

高钴硬质合金激光表面相变硬化淬火^①

王尚志

(天津市硬质合金研究所, 天津 300222)

孙景

(天津大学材料科学与工程系, 天津 300072)

田乃良

(天津理工学院物理系, 天津 300191)

摘 要 为了进一步提高硬质合金的使用性能和探讨激光工艺对硬质合金的表面作用, 叙述了高钴硬质合金激光表面相变硬化淬火工艺参数, 如激光功率、扫描速度和光斑直径的选择, 再通过处理后合金硬度、矫顽磁力、抗弯强度等物理力学性能分析, 发现激光能量密度和合金抗弯强度有一定的关系, 进而找到了合理的激光工艺。通过激光表面相变硬化淬火处理后, YG₂₀硬质合金的抗弯强度提高 10% 以上, 维氏显微硬度提高 80%, 耐磨性提高 1.6 倍, 使用寿命也有所提高。

关键词 硬质合金 激光 淬火

中图法分类号 TG135.5

将激光应用在硬质合金表面相变硬化淬火国内未有报导, 国外开展这方面的工作也是近 10a 左右的事, 其中德国^[1], 俄罗斯^[2-4]都开展了这方面的研究, 特别是俄罗斯在这方面做了大量的工作, 经过处理的硬质合金顶锤, 刀具等已经得到实际应用。

针对这一情况, 本文通过选择激光工艺的基本物理量、激光功率、扫描速度和光斑直径试图找到适合 YG₂₀硬质合金的热处理工艺参数, 并为实际应用提供可靠的数据。由于钴含量高, 由于存在钴的同素异构转变, 反应数据应该更明显, 本文也初步探讨了激光热处理的反应机理。

1 试验

1.1 试验用激光器

采用 HGL-01 型 CO₂ 激光器进行表面相变硬化淬火试验, 该激光器为连续式, 最大功率为 5kW, 波长为 10.6 μm , 使用激光束与工件垂直。激光热处理装置, 示意图如下:

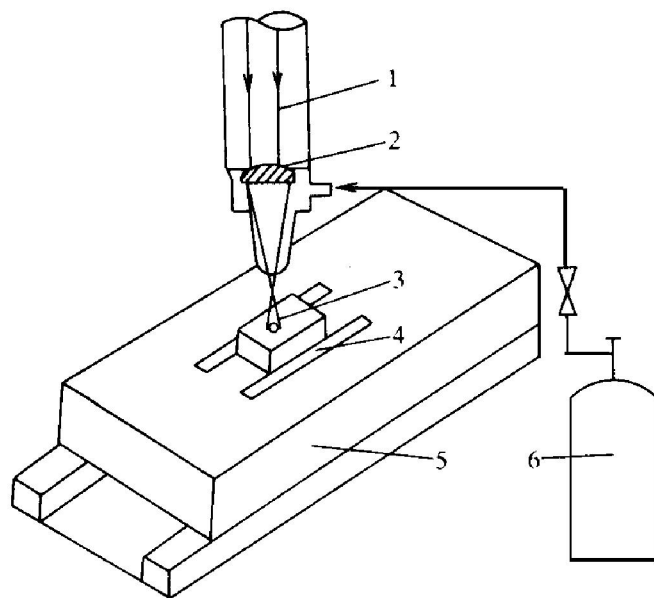


图1 激光热处理装置示意图

Fig. 1 A schematic diagram of laser heat treating device

- 1—Laser beam; 2—Focusing lens;
3—Work piece 4—Fixture;
5—Numerically controlled
2D moving working table;
6—Argon bottle

① 天津市自然科学基金资助项目 941408006

收稿日期: 1996-09-02; 修回日期: 1997-05-26

王尚志, 男, 57岁, 高级工程师

1.2 工艺参数的选择及试验过程

YG₂₀硬质合金试验棒的尺寸为 5 mm × 5 mm × 30 mm, 激光热处理前试验棒粗糙度为 R_a, 0.8 μm, 为了提高材料表面的激光吸收率, 可在试验棒表面上涂上一层涂料, 也称黑化处理。

