

安徽省“十一五”重点图书

刘 宁◎等著

Ti(C,N)基 金属陶瓷材料

Ti(C,N)-based
cermets



合肥工业大学出版社
HEFEI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

Ti(C,N)基金属陶瓷材料/刘宁等著. —合肥:合肥工业大学出版社,2009.8

ISBN 978-7-5650-0000-3

I. T… II. 刘… III. 金属陶瓷 IV. TG148

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 130719 号

Ti(C,N)基金属陶瓷材料

刘 宁 等著

责任编辑 权 怡

责任校对 方 丹

出 版	合肥工业大学出版社	版 次	2009 年 9 月第 1 版
地 址	合肥市屯溪路 193 号	印 次	2009 年 9 月第 1 次印刷
邮 编	230009	开 本	787 毫米×1092 毫米 1/16
电 话	总编室:0551—2903038 发行部:0551—2903198	印 张	28.75
网 址	www.hfutpress.com.cn	字 数	699 千字
E-mail	press@hfutpress.com.cn	印 刷	安徽辉隆农资集团瑞隆印务有限公司
		发 行	全国新华书店

ISBN 978-7-5650-0000-3

定价: 60.00 元

如果有影响阅读的印装质量问题,请与出版社发行部联系调换。

前 言

Ti(C,N)基金属陶瓷是在 TiC 基金属陶瓷基础上发展起来的一种具有高强度、高硬度,以及优良的高温、耐磨性能的新型金属陶瓷。自从 1929 年 TiC-Ni 金属陶瓷问世以来,历经近 80 年的发展,Ti(C,N)基金属陶瓷在国外已被广泛应用于切削刀具制造。日本的 1/3 刀具采用 Ti(C,N)基金属陶瓷制造,美国和欧盟的 10% 以上刀具也是采用 Ti(C,N)基金属陶瓷制造。另外,它还可用于各类发动机的高温部件或石化工业中各种密封环和阀门,以及做各种量具。由于各方面原因,目前,我国刀具主要采用硬质合金制造,Ti(C,N)基金属陶瓷刀具应用相对较少。随着先进制造技术的发展,人们对刀具的耐用度和使用寿命提出了越来越高的要求;金属材料向高强韧度、高耐磨方向发展,也对刀具提出了更高的要求。由于硬质合金刀具在某些方面已无法胜任,可以预见,在不久的将来,Ti(C,N)基金属陶瓷刀具在我国的应用必将逐年增加。

1991~1994 年,作者在华中理工大学跟随中国工程院院士崔崑教授攻读博士学位时,博士论文题目就是“Ti(C,N)基金属陶瓷的制备及成分、组织和性能的研究”。1994 年毕业以后,作者一直从事 Ti(C,N)基金属陶瓷及刀具的研究工作,先后承担了国家自然科学基金、国家科技攻关、日本玻璃板基金、教育部骨干教师基金、安徽省自然科学基金等与 Ti(C,N)基金属陶瓷及刀具相关的科研课题。为了进一步推动 Ti(C,N)基金属陶瓷刀具在我国的应用,让更多的人了解这种材料,作者根据自己的经验和体会写了此书,相信会对金属陶瓷及刀具的发展起到积极的推动作用。

由于作者水平所限,书中不妥之处,恳请各位读者指正。

在研究金属陶瓷的过程中,始终得到我的导师崔崑院士的亲切教导和热情鼓励,在此,我向崔先生表示衷心的感谢,并致以崇高的敬意!

本书第 1 章由刘学松撰写,第 2 章由叶景风撰写,第 3 章由殷卫海撰写,第 4 章、第 7 章由荣春兰撰写,第 5 章由章晓波撰写,第 16 章由陈文琳、李伟撰写,其余各章由刘宁撰写。

最后,作者谨向几年来共同从事研究工作的有关人员表示感谢,没有他们的努力工作,本书是无法完成的。他们是:李华博士、李振红博士、陈明海博士、韩成良博士、晁晟博士、袁玉鹏博士、田春艳博士、许育东博士、杨海东博士、张崇高教授和黄新民教授。

