2}	10.5%
0.14×10^{-2}	0.153×10^{-2}	8.6%

5 总结

在铁基粉末冶金零件车削过程中, 刀具发生磨损是难以避免的, 只能通过选择适合的刀具来减少换刀次数, 在选刀的决策中, 须立足于成本和效率两方面来综合考虑问题, 有时候提升单一指标的结果并不利于企业的发展, 多目标优化决策又很复杂, 对人员技能要求太高, 不具备可操作性, 导致在工厂层面的实际意义并不很大。因此, 本文通过分成三个阶段考虑刀具的选择, 将多目标优化决策

转化成分阶段决策,利用仿真计算优选出切削参数,再进行实验验证,这种方法选出的刀具并不见得保证最优化切削,但在企业资源与生产约束条件下,是能兼顾经济成本和生产效率的实用可操作的刀具选用技术。

致谢

本项目受到咸阳职业技术学院“双高计划”专项研究项目支持,项目名称“高职院校深化产教融合实训基地建设研究”(项目编号:2020SG09)。

参考文献

- [1]宗华辉.铁基烧结零件所需原辅材料性能探讨[J].粉末冶金工业,2017,27(05):1-11.
- [2]韩凤麟.2014年全球粉末冶金产业发展概况[J].粉末冶金工业,2014,24(06):1-5.
- [3]孙世杰.近年铁基粉末冶金行业发展浅析[J].粉末冶金工业,2010,20(02):53-59.
- [4]韩立发,夏伟,屈盛官.陶瓷刀具车削铁基粉末冶金复合材料时的磨损机理研究[J].工具技术,2007(04):7-10..
- [5]辛民,王西彬,康运江,杨洪建.铁基粉末冶金材料的高速干切削试验研究[J].工具技术,2006(07):17-20.
- [6]李月英,许兆一,倪慨宇.不同铬含量铁基粉末烧结锻造钢的显微组织与性能[J].机械工程材料,2018,42(11):42-46.

[责任编辑 王军利]

(上接第43页)

- 消化率的影响.动物营养学报,2017,29(3):1056-1064.
- [25]Diao X G, Hao X Y, Zhao J X, et al. Effects of dietary supplementation of sea buckthorn pomace on growth performance, slaughter performance, meat quality, and pH of digestive tract content of fattening sheep.Chinese Journal of Animal Nutrition, 2018, 30(8): 3258-3266.
- 刁小高,郝小燕,赵俊星,等.饲料中添加沙棘果渣对育肥羊生长性能、屠宰性能、肉品质及消化道内容物pH的影响.动物营养学报,2018,30(8):3258-3266.
- [26]Wang Y H. Effect of dietary starch level on activity of amylase and gastroenteric morphology in goats.Yangling: A&F University, 2007.
- 王艳红.日粮淀粉水平对山羊a-淀粉酶活性及消化道形态的影响.杨凌:西北农林科技大学,2007.
- [27]Manterola H, Porte E. Studies of the use of agroindustrial by-products in animal feeding. IV. productive performance of young Hereford bulls fed with diets that included increasing levels of apple pomace. Advances enproduccion Animal, 1993, 18(1/2): 83-90.

[责任编辑 王军利]