

现代金相试样制备技术

上海市机械工程学会理化检验专委会 (200437) 李炯辉

【摘要】 本文介绍的现代金相试样制备新技术，它可在更短的时间、更低的制样成本，能正确地显现被检材料的真实组织，同时能更好地实现重现性。

金相试样制备的好坏，对被检测材料内在组织真实地显现有极其重要的关联。如果样品制备的不好，将不能显示被检材料的真实组织，会导致错误的结果，达不到检验的目的，为此应引起金相检验人员对制样技术的高度重视。

一、金相制样样品要求

在具有代表的部位选取金相试样。试样表面应平整、光洁、无划痕、边缘不倒角；显示被检材料的真实组织，磨面应无塑性变形和热损伤产生，磨面中夹杂物不被污染和拉曳。样品制备过程的时间应尽量缩短，应在可接受的时间内完成，应把每个试样的制样成本控制在可接受的范围内。

制样方法有切割、镶样和研磨/抛光三道工序，以下简述各工序。

二、切割

1. 样品切割的基本要求

最佳的切割平整度；最小的变形和组织变化；高的精准度；高的切割速度；最经济的效果；能获得良好的后续操作。

2. 常用的切割方法

热切割技术并包括：等离子电弧切割、激光束切割及电火花线切割。

机械切割技术并包括：锯、湿式砂轮切割、精密湿式砂轮切割。

样品的性能与规格：尺寸70mm×15 mm×150 mm；材料42CrMo4；冷轧；热处理状态退火；硬度为340~360 HV10。

各种切割方法结果对比如表1所示。

表1 变形层深度 (光学检测) (mm)

等离子电弧切割	1.00 (约 10s)
激光束切割	0.500 (约 2.3s)
电火花线切割	0.050 (约 2400s)
锯	0.200 (约 20s)
湿式砂轮切割	0.015 (约 28s)
精密湿式砂轮切割	0.005 (约 300s)

切割技术比较如表2所示。

表 2

	等离子 弧切割	激光束 切割	线切割	带锯 切割	湿式切割 轮切割	精准湿 式切割 轮切割
平面度和表面粗糙度	-	-	+	-	+	++
组织变化 (热学或/和力学)	--	--	-	--	+	++
精准度	-	-	+	-	+	++
速度	+	++	--	+	+	-
经济性	-	-	-	+	+	+

注：+代表较好；++代表最好；-代表较差；--代表最差。

3. 湿式砂轮切割技术

湿磨料的切割是金相试样最佳的切割方法(见图1)。切割时,切割轮上的磨料粒子如同小工具,因此切割轮的磨损就是切割作用的结果。加入高压冷却水,可防止由于表面过热而造成的损伤。其理想状态为:新鲜磨料始终存在于砂轮外缘。切割轮的切削掉落作用示意图2。

