金刚石滚轮修整效果与修整机理

张红霞 陈志同 陈五一

(北京航空航天大学 机械工程及自动化学院，北京 100191)

摘 要：磨削钛合金时砂轮粘附严重，砂轮修整对磨削效果的影响尤为显著.采用金刚石滚轮修整新型陶瓷氧化铝SG砂轮并进行钛合金的磨削实验，通过改变修整参数(包括轴向速度、修整深度和修整速比)对磨削力、工件表面粗糙度及表面形貌进行测量，考察不同修整参数对磨削效果的影响.研究结果表明，减小轴向速度和修整深度均使磨削力增加，同时获得较好的工件表面质量.修整速比对工件表面粗糙度的影响比较复杂.研究发现，修整速比为0.4时修整出来的砂轮磨削后工件表面质量较好.在分析实验结果的基础上，深入探讨了砂轮修整机理和工件表面形貌形成机理.实验及分析结果为金刚石滚轮修整SG砂轮磨削钛合金的修整工艺提供了依据.

关 键 词：金刚石滚轮；修整效果；修整机理

中图分类号：TG 180

文献标识码：A **文 章 编 号**：1001-5965(2008)07-0816-05

Dressing performance and dressing mechanism of diamond roller

Zhang Hongxia Chen Zhitong Chen Wuyi

(School of Mechanical Engineering and Automation, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100191, China)

Abstract: Dressing of grinding wheel has especially significant effect on grinding behavior when grinding titanium alloys because of serious adherence between abrasives and workpiece material. Experiments of rotary diamond dressing of SG wheels for titanium alloys grinding were conducted to investigate the effects of different dressing parameters on the grinding operation. The grinding force, surface roughness and topography of ground surface were measured by varying dressing parameters, including axial speed, dressing depth of cut and speed ratio. Experiment results show that the grinding forces increase with decreasing of axial speed or dressing depth of cut and a better surface finish could be obtained simultaneously. The effect trend on surface roughness of dressing ratio is complex. It was found that the workpiece can obtain better surface quality ground by the wheels trued at speed ratio 0.4. Finally, the dressing mechanism of diamond roller and surface forming mechanism was discussed on the base of systematical analysis of effect on grinding operation of different dressing parameters. The results provide an experimental basis for diamond roller dressing of SG wheels in the grinding of titanium alloys.

Key words: diamond roller; dressing performance; dressing mechanism

磨削钛合金时砂轮粘附严重，砂轮的修整尤为重要.金刚石滚轮修整法由于具有修整效率高、能修整出各种复杂型面等优点，在生产中得到广泛应用.根据不同的需求，金刚石滚轮修整法分为两种：一种是成形滚轮修整成形砂轮，即将金刚石滚轮制成与需要的砂轮型面凹凸相反的各种复杂成形面，通过对砂轮做短行程的径向切入实现砂轮的修整；一种是数控成形修整技术，即利用数控

收稿日期：2007-07-03

基金项目：装备预先研究资助项目(51318020206)；中国航空第一集团创新基金资助项目(CX03007)

作者简介：张红霞(1978—)，女，河南周口人，博士生，zhx@me.buaa.edu.cn.

装置编制程序控制金刚石滚轮运动轨迹将砂轮修整出所需要的成形表面.国内外学者对金刚石滚轮修整技术的研究主要集中在成形滚轮修整成形砂轮方面[1-4],对数控成形修整技术却研究得很少.由于数控成形修整不局限于某种固定的成形修整,对于能实现两坐标联动的金刚石滚轮修整装置,采用不同的数学模型,就能得到不同的坐标运动,修整出不同的砂轮型面,因此本文采用数控成形修整技术对金刚石滚轮进行修整实验研究.

金刚石滚轮修整砂轮时,修整条件对修整效果有显著影响,不仅影响砂轮的表面形貌,而且影响砂轮磨削过程的磨削力及工件的表面完整性.本文采用金刚石滚轮轴向修整法修整 SG 微晶氧化铝砂轮并进行钛合金的磨削实验,通过改变修整参数对磨削力、表面粗糙度及形貌进行测量,研究不同修整参数对砂轮磨削性能的影响.

