

经过微弧氧化的 TC4 钛合金的研磨与抛光

实验材料：经过微弧氧化的 TC4 钛合金

TC4 钛合金具有优良的耐蚀性、小的密度、高的比强度及较好的韧性和焊接性等一系列优点，在航空航天、石油化工、造船、汽车、医药等部门都得到成功的应用。经过微弧氧化的 TC4 钛合金表面硬度明显提高，显微硬度在 1000 至 2000HV，最高可达 3000HV，可与硬质合金相媲美，大大超过热处理后的高碳钢、高合金钢和高速工具钢的硬度；表面具有良好的耐磨损性能、耐热性及抗腐蚀性。这从根本上克服了钛合金材料在应用中的缺点；从基体原位生长陶瓷膜，结合牢固，陶瓷膜致密均匀，因此使 TC4 钛合金表面的综合性能得到明显的提高。

从图 1 可见，三组试样尺寸相对较小，样品表面的氧化层清晰可见，且十分薄。



磨抛尺寸为 2 mm、1 mm 的最窄的侧面，磨抛之后用扫描电子显微镜观察截面边缘氧化层中相的形貌，并测量氧化层所含元素。

若用传统的手工研磨方法研磨这种很薄的需要看边缘的金属，在磨削过程中由于手工研磨的力度不能均匀控制，且容易将试样的边缘倒棱，因此很难得到一个平整的表面，这样在观察过程中，很难观察到边缘的形貌，因此手工研磨成材率很低。相比于手工研磨，用沈阳科晶自动化设备有限公司制造的 UNIPOL-802 自动研磨抛光机来研磨上述样品，由于载样块的大小有所不同，因此一次可以研磨的样品的个数有所不同，但是一次都可以研磨多个样品，且研磨后的样品表面平整，都在同一水平面内，由于整个研磨过程中样品旋转的速度及对样品所施加的压力恒定不变，因此样品研磨后边缘不会被倒棱且不会使表面出现弧度。

实验设备：

科晶制造的 UNIPOL-802 自动研磨抛光机、MTI-3040 加热平台及 4XC-PC 倒置金相显微镜，实验所用设备如图 2 所示：

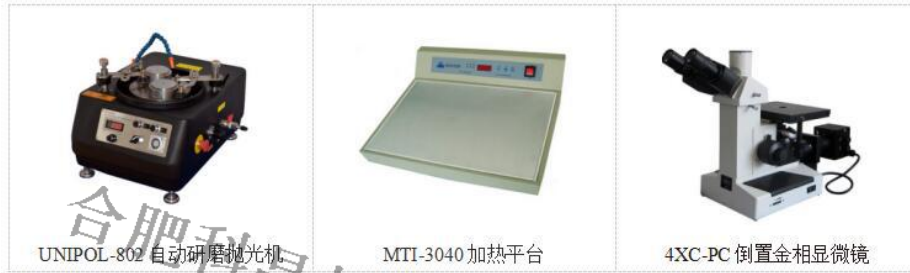


图2 实验所用设备图

实验耗材：

带背胶水砂纸、毛呢抛光垫、红色金丝绒抛光垫、金刚石抛光剂、二氧化硅悬浮抛光液、石蜡棒、酒精，实验中所用耗材如图3所示：

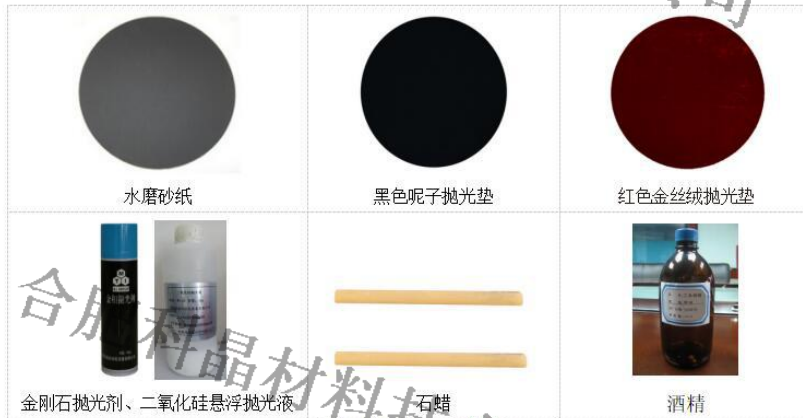


图3 实验所用耗材图

实验过程：

将样品和载样块放在加热平台上进行预热，待加热平台的温度升高到可以使石蜡融化后，将石蜡涂于载样块中央贴样品的位置，将样品按序号排列好依次放在载样块的中央位置。由于单个试样与载样块的接触面积较小，在载样块上不能黏贴牢固，因此在两个试样接触的面上也涂上石蜡，使多个试样粘贴在一起行成一个较大的试样，增大试样与载样块的接触面积，使试样在磨削过程中不会脱落。粘贴好的试样如图4所示：