作者

2008 年 12 月

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 从传统陶瓷到特种陶瓷	(1)
1.1.1 特种陶瓷的特性和应用领域	(2)
1.1.2 研究特种陶瓷的意义和特种陶瓷的发展前景	(2)
1.2 刀具材料的最新发展	(3)
1.2.1 涂层刀具	(3)
1.2.2 超细晶硬质合金刀具	(4)
1.2.3 金属陶瓷刀具	(4)
1.2.4 陶瓷刀具	(4)
1.2.5 超硬材料刀具	(4)
1.3 金属陶瓷的定义和一般原理	(5)
1.3.1 金属陶瓷的定义	(5)
1.3.2 金属陶瓷材料体系的选择原则	(5)
1.3.3 金属陶瓷复合原理	(7)
1.4 金属陶瓷的类型及应用	(8)
1.4.1 氧化物基金属陶瓷	(9)
1.4.2 碳化物基金属陶瓷	(11)
1.4.3 碳氮化物基金属陶瓷	(12)
1.4.4 硼化物基金属陶瓷	(12)
1.4.5 含石墨或金刚石状碳的金属陶瓷	(13)
1.5 金属陶瓷的制备、显微组织及合金成分对材料性能的影响	(14)
1.5.1 金属陶瓷的制备方法	(14)
1.5.2 金属陶瓷的显微组织及合金成分对材料性能的影响	(15)
1.6 金属陶瓷的性能与成本	(16)
1.7 金属陶瓷的应用、前景及发展趋势	(18)
1.7.1 金属陶瓷的应用及前景	(18)

1.7.2 金属陶瓷的发展趋势·····	(19)
1.8 Ti(C,N)基金属陶瓷材料的发展概况及特性·····	(19)
1.8.1 Ti(C,N)基金属陶瓷材料的发展·····	(19)
1.8.2 纳米与纳米技术·····	(21)
1.8.3 Ti(C,N)基金属陶瓷的结构和性能·····	(23)
1.8.4 Ti(C,N)基金属陶瓷的发展趋势·····	(25)
参考文献·····	(26)
第2章 Ti(C,N)基金属陶瓷的制备工艺 ·····	(29)
2.1 Ti(C,N)基金属陶瓷的粉末制备·····	(29)
2.1.1 制取金属陶瓷粉末的固相法·····	(30)
2.1.2 制取金属陶瓷粉末的液相法·····	(34)
2.1.3 制取金属陶瓷粉末的气相法·····	(37)
2.1.4 Ti(C,N)基金属陶瓷粉末制备的实例·····	(42)
2.2 金属陶瓷的成形方法·····	(44)
2.2.1 成形前的原料处理·····	(44)
2.2.2 成形方法·····	(51)
2.3 Ti(C,N)基金属陶瓷的烧结·····	(56)
2.3.1 金属陶瓷的烧结机理·····	(56)
2.3.2 Ti(C,N)基金属陶瓷烧结方法·····	(59)
参考文献·····	(64)
第3章 Ti(C,N)基金属陶瓷的显微组织 ·····	(67)
3.1 Ti(C,N)基金属陶瓷的显微结构·····	(67)
3.1.1 Ti(C,N)基金属陶瓷的显微组织·····	(67)
3.1.2 金属陶瓷的相界面结构·····	(69)
3.1.3 金属陶瓷组织的取向关系·····	(74)
3.2 粉末组分对 Ti(C,N)基金属陶瓷组织的影响·····	(77)
3.2.1 Ti(C,N)基金属陶瓷的组分·····	(77)
3.2.2 添加剂组分对 Ti(C,N)基金属陶瓷组织的影响·····	(78)
3.3 原始粉末粒度对显微组织的影响·····	(93)
3.3.1 原始粉末粒度对金属陶瓷显微组织的影响·····	(93)

3.3.2 原始粉末粒度对 Co 为黏结相的金属陶瓷显微组织的影响	(99)
3.4 Ti(C,N)基金属陶瓷梯度功能材料(FGM)	(106)
3.4.1 FGM 的发展	(106)
3.4.2 Ti(C,N)基金属陶瓷 FGM	(112)
参考文献	(115)
第 4 章 Ti(C,N)基金属陶瓷的力学性能	(122)
4.1 弹性模量	(122)
4.1.1 弹性及弹性模量	(122)
4.1.2 显微结构对弹性模量的影响	(123)
4.1.3 弹性模量的测试方法	(124)
4.2 抗弯强度	(127)
4.2.1 金属陶瓷的抗弯强度测试	(127)
4.2.2 影响 Ti(C,N)基金属陶瓷强度的因素	(127)
4.3 硬度	(144)
4.3.1 金属陶瓷硬度的测试方法	(144)
4.3.2 影响 Ti(C,N)基金属陶瓷硬度的因素	(145)
4.4 断裂韧性	(152)
4.4.1 断裂韧性的基本概念	(152)
4.4.2 金属陶瓷断裂韧性的测试方法	(152)
4.4.3 影响断裂韧性的因素	(154)
4.5 冲击韧性	(158)
4.6 疲劳裂纹扩展速率($da/dv - \Delta K$)曲线	(159)
4.6.1 Ti(C,N)基金属陶瓷的疲劳裂纹扩展速率	(159)
4.6.2 Ti(C,N)基金属陶瓷的疲劳裂纹扩展特性	(159)
4.6.3 金属陶瓷的疲劳裂纹扩展机理	(161)
4.7 摩擦磨损	(162)
4.7.1 摩擦磨损	(162)
4.7.2 润滑条件下的摩擦磨损研究	(163)
4.7.3 干磨损条件下的摩擦磨损研究	(165)
参考文献	(166)

