

压制压强对 WC-8% Ni 硬质合金性能的影响

李亚军^{1,3}, 栾道成¹, 袁宏辉², 孙文文¹, 王正云¹, 邓天鑫¹, 李缘¹, 任阳¹, 左城铭¹

¹西华大学; ²成都工具研究所有限公司;

³中国石油集团济柴动力有限公司成都压缩机分公司

摘要: 采用不同的压制压强 160MPa、240MPa、320MPa、400MPa 压制 WC-8% Ni 硬质合金 B 型试样, 在真空烧结炉中进行 1480℃ × 60min 烧结。通过排水法实验、硬度实验、弯曲试验、金相显微镜等分析方法, 研究了压制压强对 WC-8% Ni 硬质合金的相对密度、孔隙度、线收缩系数、硬度和抗弯强度的影响。结果表明, 随着压制压强的增加, 相对密度逐渐增加, 线收缩系数逐步减小, 硬度和抗弯强度先增加而后减少。在压制压强 320MPa 时, WC-8% Ni 硬质合金的性能达到最佳值。

关键词: 压制压强; WC-8% Ni 硬质合金; 相对密度; 硬度; 抗弯强度

中图分类号: TG306; TH161

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1000-7008.2019.09.009

Effects of Compacting Pressure on Properties of WC-8% Ni Cemented Carbides

Li Yajun, Luan Daocheng, Yuan Honghui, Sun Wenwen, Wang Zhengyun,

Deng Tianxin, Li Yuan, Ren Yang, Zuo Chengming

Abstract: B-type specimens of WC-8% Ni cemented carbides are pressed under different pressures of 160MPa, 240MPa, 320MPa and 400MPa, and sintered in a vacuum sintering furnace at 1480℃ for 60 minutes. The effects of compacting pressure on relative density, porosity, linear shrinkage coefficient, hardness and traverse strength of WC-8% Ni cemented carbides are researched drainage test, hardness test, bending test and metallographic microscope. The results show that with the increase of compacting pressure, the relative density increases gradually, the linear shrinkage coefficient decreases gradually, and the hardness and traverse strength first increase and then decrease. The best performance of WC-8% Ni cemented carbide when the compacting pressure is 320MPa.

Keywords: compacting pressure; WC-8% Ni cemented carbides; relative density; hardness; traverse strength

1 引言

硬质合金采用粉末冶金工艺制造, 通过将一种或几种难熔金属碳化物(碳化钨、碳化钛等)和金属粘结剂烧结而成。硬质合金具有高硬度、高强度和

高耐磨性等特性, 广泛用于制造刀具、钻具、模具及耐磨零部件等^[1]。作为硬质合金粘接金属的 Co 是一种稀缺且价格高昂的资源, 同时 WC-Co 硬质合金在耐腐蚀和抗氧化性能方面较差, 因而人们开始研究寻求其它金属代替 Co 作为硬质合金的粘结金属^[2]。

Ni 与 Co 属于过渡族元素, 在物理和化学性能方面相近, Ni 具有良好的耐腐蚀和抗氧化性能。就价格和分布来说, Ni 价格低于 Co、分布范围广、储量更多, 因此研究 WC-Ni 系硬质合金具有重要的价

基金项目: 国家科技重大专项(2015ZX04003003-006); 四川省粉末冶金工程技术中心资助项目(SC-FMYJ2018-01); 西华大学创新基金资助项目(Ycjj2018069, Ycjj2018070)
收稿日期: 2019年3月

[10] 李维娜. 民用飞机耳片接头结构设计[J]. 科技视界, 2017(6): 330.

[11] 黄晓明. 铝合金航空整体结构件加工变形机理与预测研究[D]. 济南: 山东大学, 2015.

