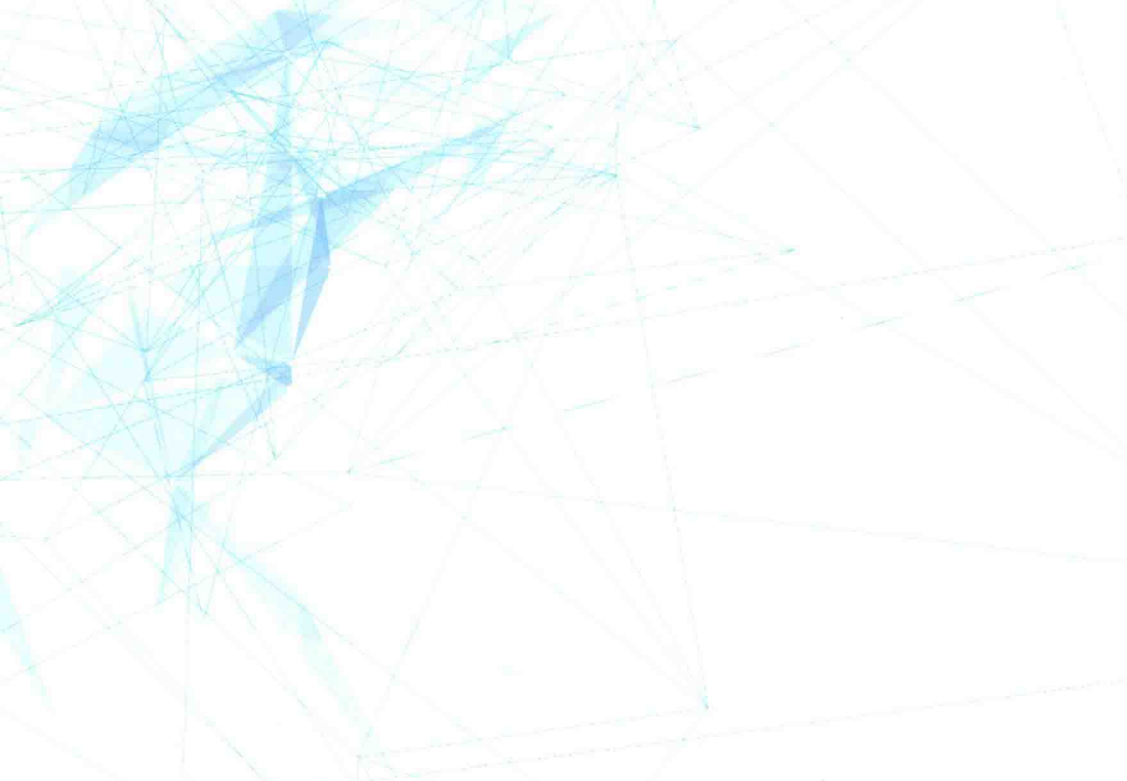




钢结硬质合金 的制备原理与技术

何旭初 陈兆盈 编著



湖南科学技术出版社



钢结硬质合金 的制备原理与技术

何旭初 陈兆盈 编著

CBS
Publishing & Media
中南出版传媒



湖南科学技术出版社

图书在版编目 (C I P) 数据

钢结硬质合金的制备原理与技术 / 何旭初, 陈兆盈编著.
— 长沙: 湖南科学技术出版社, 2017. 1

ISBN 978-7-5357-8036-2

I. ①钢… II. ①何… ②陈… III. ①钢结硬质合金—
制备 IV. ①TG135

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 138244 号

GangJie YingZhiHeJin De ZhiBei YuanLi Yu JiShu 钢结硬质合金的制备原理与技术

编 著: 何旭初 陈兆盈

责任编辑: 杨 林 林澧波

出版发行: 湖南科学技术出版社

社 址: 长沙市湘雅路 276 号

<http://www.hnstp.com>

湖南科学技术出版社天猫旗舰店网址:

<http://hnkjcs.tmall.com>

邮购联系: 本社直销科 0731-84375808

印 刷: 长沙鸿和印务有限公司

(印装质量问题请直接与本厂联系)

