

WC-Co 硬质合金的激光热处理

朱祖昌 王维荣 邱

(上海工程技术大学测试中心 上海 200335)

提要 应用 OM, SEM 和 X 射线衍射分析研究了 WC-18%Co 硬质合金激光热处理后的组织与硬度性能。指出硬质合金经激光熔融处理后分粘结相 β 熔化区、WC 溶解析出区和基体三部分。前两区的组织变化导致显微硬度值有相当大的提高,最高可达 HV 1544,比原来提高 34~ 37%。X 射线衍射分析表明,面心立方 Co 的含量在激光处理后将发生改变,并会出现密排六方 Co,其相应数量与激光工艺参数有关。

关键词 激光加工, 硬质合金, 热处理, 显微组织, X 射线衍射

硬质合金是一种新型高效的工程材料,其具有硬度高、红硬性好、耐磨性优良、良好的化学稳定性和高的抗咬合性等,但韧性低、脆性高。人们知道,硬质合金的这些性能主要是通过化学成分和碳化钨粉末粒度来调整的。近年来,硬质合金的热处理问题已经开始引起人们的广泛兴趣,但对硬质合金的激光热处理在国内外少见报道。本文是应用 OM, SEM 和 X 射线衍射方法研究 WC-Co 硬质合金经 CO₂ 高功率激光热处理后的组织和性能的变化。

1 试验材料与方法

试验采用的硬质合金为 WC-Co 类,含 Co 18wt-%,其显微组织为多边形的 WC 颗粒和 C, W 固溶于 Co 的粘结相 β 。图 1 为相应的 W-C-Co 三元系 Co 元素角的相图和 WC-Co 的相图。

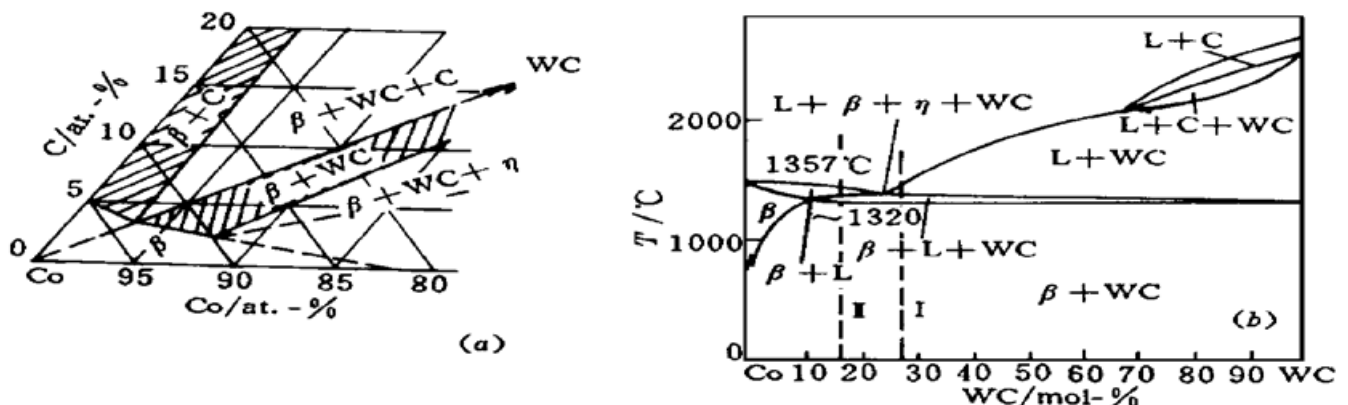


图 1 (a) W-C-Co 三元系 Co 元素角状态图; (b) WC-Co 伪二元系状态图
Fig. 1 (a) W-C-Co equilibrium diagram; (b) WC-Co quasi-binary equilibrium diagram