1　实验方案及方法

1.1　修整实验原理与修整方式的选择

砂轮修整实验原理如图 1 所示.在平面磨床上增加二维数控运动平台,将修整滚轮装配到数控精密工作台上,采用直线导轨、滚珠丝杠、伺服电机等组成的数控系统控制修整系统的运动,通过数控系统编程精确控制修整深度和轴向速度.修整系统如图 2 所示,金刚石滚轮的回转由独立动力源驱动,在进给机构的控制下与砂轮接触、对滚,同时滚轮沿砂轮轴向作往复运动.在滚轮主轴电机上增加变频调速装置,使滚轮线速度精确连续可调.滚轮修整方式采用顺修,即滚轮与砂轮在接触点处线速度方向相同.

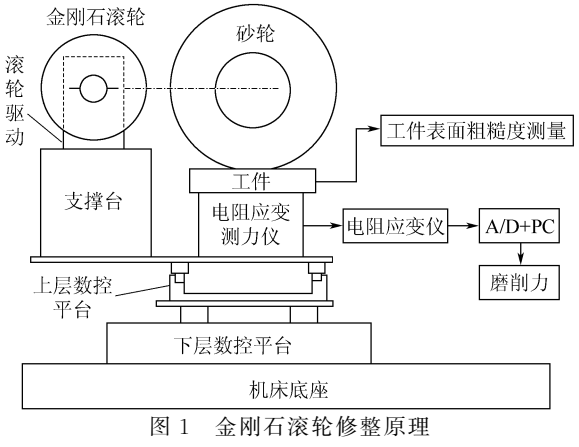


图 1　金刚石滚轮修整原理

1.2　实验准备及测试方法

1) 砂轮:实验用砂轮为采用溶胶凝胶工艺制成的 SG 微晶氧化铝砂轮 SG46JV,由法国圣戈班公司提供.

2) 工件:实验用材料为叶片用钛合金 BT20.

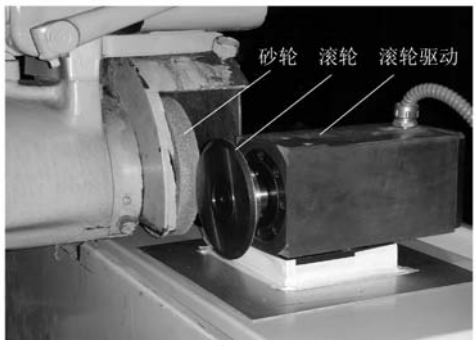


图 2　修整实验图

3) 实验因子选择:根据轴向修整法的原理,选取影响修整效果的主要工艺参数修整速比 q_d(滚轮与砂轮接触点的线速度之比)、修整深度 a_d 和轴向速度 f_d 为实验因子,其取值水平见表 1.

表 1　修整参数的选择

参　数	参数选取值					
q_d	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
f_d/(m·min^{-1})		0.5		1.0	1.5	
a_d/mm		0.01		0.02	0.03	

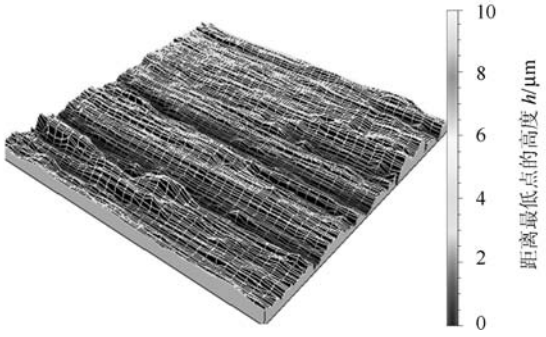
4) 实验指标测试:磨削力与砂轮锋利性及磨削能力密切相关;工件表面粗糙度和形貌是反映表面质量的重要指标.本文选取磨削力和工件表面粗糙度进行测量.采用北京航空航天大学研制的电阻应变片式测力系统测量磨削力,采用英国 Taylor Hobson 的轮廓仪测量工件表面形貌和表面粗糙度.

