

# 激光热处理对1Cr11Ni2W2MoV钢 的组织 and 性能的影响

王红涛 刘普增 吴振民

## 摘 要

本文着重研究了1Cr11Ni2W2MoV钢的激光相变硬化处理。结果表明此种工艺可以明显提高材料在550°C以下的力学性能,并证明性能的好坏与激光照射参数有关。初步分析了组织与性能之间的关系。

## 一、前 言

激光热处理是70年代开始研究和应用的,是激光在工业中的又一新的应用。当前激光技术的先进性以及它对若干学科的促进作用越来越为人们所认识和重视,在短短的十几年内它在两个方面发展较快,一个是激光相变硬化,另一个是表面合金化,由于它具有常规热处理所无法比拟的特点,所以是一种提高现有材料的性能和制造新的复合材料的新方法<sup>[1]</sup>,无论在理论上还是在经济上都是很有意义的。

本文着重介绍激光相变硬化处理后的马氏体不锈钢1Cr11Ni2W2MoV钢的拉伸、持久、蠕变、抗回火软化能力及疲劳等性能都有明显提高。试验证明激光照射参数对性能有显著影响,并探讨了组织与性能随温度的变化规律。

## 二、试验材料和方法

本试验采用1.5和2.0mm厚的1Cr11Ni2W2MoV钢板,其化学成分列入表1。全部试样经正常热处理沿纵向进行激光照射。

表1 化学成分及热处理工艺

元素	C	Mn	Si	S	P	Ni	W	V	Mo	Cr
含量	0.13	0.25	0.20	0.008	0.025	1.58	1.79	0.24	0.40	11.07
热处理规范	盐浴炉1010°C加热5分钟,油冷+560°C回火2小时									

\*参加本课题研究的人员还有:六二一所张荣武,北京机电研究院刘永祯,航空部四一〇厂文才生和崔福绵等同志。

对处理后的试样进行了拉伸、持久、蠕变,抗回火软化及疲劳性能的测试和微观组织的研究。

## 三、试验结果

### 1. 激光热处理对钢的拉伸、持久、蠕变和疲劳等性能的影响

对于金属构件来说,希望得到强度和韧性的良好配合。采用一般的工艺方法不够理想,而激光热处理则可使材料实现强韧化。

许多合金的试验表明激光处理后硬度有显著提高<sup>[2]</sup>。我们测得的激光相变硬化层的硬度比普通淬火提高约10(RC),试样经不同温度回火2小时,在Z323硬度机上,加载100克测其维氏硬度,结果如图1所示。回火温度低于550°C时,经激光处理的硬度值比未处理的高10(RC),高于550°C时差异很小。说明在低于550°C的条件下,经激光处理的抗回火软化能力比未处理的好。

拉伸试验结果如图2所示,经激光处理的试样和未经激光处理的试样,在不同温度下的测试结果表明,在550°C以下,激光处理的比

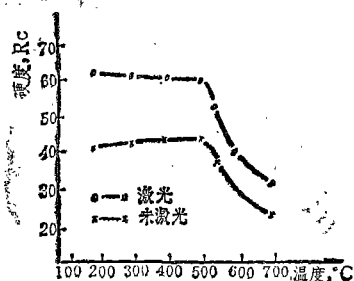


图 1 不同回火温度的硬度分布

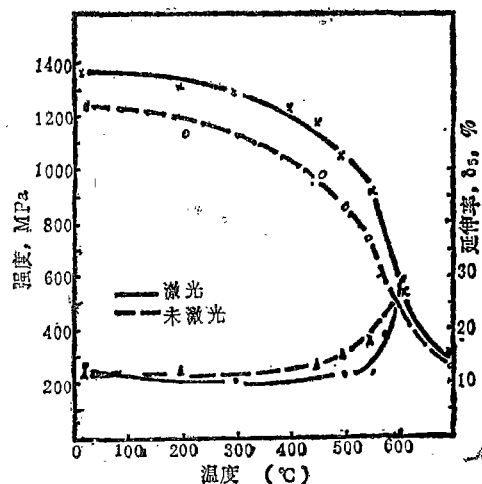


图 2 经激光处理与未处理的高温瞬时性能对比

未经处理的提高98 MPa以上，而韧性无明显下降。

在同样温度和应力条件下，激光硬化层比较深的，硬化层浅的及未经处理的三种持久寿命对比试验结果如图 3 所示，结果表明温度低于550°C在同样温度和应力条件下激光处理的有明显效果。

