

# 激光热处理对18Cr Mn Ti 等钢材 晶粒度的影响

关振中 刘要武 公治中 吴洪志

**摘要** 本文主要通过试验比较了 18Cr Mn Ti 等工业上常用的几种钢材,经激光热处理和常规热处理后的晶粒度。结果是:激光热处理比常规热处理后的晶粒度不但明显细化,而且更为均匀。这一结果为解释金属材料经激光热处理后能改善和提高性能提供了一个方面的依据。

## 一、前 言

激光热处理是七十年代初才开始发展起来的新技术,主要用于金属表面处理。由于它具有许多宝贵的特点<sup>[1]</sup>,所以已引起了从事激光和热处理的科技工作者的普遍关注,并正就某些理论与实践问题进行探索。

经过激光热处理后,金属表面的某些性能会有明显提高(如硬度,耐磨性,耐腐蚀性等)。因为当激光束照射到金属表面时,激光的热能量可以改变金属的内部组织和结构,使金属在这个过程中得到硬化和强化。当然,其机理是多方面的,晶粒度的细化就是其中重要影响因素之一。

众所周知,由于在晶界处原子排列的不规则性,使它在常温下对金属的塑性形变会产生阻碍作用。宏观上就表现为晶界处较晶粒内部具有较高的强度和硬度。因此,在常温下晶粒越细,金属的综合力学性能就越好<sup>[2]</sup>。而影响钢材奥氏体晶粒度的因素是多方面的。其中主要有冶炼时的脱氧方法,合金元素,加热温度和保温时间等。对于钢材的实际晶粒度而言,则主要是由热处理时的加热条件决定。一般地说,即加热温度越高或保温时间越长,则晶粒就越粗大。

从理论上讲,激光热处理时的加热时间非常短( $<0.2$ 秒),冷却速度又极快(一般可达 $7 \times 10^8$ 度/秒)<sup>[3]</sup>,所以其奥氏体晶粒度应比常规热处理的要细。但对各种材料以一定的激光热处理参数处理后,晶粒度到底细化到什么程度?目前还没有见到有关这方面工作的详细报导。因此,我们选用了 18CrMnTi 等五种工业上常用的钢材,分别进行了激光热处理和普通规范的热处理,然后,用金相法测定了这五种材料经不同处理后的实际晶粒度。结果表明,经激光热处理后的晶粒比常规热处理的不但细化了,而且更为均匀了。

## 二、试验内容及方法

### 1 试验用材料及样品的制备:见表[1]

除G Cr15钢的激光热处理试样尺寸为 $3 \times 30 \times 40$ 毫米外,其余的均为 $10 \times 10 \times 55$ 毫米。

## 2 激光热处理工艺

样品经  $CO_2$  连续激光器进行处理。输出功率约 500 瓦，激光光斑为圆形，直径约为 1 毫米。激光束沿试样横向扫描，扫描速度为 0.48-0.52 米/分。硬化情况见表 2，球冠形的硬化层见图 1~2。

表 1

材 料	原 始 状 态	
	激光热处理前	常规热处理前
18CrMnTi	正火	渗碳
38CrMoAl	调质	退火
40Cr	调质	退火
45 <sup>#</sup>	调质	退火
GCr15	退火	退火
	淬火 + 225℃ 回火	

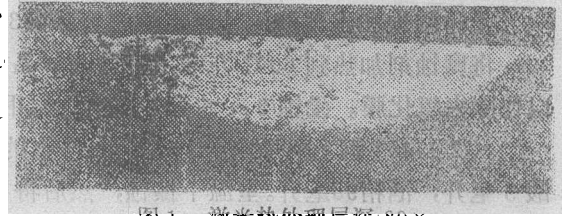


图 1 激光热处理层深 80×

材 料：45<sup>#</sup> 钢  
处 理：激光淬火  
腐 蚀 剂：4% 硝酸酒精  
腐蚀时间：擦示

表 2 表面硬度、硬化层深度及硬化带宽度

材 料	表面硬度 $R_c$	硬化层深 (毫米)	硬化带宽 (毫米)
18CrMnTi	62~64	0.2 ~ 0.3	~1.0
38CrMoAl	63~65.5	0.30~0.37	~1.0
40Cr	60~63.5	0.28~0.30	~1.0
45 <sup>#</sup>	60~65.5	~0.28	~1.0
GCr15	64.5~66	~0.30	~1.0