本试验选取的激光表面相变硬化淬火处理的主要工艺参数激光器输出功率、激光扫描速度和激光光斑直径。本试验在氩气保护性气氛中进行。工艺参数的选择目前尚无统一规范可循, 一般是拿一个特定的工件, 例如本试验所用的 5 mm × 5 mm × 30 mm 试验棒, 在工作面激光处理前应在非工作面上进行试验性处理, 并随后在显微镜下放大 10~ 20 倍检查处理区的缺陷度, 当发现显微裂纹缺陷时, 处理能量密度可降低 0.1~ 0.2 J/mm²。本试验经过多次试验, 选定的试验功率分别为 1 000 W, 800 W, 650 W, 3 种激光功率的激光光斑直径都为 4 mm, 然后变化激光扫描速度, 这样得出

的数据列在表 1 中。同时, 为了便于比较, 给出未经激光热处理的同批 YG₂₀ 合金试验棒的物理力学性能数据: 密度 13.41 g/cm³, 矫顽磁力 6.01 kA/m, 硬度 HRA85.5, 抗弯强度 2.751 GPa, α 相晶粒度 1.2 μm, β 相晶粒度 2~ 3 μm。

2 结果分析与讨论

2.1 常规物理力学性能分析

常规物理力学性能分析指硬质合金试验棒的密度, 硬度(HRA), 矫顽磁力及抗弯强度的测定, 这些数据除密度变化很小外均列在表 1 中, 从表 1 看出, YG₂₀ 硬质合金当激光表面相变硬化淬火处理后, 合金洛氏硬度 HRA, 矫顽磁力变化不明显, 但抗弯强度有较大的变化, 然而, 很难发现从测得数据看激光工艺和抗弯强度的内在联系。此时采用测得数据计算出能量密度同时列在表 1 中, 发现抗弯强度和激光

表 1 输入功率分别为 1 000 W、800 W、650 W 时, 不同激光扫描速度下, YG₂₀ 硬质合金物理力学性能

Table 1 Physical and mechanical properties of YG₂₀ cemented carbide at different scanning speed when input laser power is 1 000 W, 800 W and 650 W

Laser power, / W	Scanning speed / mm•min ⁻¹	Energy density / J•mm ⁻²	Bending strength / GPa	HRA	Coercive force / kA•m ⁻¹	Condition of experimental bar
1 000	1 500	10	2.732	85.9	5.99	Normal
	1 000	15	2.895	85.6	6.10	Normal
	800	19	3.050	85.6	6.17	Normal
	600	25	2.993	85.8	6.32	Normal
	350	43	2.977	85.8	6.01	beginning to melt
	300	50	2.988	85.4	6.01	beginning to melt
	200	75	2.129	83.7	6.21	Melted
800	1 200	10	2.765	85.6	6.01	Normal
	1 000	12	2.847	85.6	5.70	Normal
	800	15	2.975	85.4	5.80	Normal
	600	20	3.041	85.8	6.11	Normal
	400	30	2.979	85.6	6.01	Normal
	300	40	2.847	85.8	5.80	Normal
650	1 000	10	2.783	85.6	6.01	Normal
	600	16	2.913	85.6	5.70	Normal
	500	20	3.002	85.9	6.01	Normal
	400	24	2.935	85.4	6.01	Normal
	300	49	2.913	85.6	6.01	beginning to melt

能量密度有一定的关系。因为从激光输入功率、扫描速度、光斑直径大小看,最后反映在样品上应该是单位面积上接受功的大小。

从表 1 看出,在一定的激光输入功率和光斑直径下,抗弯强度为最高值时能量密度都为 19~ 20 J/mm²。从而,容易找出最佳工艺时,输入功率和扫描速度的关系。为了清楚看出抗弯强度和能量密度的关系,绘制成图 2:

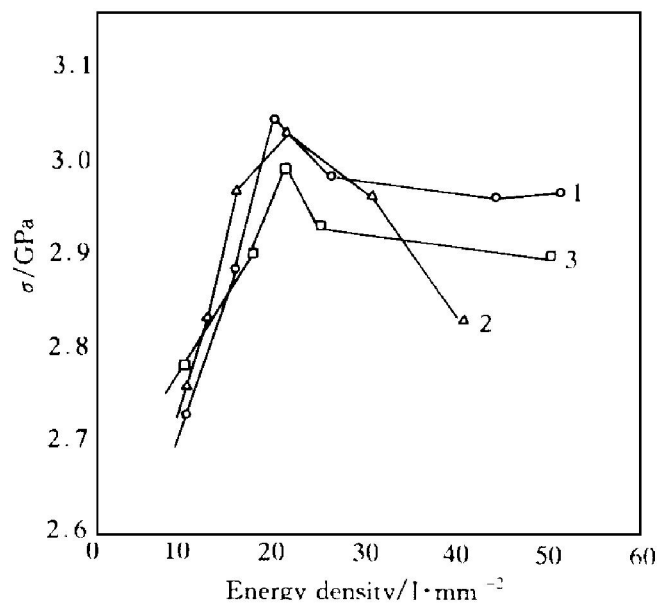


图 2 抗弯强度和激光能量密度的关系

Fig. 2 Relationships of laser energy density with bending strength of YG₂₀ cemented carbide

1 —Input power 1 000 W;

2 —Input power 800 W; 3 —Input power 650 W

从图 2 看出,在能量密度低于最佳能量密度时,随着能量密度的增加,抗弯强度逐步增加。当达到最佳能量密度时,抗弯强度均在 3 GPa 以上,这说明当光斑直径一定时,尽管 3 种工艺输入激光功率不同,只要激光速度选择合理,即保证激光能量密度接近或达到最佳值时,都可找到最佳激光热处理工艺。从图 2 还可以看到,超过最佳能量密度以后,随着能量密度的增加,抗弯强度有下降的趋势。

从表 1 还可看到,当能量密度超过 43 J/mm² 时, YG₂₀ 合金有微熔现象。当能量密度达 75 J/mm² 时,试验棒表面出现熔化区,此时合

金抗弯强度和硬度急剧下降。综上所述,由于激光器的种类不同,各牌号硬质合金成分和晶粒度的不同,具体工件几何尺寸有差异,在实际应用中应根据上面提供的规律和参数做适当的调整。

2.2 合金维氏硬度和耐磨性试验

从表 1 看出, YG₂₀ 合金洛氏硬度 HRA 未有明显的变化,这是因为经激光表面相变硬化淬火后淬火层厚度经测定只有 0.10~ 0.15 mm 洛氏硬度计金刚石锥压头易穿过淬火层打到基体上,因此,硬度变化显示不出来。采用维氏硬度压头,均打在激光面横截面,距激光表面 0.01 mm 处测量,测定结果如表 2。

表 2 激光表面相变硬化淬火对 YG₂₀ 硬质合金表层维氏硬度的影响

Table 2 Effect of Laser surface phase transition hardening quenching on Vickers microhardness of YG ₂₀ cemented carbide				
Procedure	Vickers microhardnees/HV			
	1	2	3	Mean value
(No treatment sample)	741	781	705	742
800W, 1 000 mm/min	1 328	1 420	1 420	1 389
800W, 600 mm/min	1 438	1 378	1 378	1 398
800W, 300 mm/min	1 317	1 370	1 328	1 338

由表 2 看出,激光热处理后合金维氏硬度明显提高,提高幅度为 80.3%~ 88.4%。

一般讲硬质合金磨擦时的耐磨性可以认为是显微强度,即颗粒间连接强度的表征。在不太高的温度及不太大的磨擦速度下,合金的抗弯强度起着很大的作用。经激光热处理后合金抗弯强度和显微硬度同时提高,因此耐磨性应该有所改善。

试验采用 mm-200 型磨损试验机,载荷 50 N, 转速 200r/min, 干磨 1h, 对应试样 GCr15, HRC61~ 62。选经淬火的和未经淬火的 YG₂₀ 试样,在同一磨损条件下,进行耐磨性对比试验,测量磨损体积(ΔV)的大小,ΔV 越大,耐磨性越差,相反耐磨性越好,经试验发现 YG₂₀ 激光淬火样的耐磨性为同牌号未淬火样的 2.6 倍。

2.3 X射线衍射分析

选用 D/MAX-RC X 射线衍射仪 (Cu 靶、DS= 1° 、RS= 0.15 mm、SS= 1° 、管压 50 kV、管流 180 mA、石墨晶体单色器), 连续扫描经激光热处理的 YG₂₀ 合金和未经处理的 YG₂₀ 合金, 测试结果如图 3。