第 5 章	Ti(C,N)基金属陶瓷的抗热震性	(169)
5.1	热应力	(169)
5.1.1	热应力的来源	(169)
5.1.2	热应力的计算	(170)
5.2	陶瓷材料的抗热震性评价理论	(171)
5.2.1	临界应力断裂理论	(171)
5.2.2	热震损伤理论	(172)
5.2.3	断裂开始和裂纹扩展的统一理论	(173)
5.3	Ti(C,N)基金属陶瓷的热震残留强度	(174)
5.3.1	热震残留强度理论	(174)
5.3.2	金属陶瓷热震残留强度的影响因素	(175)
5.4	热震条件对金属陶瓷热震裂纹萌生及扩展的影响	(179)
5.4.1	循环温度对金属陶瓷热震裂纹萌生及裂纹扩展速率的影响	(179)
5.4.2	黏结相含量对金属陶瓷热震裂纹萌生孕育期及扩展速率的影响	(180)
5.4.3	晶粒度大小对金属陶瓷热震性能的影响	(181)
5.4.4	化学成分对金属陶瓷热震裂纹扩展速率与萌生孕育期的影响	(182)
5.4.5	冷却介质对金属陶瓷热震裂纹扩展速率的影响	(183)
5.4.6	缺口对金属陶瓷热震裂纹扩展速率的影响	(185)
5.5	金属陶瓷热震裂纹的萌生及扩展机制	(186)
5.5.1	金属陶瓷热震过程的微孔洞形成机制	(186)
5.5.2	金属陶瓷热冲击疲劳裂纹的形成机制	(188)
5.5.3	金属陶瓷热震裂纹扩展机制	(189)
5.6	陶瓷材料抗热震性测试方法及提高抗热震性的途径	(193)
5.6.1	陶瓷材料抗热震性测试方法	(193)
5.6.2	提高陶瓷材料抗热震性的途径	(194)
	参考文献	(194)
第 6 章	金属陶瓷的润湿性	(196)
6.1	金属陶瓷中润湿性的研究	(196)
6.1.1	润湿现象与表征	(196)
6.1.2	润湿性分类	(196)

6.1.3 润湿性机理	(197)
6.1.4 润湿性研究实验方法及手段	(198)
6.1.5 改善润湿性的途径	(200)
6.2 陶瓷基板的制备和测试	(201)
6.2.1 陶瓷基板试样的成分	(201)
6.2.2 陶瓷基板试样的制备	(203)
6.2.3 测试与表征	(204)
6.3 Ni 对 Ti(C,N)基多元陶瓷润湿性	(207)
6.3.1 试样制备和试验方法	(207)
6.3.2 试验工艺条件对接触角的影响	(208)
6.3.3 添加碳化物对接触角的影响	(210)
6.4 Ni/(Me,Ti)(C,N)体系界面结合强度	(223)
6.4.1 实验方法	(223)
6.4.2 界面结合强度	(224)
6.4.3 断裂方式	(226)
6.4.4 断口分析	(227)
6.5 润湿性与多元陶瓷相价电子结构的关系	(230)
6.5.1 陶瓷相价电子结构的计算	(230)
6.5.2 陶瓷相价电子结构计算结果	(233)
6.5.3 多元回归分析	(237)
6.5.4 润湿性与价电子结构的关系	(241)
参考文献	(242)
第 7 章 Ti(C,N)基金属陶瓷的其他性能	(245)
7.1 Ti(C,N)基金属陶瓷的塑性变形及蠕变	(245)
7.1.1 金属陶瓷的塑性变形	(245)
7.1.2 金属陶瓷的超塑性	(247)
7.1.3 金属陶瓷的蠕变	(250)
7.2 Ti(C,N)基金属陶瓷的抗氧化性	(256)
7.2.1 加热温度对抗氧化性能的影响	(256)
7.2.2 化学成分对金属陶瓷及硬质合金抗氧化性能的影响	(257)
7.2.3 金属陶瓷与硬质合金抗氧化性能作用机理	(258)