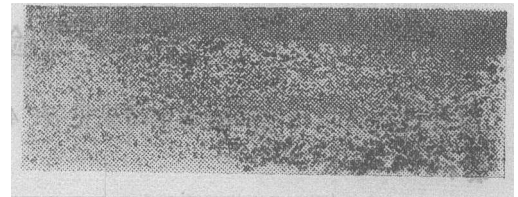


图 2 激光热处理层深 80×

材 料：18CrMnTi  
处 理：激光淬火  
腐 蚀 剂：4% 硝酸酒精  
腐蚀时间：擦示

## 3 常规热处理工艺

样品在 KO-11 型箱式高温电炉内加热。具体工艺如表 3 所示。

表 3 五种材料的常规热处理工艺

材 料	热 处 理 规 范	硬度 $HRC$	处 理 前 状 态
18CrMoTi	850℃, 15分油淬 正火	64~65 140(HB)	渗碳
38CrMoAl	915℃, 20分油淬 调质	49~51 32	调质 退火
	940℃, 20分油淬	51~52	退火
40Cr	860℃, 20分油淬 调质	51~55	调质 退火
	860℃, 20分油淬	52	退火
45 <sup>#</sup>	860℃, 20分油淬 调质	61~62	调质 退火
	860℃, 15分油淬	60~61	退火
GCr15	845℃, 15分油淬	65	退火

#### 4 样品晶粒度的显示<sup>[4]</sup>

试样经机械抛光后进行化学浸蚀。

(1) 18CrMnTi、40Cr、38CrMoAl、GCr15及45\*钢经调质处理和退火+淬火处理的样品腐蚀剂为：

苦味酸饱和水溶液+环氧乙烷(苦味酸3克,水100毫升及适量的海鸥牌洗发膏)。

将腐蚀剂加热到60℃左右,把被测样品放入溶液中。边腐蚀边用棉球擦洗样品表面,以便除去氧化膜。浸蚀3~5分钟取出。先用清水冲洗干净,再用酒精冲洗吹干。

(2) 45\*钢经激光淬火与调质+淬火的样品所用腐蚀剂为维氏试剂:苦味酸3克,盐酸5毫升,酒精95毫升。室温下擦蚀,然后将样品用酒精冲洗吹干。

#### 5 样品的测定

在蔡司 Neophot 型卧式金相显微镜上对上述五种材料经不同处理后的实际晶粒度进行了测定。

### 三、试验结果及讨论

五种材料实际晶粒度的测定结果见表[4]及附图。

表4

材 料	晶 粒 度		备 注
	常 规 处 理	激 光 处 理	
18CrMnTi	11~10级,个别为12级 11级	≥13级	熔化—凝固 渗碳后淬火 正火
38CrMoAl	9~8.5级 9.5级 8.5~8级,个别为6级	≥12级	熔化—凝固 调质后淬火 调质 退火,淬火
40Cr	9~8级,个别为6级 10级,个别为11级 10~9级	≥13级	熔化—凝固 调质后淬火 调质 退火,淬火
45*	9~10级 9.5~8级 9~8级	11~12级	相变硬化 调质后淬火 调质 退火,淬火
GCr15	9~10级	12~13级 ≥12级 11.5级	熔化—凝固① 熔化—凝固② 相变硬化③ 退火,淬火

① 原始状态为退火。②、③原始状态为淬火+225℃回火。

试验结果表明,经激光热处理后所获得的奥氏体晶粒度要比常规淬火处理的细得多。具体可分以下两种情况:

1 熔化——凝固硬化处理。将金属表面用激光束加热进行极轻微的熔化。由于激光束照射部位升温极快,热量来不及传递到周围基体金属。当激光束移开后,照射部位周围冷的金属基体就起冷却剂的作用,大量吸热。因此,在晶核长大以前,由液相进入固相成核的速度非常快,全部液相被迅速凝固。所以,就得到了非常细的组织。如图3~5所示。<sup>[5]</sup>

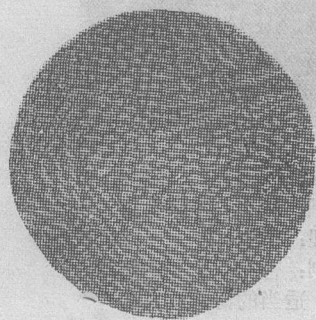


图3 晶粒度 $\geq 13$ 级  $500\times$   
材 料: 18CrMnTi  
处 理: 激光熔化——凝固处理  
腐 蚀 剂: 苦味酸饱和水溶液+适当的  
          海鸥洗发膏  
腐蚀时间:  $50\sim 70^{\circ}\text{C}$ . 3~5分钟

