

八十年代 世界硬质合金技术进展

李沐山 编著



《硬质合金》编辑部编辑出版

八十年代世界硬质合金技术进展

李沐山 编 著

《硬质合金》编辑部

一九九一年九月

内 容 提 要

《八十年代世界硬质合金技术进展》一书，系根据近十年来国内外发表的文献资料编写而成。全书共分12章。书中简要地介绍了世界硬质合金工业生产和贸易概况；全面地论述了近十年来世界硬质合金原料制备、硬质合金生产、加工、表面涂覆、强化处理等技术进展和科研成果以及在这些领域中出现的新技术、新工艺和新设备；详细地叙述了近十年来硬质合金材质及其表面涂层材质的进展；扼要地介绍了陶瓷、超硬材料等新型工具材料的进展及其对硬质合金的挑战；分析了国外硬质合金发展趋势；提出了依靠科技进步发展我国硬质合金工业的设想、途径和措施。书中汇集了大量资料、数据和信息，颇有参考价值。

本书可供从事硬质合金生产和科研的科技人员、管理人员和工人参考，亦可作为高等院校有关专业的教学参考书。

八十年代世界硬质合金技术进展

李沐山 编著

*

责任编辑：周元杰

*

《硬质合金》编辑部出版

株洲市印刷装潢厂印刷

*

开本：16开 印张：39.5 字数：947千字

1992年8月印刷 印数：0—1000

准印证号：湘株文准字（1991）第99号

工本费：20.00元

编 者 的 话

七届全国人大四次会议批准的《国民经济和社会发展十年规划和第八个五年计划纲要》提出了今后十年我国国民经济和社会发展的奋斗目标，其中主要奋斗目标之一，就是实现国民经济生产总值比1980年翻两番的既定目标。

在实现《纲要》提出的奋斗目标中，我国硬质合金行业肩负着光荣而艰巨的任务。众所周知，硬质合金工业在国民经济中是一个不大的产业部门，但它在国民经济和社会发展中、在现代化建设中的地位却是举足轻重的。硬质合金作为工业的“牙齿”，不仅它本身要实现到本世纪末翻两番的战略目标，而且它的发展将有力地推动国民经济各部门工业生产率的提高，进而加速整个国民经济生产总值翻两番的战略目标的实现。因此，依靠科技进步发展我国硬质合金工业，对于为国民经济其他部门提供更多、更好的高效工具材料和结构材料，扩大出口，为国家积累资金，促进十年规划和“八五”计划目标的实现，都具有重大的现实意义和深远的历史意义。

为配合“八五”科技攻关，促进企业上等级，推进行业科技进步，加速我国硬质合金工业的发展，赶超世界先进水平，作者根据《“八五”科技攻关情报专题调研及可行性研究》课题，围绕“八五”科技攻关预选项目和科研课题，对八十年代以来世界硬质合金领域中技术进展开展了专题情报调研。经过近两年的努力，在广泛而大量搜集近十年来国内外发表的有关硬质合金的文献资料的基础上，通过加工整理、分析研究和综合归纳，现已完成这一大型情报调研项目，编写成《八十年代世界硬质合金技术进展》（以下简称《进展》）一书。

《进展》是以近十年来国外硬质合金技术进展为重点，同时也对国内硬质合金技术进展情况作了适当的概括。

《进展》中简要地介绍了世界硬质合金生产和贸易概况，全面地论述了近十年来国外硬质合金原料制备、硬质合金生产、硬质合金制品加工、表面涂覆、强化处理等技术的进展和科研成果以及在这些领域中出现的新技术、新工艺和新设备，详细地叙述了近十年来国外硬质合金材质及其涂层材质的进展，分析归纳了国外硬质合金发展趋势，并根据我国硬质合金工业现状提出了依靠科技进步推动我国硬质合金工业发展的设想、途径、对策和措施。近年来国外陶瓷、超硬材料等新型工具材料发展异常迅速，并对硬质合金构成挑战和威胁，因此对这些新型工具材料也作了动态性的介绍，以期引起硬质合金工业界的重视，并采取相应的对策与措施来应付这些材料的挑战。