7.3	Ti(C,N)基金属陶瓷的焊接性	(259)
7.4	Ti(C,N)基金属陶瓷的高温性能	(261)
7.5	Ti(C,N)基金属陶瓷的磨削性能	(263)
7.5.1	Ti(C,N)基金属陶瓷的金刚石砂轮磨削性	(263)
7.5.2	陶瓷磨削性能的影响因素	(263)
	参考文献	(264)
第8章	纳米 TiN 改性 TiC 基金属陶瓷组织与力学性能	(266)
8.1	纳米材料及纳米改性材料	(266)
8.2	实验材料和方法	(266)
8.2.1	实验材料	(266)
8.2.2	实验方法	(267)
8.3	纳米 TiN 添加量对材料微观组织的影响	(268)
8.4	纳米 TiN 添加对金属陶瓷材料力学性能的影响	(270)
8.5	纳米—微米 TiN 复合添加对金属陶瓷材料组织的影响	(274)
8.6	纳米—微米 TiN 复合添加对金属陶瓷力学性能的影响	(275)
	参考文献	(278)
第9章	含 Co 的纳米改性金属陶瓷的组织与力学性能	(279)
9.1	Mo 含量对金属陶瓷组织和力学性能的影响	(279)
9.1.1	试验材料和方法	(279)
9.1.2	Mo 添加量对 5Co+5Ni 金属陶瓷组织的影响	(280)
9.1.3	Mo 添加量对 10Co+10Ni 金属陶瓷组织的影响	(283)
9.1.4	Mo 含量对 5Co+5Ni 金属陶瓷力学性能的影响	(285)
9.2	WC 含量对金属陶瓷组织和力学性能的影响	(286)
9.2.1	WC 含量对金属陶瓷组织的影响	(286)
9.2.2	WC 含量对金属陶瓷力学性能的影响	(290)
9.3	C 含量对金属陶瓷组织和力学性能的影响	(294)
9.3.1	C 含量对金属陶瓷组织的影响	(294)
9.3.2	C 含量对金属陶瓷力学性能的影响	(296)
	参考文献	(300)

第 10 章 铣刀用纳米改性金属陶瓷材料组织与力学性能	(301)
10.1 铣刀用纳米改性金属陶瓷材料成分设计	(301)
10.2 铣刀用纳米改性金属陶瓷材料制备	(302)
10.3 铣刀用纳米改性金属陶瓷力学性能	(302)
10.3.1 黏结相含量对金属陶瓷力学性能的影响	(302)
10.3.2 黏结相种类对金属陶瓷力学性能的影响	(304)
10.3.3 Ni/Co 比值对金属陶瓷力学性能的影响	(305)
10.3.4 添加 Mo 对金属陶瓷力学性能的影响	(306)
10.4 铣刀用纳米改性金属陶瓷显微组织	(307)
10.4.1 显微组织	(307)
10.4.2 化学成分对金属陶瓷组织的影响	(309)
10.5 断口形貌	(311)
参考文献	(313)
第 11 章 超细晶粒 Ti(C,N)基金属陶瓷组织和力学性能	(314)
11.1 金属陶瓷材料成分设计	(314)
11.2 金属陶瓷材料制备	(316)
11.3 材料性能测试	(317)
11.4 显微组织和力学性能	(319)
11.4.1 原始粉末粒径对显微组织的影响	(319)
11.4.2 原始粉末粒径对力学性能的影响	(324)
11.4.3 TiC/TiN 添加对组织和力学性能的影响	(325)
11.4.4 TiC/TiN 添加对力学性能的影响	(332)
11.4.5 Mo、Co 添加量对金属陶瓷组织和力学性能的影响	(336)
参考文献	(339)
第 12 章 纳米 TiN 改性 TiC 基金属陶瓷刀具的切削性能	(341)
12.1 切削正火态 45# 钢	(341)
12.1.1 刀具的切削与磨损	(341)
12.1.2 纳米 TiN 改性的 TiC 基金属陶瓷刀具切削磨损特点	(342)
12.1.3 纳米 TiN 改性的 TiC 基金属陶瓷刀具的切削用量优化	(347)