在同样试验温度、应力和时间的条件下，经激光处理的与未经激光处理的试样的抗蠕变变形的能力和剩余强度对比列入表 2，结果表明经激光处理的抗蠕变变形比未经处理的好。

高频振动疲劳性能对于飞机发动机材料是十分重要的性能，试验结果如表 3 所示，经激光处理的寿命比未经激光处理的高一个数量

级，可以看出，此种工艺能明显提高疲劳寿命。

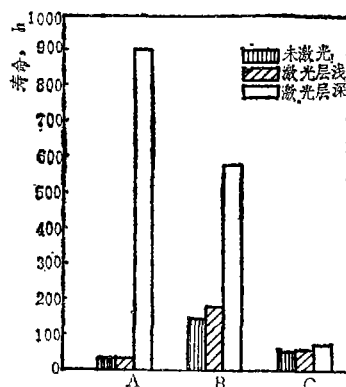


图 3 持久寿命对比

A: 300°C 1176 MPa 寿命对比

B: 450°C 764 MPa 寿命对比

C: 500°C 627 MPa 寿命对比

表 2 抗蠕变变形及剩余强度对比试验结果

试样编号	试验温度 °C	应力 MPa	实 测 伸 长 量 mm	平 均 伸 长 量 mm	剩余 强度 MPa
219	300	676.2	0.215	0.378	100.8
223			0.215		99.6
227			0.705		700.6
*08	300	676.2	0.70	0.081	126.0
*09			0.045		127.3
*010			0.130		126.8
1	450	617.4	0.280	0.340	94.2
3			0.315		94.1
5			0.520		95.1
*01	450	617.4	0.30	0.160	103.1
*02			0.14		102.0
*03			0.05		101.1
2	500	352.8	0.147	0.224	75.5
4			0.26		
218			0.265		
*07	500	352.8	0.05	0.0425	78.4
*06		352.8	0.035		77.3

\*为经激光处理的试样。

表3 高频振动疲劳试验结果

试样号	状态	应力 MPa	循环周期 次	板厚 mm
46	未经激光处理	627.20	$0.75 \times 10^6$	1.5
56			$0.54 \times 10^6$	
203			$0.576 \times 10^6$	
211			$0.905 \times 10^6$	
0	经500W激光处理	627.20	$> 10^7$	1.5
25			$> 10^7$	
39			$146 \times 10^7$	
13			$0.28 \times 10^7$	
59	未经激光处理	626.22	$0.149 \times 10^6$	2.0
53			$0.182 \times 10^6$	
32			$0.242 \times 10^6$	
6			$0.383 \times 10^6$	
10			$0.567 \times 10^6$	
58	经700W激光处理	626.22	$0.457 \times 10^6$	2.0
17			$0.107 \times 10^7$	
15			$> 1 \times 10^7$	

## 2. 激光热处理对1Cr11Ni2W2MoV钢的组织的影响

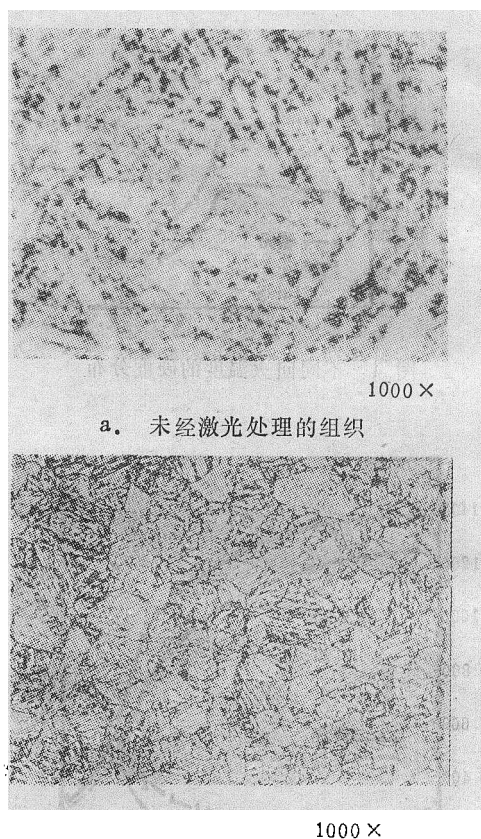
1Cr11Ni2W2MoV钢系马氏体不锈钢。调质处理后的组织为回火马氏体，晶粒度为6级。经激光处理后使硬化层得到极其细小的马氏体和碳化物，晶粒度为12级，如图4所示。

1Cr11Ni2W2MoV钢经不同温度回火后的电镜复型照片如图5所示。在低于550℃以下的碳化物细小，高于550℃碳化物明显聚集长大，并沿晶界析出，如图5b所示。

激光处理后经不同温度回火的组织如图6所示，结果表明经激光处理后晶粒细化，得到窄小的马氏体板条。碳化物的析出规律与未经激光处理的相同，也是在高于550℃的条件下碳化物聚集长大并沿晶界析出。