激光加工装置为 HJ-3 型千瓦级横流 CO₂ 激光器和 QJJ-1 型激光加工机。激光束波长为 10.6 μm, 多模, 其焦距为 110 mm, 焦平面上光斑直径为 2 mm, 激光加热功率 P 为 1000 W, 工件移动速度 v 为 10 mm/s 和 20 mm/s。

硬质合金试样截面尺寸为 5×5 (mm), 激光熔融处理后试样呈暗红色, 然后空冷至室温。试样经线切割并镶嵌, 磨去热影响层后制成金相样品, 采用特定腐蚀剂显示组织和进行分析。

显微组织分析在 Olympus 型光学显微镜和 Hitachi S-2700 型电子扫描显微镜上进行。显微硬度分析在 HX-1000 型显微硬度计上进行。X 射线衍射分析在 Rigaku D/max-3C 型衍射仪上进行, 应用计算机对衍射结果进行处理。

2 试验结果和分析

2.1 显微组织

硬质合金的激光处理区呈月牙形, 示于图 2。按处理参数 $P = 1000$ W, $v = 10$ mm/s 的试样, 其组织可分为粘结相 β 熔化区、WC 溶解析出区和基体三层。

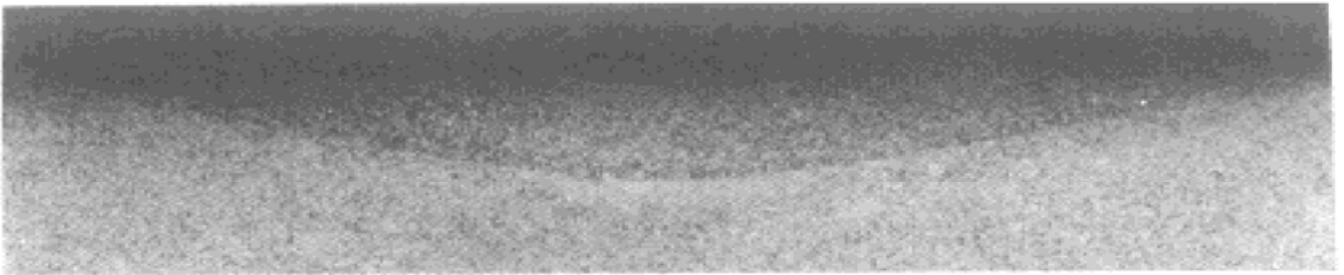


图 2 硬质合金激光处理区, $P = 1000$ W, $v = 10$ mm/s (50×)

Fig. 2 Morphology of a laser processed zone on the hardmetal. $P = 1000$ W, $v = 10$ mm/s (50×)

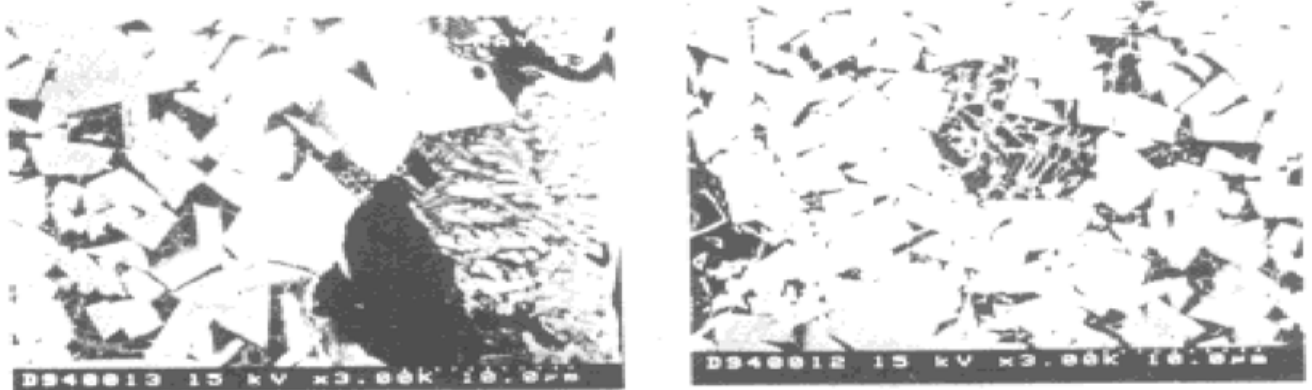


图 3 粘结相 β 熔化区组织

(左) 表面局部熔池(3000×); (右) 次表面局部熔池(3000×)