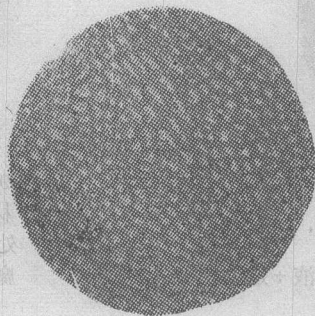


图4 晶粒度 13~12级  $500\times$   
材 料: 38CrMoAl  
处 理: 激光熔化——凝固处理  
腐 蚀 剂: 苦味酸饱和水溶液+适当的  
          海鸥洗发膏  
腐蚀时间:  $50\sim 70^{\circ}\text{C}$ . 3~5分钟

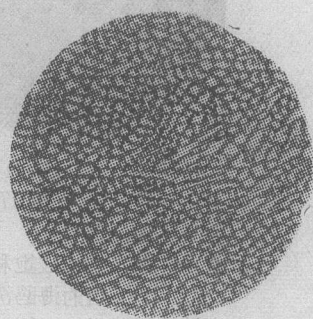


图5 晶粒度  $\geq 13$ 级  $500\times$   
材 料: 40Cr  
处 理: 激光熔化——凝固处理  
腐 蚀 剂: 苦味酸饱和水溶液+适当的  
          海鸥洗发膏  
腐蚀时间:  $50\sim 70^{\circ}\text{C}$ . 3~5分钟

2 激光相变热处理 当激光能量将金属表面一定深度加热至高于相变温度后,激光束很快移开被加热表面。表面这部分热量就被迅速地传导到冷的金属基体中去,达到了自淬火,使表面硬化。它的冷却速度要比常规淬火的快得多,因此所得到的晶粒也更细(细1~2级以上)。如图6~7所示。

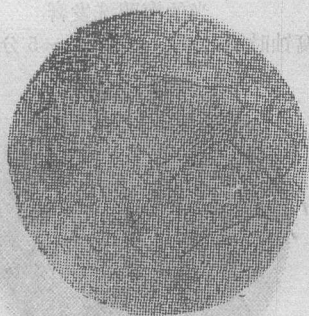


图6 晶粒度 11.5级  $500\times$   
材 料: 45\*钢  
处 理: 激光相变硬化处理  
腐 蚀 剂: 维氏剂  
腐蚀时间: 擦示

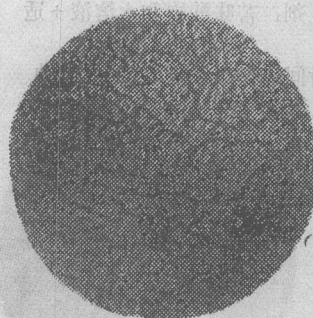


图7 晶粒度 11.5级  $500\times$   
材 料: GCr15  
处 理: 激光相变硬化处理  
腐 蚀 剂: 苦味酸饱和水溶液+适当的  
          海鸥洗发膏  
腐蚀时间:  $50\sim 70^{\circ}\text{C}$ . 3~5分钟

钢材经激光热处理后的另一个组织特征是晶粒更为均匀。常规热处理后的晶粒一般均为

混晶，如图8~19所示。几种不同的常规处理中，除了调质处理的奥氏体晶粒均匀程度稍好之外（如图8~11），其余两种处理后的混晶程度相当严重，有的竟相差4级。例如，40Cr调质后又经860℃油淬，主要为9~8级，但个别的大晶粒可达6级（见图12）。

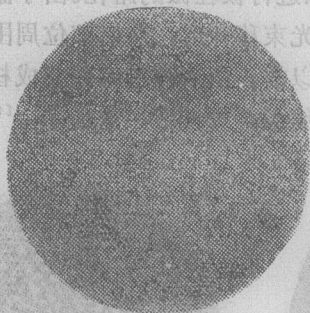


图8 晶粒度 11级 500×  
材 料: 18CrMnTi  
处 理: 正火  
腐 蚀 剂: 苦味酸饱和水溶液+适当的  
海鸥洗发膏  
腐蚀时间: 50~70℃, 3~5分钟

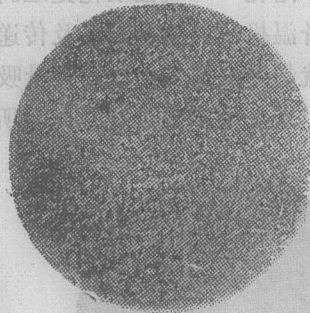


图9 晶粒度 9.5级 500×  
材 料: 38CrMoAl  
处 理: 调质  
腐 蚀 剂: 苦味酸饱和水溶液+适当的  
海鸥洗发膏  
腐蚀时间: 50~70℃, 3~5分钟