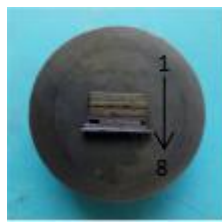


图4 经加热平台加热后粘贴的样品图

注意：样品粘贴时由于几个样品粘贴成一个样品，因此粘贴在载样块上时应尽量粘贴在载样块中央位置，防止样品被磨偏。

将粘贴好的样品放置于 UNIPOL-802 自动研磨机的研磨盘上，载样块套上修盘环，在载样块上加 0.5kg 的负重，与载样块合重 0.8kg。研磨盘上粘贴 400# 砂纸，定时 2h，水滴速度 3-4 秒滴一滴。当研磨 2h 之后试样表面被磨平，裸露出银白色的金属基体面。用 400# 砂纸研磨 2h 后的样品的表面形貌如图 5 所示：

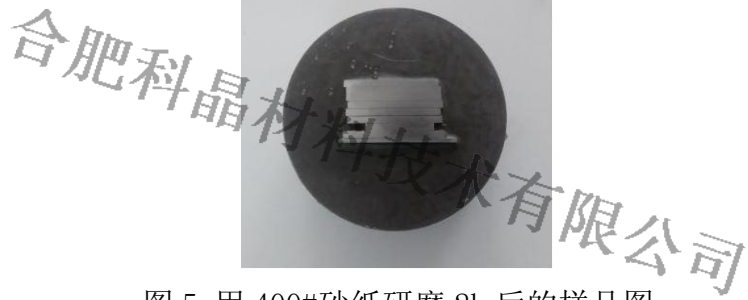


图 5 用 400#砂纸研磨 2h 后的样品图

当样品表面的氧化层被磨掉且各个样品被磨平在一个水平面后，换用 600#砂纸对样品表面进行研磨，定时研磨 5min，使样品表面由于 400#砂纸研磨的产生的划痕被碾平一些，使划痕印记变浅。研磨 5min 后金属表面亮度有所增加。用 600#砂纸研磨 5min 后的样品如图 6 所示：

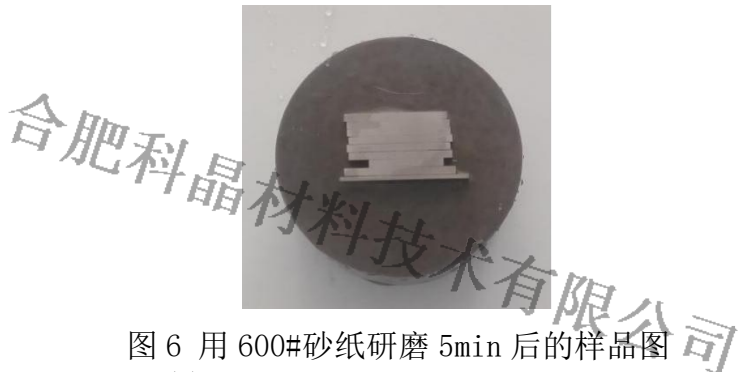


图 6 用 600#砂纸研磨 5min 后的样品图

接下来用 800#砂纸对样品表面进行研磨 3min，用 1500#砂纸再研磨 3min 后，样品表面随着所用砂纸越来越细，样品表面的银白金属色越明显。800#和 1500#砂纸研磨完的样品如图 7 所示：

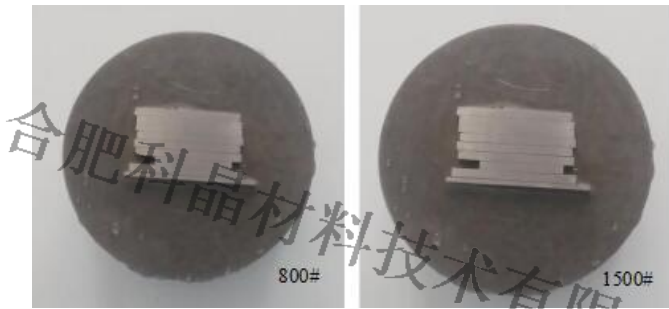
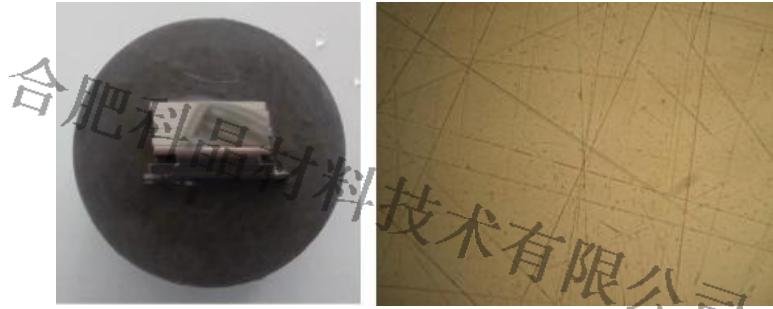