## 四、分析和讨论

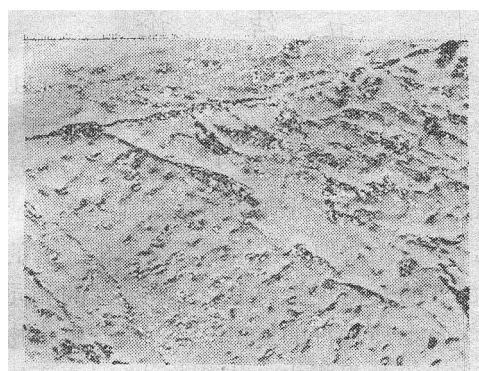
钢的力学性能的变化与其组织有着密切的关系。高功率密度的激光束照射到金属表面的瞬间，金属表面温度升高到相变温度，按一定



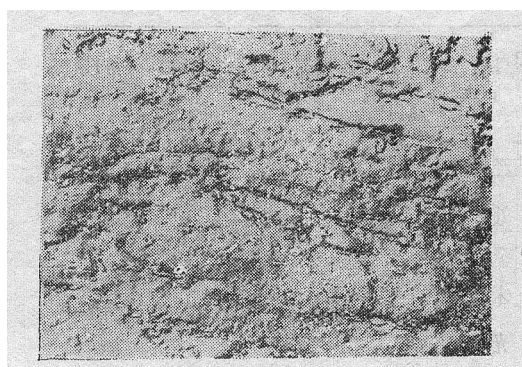
a. 未经激光处理的组织  
b. 经激光处理的组织  
图4 激光处理前后的晶粒度

扫描速度的激光束迅速离开，表面热量依靠金属本身的快速传导，而使金属表面形成“自淬层”，由于加热和冷却的时间都很快，所以奥氏体晶粒很细，从而得到细小的马氏体。图7a和b为蠕变试样经450℃、617.4MPa、100小时高温瞬时拉伸试验的断口形貌：a为激光区，b为非激光区，可以清楚地看出，经激光处理后组织得到细化，是使材料的强度、持久、蠕变等性能得到明显提高的主要原因。

材料的化学成分和热处理状态决定它的组织和性能，激光热处理使晶粒细化但碳化物的形成和析出规律与未经激光处理的基本相同。当加热到550℃，碳化物聚集长大并沿晶界析出，使晶界的结合力松弛，性能很快地下降。对于不同的材料，此临界温度可能不同，这是个在实际使用中值得注意的问题。

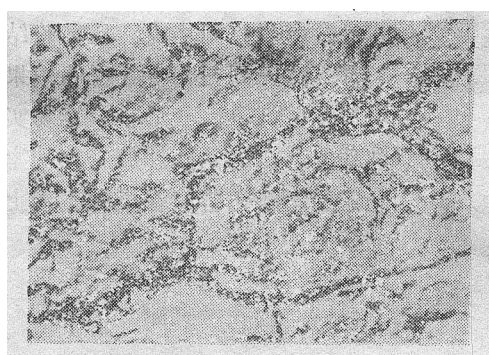


a. 300°C回火2小时 5000×



b. 580°C回火2小时 5000×

图5 1Cr11Ni2W2MoV钢经不同温度回火的电子金相

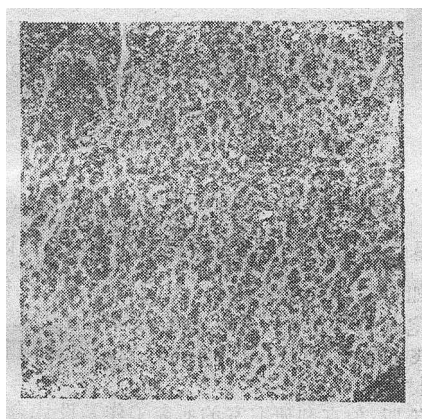


a. 300°C回火2小时 10000×

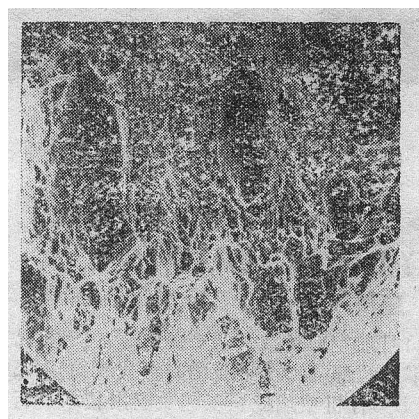


b. 580°C回火2小时 10000×

图6 激光处理后经不同温度回火的电子金相



a. 激光区 1000×



b. 非激光区 1000×

图7 瞬时拉断的扫描断口

试验证明，激光处理的强化效果与处理参数是密切相关的，如表4所示，激光扫描速度越快，相变硬化层越薄，见图8a、b、c所示。a的硬化层深度为0.35mm，b为0.30mm，c为