厂 址: 长沙市望城区金山桥街道

邮 编: 410200

版 次: 2017 年 1 月第 1 版第 1 次

开 本: 710mm×1100mm 1/16

印 张: 31.25

字 数: 561000

书 号: ISBN 978-7-5357-8036-2

定 价: 98.00 元

(版权所有 · 翻印必究)

前 言

钢结硬质合金是以钢为黏结相，以碳化钛或碳化钨等为硬质相，主要以粉末冶金方法生产的一种钢基复合材料。该材料的组织特点是细微的硬质相晶粒均匀、弥散地结合于钢基体中，钢结硬质合金的这种硬软揉合的复合结构赋予了该合金旺盛的生命力。钢结硬质合金的基体是钢，但其硬度和耐磨性都远远超过了钢基体本身；钢结硬质合金的硬度和耐磨性与硬质合金一样都是源于合金中有硬质相的存在，但钢结硬质合金又克服了普通硬质合金的韧性较差、加工困难的缺点。钢结硬质合金不仅可以机械加工，而且有的品牌还可以锻造和用普通电焊工艺焊接；经热处理后的钢结硬质合金的硬度可以达到 70~73HRC；同时，钢结硬质合金还具有一系列优异的耐高温、抗氧化，抗各种酸、碱、盐等介质腐蚀的特点。

经过约六十年的发展，钢结硬质合金早已从填补高速钢与硬质合金之间的性能沟壑角色中走出，发展成深受关注的新型工程材料。这不仅在于钢结硬质合金的硬质相迅速地向着多样化方向发展，由 TiC、WC 扩大到其他碳化物如 VC 等，还进一步扩大到 TiN、TiCN、TiB₂、Mo₂FeB₂、TiC—Al₂O₃、TiB—TiC 等这些陶瓷相；其作为黏结相的钢种亦不断增多；同时合金中硬质相和黏结相的含量也依据使用的需要而拓宽，如有的在保证合金足够强度的情况下为了尽量提高耐磨性，而将其硬质相的含量提高到 94%；也有在保证足够耐磨性的同时，为了尽量提高其强度而将其钢基体含量提到 90% 的。与此相应的是，不仅钢结硬质合金原料的制造方法推陈出新，而且钢结硬质合金的制造技术同样也在革新鼎故。其应用范围亦日益广泛地深入工业生产、军工、航空、科技等各个部门，并获得各界的高度认可。可以说钢结硬质合金材料经过数十年的风雨洗礼，业已发展成为新材料百花园中一朵艳丽的奇葩。

自株洲硬质合金集团公司的肖玉麟先生担纲编著的《钢结硬质合金》一书 1982 年出版以来，三十多年过去了，一直没有一本比较全面地总结钢结硬质合金近三十多年来发展的理论和实践的著作问世。这种情况显然与钢结硬质合

金这期间的快速发展不相适应。为了填补这一空缺，本书作者经过多年的努力，数易其稿，终于将这本《钢结硬质合金的制备原理与技术》呈献在广大专家、学者，尤其是长期从事钢结硬质合金研发和生产的行家们的面前。我们真诚地期望它多少能为填补上述空缺起到一些作用。书中的不足之处，也诚挚地欢迎读者们批评指正。

编撰这本《钢结硬质合金的制备原理与技术》的另一缘由，是源自作者的单位——湖南省冶金材料研究院。该院的前身湖南省钢铁研究所1973年成立时，就组建了粉末冶金研究室。为了打好这个研究室的基础，领导专门从中南矿冶学院、上海冶金研究所、上海材料研究所、西北金属研究所、株洲601等单位调来了不少专业骨干，随之又在全国各地寻觅专业人才。

四十多年来湖南省冶金材料研究院在钢结硬质合金研究、生产和推广应用上作了很多努力，取得了一些成绩。总结这些工作，以便更好地推广这些来之不易的成果，是本书写作的原始驱动力。

本书的编撰得到了湖南省冶金材料研究院领导、同事闵小兵、钱小泰、储志强、朱小勇等的大力支持。没有冶金材料研究院的经费资助，本书就很难顺利出版。因此，本书作者深深地感谢研究院的领导和同事们。