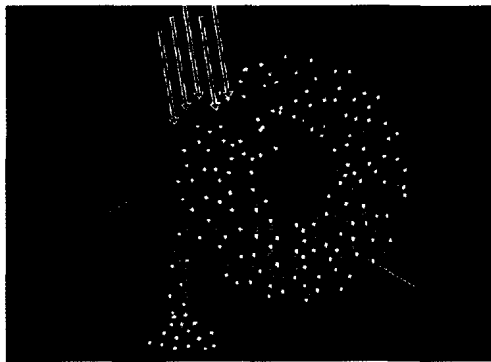


图1 湿式切割轮切割

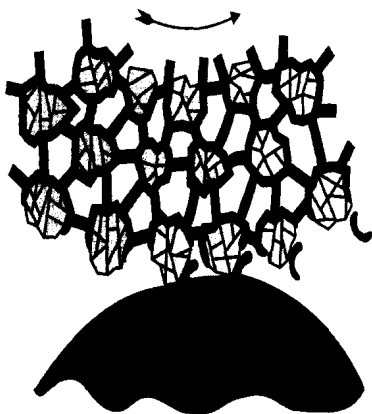


图2 切割轮的切削掉落作用

4. 切割砂轮

(1) 湿式切割论不同的设计 包括易耗型切割轮和长寿型切割轮。上述型号切割轮有不同尺寸(直径或厚度),如图3所示。

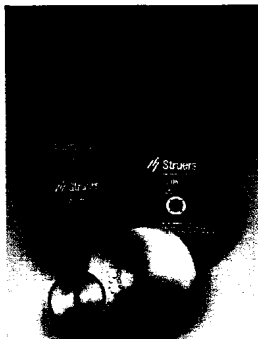


图3

(2) 不同磨料 类型: Al_2O_3 、 SiC 、立方氮化硼及金刚石;特性:磨料的浓度、颗粒尺寸、空间分布状态和均匀性。

(3) 粘结剂 类型: 酚醛塑料、金属、橡胶;特性: 硬度和孔隙率。

(4) 易耗型切割轮的特点 Al_2O_3 及 SiC 切割轮(见图4)。其优点是高效、便宜;缺点是不耐用、较脆。

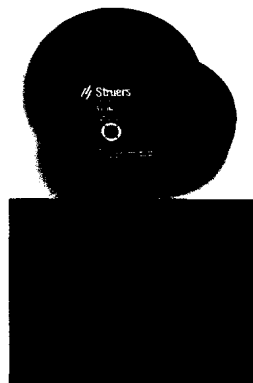


图4

(5) 长寿切割轮的特点 金刚石及CBN切割轮(见图5)。其优点是耐用;缺点是价格较高。

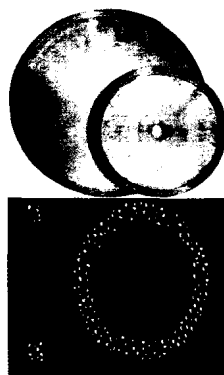


图5

5. 影响切割轮质量的因素

(1) 切割轮类型 正确选择切割轮是保证低变形、平整面和低成本的准则。如果计算整个过程的实际消耗,那么价廉质低的切割轮很少会带来较低的成本。切割轮由磨料材料和粘结剂组成,典型的有酚醛树脂或金属等组成。切割轮会有不同的磨料,如 Al_2O_3 、 SiC 、CBN或金刚石等,应按照被切割材料的硬度和韧度来选择。

(2) 切割机功能 切割机极大地影响整个切割过程的质量和效率,为得到最佳的结果,应注意下列因素:①恒定进给速度,可以获得极为均匀的表面。②自

动切割,可以获得高重现性。③电子控制进给速度降低,以保护样品和切割轮。

(3) 冷却 ①试样必须夹持紧,目前有快速夹紧夹具和平面压紧夹具两种。②切割时减少砂轮与工件的接触面积,是提高切割效率的有效措施;最新型切割机切割时采用强有力的冷却,可以减少切割轮的磨损和提高切割效率。③最近国外有增加冷却能力的新型切割轮问世。STRUERS公司的2007-2008新型切割片可提高切割轮冷却能力50%,可以大大节省切割轮的消耗(见图6)。



图 6

6. 现代切割机

随着科学技术的发展,现代切割机(见图7)从手动发展到手动/自动、全自动,切割形式从单一的自上而下到上下摆动、前后上下移动等多种程序切割的形式。切割试样的直径,从80mm、90mm、105mm、125mm直到160mm,有不同型号的切割机。

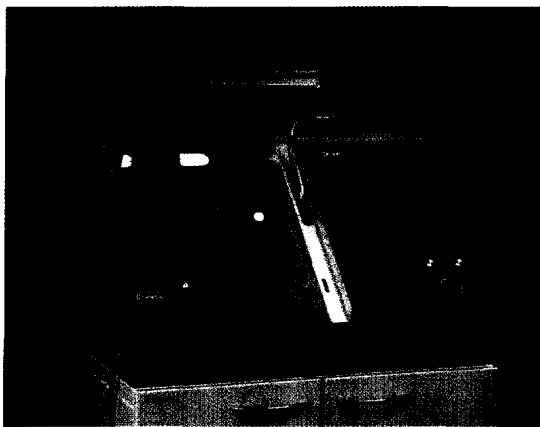


图 7

三、镶样

适用于尺寸很小、形状复杂、需要保护边缘(如

脱碳、渗镀层、涂覆层试样)、多孔或有裂纹试样,以及PCB线路板、镀层孔隙和需要标准的形状的情况。

镶样方法包括:

(1) 机械镶样 用机械的方法将试样固定。

(2) 热镶样 用酚醛热塑性树脂固定试样。

(3) 冷镶样 对热敏感的材料,可用冷镶树脂固定试样。

热镶样需要用热镶样机(见图8)来镶样,先进的热镶样机可预先将加热温度、压力、时间,冷却水流量、冷却时间以及加入镶嵌树脂量等设置好,它可自动按程序进行镶样,镶好后会自动报警,整个过程即结束。



图8 CitoPress-20热镶样机

冷镶样特别适用于热敏感、压敏感的材料;用于大批量简单试样的镶样;固化时间短,收缩率低,粘附性强,边角保护好,抗磨性好;适用于微电子工业的超高速镶样,以及脆性材料的真空浸渍。冷镶样机如图9所示。