《进展》虽基于情报文献资料的分析研究和综合归纳，但它不同于一般情报调研报告，其内容更加广泛，包含大量动态性的信息和论证性的资料，可为领导者决策和管理人员制订规划提供参考和依据。

《进展》不同于一般技术图书，它汇集了大量的信息和数据，在一定程度上带有手册

或指南的性质，可为科技人员解决生产关键和科研难题提供充分的资料和数据，对他们开拓思路、攻克难关颇有参考价值。

《进展》不是一部教材，但它包含许多有益的知识甚至一些新的知识，可供教学和编写教材时参考。

知识是最可靠的源泉，信息是最有效的生产力。作者衷心希望，《进展》提供的知识和信息能对我国硬质合金行业的各级领导、广大科技人员、管理人员和工人有所裨益，对加速我国硬质合金工业的发展有所贡献。

《进展》的编写和出版承蒙株洲硬质合金厂有关领导的高度重视和亲切关怀以及该厂技术处领导的大力支持。株洲硬质合金厂总工程师、《硬质合金》杂志主编林伯颖高级工程师为本书撰写了精辟的序言。该厂技术处副处长、高级工程师胡茂中、教授级高级工程师薛鉴、高级工程师车济中及李政等同志对《进展》书稿进行认真审阅并提出了一些宝贵的意见。《硬质合金》杂志副主编、高级工程师周元杰同志担任本书的责任编辑，为保证书稿质量付出了辛勤的劳动。《硬质合金》编辑部孙石雅同志为本书的顺利出版作了大量的工作。在本书的编写和出版过程中还得到了株洲硬质合金厂情报室的同志们鼎力相助。在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，加之文献资料搜集不够全面，时间又比较仓促，书中难免有一定的局限性和不妥之处，甚至可能存在一些缺点和谬误，敬请读者不吝指教。

编 者

一九九一年七月于株洲

序 言

硬质合金作为一种新兴的工具和结构材料，以其高硬度、耐高温、耐腐蚀等一系列优越性，六十多年来在金属切削、凿岩采掘和拉伸模具等方面一直得到广泛的应用，成为推动各有关行业发展不可缺少的材料，被人们誉为工业的“牙齿”，在国民经济和社会发展中发挥着日益重要的作用。

进入八十年代以来，世界硬质合金一方面经受了来自陶瓷、超硬材料的挑战，少量硬质合金工具被取代，另一方面又加速了自身性能的不断完善，精度大大提高，品种不断增多，应用范围日见扩大，涌现了一大批新工艺和新牌号。其间，硬质合金原料纯度大有提高，粉末粒度能自由地控制，特别是超细粉末的生产取得了较大的进展。粉末成形方法多样化，除了在模压法这一重要成形工艺中有许多改进外，压铸成形、注射成形等一批新的成形方法应运而生。更为值得注意的是，生产工艺中开始向一体化和连续化发展，如一种将脱蜡—真空烧结—热等静压三道工序合而为一的工艺在工业生产中得到了成功的应用。随着硬质合金生产技术的发展，许多先进厂家可转位刀片精度已淘汰了“U”级，达到了“M”级和“G”级。

为了配合“八五”科技攻关，依靠科技进步加速我国硬质合金工业的发展，赶超世界先进水平，高级工程师李沐山同志在大量收集国内外文献的基础上，悉心分析研究，综合归纳，编写了《八十年代世界硬质合金技术进展》一书。该书全面介绍了八十年代以来在硬质合金原料制取、硬质合金生产工艺、加工、表面涂层、强化处理等方面的技术进展以及在这些领域中出现的新工艺、新设备和新牌号，并对陶瓷、超硬材料等新型材料的进展及其对硬质合金的挑战作了简要阐述，最后提出了发展我国硬质合金工业的设想、途径和措施。可以说，该书对于制订我国硬质合金科研规划和科技攻关课题以及新产品开发具有很大的参考价值。

李沐山同志几十年如一日，勤奋耕耘，近年来先后编写完成了一系列有关陶瓷生产的调研论文，今年又推出力作《进展》一书，其精神可敬可嘉，我相信这本书一定会受到广大读者的欢迎！