2　实验结果

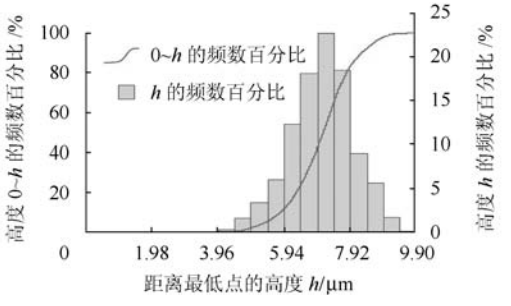
为了研究修整参数对砂轮磨削性能的影响,对不同修整参数修整后的砂轮进行钛合金磨削实验.由于刚修整砂轮有一个初期磨损阶段,通过实时监控相同磨削参数下的磨削力,发现磨削 10～15 次以后,磨削力趋向稳定,砂轮进入正常磨损阶段.因此,所有数据都是在磨削 15 次后开始测力,测 5 次取平均值作为该修整条件的磨削力;保留磨削 20 次后试件的磨削表面,进行粗糙度的测量,在工件不同位置测量 3 次,取平均值作为该修整条件下的表面粗糙度.

2.1　a_d 和 f_d 对工件表面形貌的影响

为了分析不同修整深度对工件表面形貌的影响,取修整深度分别为 0.01,0.03 mm,采用轮廓仪测得工件表面 1 mm×1 mm 范围的形貌特征,并对所测数据进行了统计分析,结果如图 3 和图 4 所示.比较两图可以看出,用不同的修整深度修整后的 SG 砂轮,磨削后的工件表面形貌明显不

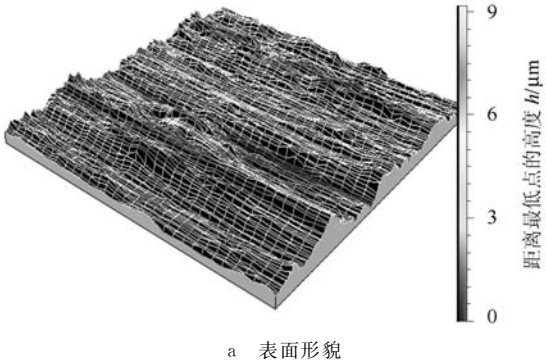


a 表面形貌

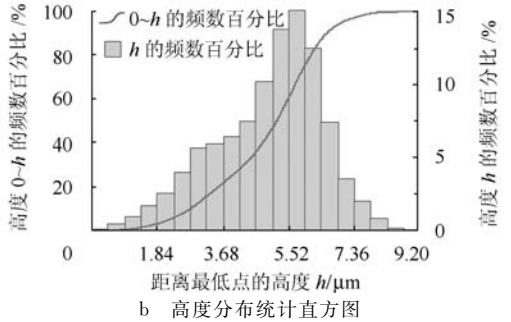


b 高度分布统计直方图

图 3 修整深度为 0.01 mm 时的工件形貌
($q_d=0.4$, $f_d=1.0$ m/min)



a 表面形貌

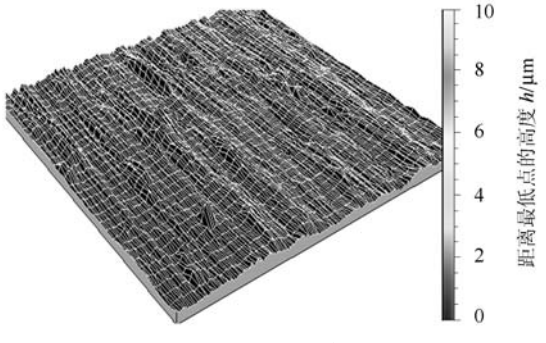


b 高度分布统计直方图

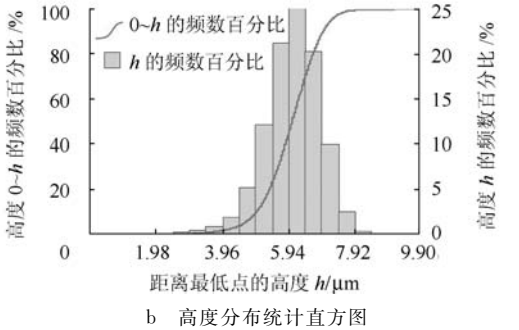
图 4 修整深度为 0.03 mm 时的工件形貌
($q_d=0.4$, $f_d=1.0$ m/min)

同.从两种修整深度的统计直方图可以看出,当修整深度为 0.03 mm 时,数据点比较分散,而修整深度为 0.01 mm 时,数据相对集中,这反映出较大的修整深度使得砂轮磨削表面粗糙度增加,减小修整深度可以提高工件表面磨削质量.