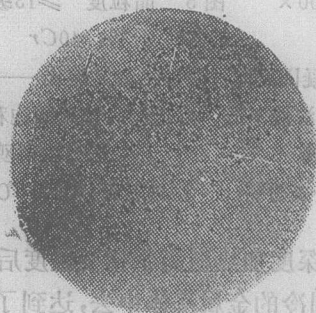


图10 晶粒度 10~11级 500×  
材 料: 40Cr  
处 理: 调质  
腐 蚀 剂: 苦味酸饱和水溶液+适当的  
海鸥洗发膏  
腐蚀时间: 50~70℃, 3~5分钟

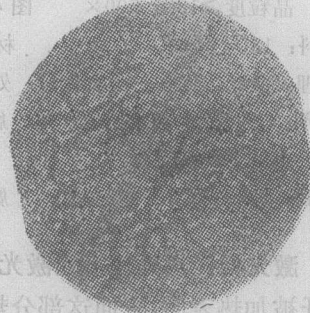


图11 晶粒度 8级 500×  
材 料: 45°钢  
处 理: 调质  
腐 蚀 剂: 苦味酸饱和水溶液+适当的  
海鸥洗发膏  
腐蚀时间: 50~70℃, 3~5分钟



图12 晶粒度 9~6级 500×  
材 料: 40Cr  
处 理: 调质然后860℃油淬  
腐 蚀 剂: 苦味酸饱和水溶液+适当的  
海鸥洗发膏  
腐蚀时间: 50~70℃, 3~5分钟



图13 晶粒度 9~10级 500×  
材 料: 40Cr  
处 理: 退火后860℃油淬  
腐 蚀 剂: 苦味酸饱和水溶液+适当的  
海鸥洗发膏  
腐蚀时间: 50~70℃, 3~5分钟

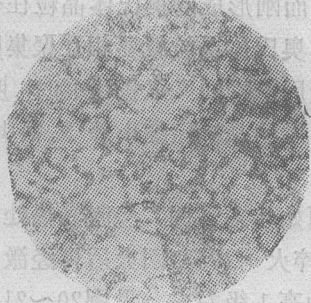


图14 晶粒度 10级 500×

材 料: 45\*钢  
处 理: 调质后860℃水淬  
腐 蚀 剂: 维氏示剂  
腐蚀时间: 擦示

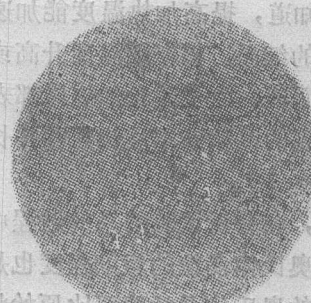


图15 晶粒度 9~8级 500×

材 料: 45\*钢  
处 理: 退火后860℃水淬  
腐 蚀 剂: 苦味酸饱和水溶液+适  
当的海鸥洗发膏  
腐蚀时间: 50~70℃. 3~5分钟

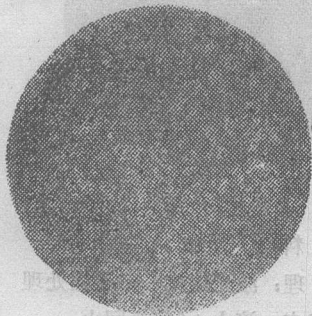


图16 晶粒度 11级 500×

材 料: 18GrMnT;  
处 理: 渗碳然后850℃油淬  
腐 蚀 剂: 苦味酸饱和水溶液+适  
当的海鸥洗发膏  
腐蚀时间: 50~70℃. 3~5分钟

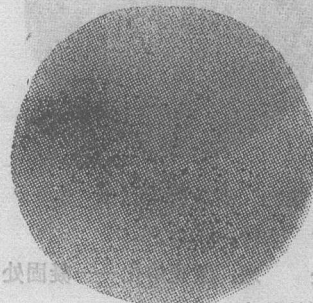


图17 晶粒度 9.5级 500×

材 料: GCr15  
处 理: 退火后845℃油淬  
腐 蚀 剂: 苦味酸饱和水溶液+适  
当的海鸥洗发膏  
腐蚀时间: 50~70℃. 3~5分钟

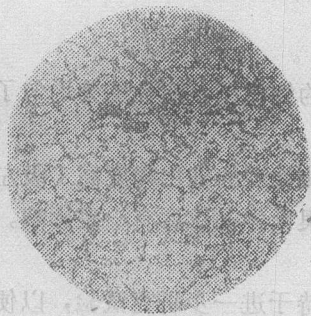


图18 晶粒度 8级 500×

材 料: 38CrMoAl  
处 理: 退火后940℃油淬  
腐 蚀 剂: 苦味酸饱和水溶液+适  
当的海鸥洗发膏  
腐蚀时间: 50~70℃. 3~5分钟

