

[文章编号] 1004- 0609(2002)04- 0714- 05

碳化钛-高锰钢结硬质合金的碎裂成因^①

刘舜尧

(中南大学 机电工程学院, 长沙 410083)

[摘 要] 利用扫描电镜与金相观察等分析方法, 研究了碳化钛-高锰钢结硬质合金在焊接和使用过程中产生裂纹与碎片的成因。结果表明, 当硬质相(TiC)之间的粘结相成分 Mn, Fe 等元素含量偏低时, 则粘结相的相对含量明显减少, 粘结效果变差, 致使硬质相在烧结过程中发生邻接和聚集长大, 晶粒出现不均匀粗化, 导致合金微区强韧性降低, 在焊接应力(或外力)作用下容易产生微裂纹, 若应力(或外力)进一步增大或作用时间延长, 微裂纹将迅速扩展形成宏观裂纹进而脆裂成碎片。提出了在烧结过程中避免粘结相挥发、流失及硬质相邻接长大的工艺措施, 以改善合金的组织与性能, 防止产生裂纹与碎片。

[关键词] 碳化钛; 高锰钢结硬质合金; 碎裂成因

[中图分类号] TG 135.5

[文献标识码] A

钢结硬质合金是利用粉末冶金方法制取的既具有钢的强韧性、又具有金属陶瓷高硬度的新型材料, 碳化钛-高锰钢结硬质合金即是世界各国材料专家广泛开展研究与开发应用的一种钢结硬质合金^[1], 我国常用牌号有 TM52 和 TM60^[2~4]。近些年来, 这类钢结硬质合金的应用范围在不断扩大, 制品的形式也在不断增多。由于其产品在焊接中常产生焊接裂纹, 使用过程中常崩裂成碎片, 影响产品的质量和使用寿命, 造成严重的经济损失。作者采用扫描电镜微区能谱成分分析、断口形貌扫描以及微观金相组织分析方法, 对产生裂纹与碎片的合金样品进行了实验研究, 发现了导致合金脆裂的基本原因。并且根据该系列硬质合金的特点, 从烧结温度、升温加热速度和真空度等方面提出了改善合金的组织与性能、防止产生脆裂的工艺措施, 为碳化钛-高锰钢结硬质合金的制备与应用提供了参考依据。

1 实验方法

TM52 和 TM60 的钢基体是锰含量较高(9%~11% Mn, 质量分数)的一类钢结硬质合金, 并含适量的 Ni, Mo 等合金元素, 其牌号和成分如表 1 所示。它的基体不同于一般的高锰钢, 是一种改型高锰钢^[5, 6], 含 10% 锰左右的合金相图如图 1 所示。由图 1 可见, 在一定的温度和成分范围合金为单相奥氏体, 在室温下为多相组织^[7]。这说明合金需通

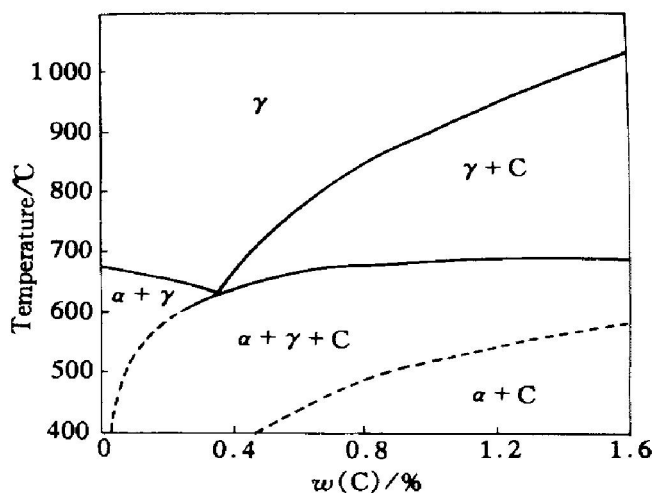


图 1 含 10% Mn 的铁碳合金相图的垂直截面

Fig. 1 Vertical section of phase diagram for Fe-C alloy containing 10% Mn

表 1 碳化钛-高锰钢结硬质合金的牌号和化学成分

Table 1 Trademarks and chemical compositions of TiC-high manganese steel bonded carbides (mass fraction, %)

Trademark	Hard phase TiC	Bonding phase				
		Mo	Ni	Mn	C	Fe
TM52	52	1.2	1.2	9.0	1.0	Bal.
TM60	40	1.4	1.2	11.0	1.0	Bal.