0.10~0.20mm，硬化层越薄， $\sigma_t$ 降得越低。持久试验结果也证明了这一点。所以激光处理时各个参数都应当保持准确、稳定，才能保证激光层的组织和性能稳定、可靠。

表4 不同参数激光处理的室温拉伸性能

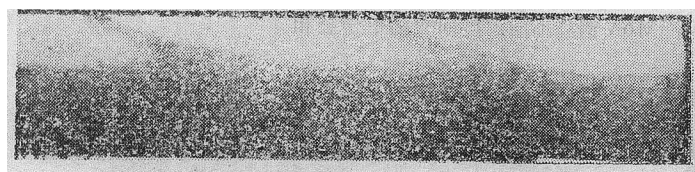
试样编号	试样状态	拉伸强度 $\sigma_L$ MPa	相对延伸率 $\delta$ %	相变硬化层 mm	备注
1	经激光处理	1347.5	13.3	0.35	未熔
2		1287.72	14.6	0.30	
3		1242.64	13.4	0.10~0.20	
4	未经激光处理	1222.04	13.14	—	3个试样的平均值
5					
6					

## 五、结 论

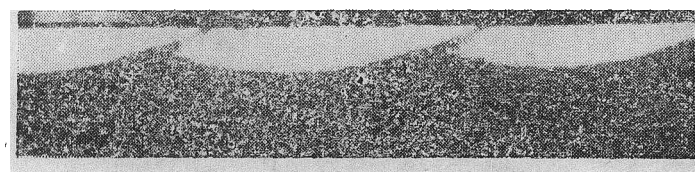
激光热处理可以使马氏体不锈钢1Cr11Ni2W2MoV钢实现强韧化,当回火温度低于550℃时,拉伸、持久、蠕变、抗回火软化能力及疲劳性能比未经激光处理的明显得到提高。试验证明,经激光处理可使组织大为细化,它的组织随温度的变化规律与未经激光处理的相同,在高于合金所允许的使用温度,由于碳化物的集聚长大沿晶界析出,使激光强化效果不够显著。此外还证明了激光处理性能的好坏与激光照射参数有关,对于工艺参数应当控制准确。从实验结果来看,激光固态相变处理的效果显著,工艺简单,变形小,容易实现自动化。激光热处理随着大功率激光器的不断完善将在机械工程上起重要的作用。

## 参考文献

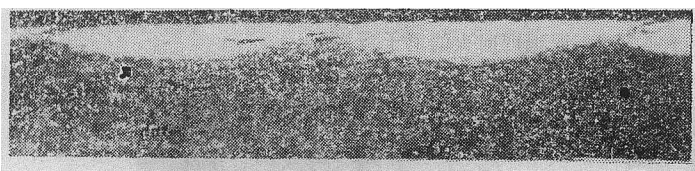
- [1] 梁勇, 大功率激光器, 中国科学院金属研究所, 1983, 8.
- [2] Seaman, Fred. D and Gnana-muthu, Daniel. S., Metal, Progress, 1975, No3, Vol. 108, P.P. 67—70, 72, 74.



(a)

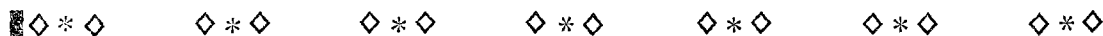


(b)



(c)

图8 不同参数激光处理后的横截面



### DYB-3有机玻璃成型工艺及

#### 应用技术通过部级鉴定

1987年11月航空部科技局组织有关专家和兄弟厂、所及空军工程部等13个单位的31名代表对成飞公司研制的DYB-3有机玻璃成型工艺及应用技术进行了技术鉴定。经过对有关技术文件的认真审议,并到现场考察了自行设计制造的设备和工装,充分肯定了该项成果,一致通过了技术鉴定。

会议代表一致认为:提供鉴定的文件齐全,工艺参数完整,技术先进,应用效果显著;该项成果具有国内先进水平,有推广应用价值,对提高歼7 II 飞机的安全性能和使用寿命具有特殊意义。

(成飞公司 傅立柏)

### 铝-锂合金作为航天飞机材料正在接受试验

正如目前所设想的那样,航天飞机应该是能从普通机场跑道起飞并达到轨道速度的高超音速飞机。生产这种飞机要求比现有商用材料更轻、更坚固和更为耐热的材料。

劳伦斯·伯克利研究室的研究工作是设计合成并试验各种铝-锂合金——航天飞机材料的候选者,以便找到既不牺牲强度又不牺牲稳定性的最轻的合金中最适宜的锂含量。该研究中心的先进材料研究组已经设计成一个小的熔炉并且开始建造工作,以便生产出自己的铝-锂合金。

卿译自《Materials Engineering》

November 1987