

TC9钛合金拉削加工性与表面完整性的试验研究

北京航空工艺研究所 王尚志 田双印 何光嵩

摘 要

本文介绍了用 P18、M2A1、M42 等三种高速钢拉刀低速拉削 TC9 钛合金时的刀具磨损、拉削表面完整性同拉削工艺条件的关系，同时也探讨了用 H19 硬质合金拉刀高速拉削 TC9 钛合金的可能性；并比较了两种拉削条件下的刀具磨损和表面完整性状况；分析了为提高钛合金拉削的表面完整性所应采取的措施。

一、引 言

钛合金由于具有较高的比强度和好的抗腐蚀性能，在航空和宇航工业上得到了广泛应用。但是，钛合金的切削加工性较差；并且，当加工参数选择不当时，会使加工表面产生残余拉应力、划伤及裂纹等缺陷，导致零件疲劳强度显著降低。所以，进行钛合金拉削加工性和表面完整性的试验研究，对航空产品具有重要意义。

二、试验条件

机床：7B710 立式拉床；XS30-72 立式高速拉床。

刀具：P18、M2A1、M42 高速钢粗拉刀；

H19 硬质合金粗拉刀。

试件：TC9 钛合金锻件，HB340。

拉削方式：多齿敞开式平面拉削，一次拉削行程长度 40 毫米。

冷却液：4901*油基切削液。

三、拉削加工性试验

1. 刀具材料的影响

图 1 示出了用 P18、M2A1、M42 三种材料的拉刀加工 TC9 钛合金时的对比结果。可以看出，三种拉刀切削性能的优劣顺序为：M42，M2A1，P18。同时表明，三种高速

1984年3月10日收到。

钢拉刀均能顺利拉削 TC9 钛合金。在所试验的范围内，拉刀具有较高的耐用度，故一般可选经济常用的 P18 或 M2A1，不必追求价格贵的 M42。

2. 切削参数的影响

图 2 ~ 图 5 分别示出了拉削速度、拉刀前角和后角以及齿升量对 P18 拉刀后面磨损的影响。试验结果表明，随着齿升量的增加，由于切削力和切削温度的提高，导致刀具磨损增大。而速度、前角和后角对刀具磨损的影响，存在最小值。因此，采用高速钢拉刀时，推荐拉削速度为 4.5m/min，拉刀前角 γ 为 12° ，后角 α 为 5° （校正齿 α 为 $2^\circ \sim 2.5^\circ$ ），粗拉齿升量为 0.06~0.10mm。

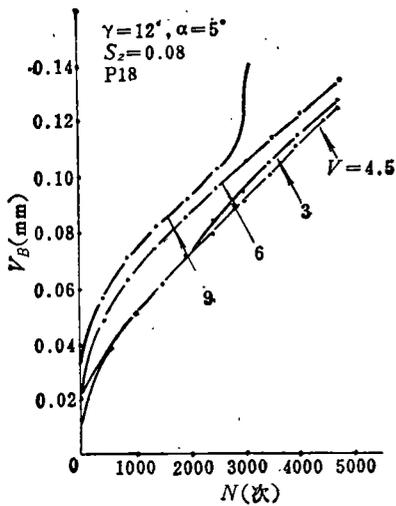


图 1 拉削行程次数与不同拉刀磨损的关系

Fig. 1 Relationship between number of broaching stroke and wear for different broaches

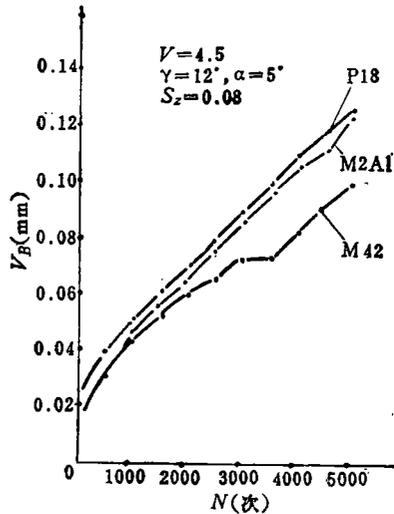


图 2 不同速度下拉削行程次数与 P18 拉刀磨损的关系

Fig. 2 Relationship between number of broaching stroke at various speeds and wear for P18 broach