第一作者: 田海东, 硕士研究生, 山东大学高效洁净机械制造教育部重点实验室, 山东大学机械工程学院, 山东大学航空构件制造技术及装备研究中心, 250061 济南市

First Author: Tian Haidong, Postgraduate, Key Laboratory of High Efficiency and Clean Mechanical Manufacture, Shandong University, Ministry of Education, School of Mechanical Engineering, Shandong University, Research Center for Aeronautical Com-

ponent Manufacturing Technology and Equipment, Shandong University, Jinan 250061, China

通信作者: 国凯, 助理研究员, 山东大学高效洁净机械制造教育部重点实验室, 山东大学机械工程学院, 山东大学航空构件制造技术及装备研究中心, 250061 济南市

Corresponding Author: Guo Kai, Research Assistant, Key Laboratory of High Efficiency and Clean Mechanical Manufacture, Shandong University, Ministry of Education, School of Mechanical Engineering, Shandong University, Research Center for Aeronautical Component Manufacturing Technology and Equipment, Shandong University, Jinan 250061, China

值。目前,关于 WC-Ni 系硬质合金在烧结工艺、球磨工艺和配料方面的研究已有很多报道,主要研究粉料配比和烧结温度对 WC-Ni 系硬质合金性能的影响,而鲜见压制压强对 WC-Ni 系硬质合金的研究报道^[2-4]。本文主要研究不同压制压强对 WC-8% Ni 硬质合金相对密度、平均线收缩系数、孔隙度和性能的影响。

2 实验材料制备与方法

(1) 试样材料制备

实验所用原材料为自贡硬质合金厂生产的 WC 粉,成都市科隆化学品有限公司生产的 Ni 粉,具体成分见表 1。将上述两种原料 WC: Ni 按照质量分数 92:8 的配比进行配料。粉料经行星球磨机湿磨,球磨时间 36h,球磨介质为无水乙醇。将球磨后的混合浆料静止 2h 后分离出沉淀浆料,沉淀浆料在蒸汽干燥柜中烘干,烘干温度为 70℃~90℃,保温时间 1~2h。接着将干燥后的混合料进行 120 目筛网筛选后掺 SD 胶实验,掺胶比例 80ml/kg,然后将掺胶后的混合料再次进行 70℃~90℃保温 1~2h 烘干,最后用 80 目筛网进行擦筛造粒。

表 1 实验用原材料

原料	粒度(μm)	主要化学成分
WC	2.15	总碳:5.92%;化合碳:5.85%;游离碳:0.07%
Ni	2.4	Ni 含量 >99%

在 YAN30-25 型单柱校正压装液压机上压制硬质合金 B 型试样条,压制方案分为 4 组,每组试样压制的压强分别为 160MPa,240MPa,320MPa,400MPa,保压时间为 3s。压制的 B 型试样条在真空烧结炉中烧结,烧结温度为 1480℃,保温时间为 60min。

(2) 实验方法

采用排水法测定烧结后硬质合金的密度,并计算相对密度。根据 GB/T3849.2-2010,在 HR-150A 上测定硬质合金的洛氏硬度 HRA;按照 GB/T3851-2015 标准,通过三点弯曲试验在 SHT-4305 型万能试验机测定硬质合金的抗弯强度;按照 GB/T3489-2015 在 Olympus-Tokyo 型金相显微镜观察硬质合金的孔隙度。

3 实验结果与分析

3.1 压制压强对硬质合金相对密度及孔隙度的影响

压制压强与 WC-8% Ni 硬质合金密度和相对密度的变化规律见表 2。可见,当压制压强从

160MPa,240MPa,320MPa,400MPa 增加时,硬质合金的密度分别增加 0.014g/cm³、0.007g/cm³、0.003g/cm³,其相对密度分别增加 0.09%、0.05%、0.02%。说明随着压制压强的增大,硬质合金的密度和相对密度先迅速增加而后增幅变缓。

表 2 不同压制压强下硬质合金的相对密度及孔隙度

编号	压制压强 (MPa)	实测密度 (g/cm ³)	理论密度 (g/cm ³)	相对密度 (%)	孔隙度	压坯成型
1	160	14.593	14.739	99.01	A02B02	较好
2	240	14.607	14.739	99.10	A02B00	较好
3	320	14.614	14.739	99.15	A02B00	较好
4	400	14.617	14.739	99.17	A02B02	细微裂纹、分层