过水韧处理才能获得单相奥氏体。实际生产中, 烧结这类钢结硬质合金使用的真空烧结炉一般都具有快速冷却的功能, 合金经真空烧结后, 随炉在真空

① [收稿日期] 2002- 05- 30; [修订日期] 2002- 07- 04

[作者简介] 刘舜尧(1950-), 男, 副教授。

下冷却就能获得单一的奥氏体组织, 不需另外进行水韧处理。

表 2 所示是碳化钛-高锰钢结硬质合金的性能。可以看出, 合金应具有足够高的强度和硬度。但在实际生产过程中, 强度性能往往难以达到表 2 所列的指标, 并且在焊接和使用中, 该类型钢结硬质合金容易产生裂纹与碎片。

表 2 碳化钛-高锰钢结硬质合金的性能
Table 2 Properties of TiC-high manganese steel bonded carbides

Trademark	Density/ ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	Bend strength/ MPa	Quenching state HRC
TM 52	≥ 6.1	1 900	60~ 62
TM 60	≥ 6.2	2 000	62~ 64

在有裂纹或已产生碎片的合金中切取试样, 与没有缺陷的合格产品试样进行对比分析, 采用电子显微镜的能谱方法分析粘结相中的成分变化, 观察合金断口的形貌特征, 再结合金相组织分析方法, 进行综合判断^[8~ 10]。实验中使用的主要仪器有 KYKY-2800 电子显微镜与 HR-150A 洛氏硬度计等。

2 结果分析

2.1 扫描电镜能谱分析

对 TM 52 合金的碳化钛颗粒之间的粘结相进行了微区电镜能谱成分分析, 能谱分析结果见图 2 和图 3, 碳化钛晶粒之间的能谱分析成分见表 3。

由图 2, 3 与表 3 可以看出, 碎片合金中硬质相有明显的邻接和长大现象, 碳化钛晶粒之间的硬质相成分的峰值很高。这表明在合金烧结过程中, 硬质相 TiC 已扩散至粘结相中; 粘结相成分的峰值很低, Mn, Fe 元素的含量与合格态合金相差甚远, 只相当于合格合金的 50% 左右, 就是说, 碎片合金某些硬质相之间粘结相的相对量比合格合金硬质相之间粘结相的相对量要少, 这必然导致粘结效果差, 微观区域的强韧性低。若此处的应力超过其强度值时, 即很容易产生微裂纹, 当应力进一步增大或作用时间延长, 微裂纹将会扩展为宏观裂纹甚至碎裂, 这就是合金在焊接或使用过程中产生裂纹以及碎片的主要原因^[11]。

2.2 合金断口形貌的扫描电镜分析

对碎片合金与正常合金进行了断口扫描电镜分

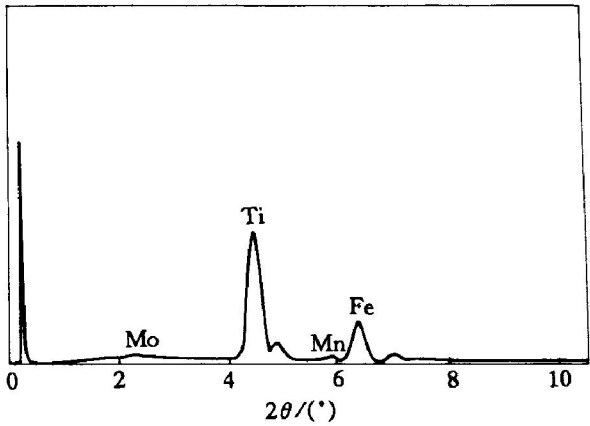


图 2 碎片合金中碳化钛晶粒之间
粘结相化学成分的能谱分析

Fig.2 EDS spectrum of chemical compositions of bonding phases between TiC crystal grains of splintery alloy

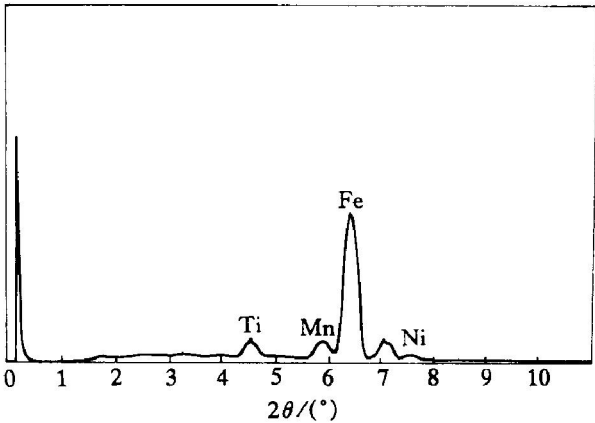


图 3 合格合金中碳化钛晶粒之间
粘结相的成分能谱分析

Fig.3 EDS spectrum of chemical compositions of bonding phases between TiC crystal grains of qualified alloy

