

基于金相技能大赛的金相制样中的问题与分析

陈果 柳宇豪 冯君艳 *

嘉兴南湖学院机电工程学院 浙江嘉兴 314001

摘要:在全国大学生金相技能大赛备赛过程中,试样的制备会遇到如试样表面不平整、应变层未去除、试样表面有划痕、试样表面有异物、曳尾、球墨脱落、腐蚀不均匀、氧化污染、明暗晶粒现象等一系列问题,本文就制备大赛采用的20号钢、球墨铸铁、工业纯铁试样时遇到的问题进行总结,并在大量实验的基础上提出分析和解决方法。

关键词:金相制样; 技能大赛; 制备问题

引言

金相制样是研究金相学的重要部分,为培养大学生制样水平与实践能力,教育部高等学校材料类专业教学指导委员会每年如期举办全国大学生金相技能大赛。现有文献对制样过程所出现的问题总结并不十分全面,本文在基于大赛使用的设备和耗材进行了大量的制样实验后,收集归纳了制样时所出现的常见问题,并根据现有文献对问题的产生原因,解决方法做出了总结,供参加大赛的学生参考。

对金相试样的制备主要有磨光、抛光、浸蚀、观察等四部分。大赛提供8种型号(320#、400#、600#、800#、1000#、1200#、1500#、2000#)的砂纸,选择其中6张砂纸进行倒角和磨制。在进行磨制前,将320#水磨砂纸安装在金相大赛中使用的磨抛一体机上对试样进行倒角,然后选取400#、800#、1000#、1500#、2000#或根据个人操作习惯及制备效果选择任意5张砂纸对试样依次进行磨制。将试样表面车刀纹应变层磨除后,在磨抛机上安装好大赛提供的抛光布,对试样进行抛光,将试样打磨至无划痕且呈现镜面光滑后对试样进行浸蚀并用显微镜观察制备完成的试样质量。

1. 磨光时产生的问题

1.1. 表面不平整

在磨制试样时,由于用力不均,往往会导致试样表面不够平整,试样呈现出多个面或斜面,由于大赛使用的是正置显微镜,试样在观察时会出现虚像,如图1,因此,在磨制时需时刻注意试样表面的平整度并及时调整,当试样出现不同光亮的表面时说明试样已经不够平整,应及时调整用力程度,在第十四届全国大学生金相技能大赛——浙江赛区的比赛过程中,观察发现大多数参赛者采用从下往上,从右向

左的磨制方法,这种方法可以使试样在磨制过程中平稳的划动,该方法以左手扶住砂纸,右手用大拇指、食指、中指紧捏试样,从下往上缓慢划擦,在磨制过程中,每更换下一张砂纸时,应将试样旋转90°并减轻用力,这样可以在磨制过程中更直观的观察到试样是否已经歪斜,由于这种方法对刚接触制样的学生来说很容易产生靠身体一侧用力较小的问题,因此在磨擦时发现一侧垂直划痕没有打磨消失说明试样歪斜,可以旋转180°进行磨制,直到磨制的试样表面划痕成同一方向且光泽一致。

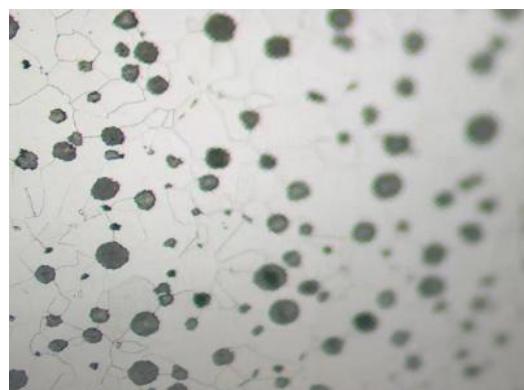


图1 表面不平整的球墨铸铁 (200x)

1.2. 金属应变层

金属应变层是车床加工时产生的应变损伤层[1-2],在工业纯铁试样制样中较易出现。打磨时通常先用小号砂纸磨除车刀纹,但肉眼难以判断应变层是否完全去除,若车刀纹消失后立即换砂纸,浸蚀时应变层可能重新显现,导致晶粒中出现方向一致的沟壑(如图2)。因此,彻底磨除应变层需在肉眼看不到车刀纹后继续打磨。此外,若磨制时用力过大以去除车刀纹和应变层,会产生新的应变层,故磨制试样