Fig. 3 Microstructure of a β phase remelted zone

(left) surface local remelted pool (3000×); (right) subsurface local remelted pool (3000×)

2.1.1 粘结相 β 熔化区的组织 β 相熔化区的部分, 其加热温度一般均高于 1320℃, 并高于相应液相线的温度。由于高熔点 WC 颗粒的存在, 熔池只局部分散在 WC 颗粒之间。局部熔池中按 WC 熔入量的多少, 其合金成分并不相同。在近激光处理表层部位, 当激光加热功率较高和移动速度较慢时, 加热达到的温度较高, 局部熔池中溶入的 WC 量较多, 相应合金成分会超过共晶点位置, 如图 1 (b) 中合金 γ 所示。在激光停止加热后的冷却过程中, 首先 WC 析出, 当

符合成分过冷条件时,先共晶 WC 析出呈树枝状,如图 3(左)所示。WC 枝干尺寸为 $0.5\sim 1\ \mu\text{m}$,在枝晶之间为 $(\beta + \text{WC})$ 共晶。共晶组织很细小,其中白色相为 WC,黑色相为 β 相。

离开处理表面远些的局部熔池,其加热温度仍高于相应液相线的温度,但溶入的 WC 量较少些,这样熔池的合金成分低于共晶点,如图 1(b) 中的合金一所示。在冷却凝固过程中, β

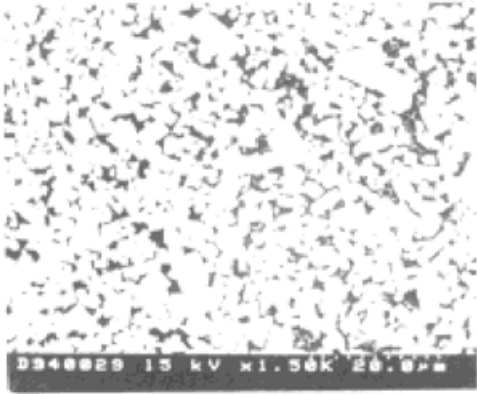


图 4 WC 溶解析出区显微组织(1500×)
Fig. 4 Microstructure of the WC grains resolved-precipitated zone (1500×)

相先行析出,同样在符合成分过冷条件时, β 相以树枝状形式析出,组织示于图 3(右)。 β 相枝干尺寸也为 $0.5\sim 1\ \mu\text{m}$,在 β 相枝干之间为 $(\beta + \text{WC})$ 共晶,共晶组织同样也是很细小的组织。

由图 3(右)可见,相应这一部分区域较为宽些。

2.1.2 WC 溶解析出区的组织 由图 1 相图可知,随着加热温度的提高,WC 在粘结相 β 中的固溶度提高。有资料表明,室温下 Co 中 WC 固溶度 $\leq 1\%$,在 100°C 时固溶度增至 $\geq 4\%$,当加热至 1320°C 时,固溶度可达 10% (mol-%)。同理,在冷却过程中,固溶度将降低,这样在粘结相 β 的晶界或缺陷部位,WC 相会析出,一般呈骨架状,相应的显微组织见图 4。图 5(a), (b),