试样在压制过程中,第 1 组和第 2 组压坯密度随着压强的逐渐增加,粉末颗粒间相对疏松,受气体迅速被排除,压坯密度迅速增大;第 3 组随着压强继续增大至 320MPa,粉末颗粒间以挤压变形为主,孔隙受到强烈挤压而变小,气体排出量增加变少,密度升高的趋势逐渐变缓;第 4 组随着压强再次增加至 400MPa 时,压坯粉末颗粒达到了压缩极限,密度几乎不增长,待保压结束外力撤销后,压坯可能会发生弹性变形,在压坯的薄弱部位(如棱角处)会产生应力集中而出现裂纹或分层。说明在压制过程中,压制压强并不是越大越好,而是有合适的范围。

3.2 压制压强对硬质合金平均线收缩系数的影响

硬质合金的平均线收缩系数^[5]公式可表示为

$$C_l = \frac{V_0}{V} = \frac{a_0 b_0 c_0}{abc} \quad (1)$$

$$C_v = \sqrt[3]{C_l} \quad (2)$$

式中, C_l 为平均线收缩系数; C_v 为体收缩系数; V_0 为压坯的体积; V 为压坯烧结后的体积; a_0, b_0, c_0 分别为压坯长、宽、高各方向的尺寸; a, b, c 分别为压坯烧结后长、宽、高各方向的尺寸。

图 1 为 WC-8% Ni 硬质合金平均线收缩系数,可见,硬质合金线平均线收缩系数随着压强的增大而逐渐变小。开始时从 160MPa 到 320MPa,平均线收缩系数较大,后面趋于平缓稳定,这是由于开始时压强相对较小,试样的致密度较低,在烧结过程中气体、粘结性 Ni 填充试样中的孔隙,造成体积收缩较大,而在较大的压制压强下,试样致密度较高,收缩较小,表现出较低的线收缩系数。

3.3 压制压强对硬质合金硬度的影响

影响硬质合金硬度性能的主要因素有合金致密度(相对密度)、粘结相体积分数和 WC 的晶粒尺寸

大小。硬质合金的孔隙度、晶粒尺寸与硬度关系公式^[6]可表示为

$$H = Kd^{-a}e^{-bp} \quad (3)$$

式中, H 为硬质合金的硬度; d 为合金的 WC 晶粒尺寸; P 为孔隙度; K, a, b 为常数。可知, 合金的孔隙度 P 减小、晶粒细化将会使硬质合金硬度增加。

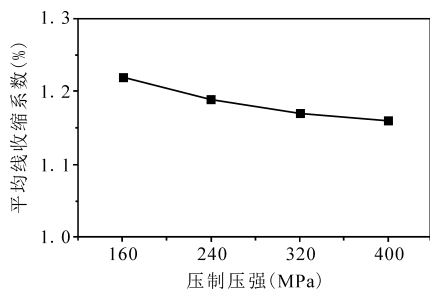


图1 压制压强与 WC-8%Ni 硬质合金平均线收缩系数关系

图2 为不同压制压强与 WC-8%Ni 硬质合金硬度的变化曲线。可以看出, 随着压制压强的增加, 硬度先增大后减小。在粘结性和 WC 晶粒度一定的情况下, 合金的致密度和孔隙度是对硬度的直接影响, 结合表2 可以得出, 随着压制压强的增大, 致密度提高, 孔隙度降低, 硬度逐渐增加; 但在 400MPa 时, 虽然合金致密度提高, 但是孔隙度较差, 其对合金硬度降低的影响远大于致密度的增进作用, 表现出硬质合金硬度降低。