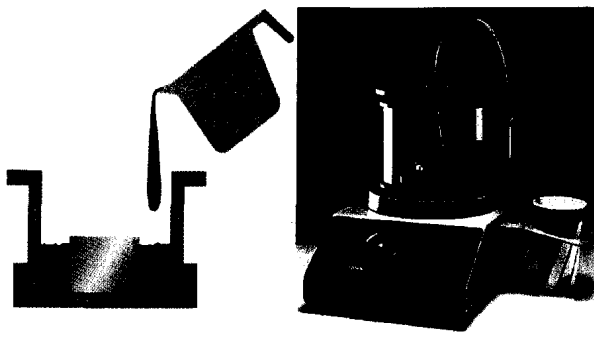


图9 冷镶样机

冷镶样树脂包括:环氧树脂、丙烯酸树脂和聚酯树脂(如图10所示)。

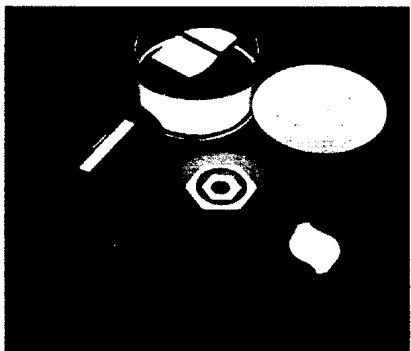


图 10

冷镶工具如图11所示。

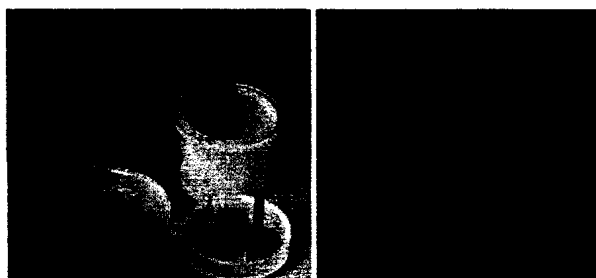
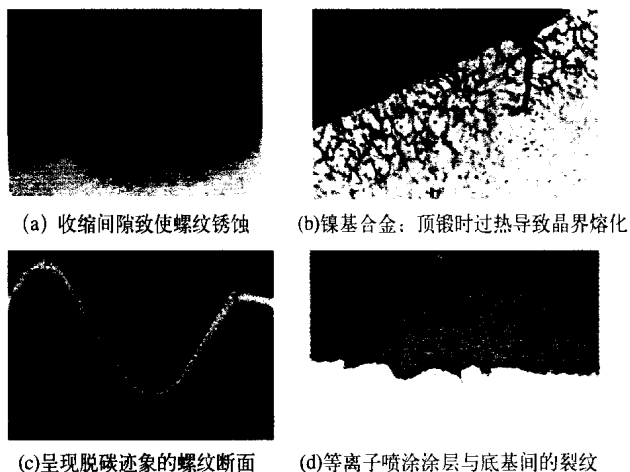


图 11

热镶样效果如图12所示。



(a) 收缩间隙致使螺纹锈蚀

(b) 镍基合金：顶锻时过热导致晶界熔化

(c) 呈现脱碳迹象的螺纹断面

(d) 等离子喷涂涂层与底基间的裂纹

图 12

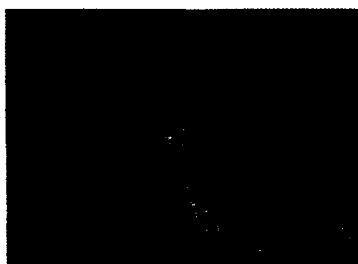
冷镶效果如图13所示。



(a) 焊接在铜金属化电路板上的多层电容器，连续蔓延穿过焊料的疲劳裂缝



(b) 镀通孔焊料中的大孔洞 50 ×



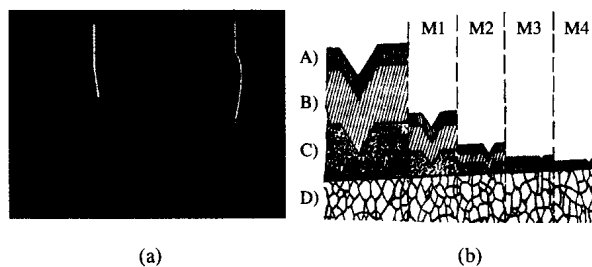
(c) 镀通孔焊接中的孔洞与裂缝 200 ×

图 13

四、研磨抛光

为得到一个能在光学显微镜下观察的粗糙度低的表面，需对试样进行研磨抛光。经切割的表面留有80#粒度的磨痕，要得到镜面一样的表面，就必须利用从粗到细的磨粒的金相砂纸来进行研磨，逐渐接近极理想的细划痕的表面。一般将研磨分为粗磨和精磨两个步骤。