(c) 和(d) 相应表示 WC 溶解析出区离处理表面不同位置处(图 5(e)) 的组织。很明显,离处理表面愈近,粘结相 β 中析出的 WC 量愈多。

组织上的这些变化肯定将影响到硬度梯度分布。

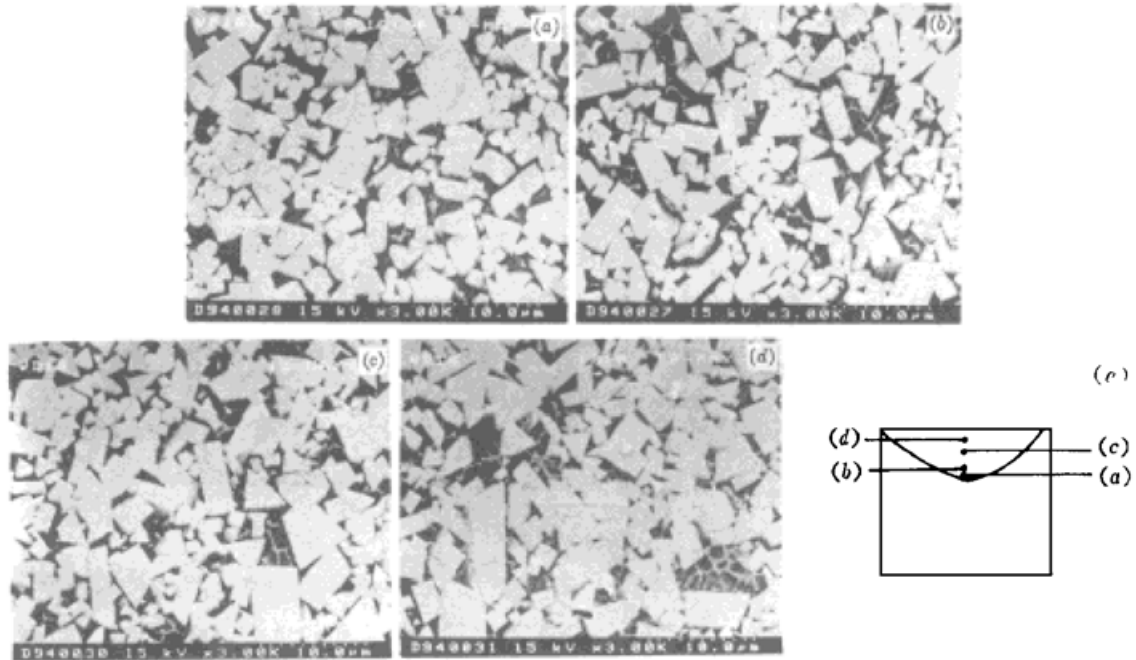


图 5 (a) ~ (d) 离处理表面不同位置处的显微组织(3000×), (e) 表示(a) ~ (d) 离处理表面的位置
Fig. 5 Microstructure of different sites apart from the treated surface (3000×)

2.2 显微硬度的变化

激光处理后的试样的显微硬度具体测定值列于表 1,表中列出不同参数下离处理表面处的数值,相应的硬度梯度曲线示于图 6。

表 1 WC-Co 18% 激光处理后硬度测定值(200 g, 15^o)

Table 1 Hardness examination data of the WC-18% Co hardmetal after laser processing

sample	parameters	results					
1	$P = 1000 \text{ W}$ $v = 10 \text{ mm/s}$	distance from surface (mm)	0.045	0.15	0.25	0.33	0.43
		HV	1594	1360	1264	1183	1163
2	$P = 1000 \text{ W}$ $v = 20 \text{ mm/s}$	distance from surface (mm)	0.05	0.17	0.26	0.36	0.44
		HV	1514	1366	1193	1122	1122