从图 3 看出, 未经激光处理的 3 号样, Co 相基本上以密排六方晶型的 α -Co 相为主, 面心立方晶型的 β -Co 相不明显。2 号试样为激光淬火试样 (800 W, 600 mm/min), 基本上以 β -Co 为主, α -Co 不明显, 这和表 1 中的最高抗弯强度 3.050 GPa 相对应。1 号样也为激光淬火样 (800 W, 1000 mm/min), 既有 β -Co 相又有 α -Co 相, 抗弯强度只达 2.847 GPa。

同时对这三个试样做了表面应力状态分析, 发现经过金刚石砂轮磨削的 YG₂₀ 合金激光淬火试样和未淬火试样表面应力状态相同, 均为压应力, 其数值变化不大。而表面层压应力的增大, 自然促使断裂源迁移至离表面更深的受载较小的层区, 同时能改善裂纹尖端应力的分布, 能使裂纹尖端应力松弛^[5], 有利于合金强度和寿命的提高。

2.4 微观组织

YG₂₀ 合金激光淬火试样和未激光淬火试样的横截面金相照片如图 4 和图 5。经测定激光淬火层厚度为 0.10~0.15 mm, 在淬火层内 WC 的晶粒度比未处理合金的 WC 晶粒度细化。

为了进一步分析 YG₂₀ 合金激光淬火层的金相形貌, 图 6 给出扫描电镜照片。图中清晰可见 WC 相晶粒被细化, 以及 Co 基粘结相在 WC 相周围分布更加均匀的情况。

3 分析与讨论

钨钴硬质合金是由 WC 硬质相和 Co 粘结相组成, 而 Co 是一种多晶型金属, 在 417 $^\circ\text{C}$ 以下为密排六方 (HCP) 结构的 α -Co 相, 在 417 $^\circ\text{C}$ 以上为面心立方 (FCC) 结构的 β -Co 相, 根据资料[6]报导, 在烧结态合金照片中, 钴相显示出明显的堆垛层错, 层错宽度较宽, 随着烧结温度的下降, 由于 β -Co 相堆垛层错能很低 ($\sim 0.02 \text{ J/m}^2$), 堆垛层错密度逐渐增加, β -Co 相逐渐变成 α -Co 相。但经过激光表面相变硬化淬火时, YG₂₀ 合金表层钨和碳的补充溶解不仅钴相得到固溶强化, 使粘结相硬度提

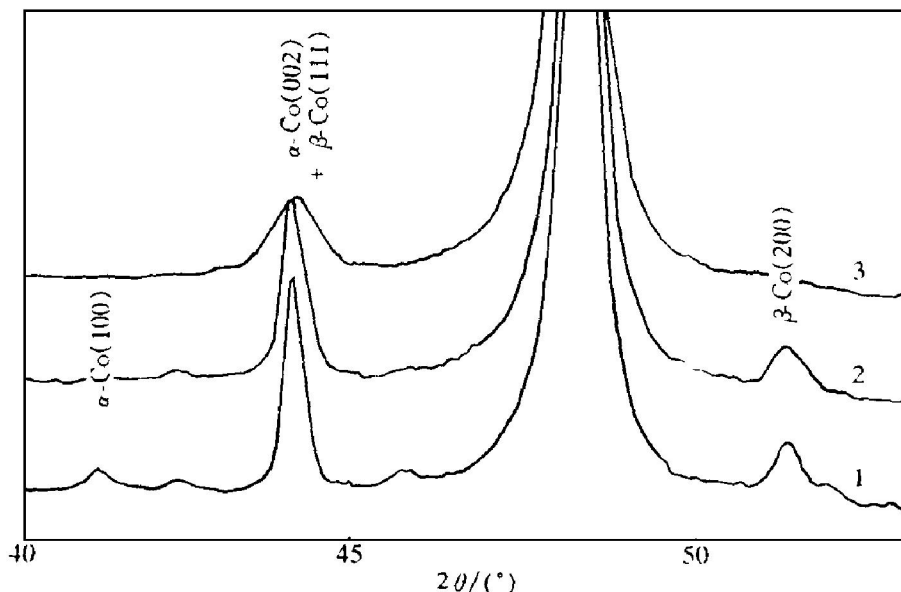


图 3 YG₂₀ 硬质合金 X 射线衍射谱

Fig. 3 X-ray diffraction spectrum of YG₂₀ cemented carbide

1—Laser quenching sample (800 W, 1000 mm/min);