12.2 切削灰铸铁·····	(350)
12.2.1 灰铸铁材料的切削特点·····	(350)
12.2.2 纳米 TiN 改性的 TiC 基金属陶瓷刀具切削磨损特点 ·····	(351)
12.3 切削淬火态 45 [#] 钢·····	(356)
12.3.1 淬火钢的切削加工特点·····	(356)
12.3.2 纳米 TiN 改性的 TiC 基金属陶瓷刀具切削磨损特点 ·····	(357)
12.3.3 刀具的失效形式与磨损曲线·····	(357)
12.3.4 纳米改性金属陶瓷刀具与对比刀具的切削性能比较·····	(358)
12.3.5 纳米改性金属陶瓷刀具的切削用量优化·····	(359)
12.3.6 切削淬火态 45 [#] 钢时的广义 Taylor 公式 ·····	(361)
12.4 切削奥氏体不锈钢 1Cr18Ni9Ti ·····	(361)
12.4.1 材料的切削加工性·····	(361)
12.4.2 纳米改性金属陶瓷刀具切削不锈钢的切削性能·····	(362)
参考文献·····	(363)
第 13 章 含 Co 的纳米改性金属陶瓷刀具的切削性能 ·····	(364)
13.1 切削正火态 45 [#] 钢·····	(364)
13.1.1 刀具的磨损形态和过程·····	(364)
13.1.2 刀具材料及试验条件·····	(365)
13.1.3 纳米改性金属陶瓷刀具切削试验结果·····	(367)
13.1.4 纳米改性金属陶瓷刀具的切削参数优化·····	(370)
13.1.5 纳米改性金属陶瓷刀具的切削特点及磨损机理·····	(374)
13.2 切削灰铸铁时的切削性能、参数优化及磨损机理 ·····	(381)
13.2.1 试验条件和方法·····	(382)
13.2.2 切削试验结果·····	(382)
13.2.3 纳米改性金属陶瓷刀具的切削参数优化·····	(386)
13.2.4 纳米改性金属陶瓷刀具切削磨损机理·····	(390)
13.2.5 金属陶瓷刀具切削灰铸铁时磨损机理·····	(393)
参考文献·····	(394)
第 14 章 纳米改性金属陶瓷可转位面铣刀 ·····	(396)
14.1 可转位面铣刀发展概况·····	(396)

14.2 可转位面铣刀的结构形式和使用范围	(398)
14.2.1 刀片的定位形式	(398)
14.2.2 刀片轴向及径向位置的调整形式	(398)
14.2.3 刀片的夹紧形式	(398)
14.3 可转位面铣刀的刀片形式	(398)
14.3.1 刀片的形状	(398)
14.3.2 刀片的刃口形式	(398)
14.3.3 刀片的刀尖形式	(398)
14.4 可转位面铣刀的几何角度	(398)
14.4.1 主要几何角度的符号及意义	(399)
14.4.2 可转位面铣刀几何角度的选择	(399)
14.5 端铣削方式及铣刀相对工件的位置	(400)
14.6 铣削要素及铣削用量的选取	(401)
14.6.1 铣削要素	(401)
14.6.2 铣削用量的选取	(401)
14.7 金属陶瓷可转位面铣刀的铣削性能及磨损机理	(402)
14.7.1 概述	(402)
14.7.2 铣刀磨损及耐用度	(403)
14.7.3 试验方法和条件	(404)
14.7.4 纳米改性金属陶瓷可转位面铣刀铣削实验	(405)
14.7.5 铣刀磨损形态和机理	(409)
参考文献	(413)
第 15 章 超细晶粒 Ti(C,N)基金属陶瓷可转位车刀的切削性能	(415)
15.1 实验材料和方法	(415)
15.1.1 刀具材料	(415)
15.1.2 可转位车刀的几何尺寸以及切削参数的选择	(415)
15.2 超细晶 Ti(C,N)基金属陶瓷刀具的切削行为	(416)
15.3 超细晶粒 Ti(C,N)基金属陶瓷刀具的磨损特性	(419)
参考文献	(422)
第 16 章 金属切削有限元模拟	(423)
16.1 概述	(423)

16.2	三维切削几何模型的简化	(423)
16.3	材料模型的建立	(424)
16.4	摩擦模型的建立	(424)
16.5	二维切削有限元模型的建立	(425)
16.5.1	几何模型转化为有限元网格模型	(425)
16.5.2	材料性能参数设置	(425)
16.5.3	接触条件设置	(426)
16.5.4	网格重划分	(426)
16.5.5	时间步长的设定	(427)
16.6	三维切削有限元模型的建立	(427)
16.7	金属切削有限元模型的切削参数设置	(427)
16.8	金属切削二维有限元模拟结果	(427)
16.8.1	金属切削过程中切削力变化	(427)
16.8.2	金属切削过程中的温度场分析	(429)
16.8.3	金属切削过程中的应力场分析	(432)
16.8.4	金属切削过程中的应变场分析	(435)
16.9	金属切削三维有限元模拟结果	(436)
16.9.1	Ti(C,N)基金属陶瓷刀具的磨损分析	(436)
16.9.2	不同材料刀具磨损性能对比	(438)
16.10	切屑卷曲变形及断裂分析	(439)
16.10.1	切屑卷曲程度的研究	(440)
16.10.2	切屑的等效应力分布	(441)
16.10.3	切屑的剪应力分布	(441)
16.10.4	切削金属断裂临界值的探讨	(442)
16.11	切削试验	(444)
	参考文献	(446)