图 7 800#、1500#砂纸分别研磨 3min 后的样品图

样品研磨完后对样品进行抛光，抛光垫选用黑色呢子抛光垫，抛光液选用 W0.25 和 W3 的金刚石喷雾加少量 $50\ \mu\text{m}$ 的二氧化硅悬浮抛光液。在此加入二氧化硅是因为少量的二氧化硅可以在表面产生水合过程将不溶于水的二氧化硅转化成易溶于水的原硅酸 ($\text{Si}(\text{OH})_4$)，原硅酸不稳定容易分解成为硅酸 (H_2SiO_3)，硅酸与样品表面的金属相作用生成硅酸盐，加速了金属表面的抛光速度。用 W0.25 的金刚石抛光剂加少量的二氧化硅悬浮抛光液对样品抛光 5min 后，用肉眼可以观察到样品表面已经变亮，但是仍有许多细小的划痕存在，用显微镜对样品的表面进行观察可以看到，样品表面大部分是黄色的光亮区域，但是表面的划

痕仍然清晰可见，因此应继续对样品表面进行抛光，抛光 5min 后的样品表面如图 8 所示：



(a) 肉眼观察到的样品形貌 (b) 光学显微镜下样品的表面形貌

图 8 抛光 5min 后的样品的表面形貌

继续对样品表面用同样的抛光剂再抛光 5min 后可见，样品表面更光亮，可以清晰映出外部物体形貌。在光学显微镜下观察到，小划痕已经不清晰了，但是较大的划痕印记还很清晰。而且样品表面开始出现了一些微小的小坑。划痕还很清晰说明所用的抛光剂粒度太小，应换用型号较大的抛光剂，因此我们换用 W3 的金刚石抛光剂加 $50\ \mu\text{m}$ 的二氧化硅悬浮抛光液对样品抛光。出现小坑说明所选抛光垫过硬，应换用更软的抛光垫进行抛光，这里我们换用金丝绒抛光垫再对样品进行抛光。抛光 10min 后的表面形貌如图 9 所示：



(a) 肉眼观察到的样品形貌 (b) 光学显微镜下样品的表面形貌

图 9 抛光 10min 后的样品的表面形貌

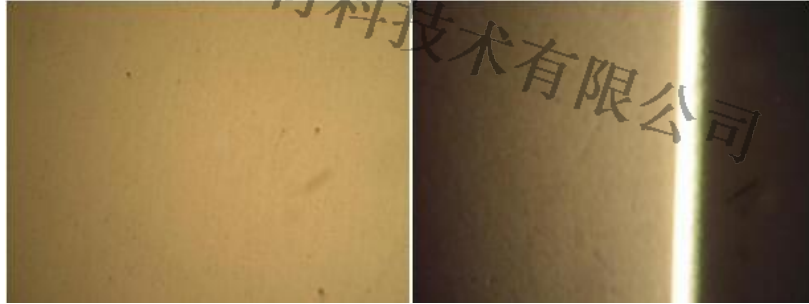
用 W3 的金刚石抛光剂加 $50\ \mu\text{m}$ 的二氧化硅悬浮抛光液喷在红色金丝绒抛光垫上对样品再抛光 5min 后先用肉眼观察样品可见，样品表面光亮度有了很大程度的提高。用显微镜对样品进行观察可见，样品表面的划痕已经不清晰了，微小的凹坑也变得微小了，说明换用的抛光剂和抛光垫适合样品的抛光，因此可以用此组抛光剂和抛光垫继续对样品进行抛光。抛光 15min 后的样品的表面形貌如图 10 所示：



(a) 肉眼观察到的样品形貌 (b) 光学显微镜下样品的表面形貌

图 10 抛光 15min 后的样品的表面形貌

再对样品抛光 5min 后用显微镜观察到样品表面全部变得光亮了，划痕的痕迹也已经看不见，说明样品已经完全被抛光。对单个样品的边缘用金相显微镜进行观察可见，边缘的氧化层形貌清洗，且被抛光的十分光亮，说明样品边缘的膜层与样品的基体在同一水平面内，说明自动研磨抛光机研磨的样品水平度高，能很好的保持样品边缘的完整性，此次研磨抛光已达到要求。抛光 20min 后的样品的形貌如图 11 所示：



(a) 光学显微镜下抛光后样品的表面形貌 (b) 光学显微镜下样品边缘的形貌

图 11 抛光 20min 后的样品的表面形貌

结论：

TC4 样品在进行抛光时，当对样品施加的重量为 0.8kg，抛光剂选用 W3 的金刚石抛光剂加少许 50 μm 的二氧化硅悬浮抛光液，抛光垫选用金丝绒抛光垫时，抛光时间应在 20min 以内。