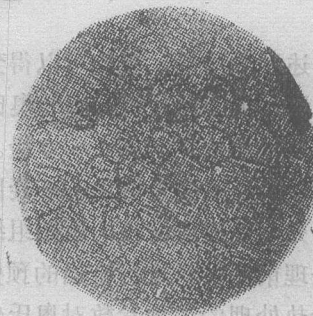


图19 晶粒度 9级 500×

材 料: 38CrMoAl  
处 理: 调质然后915℃油淬  
腐 蚀 剂: 苦味酸饱和水溶液+适  
当的海鸥洗发膏  
腐蚀时间: 50~70℃. 3~5分钟

我们知道,提高加热温度能加速奥氏体的形成和均匀化,而刚形成的奥氏体晶粒往往都是很均匀的细晶。但在随温度升高或保温时间加长的过程中,奥氏体晶粒就要相互聚集以便降低其界面能。由于激光加热局部表面的加热速度很快,到温后的瞬间又以极快的速度冷却,使得到的晶粒来不及相互吞并长大。所以,经激光热处理后的晶粒除细小外又很均匀(见图3~7)。

此外,在分析试验结果的过程中我们也注意到,钢材的原始状态不同,经激光热处理后所得到的奥氏体晶粒的粗细程度也是不同的。例如GCr15钢,淬火+225℃回火后再经激光处理所获得的奥氏体晶粒度要比原始状态为退火再经激光处理的高1级左右(见图20~21)。关于这方面的工作,还有待于今后继续深入研究试验。

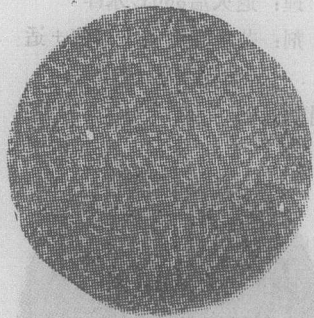


图20 晶粒度 12级 500×

材 料: GCr15  
处 理: 激光熔化——凝固处理  
原始状态: 退火  
腐 蚀 剂: 苦味酸饱和水溶液+适当的  
          海鸥洗发膏  
腐蚀时间: 50~70℃, 3~5分钟

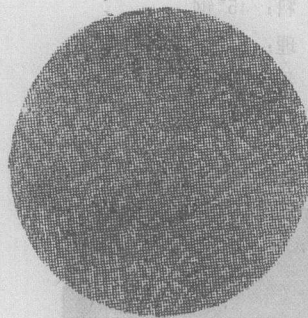


图21 晶粒度≥12级 500×

材 料: GCr15  
处 理: 激光熔化——凝固处理  
原始状态: 淬火+225℃回火  
腐 蚀 剂: 苦味酸饱和水溶液+适  
          当的海鸥洗发膏  
腐蚀时间: 50~70℃, 3~5分钟

## 四、结 语

根据上述试验结果,我们可以得到如下几点看法:

- 1 经激光热处理后所得到的奥氏体晶粒度不但明显的细化了,而且更为均匀了。其细化程度要比普通热处理的高1~3级。
- 2 金属表面经激光熔化——凝固处理的要比相变硬化处理的细化程度高1级左右。
- 3 激光热处理前材料的原始组织对激光热处理后的奥氏体晶粒度有一定影响。因此,对激光热处理前的材料进行恰当的预处理是必要的。

4激光热处理的各种参数对奥氏体晶粒度的影响还有待于进一步研究试验,以便从理论与实践上确定激光热处理的最佳工艺参数。

※ ※ ※ ※ ※

在晶粒度的显示试验中,得到了吉林工大金相教研室王学前讲师的热情帮助。整个金相试验工作得到了我所工厂工艺室金相实验室路长琴、刘宏玉二同志的大力支持与协助。在此表示诚挚的感谢!

## 参 考 文 献

- [ 1 ] “激光热处理” 《机床》 1978.2
- [ 2 ] 金属学 上海交通大学
- [ 3 ] “用 2KWCO<sub>2</sub> 激光器进行金属表面处理” 《机械と工具》 1979.2.3.期
- [ 4 ] “晶粒间界直接腐蚀法显示钢中奥氏体晶粒度” 《冶金产品——标准化动态》 1973,10
- [ 5 ] “激光表面热处理” 《激光热处理译文集》 1980