图14为砂纸磨光过程中试样表面变形层消除示意情况。其中A、B、C分别表示试样表面总变形层。A为严重变形层；B为中等变形层；C为微小变形层；D为无变形层的原始组织。



(a)

(b)

图 14

研磨步骤：第一步，粗磨后试样表面的变形层；第二步，磨光后表面的变形层；第三步，精磨后试样表面的变形层；第四步，磨光后试样表面存在的微小变形层。

磨光砂纸有干砂纸和湿砂纸两种。砂纸上的磨料有SiC和Al₂O₃两种，前者磨料硬度2700HV，后者磨粒

的硬度为2000HV。

SiC砂纸对 MD-Piano磨削速率比较如图15所示。

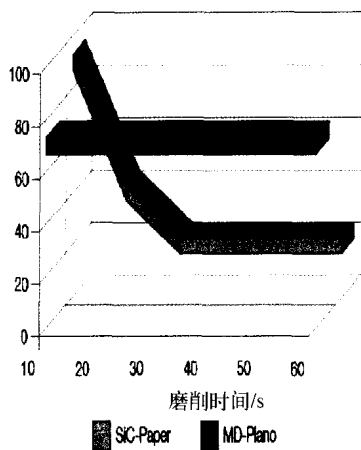


图 15

采用磁性研磨盘的新型抛光机(如图16所示), 仅用单盘研磨/抛光机就可以完成试样的研磨/抛光工序。

新型抛光机由三个部分组成: 夹持多个试样的磨头; 带磁性单盘研磨/抛光机; 带编程控制的自动滴液器。

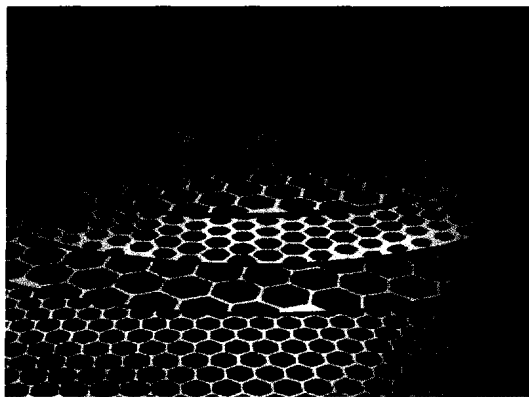


图 16

目前最新的磨盘不是简单的一个铝盘, 而是在铝盘上有一层磁性材料构成的磁性盘; 这样可以很方便地放置磨盘或抛光盘, 使制样发展到三道快速制样工艺; 同时它既省时又省料。

MD (研磨盘) 粗磨盘有 $\phi 200\text{mm}$, $\phi 250\text{mm}$, $\phi 300\text{mm}$ 三种规格。

MD Piano, 金刚石粗磨盘, 适用于磨 $>150\text{HV}$ 试样, 有 $80^\#$ 、 $120^\#$ 、 $220^\#$ 、 $600^\#$ 、 $1200^\#$ 粒度, 常用为 $220^\#$ 磨盘。

MD Primo, SiC粗磨盘, 适用于磨 $<150\text{HV}$ 试样,

有 $120^\#$ 、 $220^\#$ 两种粒度, 常用为 $220^\#$ 磨盘。

试样切割后的切割面, 可直接置于MD-220粗磨盘上进行粗磨, 转速 300r/min 。

MD精磨盘有 $\phi 200\text{mm}$ 、 $\phi 250\text{mm}$ 和 $\phi 300\text{mm}$ 三种规格。

可将经 $220^\#$ 粗磨的试样, 直接于精磨盘上精磨, 盘的转速为 150r/min 。

MD-Allegro 适用于硬度 $>150\text{HV}$ 的试样精磨, 需加 $15\mu\text{m}$ 或 $9\mu\text{m}$ 的金刚石悬浮液磨料和润滑剂。MD-Largo适用于硬度 $\leq 150\text{HV}$ 韧、软试样精磨, 需加 $15\mu\text{m}$ 或 $9\mu\text{m}$ 金刚石悬浮液磨料和润滑剂。抛光经精磨后的试样, 可置于抛光盘上进行抛光, 可用 $3\mu\text{m}$ 的金刚石悬浮液进行抛光, 直至可以在显微镜下观察。如需抛光表面更洁净, 可用 $0.04\mu\text{m}$ 的氧化物抛光液进行细抛 $30\sim 60\text{s}$ 即可。