同理选取轴向速度分别为 0.5,1.5 m/min,测得不同修整轴向速度修整砂轮磨削后工件表面形貌如图 5 和图 6 所示.比较两种参数的形貌图和直方图可知,较大的轴向速度使得工件表面质量下降,而减小轴向速度可提高工件表面磨削质量.

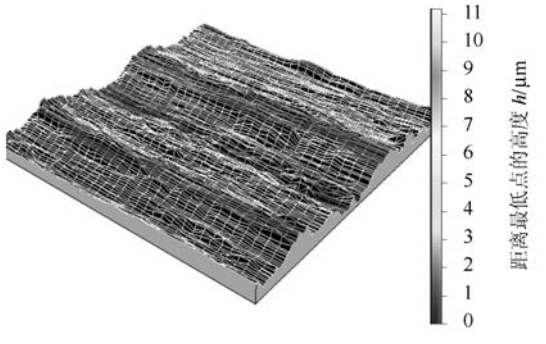


a 表面形貌

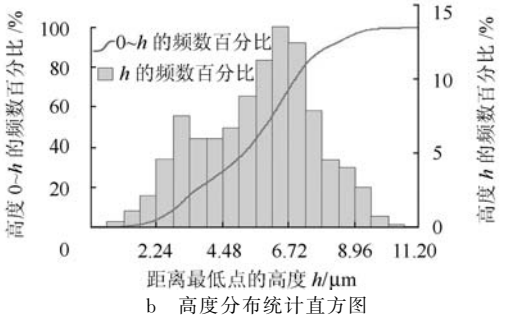


b 高度分布统计直方图

图 5 轴向速度为 0.5 m/min 时的工件形貌
($q_d=0.4$, $a_d=0.01$ mm)



a 表面形貌



b 高度分布统计直方图

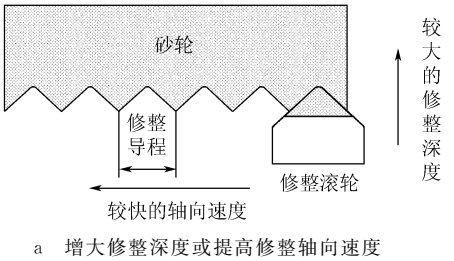
图 6 轴向速度为 1.5 m/min 时的工件形貌
($q_d=0.4$, $a_d=0.01$ mm)

对不同修整参数修整的砂轮磨削工件的磨削

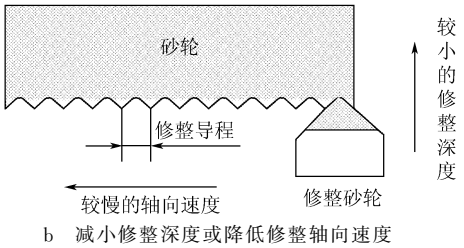
力和表面粗糙度进行测量,结果表明增大修整切深或加快轴向速度,均使磨削力减小而工件表面粗糙度增加,反之则使磨削力增大且工件表面的粗糙度降低.

下面对修整深度和轴向速度影响磨削力和表面粗糙度的这种趋势进行分析.假设滚轮理想切入砂轮,修整深度和轴向速度对砂轮形貌影响如图 7 所示.增大修整深度,砂轮磨粒突出高度变大,加快轴向速度,砂轮有效磨粒间距增大,使得修整出来的砂轮比较锋利,磨削时较易切入工件材料,因此砂轮磨削能力强且磨削力较小,但此时砂轮表面粗糙度增大,故复映到工件表面上的粗糙度也相应增大.反之减小修整深度,磨粒突出高度变小,降低轴向速度,砂轮有效磨粒间距减小,使得磨削时砂轮与工件之间的摩擦及工件材料塑性变形量增加,引起磨削力的增加及砂轮磨削能力的下降,此时砂轮表面的有效粗糙度降低,使得磨削时工件的表面质量提高.