表 3 TM52 合金碳化钛晶粒之间
粘结相的微区化学成分能谱分析

Table 3 EDS analysis of chemical compositions of bonding phases between TiC crystal grains of TM 52(mass fraction, %)

State of alloy	Mo	Mn	Ni	Ti	Fe
Splintery state 1 [#]	1.31	2.33	0	52.67	43.70
Splintery state 2 [#]	1.52	2.64	0.57	51.43	43.84
Qualified state 1 [#]	0	4.63	3.31	2.34	89.71
Qualified state 2 [#]	0	4.83	3.61	2.04	89.52

析, 结果见图 4 和图 5。

在扫描电镜观察过程中, 几乎所有碎片断口都未发现韧性断裂痕迹, 属脆性断裂(图 4)。而合格

产品的断口主要是韧性断裂(图 5)。

对碎裂合金和正常合金进行了显微组织对比分析,结果见图 6 和图 7。

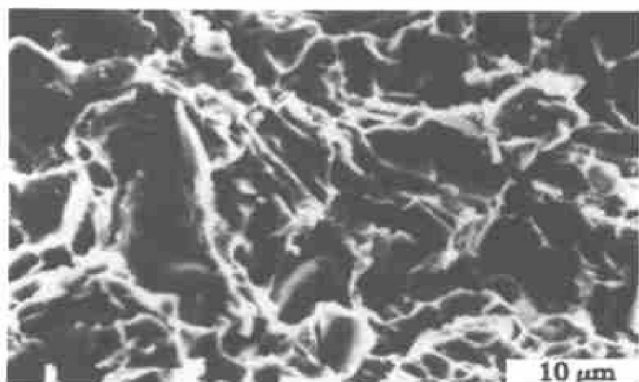


图 4 碎片合金断口形貌

Fig.4 Fractography of splintery alloy

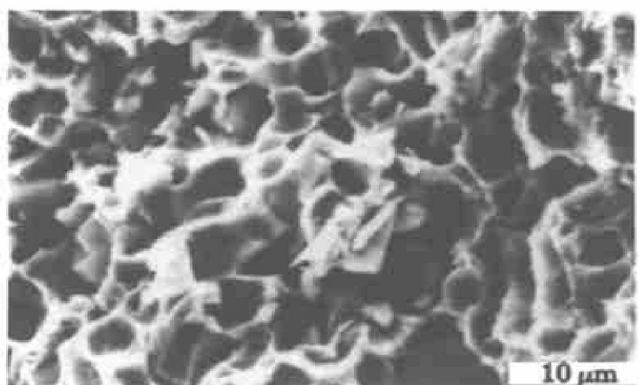


图 5 合格合金断口形貌

Fig.5 Fractography of qualified alloy

从试样显微组织看出,白色块状物为硬质相碳化钛,分布较均匀,边界清晰。碎片合金中硬质相 TiC 晶粒有邻接和长大现象,且晶粒粗细不均匀,平均晶粒度约为 $4\text{ }\mu\text{m}$ (图 6)。合格合金硬质相 TiC 的晶粒粗细均匀,平均晶粒度约为 $2.4\text{ }\mu\text{m}$ (图 7)。

2.3 合金的加工硬化效应试验

高锰钢奥氏体组织在冲击应力作用下将产生加工硬化效应,能增强材料的使用性能。为了测定碳化钛-高锰钢结硬质合金是否同样具有此效应,对 TM60 合金选择 2 组试样进行了加工硬化试验。一组是烧结态的合格产品,另一组是碎裂报废产品的残体。模拟试验采用锤打冲击法。结果显示:合格产品在此试验条件下没有发生碎裂现象,且其硬度 HRC 可升高 2~5,加工硬化效应明显;而报废产品尽管本身硬度很高,但经不住锤打冲击而全部碎