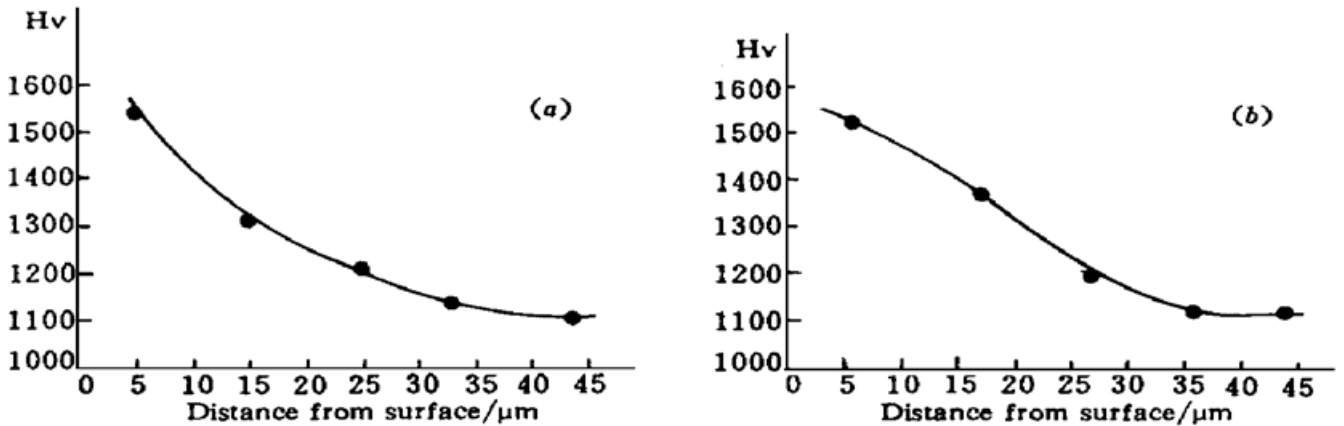


图 6 WC-Co 18% 激光处理后的硬度变化曲线

Fig. 6 Hardness profiles of the WC-18% Co hardmetal after laser processing

(a) $P = 1000 \text{ W}$, $v = 10 \text{ mm/s}$; (b) $P = 1000 \text{ W}$, $v = 20 \text{ mm/s}$

由上述数据表明,不同处理参数下对硬度值和硬度梯度分布的影响不是很大。硬质合金具有很高的硬度,经过激光处理后,硬度值更有了相当大的提高,这是难能可贵的,硬度最大值提高了 34~37%。

硬度值的提高显然与粘结相中组织变化有关。我们认为,硬质合金中粘结相在激光热处理后出现了析出物,这种骨架状第二相的存在,同时也增加 WC 和粘结相的结合,这将是显微硬度值提高的主要原因。硬质合金应用其它热处理方法难以得到这样的组织变化,显然应用激光热处理具有相当的有效性和优越性。

f2.3 X 射线衍射分析

分别对两种试样在激光处理后的未处理面和处理面进行了 X 射线衍射分析,结果示于表

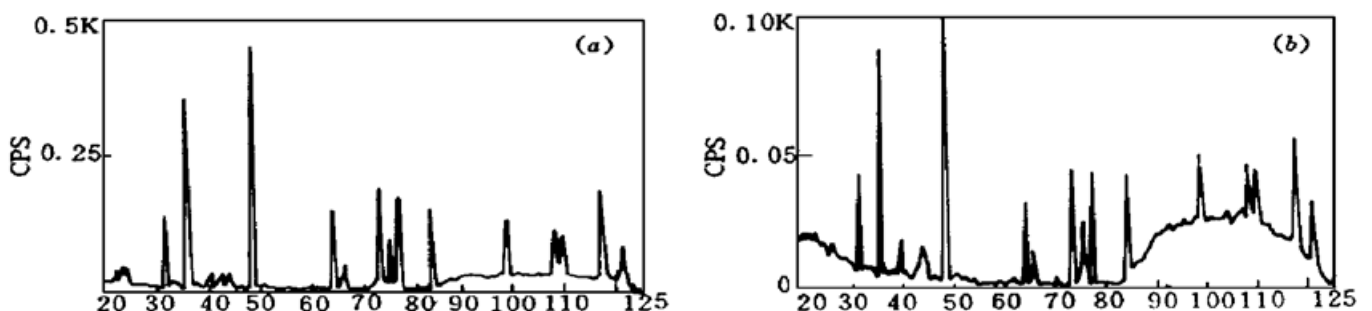


图 7 WC-Co 18% 激光处理后处理面的 X 射线衍射图

Fig. 7 X-ray diffraction spectra of the WC-18% Co hardmetal after laser processing (treated surface)