根据实验结果并综合考虑砂轮磨削能力和工件表面质量,推荐选择轴向速度粗磨时 $f_d=1.0$ m/min,精磨时 $f_d=0.5$ m/min;选择修整深度粗磨时 $a_d=0.02$ mm,精磨时 $a_d=0.01$ mm.



a　增大修整深度或提高修整轴向速度



b　减小修整深度或降低修整轴向速度

图 7　修整深度和轴向速度对砂轮形貌的影响

2.2　q_d 对工件表面质量的影响

修整速比对工件表面粗糙度的影响比较复杂.为了深入考察修整速比对磨削后工件表面粗糙度的影响,固定轴向速度和修整切深,在修整速比 $q_d=0.3\sim0.8$[1] 的范围内进行了实验,结果如图 8 所示.可以看出,垂直于磨削方向的粗糙度远大于沿磨削方向的粗糙度,这是由磨削加工的特点决定的.修整速比对磨削工件表面粗糙度的影响趋势如下:当 $q_d=0.4$ 时,粗糙度达到最低;$q_d=0.4\sim0.6$ 之间,随 q_d 的增大,粗糙度值也逐渐增大,但在 0.7 处又略微下降;而速比过高(0.8)和过低(0.3)均使磨削后工件粗糙度值增加.

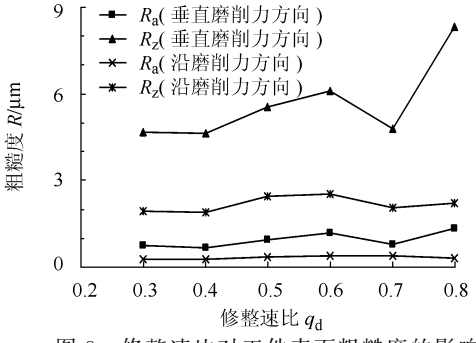


图 8　修整速比对工件表面粗糙度的影响

砂轮表面有效粗糙度直接影响工件的表面粗糙度.由于修整过程中砂轮和滚轮各自旋转且始终呈相切状态,滚轮和砂轮的相对运动使滚轮上的金刚石颗粒对砂轮产生修磨作用,而修整速比的大小决定切点处的相对运动速度,从而决定其修磨作用的大小.在所选择的修整速比范围内,修整速比增加,滚轮与砂轮之间的相对速度减小,修磨作用减弱,修整出来的砂轮比较锋利,磨削能力强,同时砂轮的有效粗糙度增加,使被磨工件表面的粗糙度也增加.相反,修整速比减小,二者的相对速度增加,滚轮上的金刚石颗粒对砂轮的修磨作用增强,砂轮磨粒顶端变平坦,砂轮表面锋利性下降,同时砂轮表面的粗糙度较好,磨削的工件表面粗糙度降低.

因此,通过改变修整速比,可以调节滚轮修整过程中对砂轮修磨作用的大小,从而达到改变砂轮表面形貌和磨削性能的目的.根据实验结果和上述分析,在粗磨阶段,希望砂轮的磨削能力强,建议采用 0.7 的修整速比;而在精磨阶段,希望磨削后工件的表面粗糙度低,建议采用 0.4 的修整速比.

3　修整机理及表面形貌形成机理

砂轮修整参数的选择直接影响砂轮的表面形貌,砂轮表面形貌又直接影响磨削效果,要使砂轮获得良好的磨削性能,选择合理的修整工艺和修整参数使砂轮表面形貌达到最佳磨削状态特别重要.

下面从砂轮修整机理和工件表面形貌形成机理进一步讨论修整参数对工件表面质量的影响.

Malkin 提出砂轮修整过程包括结合剂的断裂和磨粒的破碎,其中磨粒破碎又可分为磨粒的宏观破碎和微观破碎[5],如图 9 所示.结合剂的破

碎使得钝化的整个磨粒从磨具上脱落,砂轮中原来切不到工件的磨粒暴露出来,成为新的有效磨粒.磨粒的宏观破碎指在修整力的作用下,磨粒沿晶面穿晶破裂,而磨粒的微观破碎则是由于磨粒本身的易碎性,使磨粒在修整工具的作用下表面微观破碎产生微切削刃.结合剂的断裂和磨粒的宏观破碎决定了砂轮工作表面的大致形貌,而磨粒的微观破碎决定了砂轮表面磨粒的微切削刃的状态,从而直接影响砂轮的磨削效果.