第1章 绪 论

人类发展的历史证明,材料是社会进步的物质基础和先导,是人类进步的里程碑。纵观人类利用材料的历史,可以清楚地看到,每一种重要材料的发现和利用,都会把人类支配和改造自然的能力提高到一个新的水平,给社会生产力和人类生活带来巨大的变化。当前以信息、生命和材料三大学科为基础的世界规模的新技术革命的兴起,将人类的物质文明推向了一个新阶段。在新型材料研究、开发和应用方面,在特种性能的充分发挥以及传统材料的改性等诸多方面,材料科学都肩负着重要的历史使命。近30年来,科学技术的迅速发展,特别是尖端科学技术的突飞猛进,对材料性能提出了越来越高的要求。在许多方面,传统的单一材料已不能满足实际需要。这些都促使了人们逐步摆脱过去单纯靠经验摸索的研究方法,而向着按预定性能设计新材料的研究方向发展。

1.1 从传统陶瓷到特种陶瓷

陶瓷是中国古代劳动人民的伟大发明之一,是人类在征服自然中获得的第一种经化学变化而制成的产品。在材料的大家庭中,它远比金属和塑料古老。陶瓷在我国有着悠久的历史,也是我国古代灿烂文化的重要组成部分。根据出土文物考证,我国陶瓷早在距今8000年至1万年的新石器时代便已经出现。瓷器是我国劳动人民的重要发明之一,它出现于东汉时期,距今已有1800多年的历史。我国在唐代已有相当数量的瓷器出口。到了明代,中国瓷器几乎遍及亚、非、欧、美各大洲。世界上许多国家的大型博物馆都藏有中国明代瓷器^[1]。字头小写的“china”即为瓷器,据考证,它是中国景德镇在古代时的名字“昌南镇”的音译^[2]。

在一个相当长的历史时期,陶瓷的发展主要靠工匠们技艺的传授,缺乏科学的指导,没有上升为一门科学。产品也主要是满足日用器皿和建筑材料的需要。近年来,由于科学技术的发展,特别是电子技术、空间技术、计算机技术的发展,迫切需要一些有特殊性能的材料,而某些陶瓷恰恰能满足这类要求。因此,近三四十年来这类陶瓷得到了迅速的发展,无论从原料、工艺或性能上均与传统陶瓷有着很大的差异。于是就出现了一系列名词称呼这类陶瓷,以区别于旧有的陶瓷或传统陶瓷,如新型陶瓷(New Ceramics)、精细陶瓷(Fine Ceramics)、现代陶瓷(Modern Ceramics)、高技术陶瓷(High-Technology Ceramics)和特种陶瓷(Special Ceramics)等。各个国家和同一国家不同的专业领域,根据其习惯常取其中一个或数个称呼。美国用“特种陶瓷”较多,日本用“精细陶瓷”较多。从本质上来说,所有这些术语都具有相同或相近的含义。

技术术语是随技术发展而发展的,往往是学科形成之后,由科学家们根据学科的科学分类,考虑已经形成的习惯去制定,而不是在学科形成之前规定的。“特种陶瓷”的精确定义尚

需由有关学术机构和科学家们去讨论。一般来说,通常认为特种陶瓷是“采用高度精选的原料,具有能精确控制的化学组成,按照便于控制的制造技术加工的,便于进行结构设计,并具有优异特性的陶瓷”^[3,4]。按照以上定义,特种陶瓷与传统陶瓷主要有以下区别:(1)在原料上,突破了传统陶瓷以黏土为主要原料的界限。特种陶瓷一般以氧化物、氮化物、硅化物、硼化物、碳化物等为主要原料。(2)在成分上,传统陶瓷的组成由黏土的成分决定,所以不同产地和炉窑的陶瓷有不同的质地。由于特种陶瓷的原料是纯化合物,因此其成分由人工配比决定,其性质的优劣由原料的纯度和工艺决定,而不是由产地决定。(3)在制备工艺上,突破了传统陶瓷以炉窑为主要生产手段的局限,广泛采用真空烧结、保护气氛烧结、热压、热等静压等手段。(4)在性能上,特种陶瓷具有不同的特殊性质和功能,如高强度、高硬度、耐腐蚀、导电、绝缘,以及在磁、电、光、声、生物工程各方面具有特殊功能,从而使其在高温、机械、电子、宇航、医学工程各方面得到广泛的应用。

1.1.1 特种陶瓷的特性和应用领域

由于大多数特种陶瓷是离子键或共价键极强的材料,所以与金属和聚合物相比,它熔点高,抗腐蚀和抗氧化,耐热性好,弹性模量、硬度和高温强度高。许多陶瓷,如 Al_2O_3 、 ZrO_2 、 Si_3N_4 、 SiC 等已成为优异的高温结构材料。和传统陶瓷一样,它的最大缺点是塑性变形能力差、韧性低、不易成形加工。由于这一缺点,材料一经制成,其显微结构就难以像金属和合金那样可通过变形来求得改善,特别是其中的孔洞、微裂纹和有害杂质不可能通过变形改变其形态或消除。与此同时,陶瓷力学性能的结构敏感性比金属和合金要强得多,从而陶瓷材料受力时易产生突发性脆断。陶瓷材料韧化问题的研究是当前陶瓷材料重要的研究领域之一,已取得了引人注目的进展。