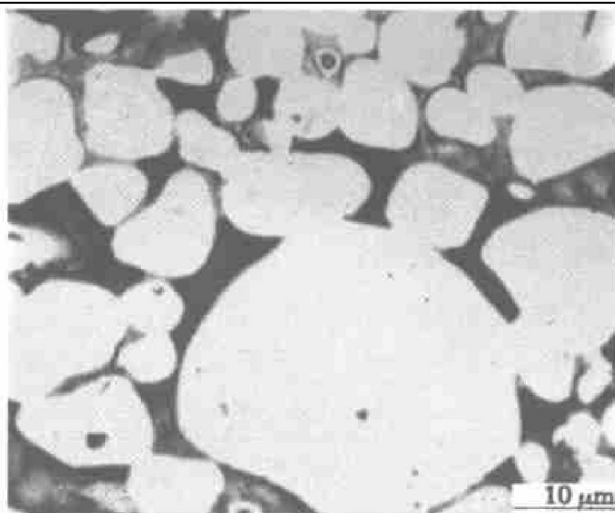


图 6 碎片合金显微组织

Fig.6 Microstructure of splintery alloy

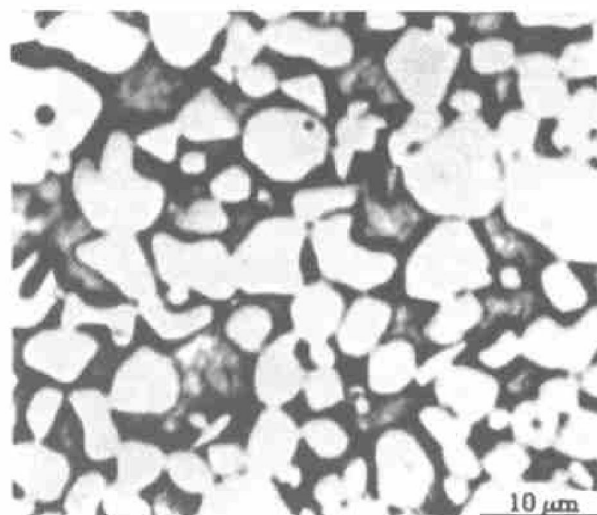


图 7 合格合金显微组织

Fig.7 Microstructure of qualified alloy

裂,说明该种合金由于硬质相之间的粘结相成分 Mn, Fe 等元素含量偏低,粘结相的相对量减少,在烧结过程中硬质相有邻接与聚集长大行为,合金的强韧性差,在外力作用下,不仅不显现类似高锰钢奥氏体相的加工硬化效应,而且易于形成微区裂纹并迅速扩展而产生宏观碎裂,结果见表 4。

3 提高合金强韧性的工艺改进措施

针对碳化钛-高锰钢结硬质合金在焊接和使用过程中常产生裂纹与碎片的问题,根据前述实验分析结果进行了工艺方法研究,取得了提高合金强韧性、防止产生裂纹与碎片的良好效果,所提出的提高合金强韧性的工艺改进措施如下:

表 4 加工硬化效应试验结果

Table 4 Rockwell hardnesses of work harden test

Alloy	HRC			
Qualified alloy before test	61.5	62.0	59.5	60.5
Qualified alloy after test	63.0	64.0	64.5	65.0
Splintery alloy before test	69.0	69.0	70.0	69.5
Splintery alloy after test	All change into lesser splinters			

1) 烧结温度 碳化钛-高锰钢结硬质合金的最终烧结温度一般取 1 420 ℃较合适。烧结温度不宜过高,温度过高会使碳化钛晶粒长大速度加快,甚至使粘结相变成液相金属流失,从而使硬质相发生邻接、聚集并长大,形成碎裂源。这就是前面分析的硬质相晶粒之间的粘结相变少的原因。当然烧结温度也不能过低,否则会使合金欠烧。

2) 烧结时的升温速度 此类合金烧结时升温加热速度不宜快,特别是在脱胶、还原和液相烧结的 3 个阶段中,要严格控制升温速度和保温时间。因为在低温脱胶阶段,是压坯释放压制应力和成形剂挥发的过程,若升温速度快,则因成形剂来不及挥发而液化后变成蒸汽,使压坯产生爆裂或微裂现象;在 900 ℃以上的还原阶段,要让压坯有足够的时间脱去所用原料粉末(如 Mn-Fe 中间合金)中的挥发物和氧;进入液相烧结阶段时,也要放慢升温速度才能使压坯充分合金化。钢结硬质合金的烧结原理就是润湿原理,让液相充分润湿固相(硬质相),否则液相金属 Fe, Mn 等会析出在压坯表面,甚至流失。

3) 炉内真空度 在进入液相烧结阶段时,除了前面提到的要控制烧结温度和速度以外,还要控制烧结时炉内的真空度,因为过高的真空度会使液相金属大量挥发,造成成分偏析。

4 结论

1) 碎片合金中硬质相 TiC 之间的 Mn, Fe 含量较之合格合金低,硬质相之间粘结相的相对量明显减少,粘结效果变差,致使硬质相在烧结过程中发生邻接和聚集长大,且出现晶粒不均匀粗化,是导致合金微区强韧性低,在焊接应力(或外力)作用下极易产生微观裂纹并扩展成宏观裂纹或形成碎片的原因。

2) 碎片碳化钛-高锰钢结硬质合金在外力作用下极易发生脆性断裂,测试不到加工硬化效应,而合格合金具有明显的加工硬化效应。

3) 提高碳化钛-高锰钢硬质合金性能、防止脆裂的工艺措施主要是应严格控制烧结温度、烧结时的加热速度和真空度,避免烧结阶段造成粘结相成分挥发、流失与成分偏析,防止硬质相发生邻接和聚集长大行为。

[REFERENCES]

[1] Jakab. Characterization of the serviceability of steel bonded hardmetals [J]. Refractory Metals & Hard Materials, 1993, 12(6): 341- 348.