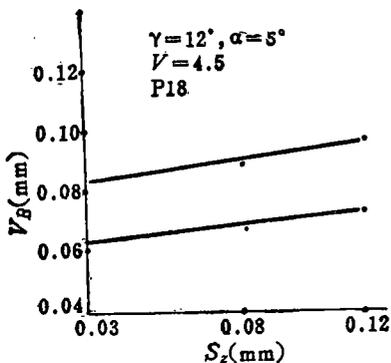


图 3 齿升量与拉刀磨损的关系

Fig. 3 Relationship between rise per tooth and wear for P18 broach

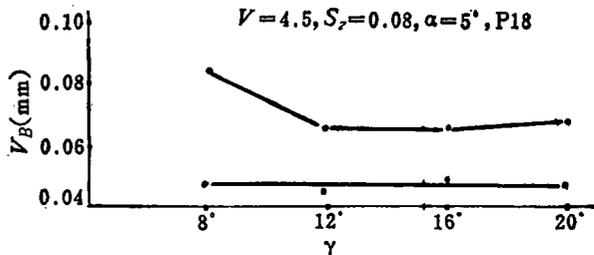


图 4 前角与拉刀磨损的关系

Fig. 4 Relationship between rake and wear for P18 broach

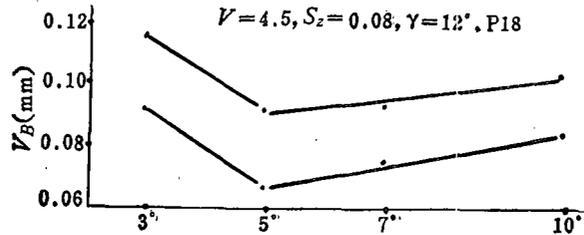


图5 后角与拉刀磨损的关系

Fig. 5 Relationship between relief and wear for P18 broach

3. 高速拉削试验

为了探索钛合金高速切削的可能性,用 H19 硬质合金拉刀,在 $v=20\sim 30\text{m/min}$ 的范围对 TC9 钛合金进行了高速拉削试验。结果证明,在预定的刀具寿命下,用硬质合金拉刀拉削 TC9 比用高速钢提高速度约四倍。在 $v=20\text{m/min}$ 时,拉刀后面磨损较慢,冷作硬化较小,能获得表面残余压应力。

四、拉削表面完整性

1. 表面光洁度

通过在不同拉削速度下对切屑形成过程的高速摄影,发现钛合金在拉削加工时,一般不产生积屑瘤。拉削钛合金时其剪切力较小,冷作硬化程度较轻,所以切削钛合金能获得较好的表面光洁度,在通常的拉削速度下,可保证 $\nabla 6\sim \nabla 7$ 。

2. 表面层冷作硬化

试验通过改变拉削速度、拉刀前角和后角以及齿升量来测量拉削表面的显微硬度。结果表明,改变拉削条件对冷作硬化程度影响不大。在本试验范围内,一般在 24.1~31.0% 之间变化;但对硬化深度影响较明显,一般在 42.5~91.6 μm 之间变化。与切削高温合金相比,钛合金的冷作硬化深度和程度均较低。

3. 表面层残余应力

低速拉削时,不同拉削条件下测得的轴向(与拉削方向一致)残余应力如图 6~图 9 所示。表面层均为压应力,其大小随切削条件不同有较大差异,其中以切削速度的影响最明显。当速度由 1.5 m/min 增至 4.5 m/min 时,在距表面 44 μm 的表层内,残余压