时应适当减小力度，通过增加打磨次数来去除应变层。

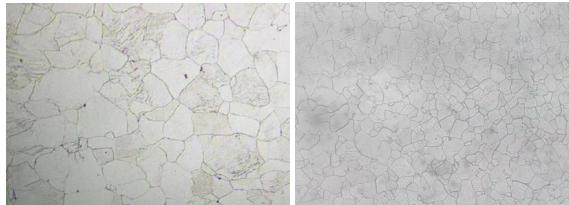


图 2 加工应变层的纯铁（200x，左）和磨制应变层的纯铁（100x，右）

1.3. 试样表面出现一道深划痕

在磨制过程中如果试样表面出现一道深划痕，划痕颜色明显区别于该砂纸磨制的划痕颜色，说明上一道砂纸打磨后在试样表面留下的磨屑对试样造成了损伤，此时需要重新使用上一张砂纸磨制。为避免这一问题，在磨制过程中，需要注意每切换一张砂纸都需对磨制使用的玻璃板、试样和手进行清洁，并用手轻掸砂纸，抖落砂纸上的杂物。

2. 抛光时产生的问题

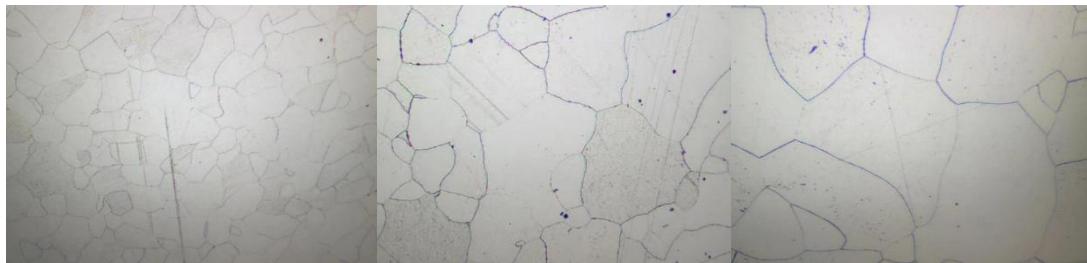


图 3 有粗大划痕（左）、平行细划痕（中）和晶内交叉划痕（右）的纯铁（200x）

金刚石抛光膏抛光效率高，切削力强，出光快^[5]，可以快速将试样表面打磨至镜面状态，因此在每个试样抛光时应加在抛光盘四个方向上加入抛光盘半径 2/3 长度的抛光膏，抛光膏不宜过少，否则无法将磨痕完全去除。

抛光分粗抛、中抛、精抛三过程，通常选 1400r/min 转速。在抛光盘中圈和外圈加适量抛光膏，粗抛时加水让抛光膏发泡，把试样用适当力按压在外圈，且使划痕与抛光盘旋转方向垂直。粗抛是去磨痕的关键，当试样表面无肉眼可见划痕后，还需继续粗抛一段时间。因粗抛时抛光盘线速度快、试样按压力度大，易产生抛痕，所以粗抛后要中抛以去除二次划痕。粗抛后试样划痕与抛光盘旋转方向一致，从中抛过渡到中抛时，应将试样旋转 90°，再减小力度放在中圈。最后精抛，在最内圈加大量水，把试样轻放内圈，以抛除粗抛和中抛混入的杂质。

抛光过程是将试样上由磨光产生的磨痕和变形层去掉，抛光的目的在于去除磨面细磨留下的细微磨痕，使磨面成为无划痕的光滑镜面^[3]。大赛抛光时使用的设备和耗材为可调速的磨抛一体机、w2.5 金刚石抛光膏、水和纸巾。

2.1. 划痕未去除

划痕（如图 3）未完全抛除是抛光过程的重要问题，试样腐蚀后观察到的划痕由多种原因产生，包括磨制未抛除的磨痕和抛光产生的二次抛痕等，显微镜下可见平行粗大划痕、细划痕等多种形态。抛光时可通过参照方向判断划痕成因：若为磨制方向且穿过几个视场的平行划痕，可能是未处理好的磨痕（未抛除或抛光时凸起部位非晶态压入凹陷处，腐蚀后显现^[4]）；若平行于抛光方向、细微且穿过多个晶粒，则为抛光膏颗粒产生的抛痕。此外，操作不当也会导致划痕，如磨制后未冲洗试样和手部，使砂纸上磨屑等杂物落入抛光盘，造成交叉划痕。

2.2. 黑点、麻点

黑点（如图 4）的产生原因可分为三种，一种为试样的夹杂物，即试样在制造过程中存在的缺陷；一种为抛光过程中掺入的抛光膏颗粒或灰尘黏附在试样表面，具有边缘不清晰的特点；一种为磨制时嵌入试样的（砂纸脱落的 SiC）砂粒^[1]，其形态较尖锐；如果抛光时砂粒飞出，组织表面产生凹坑，因光线只在坑内反射，观察时也可能呈黑色。