[2] 张春友,熊惟皓. 钢结硬质合金在模具工业中的应用 [J]. 机械工程材料, 1998, 22(6): 39- 42.
ZHANG Chunyou, XIONG Weihao. Application of steel bonded carbides in die industry [J]. Materials for Mechanical Engineering, 1998, 22(6): 39- 42.

[3] 朱心昆,赵昆渝,程抱昌,等. 高能球磨制备纳米 TiC 粉末 [J]. 中国有色金属学报, 2001, 11(2): 269-272.
ZHU Xinkun , ZHAO Kunyu, CHENG Baochang, et al. Fabrication of nanocrystalline TiC powder by high-energy ball milling [J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2001, 11(2): 269- 272.

[4] 刘舜尧,张春友. GT35 钢结硬质合金应用技术研究 [J]. 稀有金属与硬质合金, 2001(2): 25- 35.
LIU Shun-yao, ZHANG Chunyou. Study of applied techniques for GT35 steel-bonded carbides [J]. Rare Metals & Cemented Carbides, 2001(2): 25- 35.

[5] 株洲硬质合金厂. 钢结硬质合金 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1982.
Zhuzhou Cemented Carbide Factory. Steel-Bonded Carbides [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1982.

[6] 崔宏. 碳化钨-高锰钢结硬质合金显微组织研究 [J]. 湖南冶金, 1994(1): 11- 13.
CUI Hong. Research on microstructure of WC-high manganese steel bonded carbides [J]. Hunan Metallurgy, 1994(1): 11- 13.

[7] 冶金部钢铁研究院. 合金钢手册 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1972.
Iron and Steel Institute of the Department of Metallurgical Industry. Alloy Steel Handbook [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1972.

[8] 尤显卿. 钢结硬质合金轧辊产生破裂原因的研究 [J]. 金属制品, 1993, 19(1): 23- 28.
YOU Xian-qing. Research on reasons of steel bonded carbide roller cracking [J]. Products of Metals, 1993, 19(1): 23- 28.

[9] 陈雪松. 组织结构对 YT15 合金刀具崩刃脆性破损的影响 [J]. 硬质合金, 2000, 17(1): 34- 38.
CHEN Xuesong. The influence for microstructure of

- YT15 carbide tool fragmentizing [J]. Cemented Carbides, 2000, 17(1): 34–38.
- [10] 石振海. DT 碳化钨钢结硬质合金显微组织研究 [J]. 粉末冶金技术, 1992(3): 140–145.
- SHI Zhen-hai. Investigation of microstructure of DT type WC-steel bonded carbides [J]. Powder Metallurgical Technology, 1992(3): 140–145.
- [11] 杨崇善. 矿用硬质合金碎片原因的显微组织分析 [J]. 稀有金与硬质合金, 1991(1): 24–27.
- YANG Chong-shan. The analysis on microstructure for mining carbides fragmentizing [J]. Rare Metals & Cemented Carbides, 1991(1): 24–27.

Causes of cracking for TiC-high manganese steel bonded carbides

LIU Shuryao

(School of Mechanical and Electrical Engineering, Central South University,
Changsha 410083, China)

[Abstract] The causes for crack formation and splinter occurrence in TiC-high manganese steel bonded carbides were investigated by means of SEM and metallographic analysis. If the content of Mn, Fe in bonding phase between hard phase TiC is low, the relative content of bonded phase between hard phases is obviously decreased, and its cohesiveness is turned to bad, which leads to the overlap and coalescence of hard phases during sintering process, then inhomogeneous coarse-crystallized grain occurs obviously. Due to low strong toughness, it is easy to crack under welding stress (or external force). If the stress (or external force) is increased or the action period is prolonged, microcracks are propagated promptly to big cracks, eventually change to splinters. Technological measures for improving structure and performance of the alloys to prevent cracking and splintering were proposed.

[Key words] TiC; high manganese steel bonded carbide; causes of cracking

(编辑 陈爱华)