本书的撰写分工为：陈兆盈撰写第一章的一、二节，第六章，第七章和第八章；此外，陈兆盈先生还为第三章提供了部分资料 and 为第五章提供了大部分资料和照片；何旭初撰写前言，第一章的第三、四、五节，第二章，第三章，第四章，第五章，第九章和第十章。

本书收集文献资料截至2016年4月。

本书作者也要真诚地感谢本书所引用文献的作者们，正是由于他们的智慧，才使本书能有一抹光彩。

末了，本书的作者还要诚挚地感谢该书的责任编辑杨林先生和林澧波先生，感谢为本书电脑排版的师傅们，他们孜孜以求完美的工作精神给作者留下了极深刻的记忆。正是由于他们的辛劳、细致和一丝不苟，本书才能以如此光鲜的面容呈献于社会，以接受广大专家和读者们的点评。

作者

于湖南省冶金材料研究院

2015年8月，2016年5月补充

目 录

第一章 钢结硬质合金基本知识和相关标准	(1)
第一节 概述	(1)
第二节 分类和牌号	(4)
第三节 钢结硬质合金材料毛坯外形形状规范	(5)
1.3.1 分类与型号	(5)
1.3.2 毛坯截面图与推荐毛坯尺寸	(6)
第四节 钢结硬质合金毛坯公称尺寸的规范	(11)
第五节 钢结硬质合金相关标准	(13)
1.5.1 钢结硬质合金相关国家标准名称及其标准号	(13)
1.5.2 对钢结硬质合金相关国家标准的学习与理解	(14)
1.5.3 碳化钨钢结硬质合金的力学性能测定方法要点	(17)
本章参考文献	(21)
第二章 钢结硬质合金原料的特性和制取	(22)
第一节 概述	(22)
第二节 碳化钛的特性、技术条件与制取工艺	(26)
2.2.1 碳化钛的特性	(26)
2.2.2 硬质合金用碳化钛的技术条件	(27)
2.2.3 碳热还原法制取碳化钛的工艺	(28)
2.2.4 燃烧合成法 (SHS) 制取碳化钛的工艺	(32)
2.2.5 碳化钛的其他合成方法简介	(36)
2.2.6 超细碳化钛、纳米碳化钛制取方法	(39)
第三节 碳化钨的特性、技术条件和制取工艺	(42)
2.3.1 碳化钨的特性	(42)

2.3.2	碳化钨的技术条件	(44)
2.3.3	固体炭碳化法制取碳化钨的工艺	(46)
2.3.4	三氧化钨直接碳化法制取碳化钨的工艺	(50)
2.3.5	气体喷射法由钨精矿直接制取碳化钨的工艺	(53)
2.3.6	粗晶碳化钨粉的制取原理与工艺	(56)
2.3.7	超细碳化钨、纳米碳化钨制取方法	(66)
第四节	其他碳化物、复式碳化物、氮碳化物和硼化物等硬质相的制备 方法简介	(74)
2.4.1	部分碳化物、氮化物、硼化物的性能	(74)
2.4.2	技术条件	(75)
2.4.3	制备方法	(77)
第五节	铁粉的特性与制取工艺	(85)
2.5.1	铁粉的特性	(85)
2.5.2	海绵铁粉生产工艺	(87)
2.5.3	还原轧钢铁鳞生产铁粉工艺	(89)
2.5.4	电解铁粉生产工艺	(91)
2.5.5	水雾化法铁粉生产工艺	(91)
2.5.6	羰基铁粉的优异性能与制备工艺	(94)
2.5.7	超细铁粉的制备方法	(97)
第六节	合金粉末的制备方法	(100)
2.6.1	雾化法制备合金粉末	(100)
2.6.2	电解沉积法制备合金粉末	(100)
2.6.3	化学还原法制备合金粉末	(101)
2.6.4	机械法制备合金粉末	(101)
第七节	纳米铁合金粉末的制备	(102)
2.7.1	高能球磨法制备纳米铁合金粉末	(102)
2.7.2	液相法制备纳米铁合金粉末	(103)
2.7.3	气相法制备纳米铁合金粉末	(104)
第八节	常用合金元素的特性和作用	(106)
2.8.1	常用合金元素的特性	(106)
2.8.2	常用合金元素的作用	(106)
第九节	主要辅助材料的技术要求	(116)
2.9.1	半精炼和全精炼石蜡的技术要求	(116)