第一种情况属试样自身缺陷，非制备问题；第二种情况需在抛光后加水水抛，试样放抛光盘近转轴处，轻力操作以防产生新细微划痕；第三种情况磨制时需减轻用力，若抛光产生凹坑，粗抛时应加大力度切削凹坑以上表面，使试样表面高度与凹坑深度一致。需注意抛光盘外圈线速度快，增加用力易导致试样发热过快，可能引发氧化等问题，故抛光时需加适量水降温。

在制备试样过程中，试样上普遍都会存在麻点，尤其

在工业纯铁样品上,由于纯铁仅含有铁素体组织(光学显微镜下呈白色),更容易看到麻点,严重影响组织观察。周飞扬学者认为麻点是抛光布脱落的细小纤维或研磨膏颗粒^[6],

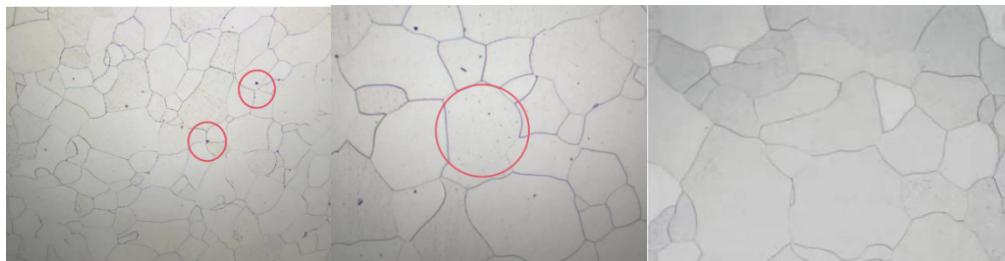


图 4 纯铁: 有黑点 (200x, 左)、有麻点 (500x, 中)、无黑点和麻点 (200x, 右)

2.3. 倏尾

曳尾一般常见于球墨铸铁试样,在制样的抛光过程中,材料中较软的石墨受摩擦力的作用部分被拽出又未能及时被清理而产生曳尾现象^[7]。解决曳尾问题比较容易,如:以与抛光盘旋转方向相反的方向缓慢旋转试样;抛光时小角度转动试样;抛光时尽量避免将试样放置在同一位置,可以径向移动试样、变换试样方向等等。

2.4. 球墨铸铁的球墨脱落

球墨脱落大多数情况下均可避免,导致这一问题的原因是在抛光时用力过大,时间过久,因此只需在抛光时减小用力,缩短抛光时间。

3. 浸蚀时产生的问题

3.1. 组织不清晰

组织不清晰是浸蚀时最常见的问题,这是由腐蚀程度不均匀引起的,腐蚀过浅会导致试样组织不清晰,晶界不显现或不相连,而腐蚀过度会导致试样组织颜色过深和双晶界现象,如图 5。

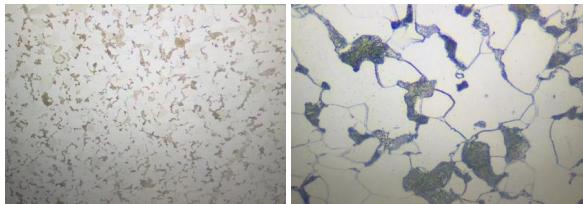


图 5 腐蚀过浅的 20 钢 (100x, 左) 和腐蚀过深的 20 钢 (500x, 右)

浸蚀有擦蚀、滴蚀、浸蚀三种方法,从近年全国大学生金相技能大赛来看,多数用滴蚀法:左手竹夹夹试样,右手胶头滴管将 4% 硝酸酒精溶液均匀滴在试样上。试样腐蚀时间通常不超 10s,但因硝酸酒精配制与使用时间差异,仅按时间判断易致腐蚀过浅或过深。腐蚀时需观察表面灰度,可

那么在加入抛光膏时应在抛光盘中央留出位置用于抛光完成后对试样进行长时间的水抛。

适当转动试样使腐蚀均匀,待各处均匀发灰后用酒精冲洗。若难以准确把握腐蚀程度,建议分多次腐蚀以达最佳效果,如图 6。

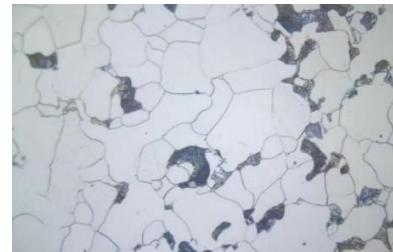


图 6 腐蚀程度最佳状态的 20 钢 (200x)