—Laser quenching sample (800 W, 600 mm/min); 3—No treatment sample

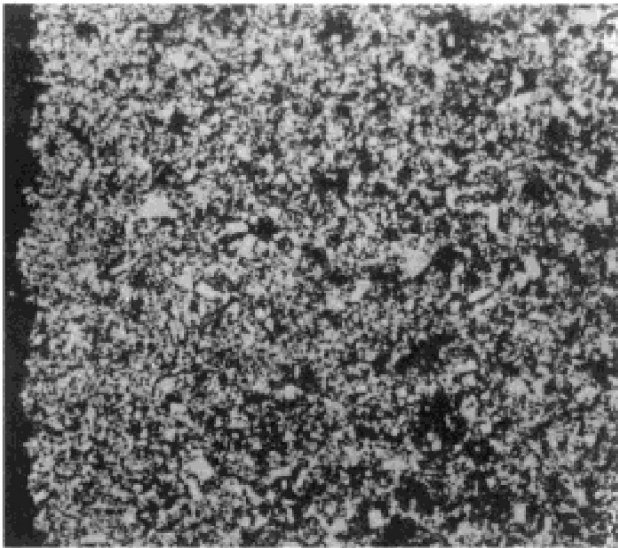


图4 YG₂₀合金激光淬火后微观组织
(左侧为淬火横截面) × 400

Fig. 4 Microstructure of YG₂₀ cemented carbide after laser quenching (the left is the laser quenching transverse section)

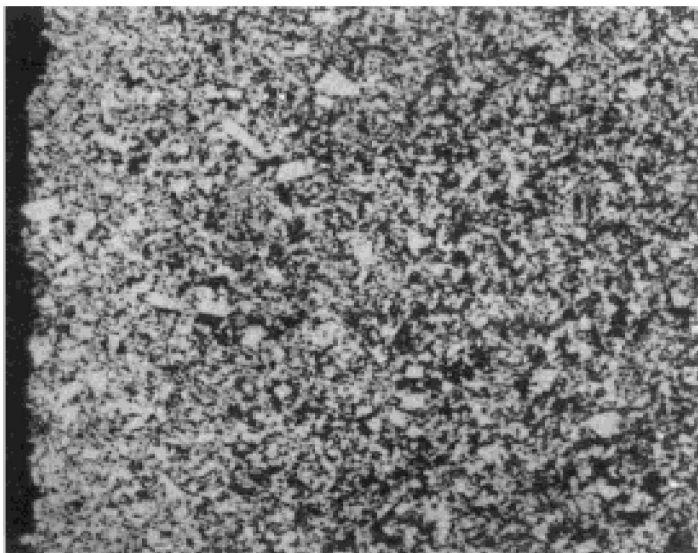


图5 未经激光淬火的 YG₂₀合金微观组织 × 400

Fig. 5 Microstructure of YG₂₀ cement carbide

高,而且钨和碳偏聚在 Co 相内的位错上^[7],由于溶质的偏聚作用,层错能升高,使 β -Co 的堆垛层错密度减小,从而使 β -Co 相向 α -Co 的转变难以进行,使合金中 β -Co 含量较一般烧结态高,而 β -Co 具有 12 个滑移系,塑性较好, α -Co 只有 3 个滑移系,塑性较差,这些自

然会促使硬质合金表层性能的提高。

在热处理过程中,由于 Co 相的补充溶解首先在 WC 晶粒棱角处进行,故使 WC 晶粒球形化,应力集中减少。同时从图 4 和 6 中看出,在激光热处理面 WC 晶粒被细化,Co 相分布更加均匀,这些都体现 WC 晶粒邻接度的降低。根据资料[8]的报导,在激光表面相变淬火过程中,损失于粘结剂熔化和蒸发的热量很小,因而表面温度即使在能量密度很小的条件下也能达到碳化钨的熔点,这就导致 WC 晶粒在粘结剂中溶解强化,同时激光冷却速度也很快,在这种情况下 WC 的成核率应该提高,加上保温时间极短,WC 晶粒来不及长大即被冷却,所以获得极细的淬火组织,这些都有助于合金性能的提高。