(a) $P = 1000 \text{ W}$, $v = 10 \text{ mm/s}$; (b) $P = 1000 \text{ W}$, $v = 20 \text{ mm/s}$

2, 表中括号里数字表示计算机处理得到的衍射强度比值。两种试样激光处理后 X 射线衍射图记录示于图 7。

由图 7 和表 2 可知, 这里未得到相图中的 η 值($\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$), 却出现了 $\text{Co}_6\text{W}_6\text{C}$ 相。结果还表明, WC-Co 系硬质合金激光处理后面心立方 Co 的量将发生改变, 密排六方 Co 也可能出现或增加; 激光处理工艺参数不同, 它们的变化量或增加量有所不同。

表 2 激光处理后 X 射线衍射结果

Table 2 X-ray diffraction results of the WC-18% Co hardmetal after laser processing

sample	parameters	tested surface	determinate phases
1	$P = 1000 \text{ W}$	non-treated surface	WC(76.1%) + hexagonal Co(10.4%) + WO_3 (6.5%) + cubic Co(6.7%)
	$v = 10 \text{ mm/s}$	treated surface	WC(72.6%) + hexagonal Co(14.9%) + WO_3 (6.4%) + $\text{Co}_6\text{W}_6\text{C}$ (6.1%)
2	$P = 1000 \text{ W}$	non-treated surface	WC(88.1%) + cubic Co(11.9%)
	$v = 20 \text{ mm/s}$	treated surface	WC(59.3%) + cubic Co(40.7%)

3 结 论

(1) WC-18% Co 硬质合金激光熔融处理后的组织分粘结相 β 熔化区, WC 溶解析出区和基体三部分。(2) 粘结相 β 熔化区中局部熔池按溶解 WC 量的不同凝固后可得到树枝状先共晶 WC 或先共晶 β 相加($\beta + \text{WC}$) 共晶的组织。(3) WC 溶解析出区按激光加热和冷凝中 WC 固溶度的变化, 会在粘结相 β 中析出骨架状 WC 第二相。(4) WC-18% Co 硬质合金经激光处理后硬度进一步提高, 最大提高可达 34~ 37%。(5) WC-Co 硬质合金经激光处理后, 面心立方 Co 的量将发生改变, 密排六方 Co 会出现或增加, 激光处理工艺参数不同, 其变化量有所不同。

致谢 本文的 X 射线衍射分析由上海商检局潘世伟高级工程师进行, 谨致感谢。

参 考 文 献

- 1 H. E. Exner. Physical and chemical nature of cemented carbides. *International Metals Reviews*, 1979, (4) : 149

Laser Heat Treatment of WC-Co Hardmetal

Zhu Zuchang Wang Weirong Qiu Qiu

(Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 200335)

Abstract Using OM, SEM and X-ray diffraction analyses, the investigation into microstructure and hardness profiles of a WC-18% Co hardmetal after laser processing has been conducted. The microstructure can be divided into Co phase, β , remelted zone, WC grains resolved-precipitated zone and substrate. By virtue of these changes the highest hardness is 1544 Hv and the increment can be 34~ 37% compared with the original hardness of the material. From the X-ray diffraction results it follows that the content of face centered cubic cobalt will be varied and the hexagonal close packed cobalt may occur or increase, but their constituent proportions are connected with the laser processing parameters.

Key words laser processing, hardmetal, heat treatment, microstructure, X-ray diffraction