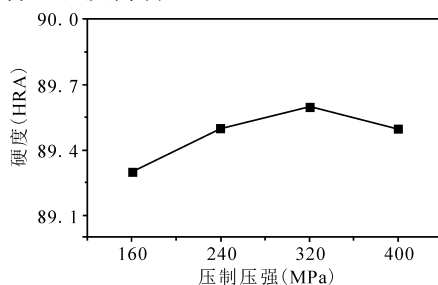


图2 压制压强与 WC-8%Ni 硬质合金硬度关系

3.4 压制压强对硬质合金抗弯强度的影响

图3 为不同压制压强与 WC-8%Ni 硬质合金抗弯强度的变化曲线。可以看出, 随着压制压强的增加, 抗弯强度先增大而后减小。在 160MPa ~ 320MPa 的范围内, 随着压制压强的增加, 硬质合金的抗弯强度逐渐增加; 而在压制压强大于 320MPa 后抗弯强度减小, 这与硬质合金硬度变化一致。分析原因是孔隙对材料的力学性能(如抗弯强度、拉伸强度、抗压强度)具有较大的影响, 材料的力学性能与孔隙的关系^[7]可表示为

$$\delta = K\delta_0 f(\theta) \quad (4)$$

式中, δ 为烧结材料的静态强度; δ_0 为致密材料的强度; K 取决于材料本身性能和制造工艺; θ 为孔隙

度。可知, 当孔隙变多时, 材料的力学性能降低。

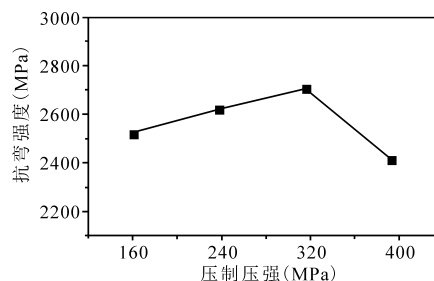


图3 压制压强与 WC-8%Ni 硬质合金抗弯强度关系

4 结语

(1) 对于 WC-8%Ni 硬质合金的压坯试样而言, 并不是压制压强越大越好, 而是有一个合适的范围, 在 300MPa 时, 相对密度和孔隙度达到最佳值。

(2) WC-8%Ni 硬质合金平均线收缩系数随着压制压强的增大而减小, 压强越大, 合金致密度越高, 平均线收缩系数越小。

(3) WC-8%Ni 硬质合金硬度和抗弯强度随压制压强的增大先增加而后减小, 这主要是由于合金的致密度和孔隙度而引起。

参考文献

- [1] 陈楚轩. 硬质合金质量控制原理[M]. 自贡硬质合金有限责任公司, 2007.
- [2] 唐鹏. 铁镍代钴型硬质合金应用研究[D]. 南宁: 广西大学, 2006.
- [3] 郭智兴. 提高 Ni 代 Co Yr5 硬质合金切削刀具材料硬度与耐磨性的研究[D]. 成都: 四川大学, 2006.
- [4] 应夏钰, 熊计, 郭智兴, 等. 烧结温度对铁镍代钴硬质合金组织和性能的影响[J]. 硬质合金, 2011, 28(1): 17-21.
- [5] 王权, 彭建财, 陈德平, 等. 压制压力对合金产品的影响[J]. 工具技术, 2015, 49(6): 47-50.
- [6] 李亚军, 栾道成, 王正云, 等. 晶粒长大抑制剂对超细 WC-9%Co 硬质合金性能的影响[J]. 硬质合金, 2011, 28(5): 288-293.
- [7] 王乐, 易健宏, 戴煜, 等. 压制压力对粉末冶金烧结硬化钢性能的影响[J]. 粉末冶金材料科学与工程, 2008, 13(2): 97-101.

第一作者: 李亚军, 中国石油集团济柴动力有限公司成都压缩机分公司, 610100 成都市

First Author: Li Yajun, CNPC Jichai Power Company Limited Chengdu Compressor Branch, Chengdu 610100, China

通信作者: 王正云, 博士, 高级实验师, 西华大学材料科学与工程学院, 610039 成都市

Corresponding Author: Wang Zhengyun, Doctor, Senior Lab Master, School of Material Science and Engineering, Xihua University, Chengdu 610039, China