许多特种陶瓷都具有优良的介电性能、耐磨性能、隔热性能、压电性能和透光性能。随着新技术革命的兴起,功能陶瓷愈来愈受到世界各国的重视,品种日益增多,应用也愈来愈普遍,几乎在包括工业、宇航、军工等在内的所有的领域都可以找到特种陶瓷的应用。应该指出,许多陶瓷都具有十分优异的综合性能。例如: Si_3N_4 既具有优良的力学性能,可作为结构材料,又有高的硬度、低的热膨胀系数、高的导热率、好的抗腐蚀性、绝缘性等,可以用作刀具材料、抗腐蚀和电磁方面应用的材料。 TiC 的熔点(3250°C)高于 WC (2630°C),密度只有 WC 的 $1/3$,抗氧化性能远优于 WC ,而且能被 Co 润湿,可做成高温轴承、切削刀具、量具、规块等。 TiC 基金属陶瓷的研究取得了很大的成功,如奥地利 Metallwerk Plansee 公司生产的 WZ 系列、英国 Hard Metal Tools 公司生产的 HR 系列、美国 Kennametal 公司生产的 K 系列和美国 Firth Sterling 公司生产的 FS 系列都是成功的例子。因此我们必须十分注意发掘陶瓷材料的综合潜力,不断开拓它的新的应用领域,以适应新技术发展对材料的需求。

1.1.2 研究特种陶瓷的意义和特种陶瓷的发展前景

新一代技术革命领域——生物工程、新能源、信息工程、宇宙开发、海洋开发急需大量的新材料。作为基础的材料无疑要在这些技术革命中发挥重要的作用。在材料的发展过程中,尽管陶瓷出现得最早,但历来是以金属材料 and 有机高分子材料为主的,所以它们被研究得比较透彻,应用得比较广泛和普及,积累的经验 and 资料也比较充足,地位也比较重要。正因为如此,相对来说潜力也挖掘得比较充分。特种陶瓷发展的历史较短,研究的深度和广度

远不如金属和聚合物,而且特种陶瓷具有许多独特的性能,潜力很大,因此,发现新材料的几率是很高的。

特种陶瓷的性能潜力远比其他材料大。这种性能潜力表现在三个方面:(1)如前所述,许多特种陶瓷具有优异的多方面性能的综合;(2)特种陶瓷具有更多的有实用价值的功能,特别是电磁功能、化学功能和半导体功能;(3)适当改变组成和掺杂后,特种陶瓷的功能可以按人们的要求去改变。

从资源上讲,特种陶瓷的主要原料是 Al_2O_3 、 SiO_2 、 MgO 等。这些原料在地球上储量丰富,容易得到,价格便宜。而金属材料常用的 Ni 、 Cr 、 Co 等,不仅价格贵,而且资源稀缺,是十分重要的战略原料。由于以上这些原因,近 20 年来各主要工业国家都十分注意特种陶瓷的开发和研究,形成世界性的“陶瓷热”,并取得了很大的进展。所以,特种陶瓷甚至被誉为“万能材料”或“面向 21 世纪的新材料”^[4]。

1.2 刀具材料的最新发展

切削加工是工业生产中最基本、最普通和最重要的方法之一,它直接影响工业生产的效率、成本和能源消耗。提高加工效率,将会带来巨大的社会、经济效益。前北美机械工程师协会主席 Hom 曾说:“每节省加工工时一分钟,美国就可节省一亿美元。”可见提高加工效率对国民经济具有十分重要的意义。陶瓷刀具由于高温性能好,其切削速度可比传统刀具提高 3 倍~10 倍,因而可以在现有的厂房、设备、动力条件下,使产品产量成倍增长,大幅度提高社会生产力。其次,由于现代科学技术和生产的发展,切削加工越来越多地采用超硬难加工工件,以提高机器设备的使用寿命和工作性能。有资料介绍,难加工材料已超过 43%。这些难加工材料的采用,给制造技术带来很大的困难,传统刀具难以对付,因为往往要采用费时费电的退火加工和磨加工等方法。新型陶瓷刀具由于具有很高的硬度(HRA 93~95),因而可以加工硬度高达 HRC 65 的各类难加工材料,免除退火加工所消耗的电力和时间;可以提高工件的硬度,延长机器设备的使用寿命;硬质合金刀具大量消耗着 W 、 Co 等战略性贵金属,节约这些资源是各国的基本政策,而广泛采用陶瓷刀具则是一种有效措施。因为陶瓷刀具的主要原料 Al_2O_3 和 SiO_2 是地壳中最丰富的成分,是取之不尽、用之不竭的。