2.9.2 丁二烯橡胶和丁钠橡胶的技术要求	(118)
2.9.3 溶剂油、工业丙酮、乙醇的技术要求	(119)
2.9.4 工业氢、纯氢、纯氮的技术要求	(123)
本章参考文献	(124)
第三章 钢结硬质合金生产技术的基本原理	(129)
第一节 黏结相的性质、作用和特点	(129)
3.1.1 黏结相的性质与作用	(129)
3.1.2 黏结相的特点	(130)
第二节 黏结相钢质基体中的合金元素	(131)
第三节 硬质相的结构、性质和特点	(139)
3.3.1 间隙相的结构	(139)
3.3.2 间隙相的性质、特点	(140)
第四节 难熔金属碳化物的相互作用	(141)
3.4.1 立方碳化物的互溶	(142)
3.4.2 立方碳化物与其他碳化物的互溶	(142)
第五节 铁族金属与碳化物的相互作用	(143)
3.5.1 铁族金属对碳化物的润湿性	(143)
3.5.2 碳化物在铁族金属中的溶解度	(145)
3.5.3 碳化物与铁族金属的伪二元系	(145)
第六节 钢结合金中常用碳化物的性质及作用	(146)
3.6.1 碳化钛的性质及作用	(146)
3.6.2 碳化钨的性质及作用	(149)
3.6.3 Ti (C,N)的性质及作用	(151)
3.6.4 其他类型硬质相	(152)
本章参考文献	(154)
第四章 钢结硬质合金的粉末冶金法生产工艺	(156)
第一节 粉末冶金法生产的工艺流程	(156)
第二节 粉末混合料的制备	(157)
4.2.1 混合料球磨过程的作用	(158)
4.2.2 影响球磨过程的基本因素	(159)
4.2.3 混合料制备的工艺与设备	(160)

4.2.4	混合料的鉴定	(164)
第三节	压制成形	(167)
4.3.1	成形剂的作用与成形剂的选择	(167)
4.3.2	渗蜡(胶)工艺与设备	(169)
4.3.3	压制工艺与设备	(171)
4.3.4	压坯的缺陷与分析	(179)
第四节	真空烧结	(181)
4.4.1	钢结硬质合金的液相烧结	(182)
4.4.2	烧结过程中压坯的收缩与影响因素	(184)
4.4.3	脱蜡(胶)工艺与设备	(186)
4.4.4	真空烧结的特点与优点	(190)
4.4.5	真空烧结设备	(193)
4.4.6	真空烧结工艺条件	(195)
第五节	钢结硬质合金烧结半成品的加工	(198)
4.5.1	机械加工	(198)
4.5.2	电火花加工	(200)
4.5.3	锻造加工	(202)
第六节	钢结硬质合金的热处理	(203)
4.6.1	相变临界点	(203)
4.6.2	退火	(205)
4.6.3	淬火	(206)
4.6.4	回火	(208)
4.6.5	时效硬化热处理	(209)
4.6.6	化学热处理	(210)
第七节	质量控制与废品分析	(212)
4.7.1	生产各工序的检测与控制技术	(212)
4.7.2	成品的检测控制技术	(213)
4.7.3	烧结毛坯的检测与退火	(215)
4.7.4	烧结缺陷与分析	(215)
第八节	钢结硬质合金其制备技术简介	(218)
4.8.1	液相法	(218)
4.8.2	原位合成法	(219)
4.8.3	喷射沉积法	(220)