3.2. 试样表面被污染

球墨铸铁试样腐蚀后(如图 7)易在球墨周围产生黄圈污染,影响组织观察,该问题多因酒精冲洗时表面气泡破裂产生瞬时高温,吹干后残留高温腐蚀印迹。改进方法:冲洗时将试样倾斜 60° 左右,快速滴落酒精,减少液体滞留时间以防气泡稳定生成;吹干时试样倾斜,吹风机从侧面自上而下吹,保持适当距离避免表面过热氧化。此外,抛光完成后需减少试样与水接触时间,防止球墨铸铁氧化生锈。

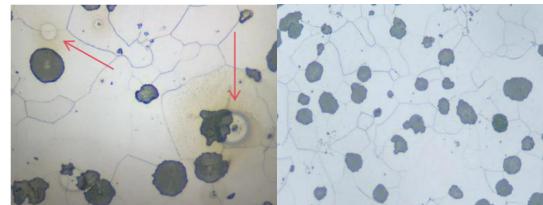


图 7 被污染的球墨铸铁 (500x, 左) 和腐蚀良好的球墨铸铁 (200x, 右)

3.3. 明暗晶粒

明暗晶粒(如图 8)的产生是由于电化学腐蚀作用,晶粒和晶界能量密度有差异,在腐蚀时有的晶面能量较高,作为电化学腐蚀的阳极,腐蚀产物呈灰色沉积在晶粒表面,进

而形成不同灰度的表面^[4]。因此，在腐蚀时采用擦蚀法：左手用竹夹夹住试样并倾斜一定角度，右手用竹夹夹起浸满腐蚀液的脱脂棉球擦拭试样表面。在电化学腐蚀时擦除腐蚀产物，可以减少明暗晶粒的现象。

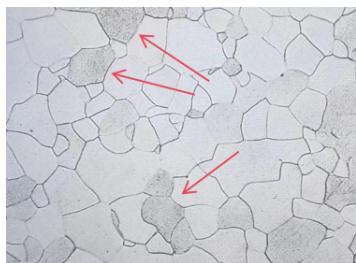


图 8 明暗晶粒的纯铁 (200x)

4. 结语

基于上述分析，为避免出现这些问题，对制样操作做出了总结和归纳：

- (1) 磨光前需清理试样、手、玻璃板和砂纸，磨制时用力需轻，移动需缓，时常拿起观察试样，调整磨制方向。
- (2) 抛光分为三步，粗抛在外圈加抛光膏用力抛除磨痕，中抛在中圈加抛光膏轻轻抛除抛痕，精抛在内圈加大量水抛除杂质，抛光时多变换方向，每一次过渡都要旋转试样。
- (3) 浸蚀时动作需快，酒精避免在试样停滞，滴入腐蚀液后转动试样，吹风机距试样保持一定距离和倾斜角度。

制样成果的好坏与否不仅取决于制样方法，更关键的作用在于制备者，制备者在每个过程中使用的力度大小、时间长短都会导致制备成果的差异。因此，在掌握了正确制备方法的同时，还需要进行大量的练习，形成最适合自己的操

作习惯，才能提高制样水平。

参考文献：

- [1] 彭成红，朱伟恒，陈灵，黄润泽等. 钢铁金相试样制备研究 [J]. 中国冶金教育, 2024, (3): 77-82.
- [2] 金洁茹，张显程，涂善东，等. 车削速度对 GH4169 加工表面完整性的影响 [J]. 中国表面工程, 2015, (3): 108-113.
- [3] 袁慧羚. 浅析金相试样的制备过程 [J]. 读写算 (教育教学研究), 2014, (37): 391.
- [4] 周枢宇. 金相试样制备技巧及典型问题剖析 [J]. 科技与创新, 2021, (15): 5-7.
- [5] 陈正道. 金相试样的正确制备 [J]. 热处理, 2022, 37 (1): 40-49.
- [6] 周飞扬. 工业纯铁金相试样的制备工艺 [J]. 中国金属通报, 2021, (17): 20-21.
- [7] 钟涛生，黎文博，龙保旭，赵英杰. 金相试样的制备缺陷及解决方法 [J]. 热处理, 2021, 36 (2): 56-60.

基金资助：2025 年度嘉兴南湖学院大学生研究训练计划 (SRT) 项目 (258519181)；嘉兴南湖学院“百师百课”优质基础课程建设项目第二批 (《机械工程材料》25540022)。

作者简介：陈果，柳宇豪，嘉兴南湖学院机电工程学院本科在读；

通讯作者：冯君艳，嘉兴南湖学院副教授，研究方向为机械工程相关领域。