机加工行业为了降低成本和保护环境,逐渐推广干式切削技术,也使某些材料的加工难度增大^[5]。同时,随着数控机床主轴、进给系统等功能部件设计制造技术的突破,数控机床的主轴转速和进给速度大幅提高,在现代制造技术全面进步的推动之下,切削加工开始进入高速切削的新阶段^[6]。能够适应这些发展需要的刀具材料主要有以下几种:

1.2.1 涂层刀具

涂层刀具具有很强的抗氧化性和抗黏结性,因而具有良好的耐磨性和抗月牙洼磨损能力。涂层的摩擦系数较低,能有效地降低切削时的切削力和切削温度,因而可以大大提高刀具的耐用度。 TiC 涂层的硬度高、耐磨性好,适用于可能产生剧烈磨损的刀具; TiN 涂层与被切削金属的亲合力小、摩擦系数小、抗氧化性强,适用于容易发生黏结磨损的刀具; Al_2O_3 涂层在高温下具有良好的热稳定性,适用于高速切削时产生大量切削热的刀具。随着涂层

技术的发展,目前已从单涂层发展到多涂层。应用较广泛的涂层工艺有化学气相沉积法(CVD)、物理气相沉积法(PVD)和CVD+PVD混合涂层。随着纳米技术的发展,制造纳米涂层能进一步提高硬度,并由此提高刀具的耐磨性,这为放弃焊接的CBN/PCD刀具提供了可能。

1.2.2 超细晶硬质合金刀具

近10年来,硬质合金工业发展的一个明显趋势是,使用越来越细的WC-Co硬质合金粉末来制造刀具材料^[7]。过去,过高的合金粉末价格和烧结时晶粒的不均匀长大,是限制亚微米和纳米WC-Co硬质合金从实验室制造转化为工业大规模生产的主要障碍。近来,美国的Nanodyne公司已能够用喷雾转化和碳热工艺大规模地生产WC粒度在50nm以下的WC-Co硬质合金粉末。烧结时,通过加入适量的 Cr_3C_4 和VC可以有效地抑制晶粒长大,最终获得亚微米或者纳米级的超细晶硬质合金材料。

1.2.3 金属陶瓷刀具

近年来,金属陶瓷材料的发展主要体现在以下几个方面:(1)涂层金属陶瓷的商业化应用。如:山特维克公司的CT1525和伊斯卡公司的IC570、IC530N,其表面都涂覆了Ti(CN)+TiN的新物理涂层;肯纳金属赫尔特公司的HT7涂覆了新一代的PVD-TiAlN涂层;普兰西公司的TCC10涂覆了TiC+TiCN+TiN+ Al_2O_3 化学涂层。这些牌号刀片的共同特点就是基体的黏结相含量较高,韧性较好,切削更加可靠、锋利,适用于合金钢、高合金钢、不锈钢和延性铁的高速精加工和半精加工。(2)新型金属陶瓷的开发。日本最新研制的 TiB_2 +Ti(C,N)+ Mo_2SiB_2 金属陶瓷,其抗弯强度达1300N/mm²,硬度高达2300HV,比超细硬质合金的硬度更高。(3)超细晶金属陶瓷的开发。日本三菱综合材料公司开发了NX1010牌号的细晶金属陶瓷,晶粒度约为0.8 μm ,其抗弯强度和硬度均有所提高,主要应用于高速钢的精加工。

1.2.4 陶瓷刀具

陶瓷刀具具有硬度高、耐磨性能及高温力学性能优良、化学稳定性好、不易和金属发生黏结等特点。陶瓷刀具的最佳切削速度通常可以是硬质合金的3倍~10倍,适用于高速切削钢、铸铁及其合金等。

通过强化作用可以改善陶瓷材料的韧性和抗冲击性。强化陶瓷材料主要有两种:一种是SiC晶须增强 Al_2O_3 。在氧化铝陶瓷中添加25wt%~35wt%的SiC晶须可以使其断裂强度提高为原来的2倍。晶须增强的氧化铝陶瓷刀具除可以铣削耐热合金外,还可以粗加工超合金,其生产效率可提高为原来的近10倍。另一种是自增韧强化氮化硅陶瓷。自增韧强化氮化硅陶瓷刀具更适合于高速铣削加工HRC>50的灰口铸铁和针状铸铁。此外,随着纳米晶陶瓷材料致密化技术的发展,陶瓷材料的强度和韧性将会有新的突破。

1.2.5 超硬材料刀具

聚晶金刚石(PCD)和立方氮化硼(CBN)越来越成为普通的刀具材料。PCD具有特别高的硬度(HV30:5000)和耐磨性,用于加工铝合金等非铁材料有很高的生产率和过程可靠