4.8.4 放电等离子体烧结与微波烧结	(220)
4.8.5 工件表面复合钢结硬质合金层	(223)
本章参考文献	(225)
第五章 铬钼钢钢结硬质合金	(228)
第一节 概述	(228)
第二节 GT35 合金的成分与合金元素的作用	(231)
第三节 GT35 合金的金相组织与显微结构	(233)
5.3.1 GT35 合金的高倍金相组织	(233)
5.3.2 GT35 合金的低倍金相	(236)
5.3.3 GT35 合金的高温金相组织	(239)
5.3.4 GT35 合金的冷等静压金相组织	(241)
5.3.5 GT35 合金的锻造金相组织	(242)
5.3.6 GT35 合金对焊的金相组织	(243)
5.3.7 GT35 合金的非正常金相组织	(243)
5.3.8 GT35 合金的微观结构	(245)
第四节 GT35 合金的热处理	(247)
5.4.1 退火	(247)
5.4.2 淬火	(248)
5.4.3 回火	(252)
第五节 GT35 合金的锻造	(253)
5.5.1 钢结硬质合金锻造过程中硬质相颗粒的流动模型	(253)
5.5.2 GT35 合金的锻造工艺	(254)
5.5.3 锻造对 GT35 合金组织和性能的影响	(259)
5.5.4 锻造废品与缺陷	(260)
第六节 GT35 合金的冷加工工艺	(262)
5.6.1 切削加工	(262)
5.6.2 磨削加工	(263)
5.6.3 电加工	(264)
第七节 GT35 钢结硬质合金的应用	(264)
5.7.1 工模具方面的应用	(264)
5.7.2 耐磨零件及滚压工具方面的应用	(265)
5.7.3 量卡、夹具方面的应用	(265)

5.7.4 特殊应用方面	(265)
5.7.5 耐火材料模具方面	(265)
5.7.6 GT35 钢结硬质合金应用的实物照片	(265)
第八节 GT35 钢结硬质合金制备技术的新发展	(269)
5.8.1 放电等离子体烧结 GT35 合金的效果	(270)
5.8.2 钛铁矿碳热反应原位合成 GT35 合金	(272)
本章参考文献	(274)
第六章 高锰钢钢结硬质合金	(276)
第一节 概述	(276)
第二节 TiC 高锰钢钢结硬质合金	(278)
6.2.1 牌号、化学成分和物理机械性能	(278)
6.2.2 TiC 高锰钢钢结硬质合金的成分设计	(279)
6.2.3 TiC 高锰钢钢结硬质合金的金相组织	(279)
6.2.4 TM60 和 TM52 真空烧结的特点	(280)
6.2.5 钢结硬质合金耐磨性研究	(281)
第三节 WC 高锰钢钢结硬质合金	(284)
6.3.1 牌号、化学成分和物理机械性能	(284)
6.3.2 WC 高锰钢钢结硬质合金成分设计	(286)
6.3.3 WC 高锰钢钢结硬质合金的显微组织	(286)
6.3.4 YM13N 合金显微组织及相结构研究	(288)
第四节 TiC 高锰钢钢结硬质合金的应用	(290)
6.4.1 TiC 高锰钢钢结硬质合金的应用技术	(290)
6.4.2 TiC 高锰钢钢结硬质合金的应用	(292)
第五节 WC 高锰钢钢结硬质合金的应用	(298)
6.5.1 WC 高锰钢钢结硬质合金的应用技术	(298)
6.5.2 WC 高锰钢钢结硬质合金的应用	(301)
本章参考文献	(309)
第七章 铁镍钴钢结硬质合金	(310)
第一节 铁合金黏结相	(310)
第二节 牌号、化学成分和性能	(313)
7.2.1 牌号与化学成分	(313)