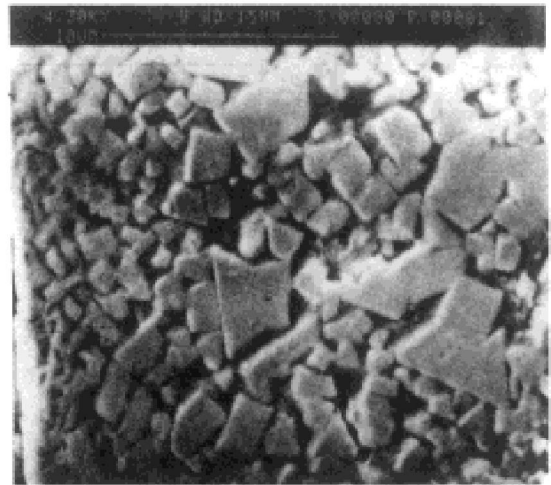


图6 YG₂₀合金激光淬火后扫描电镜微观组织
(左侧为激光横截面)

**Fig. 6 Microstructure of YG₂₀ cemented carbide after Laser quenching at SEM
(The left is the laser quenching transverse section)**

4 结论

(1) 硬质合金激光表面相变硬化淬火处理是先进的表面强化工艺。本课题在国内首次开发成功必将对我国硬质合金热处理的发展带来一定的影响。

(2) 硬质合金激光表面相变硬化淬火可以有效地提高硬质合金的使用性能, 对 YG₂₀ 合金抗弯强度提高 10% 以上, 显微硬度提高 80%, 耐磨性提高 1.6 倍。

(3) 激光表面相变硬化淬火工艺速度快, 效率高, 变形小, 可以方便地在工件所需部位进行局部处理, 无需后续加工, 是硬质合金经济有效的表面强化手段之一。

REFERENCES

- 1 Scheibe. Hans-Joachim, Pompe Wolfgang, DD 245446A1, 1987.
- 2 Филимонов и др В Н., Электронная Обработка Материалов, 1988, 143(5): 14–17.
- 3 Блещаневич и др А М. Порошковая Металлургия, 1989, No9, 71–75.
- 4 Сипяпгоиов пгя. съяхмъегте мемяпа лъ, 1989, 9: 71–75.
- 5 Li Zhizhong(李志忠). Laser surface ruggedization(激光表面硬化). Beijing: Mechanical Industry Press, 1992: 167.
- 6 Zhou Dingliang(周定良). Cemented Carbide(硬质合金), 1996, 13(1): 3–5.
- 7 Hang Hezhu(黄鹤翥)(Translator). Cemented Carbide Intensity and Life(硬质合金的强度与寿命). Beijing: Metallurgy Industry Press, 1990, 212.
- 8 Li Mushan(李沐山) The Technology Development of Cemented Carbide in 1980s of World(八十年代世界硬质合金技术进展). Zhuzhou: Cemented Carbide Editorial office, 1991: 284–331.

A STUDY OF LASER SURFACE PHASE TRANSITION HARDENING QUENCHING FOR HIGH COBALT CEMENTED CARBIDE

Wang Sahngzhi

Tianjin Research Institute of Cemented Carbide, Tianjin 300222, P. R. China

Sun Jing

*Department of Materials Science and Engineering, Tianjin University,
Tianjin 300072, P. R. China*

Tian Nailiang

*Department of Physics, Tianjin College of Science and Technology,
Tianjin 300191, P. R. China*

ABSTRACT The relationship between the energy density of the laser beam used for surface phase transition hardening quenching and bending strength of the cobalt cemented carbide treated by laser was found by analysing physical and mechanical properties of the cemented carbide treated, and the reasonable laser treatment procedure was found too. After laser quenching, the bending strength, Vickers microhardness and wear-tear resistance of YG₂₀ cemented carbide increase 10%, 80% and 160%, respectively.

Key words cemented carbide laser quenching

(编辑 黄劲松)