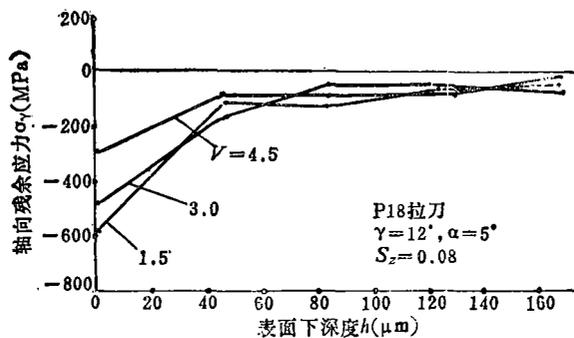


图6 拉削速度与表面层残余应力的关系

Fig. 6 Relationship between broaching speeds and surface residual stress

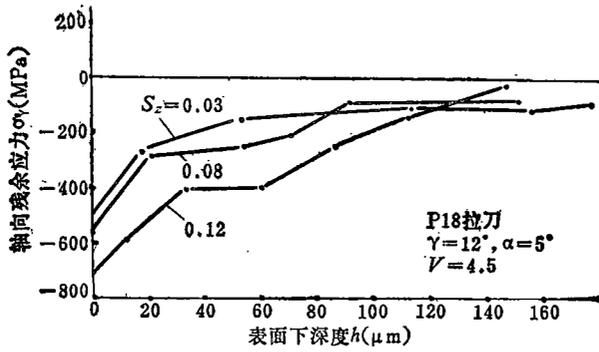


图 7 齿升量与表面残余应力的关系

Fig. 7 Relationship between rise per tooth and surface residual stress

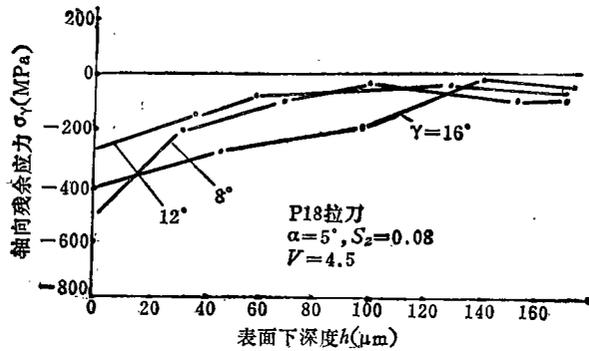


图 8 拉刀前角与残余应力的关系

Fig. 8 Relationship between rake and surface residual stress

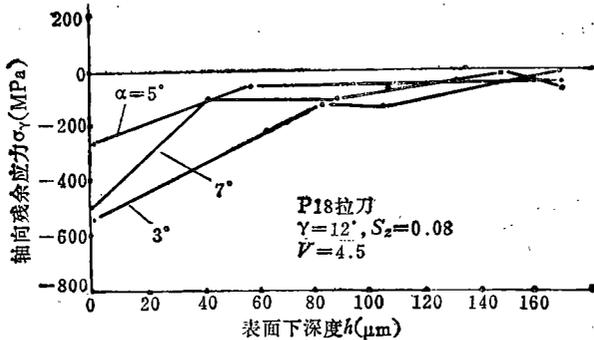


图 9 拉刀后角与残余应力的关系

Fig. 9 Relationship between relief and surface residual stress

应力峰值由 -570MPa 降为 -274MPa 。压应力分布深度超过 0.15mm ，这对提高疲劳强度是有利的。

必须指出，刀具的锋利程度，对表面层残余应力有较大的影响。从图 10 和图 11 看出，拉刀锋利时，不同速度下残余应力分布规律比较一致；而刀具钝化时，各残余应力值波动较大，以致出现残余拉应力。