采用MD系统对金相样品进行研磨与抛光是一个更好的解决方案, 它具有以下优点:

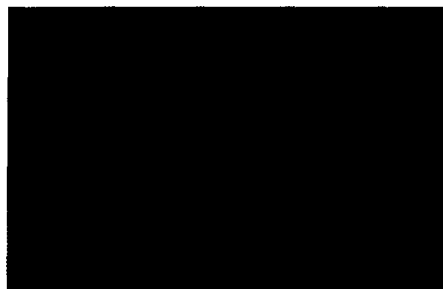
- (1) 操作更方便。
- (2) 样品品质更高。
- (3) 制样步骤更简单。
- (4) 制样时间更少。
- (5) 制样成本更低。
- (6) 维护更少。

通用制备方法: $250\sim 2000\text{HV}$ (见表3)。

表 3

步骤	磨盘种类	粒度	时间
粗磨	MD-Piano	$220^\#$	直到磨平
精磨	MD-Allegro	$9\mu\text{m}$	5 min
抛光	抛光布	$3\mu\text{m}$	5 min
氧化物	MD-Chem	-	30~60s

30mm 直径镶嵌好后的样品如图17所示。



(a) 渗碳化钨涂层 $1000\times$ (下转第71页)

2. 直接效益值 Y_1

(1) 年节省电量 q (按 300 天计算, 电费按 0.50 元 /kW · h 计算)。

$$q = N \times \eta_L \times 24 \times 300$$

$$= 107.6 \times 0.53 \times 24 \times 300 = 410\ 600 \text{ kW} \cdot \text{h} \quad (6)$$

式中 N ——工件释放的热量, kW;

η_L ——热量有效利用率。

(2) 年节省的费用 Y_1 。

$$Y_1 = 0.50 \times q = 0.50 \times 410\ 600 \text{ 元} = 20.53 \text{ 万元}$$

3. 间接效益 Y_2

该项技术除了提高工件质量和节省能源外, 还可以提高实际生产能力 4.8%。

据统计仅此一项全年增收效益值为:

$$Y_2 = 64.5 \text{ 万元}$$

4. 投资回收期 Z_0

$$Z_0 = \frac{X_0}{Y_1} = 10.2 \div 20.53 \text{ 年} = 0.5 \text{ 年} \quad (7)$$

式中 X_0 ——空气冷却器设备投资费用;

Y_1 ——回收热量节省的费用。

四、注意事项

压力降的考虑, 以 CKL—100kW 空气冷却器为例, 本体阻力降为 151.6Pa。在回收利用热空气时, 要考虑空气管路的沿程阻力和各个散风口局部阻力, 几项合计阻力可达到 186.4Pa, 选择风机时一定要满足上述对压力的要求, 否则可能影响空气冷却器的正常运行。

五、结语

采用空气冷却器对淬火油的冷却方案, 能够改善淬火油的性能, 比较水冷系统具有节水、节电的特点。如何回收利用排放热空气所带走的热量, 对降低吨钢热处理能耗, 提高生产效率是至关重要的。本文提到回收空气冷却器排放的热空气, 用于清洗后烘干轴承滚珠的例子, 将会促进热处理行业节能工作的开展。

节约能源是我国的基本国策。若对淬火过程中释放的热能充分加以利用, 就能把热处理生产中的能耗降下来, 不仅节省了宝贵的能源, 还会地降低热处理的生产成本。**MW** (待续) (20080428)



(上接第 15 页)



(b)

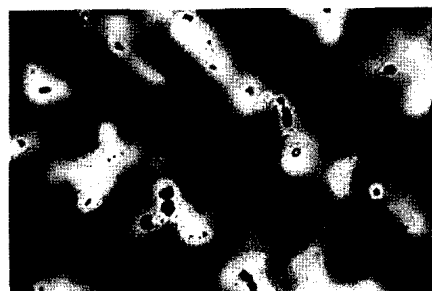
图 17

通用制备方法: 30~250HV (见表 4)。

表 4

步骤	磨盘种类	粒度	时间/min
粗磨	碳化硅砂纸	220 [#]	直到磨平
精磨	MD-Largo	9 μm	4
抛光	抛光布	3 μm	5
氧化物	MD-Chem	OP-U/-S	1

30mm 直径镶嵌好后试样如图 18 所示。



(a) 青铜组织, 已腐蚀



(b) 钛金属

图 18

(20080508)