7.2.2 铁镍钴钢结硬质合金的性能	(314)
第三节 铁镍钴钢结硬质合金的应用	(316)
7.3.1 YHS23 牌号的应用	(316)
7.3.2 YHS10 牌号的应用	(317)
7.3.3 YHS15 牌号的应用	(319)
本章参考文献	(319)
第八章 TiC 基硬质材料	(320)
第一节 硬质相和黏结相	(320)
8.1.1 TiC 硬质相	(320)
8.1.2 Co 黏结相	(321)
8.1.3 Co-Fe 黏结相	(326)
8.1.4 TiC 基硬质材料中的 Co	(327)
第二节 TiC 硬质合金	(328)
8.2.1 一种类型的 TiC 硬质合金	(328)
8.2.2 应用和展望	(330)
本章参考文献	(330)
第九章 其他类型钢结硬质合金	(331)
第一节 不锈钢钢结硬质合金	(331)
9.1.1 不锈钢钢结合金黏结相的成分与特征	(331)
9.1.2 不锈钢型黏结相中合金元素的作用	(332)
9.1.3 不锈钢钢结合合金相结构及其变化	(336)
9.1.4 不锈钢钢结硬质合金的机械力学性能	(337)
9.1.5 原位合成 TiC 不锈钢钢结硬质合金	(339)
9.1.6 不锈钢钢结硬质合金的应用范围和使用效果	(343)
第二节 高铬钢钢结硬质合金	(344)
9.2.1 高铬钢型黏结相的成分及特征	(345)
9.2.2 高铬钢型黏结相中合金元素的作用	(345)
9.2.3 高铬钢钢结合合金的金相结构及其变化	(348)
9.2.4 高铬钢钢结合合金的机械力学性能	(351)
9.2.5 高铬钢钢结合合金的应用范围与效果	(353)
9.2.6 高铬钢钢结硬质合金的新发展	(353)

第三节 高速钢钢结硬质合金	(358)
9.3.1 高速钢型黏结相的成分及特征	(359)
9.3.2 高速钢型黏结相中合金元素的作用	(359)
9.3.3 高速钢钢结合金相结构及其变化	(362)
9.3.4 高速钢钢结硬质合金的机械力学性质	(364)
9.3.5 高速钢钢结合金的应用范围与效果	(364)
9.3.6 高速钢钢结硬质合金发展的新动向	(365)
本章参考文献	(368)

第十章 钢结硬质合金的发展现状与展望

(370)

第一节 概述

(370)

第二节 钢结硬质合金的内涵越来越丰富化、拓展化

(372)

10.2.1 硬质相和黏结相的繁衍和扩展

(373)

10.2.2 PRMMC 的理论和实践丰富和拓展了钢结硬质合金的内涵

(374)

10.2.3 实践的需要和相邻领域的发展促进了钢结硬质合金内涵的丰富和领域的拓展

(376)

第三节 钢结硬质合金的基础研究之风越来越浓，显微结构设计成效卓著

(378)

10.3.1 关于 TiC 系钢结硬质合金的显微结构研究和合金显微结构设计实践

(378)

10.3.2 对 WC 系钢结硬质合金抗磨损的基础性研究和电渣熔铸钢结硬质合金的开发

(381)

10.3.3 钢结硬质合金碳含量控制的研究取得长足进展

(383)

第四节 钢结硬质合金原材料制备工艺多样化、粒度趋细化、质量高精化、成本趋低化

(386)

10.4.1 钢结硬质合金原材料制备工艺的多样化

(386)

10.4.2 制粉技术的发展使粉末粒度趋细化、超细化

(390)

10.4.3 制粉技术的发展使粉末质量高精化

(391)

10.4.4 制粉技术的发展使制粉成本趋低化

(395)

第五节 钢结硬质合金的硬质相、黏结相的发展呈现多样化、多元化、扩充化

(396)

10.5.1 钢结硬质合金的硬质相的多样化

(396)

10.5.2	钢结硬质合金硬质相的多元化	(400)
10.5.3	黏结相的钢种不断扩大、相成分拓宽	(401)
10.5.4	向黏结相添加活性组元或稀土元素	(405)
第六节	钢结硬质合金制造技术工艺的现代化与灵活化	(406)
10.6.1	原料制取技术的现代化、灵活化	(407)
10.6.2	合金制取技术工艺的现代化、灵活化	(409)
第七节	钢结硬质合金产品性能的高精化、专业化	(412)
10.7.1	钢结硬质合金产品性能的高精化	(413)
10.7.2	高致密、高强度的新型 TiC 钢结合金	(415)
10.7.3	钢结硬质合金产品的性能专业化	(418)
第八节	钢结硬质合金的制造原料趋廉化、制造成本趋低化	(419)
10.8.1	以低廉原料生产同档次产品	(419)
10.8.2	改变工艺、技术参数提高产品质量	(421)
10.8.3	移植其他行业技术或创新技术降低成本	(422)
10.8.4	运用现代技术设备生产高性价比产品	(423)
第九节	钢结硬质合金的应用技术成熟化、应用领域拓展化	(424)
10.9.1	钢结硬质合金的应用技术成熟化	(424)
10.9.2	钢结硬质合金应用领域的拓展化	(427)
第十节	展望	(428)
	本章参考文献	(429)