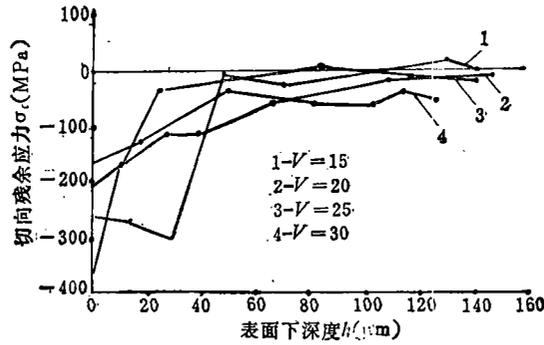


图10 刀具锋利时, 不同速度下的残余应力

Fig.10 Surface residual stresses at various broaching speeds with sharp broach

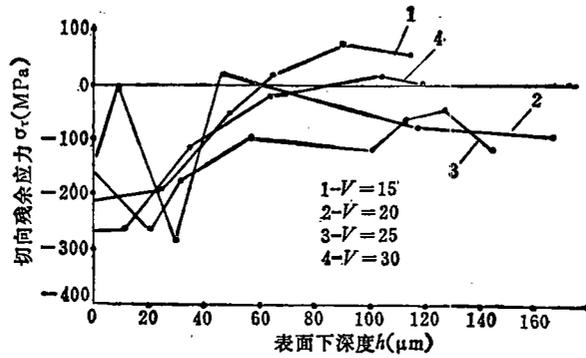


图11 刀具钝化时, 不同速度下的残余应力

Fig.11 Plots of surface residual stress at various speeds, using blunt broach

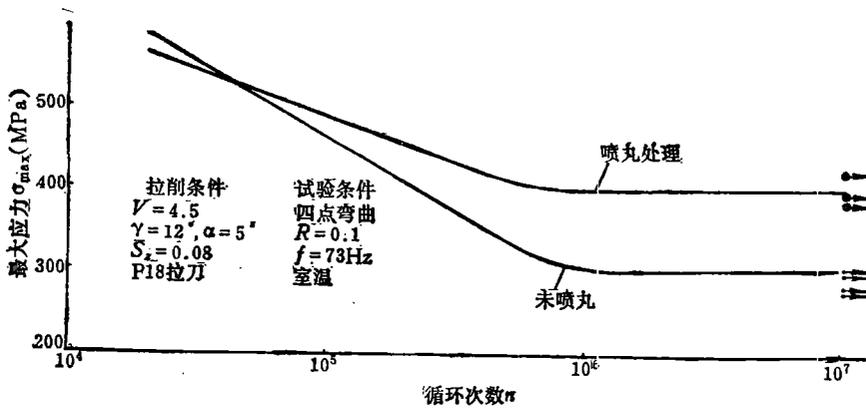


图12 喷丸强化对试件疲劳性能的影响

Fig.12 Effects of shot peening on fatigue property of broached specimen

4. 喷丸处理对疲劳性能的影响

试验证明, 喷丸处理能有效地改善钛合金拉削表面层质量。喷丸处理不仅明显的提高了表面层冷作硬化程度和深度, 使残余压应力增大; 而且改善了试件的疲劳性能。如图 12 所示, 喷丸处理结果使疲劳强度由 302.6MPa 提高到 400MPa, 即在同样拉削条件下, 经过喷丸处理的试件, 疲劳强度提高了 32%。

五、结 论

1. 低速拉削时, M42、M2A1、P18 三种高速钢拉刀均适用于 TC9 钛合金的拉削加工。推荐的拉削速度为 4.5m/min, 拉刀前角为 12°, 后角为 5° (校正齿为 2°~2°30'), 精拉齿升量为 0.01~0.03mm, 粗拉齿升量为 0.06~0.10mm。

2. 选用刚性优良的机床, 在充分冷却润滑的条件下, 采用结构合理的硬质合金拉刀, TC9 钛合金可以实现 $V=20\text{m/min}$ 的高速拉削。

3. 在本试验所选拉削参数范围内, 刀具锋利程度是影响试件表面完整性的主要因素。

4. 喷丸处理对提高钛合金零件拉削的疲劳性能有良好的强化效果。

EXPERIMENTAL INVESTIGATION ON MACHINABILITY AND SURFACE INTEGRITY OF TC9 TITANIUM ALLOY IN BROACHING

Wang Shangzhi, Tian Shuangyin, He Guanghao

(Beijing Aeronautical Technology Institute)

Abstract

The effects of broaching conditions on tool wear and surface integrity in cutting TC9 titanium alloy with broaches made of three kinds of high speed steel, P18, M2A1 and M42, are discussed. The proper cutting speed and geometry for each of them are recommended which have been testified in production practice to be suitable for enhancing the machining efficiency and improving the quality of products. Tests have also been made on broaching TC9 titanium alloy with H19 carbide broach at increased speed. The characteristics of tool wear and surface integrity under two cutting conditions are compared. Finally, it is considered what specific measures should be taken to improve the surface integrity of titanium alloy in broaching.