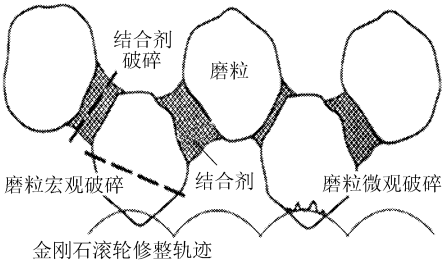
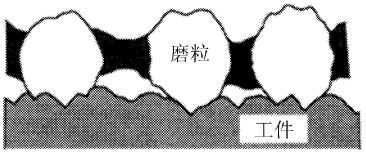


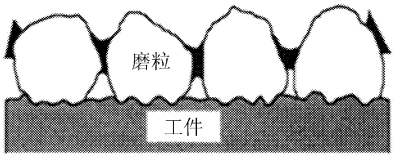
图 9 砂轮修整过程磨粒和结合剂破碎机理

根据砂轮修整机理,结合剂的断裂和磨粒的破碎是修整过程中材料去除的主要形式.作者认为,不同的修整参数导致磨粒破碎形式不同,产生不同的砂轮形貌,从而直接影响磨削后工件的表面质量.

图 10a 和图 10b 分别示出粗修整和精修整之后的砂轮形貌及对工件表面形貌的影响.



a 粗修整后



b 精修整后

图 10 砂轮表面对工件表面形貌影响

由图 10 可知,采用合适的修整速比、较小的修整切深和较慢的轴向速度精修整时,修整力小,结合剂的断裂和磨粒的宏观破碎较少,使得砂轮磨粒表层去除材料较少,而修整过程中磨粒的微观破碎较多,使得磨粒表面产生更多的微切削刃,且微切削刃之间的间距均匀、等高性好.因此精修整时砂轮表面的有效粗糙度较好,使被磨的工件表面的切削痕迹的分布和深度较均匀,磨削表面粗糙度减小.相反,采用不合适的修整速比、较大的修整切深和较快的修整速度粗修整时,修整力大,结合剂的断裂和磨粒的宏观破碎较多,使得砂轮磨粒表层去除材料较多,砂轮损耗大,而修整过程中磨粒的微观破碎较少,磨粒表面产生的微切削刃数量也比精修整时要少,因此修整出来的砂轮具有较差的形貌特性,使得磨削后工件获得较差的表面质量.

4 结 论

1) 增大修整深度或提高轴向速度均使修整出来的砂轮比较锋利,磨削能力强;而减小修整深度或降低轴向速度能显著降低砂轮表面的有效粗糙度,从而提高磨削工件的表面质量.修整深度和轴向速度均不宜太大或太小.根据本文研究结果,推荐粗磨阶段选择轴向速度 $f_d=1.0$ m/min,修整深度 $a_d=0.02$ mm;精磨阶段轴向速度 $f_d=0.5$ m/min,修整深度 $a_d=0.01$ mm.

2) 通过改变修整速比,可以调节滚轮修整过程中对砂轮修磨作用的大小,达到改变砂轮表面形貌和磨削性能的目的.综合考虑磨削效率和磨削质量,建议粗磨阶段选取修整速比 $q_d=0.7$,精磨阶段 $q_d=0.4$.

3) 根据砂轮修整机理,粗修时砂轮表面结合剂的断裂和磨粒的宏观破碎较多,磨粒的微观破碎较少,砂轮损耗大且表面粗糙度较差,使得工件表面质量下降,而精修整时以磨粒的微观破碎为主,使砂轮表面磨粒的微切削刃具有较好的均匀性和等高性,因此磨削后工件的表面质量变好.

参考文献 (References)

[1] Meyer H R, Wiemann H J. Diamond roller dressers: their design and application considerations in Europe[J]. Ind Dia Rev, 1975: 89-95

[2] Malkin S, Murray T. Mechanics of rotary dressing of grinding wheels[J]. Transaction of the ASME Journal of Engineering for Industry, 1978, 100: 95-102

[3] Murray T, Malkin S. Effects of rotary dressing on grinding wheel performance[J]. Transaction of the ASME Journal of Engineering for Industry, 1978, 100: 297-302

[4] Shih A J. An experimental investigation of rotary diamond truing and dressing of vitreous bond wheels for ceramic grinding[J]. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 2000, 40(12): 1755-1774

[5] Verkerk J, Pekelharing A J. The influence of the dressing operation on productivity in precision grinding[J]. Annals of the CIRP, 1979, 28(2): 487-495

(责任编辑:文丽芳)