附录		(436)
----	--	-------

附录 1	致密烧结金属材料与硬质合金密度测定方法 (要点)	(436)
附录 2	硬质合金横向断裂强度测定方法 (要点)	(439)
附录 3	硬质合金洛氏硬度 (A 标尺) 试验方法 (要点)	(442)
附录 4	硬质合金常温冲击韧性试验方法 (要点)	(445)
附录 5	硬质合金压缩试验方法 (要点)	(449)
附录 6	硬质合金维氏硬度试验方法 (要点)	(453)
附录 7	硬质合金——孔隙度和非化合碳的金相测定 (要点)	(464)
附录 8	烧结金属材料和硬质合金电阻率的测定 (要点)	(474)
附录 9	硬质合金热扩散率的测定方法 (要点)	(476)
附录 10	烧结金属材料和硬质合金弹性模量测定 (要点)	(479)
附录 11	硬质合金矫顽 (磁) 力测定方法 (要点)	(481)
附录 12	硬质合金磁饱和 (MS) 测定的标准试验方法 (要点)	(483)

第一章 钢结硬质合金基本知识和相关标准

第一节 概述^[1]

钢结硬质合金是一种粉末冶金材料，属于高刚性、高耐磨性的硬质材料体系。硬质材料中最重要的是硬质合金，发展较早，出现于 1923~1926 年间，由德国发明。钢结硬质合金是目前该材料体系中一个年消耗量较少的部分，但却是一个颇具特色的部分。钢结硬质合金发展较晚，出现于 1955 年前后，由美国发明。

钢结硬质合金发展初期，曾定义钢结硬质合金是介于硬质合金与工具钢之间的一种材料，既有硬质合金高刚性、高耐磨性的一面，又有工具钢可热处理、可机械加工的特点。但是，发展到今天，这一定义已经不能完全反映钢结硬质合金的全貌，因为目前属于可机械加工的钢结硬质合金仅是其中的一种类型，还有不可机械加工的钢结硬质合金，甚至有更高耐磨性的钢结硬质合金品种，其耐磨性已经与硬质合金相近。这种情况，使钢结硬质合金的概念更为模糊了。

1. 钢结硬质合金的主要应用范围

(1) 在工具材料方面的应用。钢结硬质合金在工具材料方面的应用范围很广。包括各种工模具，冷镦模具，滚压工具，金属成型模具，轧制和拉拔工具，切削工具，矿山、地质工具，煤炭、石油开采工具以及大口径工程井钻具等。

(2) 在耐磨材料方面的应用。这些应用包括：工程构件，破碎机械，破碎机锤头，磨煤机磨辊，混凝土输送泵耐磨件，料斗，溜槽，大型衬板，高速线材轧制传送耐磨工具，以及输送机械等。

(3) 特殊应用。钢结硬质合金的一些特别性能，例如低密度、高耐磨性、可机械加工等，在一些特殊应用中得以发挥，最典型的例子是应用于导航装置的主要部件——陀螺仪马达。

2. 钢结硬质合金的特点

(1) 资源丰富：钢结硬质合金原料来源丰富，价格相对低廉。钢结硬质合金主要成分是 Ti 和 Fe 两种元素，Ti 和 Fe 分布较广，储量丰富。资源的特点使钢结硬质合金具备长期发展的基础。

(2) 工艺性能好：钢结硬质合金各种牌号，分别有不同的工艺性能，包括：

- ①可以热处理和机械加工；
- ②可以进行锻造；
- ③可以进行电焊焊接；
- ④可以进行对焊连接；
- ⑤可以进行铸镶组合。

钢结硬质合金的工艺性能，在应用上具备更多功能，适应性更强，拓宽了更多的应用领域。

(3) 物理机械性能：钢结硬质合金具备高刚性耐磨材料的基本物理机械性能：高硬度，良好的耐磨性，优良的强度和较高的弹性模量；钢结硬质合金同时具备一些特别的物理机械性能。例如，较低的密度，一些牌号具有很高的冲击韧性，较硬质合金更高的热膨胀系数和更低的摩擦阻力，更优良的抗抗震性和抗裂纹形成、扩展能力，等等。因此，钢结硬质合金在一些特殊应用上，有着十分重要的地位。

3. 钢结硬质合金发展过程中值得注意的问题

(1) 资源的再生利用：钢结硬质合金在生产过程中产生的最终废品，以及在使用过程中损坏和报废的产品，在回收、再生和利用方面，目前很少进行一些试验和研究工作，也没有在工业规模上进行生产实践，更没有市场供给的需求。原因主要有三点：一是目前我国钢结硬质合金年消耗量较低，可能不到硬质合金年耗量的 1/100，达不到资源再生利用的规模和效益；二是钢结硬质合金废品回收的经济价值较低，回收消耗的成本费用与回收获得的经济收益相比，并不显著；三是目前钢结硬质合金较大消耗量的一种类型——高锰钢结硬质合金，往往与钢构件组合在一起，例如破碎机锤头和大口径工程井钻头，经过使用后，钢结硬质合金已经严重磨损，且很难与钢构件组合分离，因此，通常整体作为钢材回收处理。

但是，钢结硬质合金废品在不断积累，同时钢结硬质合金需要进一步发展，步入更大的工业规模，开发更多的品种。废弃制品的回收利用，资源的再生，循环经济的模式是必须要解决的。

(2) 抗腐蚀性能：钢结硬质合金虽然有优良的抗腐蚀性的牌号，但是，应用广泛的主要工业牌号，例如 GT35，抗大气腐蚀、抗酸碱介质腐蚀和抗高温氧化腐蚀的性能均低于硬质合金。因此，钢结硬质合金主要牌号抗腐蚀性能不足，在应用上受到限制。

(3) 钢结硬质合金硬质相分布的均匀性：金相观察钢结硬质合金的显微结构，特别是放大倍数在 300~500 倍的范围内，可以发现，以钢为基体的钢结硬质合金牌号，硬质相 TiC 和 WC 的分布是不均匀的。图 1-1 显示 GT35 合金退火态的金相组织，放大 400 倍。图中白色圆形颗粒 TiC，不均匀地分布在黑色的钢基体组织中，同时发生偏聚。硬质相分布不均匀的现象，在 TM60、TM52、TLMW50、GW50、GWJ50 等牌号都存在。

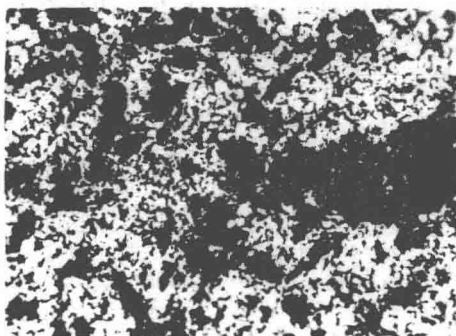


图 1-1 GT35 合金退火态组织×400

钢结硬质合金硬质相含量较低，是产生硬质相分布不均匀的主要原因。真空液相烧结时，硬质相颗粒达不到形成骨架的条件，便产生一种无序性的流动，形成了硬质相颗粒不均匀分布的状态，在粒度控制上产生很多困难。采用极细颗粒的 TiC 或 WC 硬质相，又会产生严重的集聚，很难获得一种硬质相弥散均匀分布在钢基体上的钢结硬质合金理想结构。

总而言之，钢结硬质合金，作为一种多用途优良性能的硬质材料，将会在中不断发展完善，充分的资源条件是其发展的重要基础。