株洲硬质合金厂总工程师

林伯颖

一九九一年八月

目 录

编者的话

序 言

第一章 世界硬质合金工业发展概况	(1)
第一节 概述.....	(1)
第二节 世界硬质合金发展史.....	(2)
第三节 世界硬质合金生产概况.....	(7)
第四节 世界硬质合金贸易概况.....	(9)
第二章 硬质合金原料制备技术进展	(14)
第一节 钨精矿处理技术.....	(14)
第二节 钨氧化物制取技术.....	(30)
第三节 金属粉末制取技术.....	(34)
第四节 碳化钨制取技术.....	(45)
第五节 新型固溶体制取技术.....	(54)
第六节 自蔓高温合成法制取难熔化合物.....	(61)
第七节 铸造碳化物涂层材料制取技术.....	(73)
第三章 硬质合金生产技术进展	(81)
第一节 硬质合金混合料制备技术.....	(81)
第二节 硬质合金粉末成形技术.....	(97)
第三节 硬质合金制品致密化技术.....	(123)
第四章 硬质合金制品加工技术进展	(183)
第一节 概述.....	(183)
第二节 硬质合金制品加工的特点及加工工具.....	(183)
第三节 硬质合金可转位刀片的加工.....	(184)
第四节 硬质合金制品的特殊加工方法.....	(193)
第五章 硬质合金制品表面涂层技术进展	(213)
第一节 概述.....	(213)
第二节 化学气相沉积涂层技术.....	(215)
第三节 物理气相沉积涂层技术.....	(249)
第四节 混合方法涂层技术.....	(274)
第六章 硬质合金制品强化处理技术进展	(281)
第一节 硬质合金制品整体强化处理技术.....	(281)
第二节 硬质合金制品熔体渗透处理技术.....	(298)

第三节	硬质合金制品表面化学热处理技术	(313)
第四节	硬质合金制品表面物理强化处理技术	(325)
第五节	硬质合金制品表面塑性变形处理技术	(337)
第七章	硬质合金材质进展	(359)
第一节	微晶硬质合金	(359)
第二节	金属陶瓷硬质合金	(377)
第三节	少钨少钼硬质合金	(399)
第四节	新型粘结剂硬质合金	(427)
第五节	新型耐腐蚀硬质合金	(467)
第六节	其他新型硬质合金	(478)
第八章	钢结硬质合金进展	(509)
第一节	概述	(509)
第二节	碳化钛基钢结合金	(511)
第三节	氮化钛基钢结合金	(543)
第四节	碳氮化钛基钢结合金	(549)
第五节	碳化钨基钢结合金	(550)
第六节	WC—Co合金—钢复合材料	(556)
第九章	硬质合金制品涂层材质进展	(565)
第一节	碳化钨涂层硬质合金	(565)
第二节	氮化钨涂层硬质合金	(569)
第三节	碳化硼涂层硬质合金	(572)
第四节	TiC—Al ₂ O ₃ 混合涂层硬质合金	(573)
第五节	超硬涂层硬质合金	(579)
第六节	基体含富钴层或脱β层的涂层硬质合金	(590)
第十章	我国硬质合金技术进展	(597)
第一节	我国硬质合金工业发展概况	(597)
第二节	我国硬质合金工业的生产技术和装备水平	(599)
第三节	八十年代我国硬质合金技术进展	(601)
第十一章	国外硬质合金发展趋势	(607)
第一节	国外硬质合金发展动向	(607)
第二节	新型工具材料对硬质合金的挑战	(609)
第十二章	依靠科技进步推动我国硬质合金工业的发展	(622)
第一节	我国硬质合金与国外先进水平的差距	(622)
第二节	推进我国硬质合金行业科技进步的模式与途径	(624)
第三节	发展我国硬质合金工业的对策与措施	(625)
附录:	书中所用单位与法定单位换算表	(632)

第一章 世界硬质合金工业发展概况

第一节 概 述

材料是人类经济活动的基本组成部分，它的发展是人类进化的重要里程碑。在人类发展历史的长河中，人们创造出名目繁多的材料。到人类发展的现阶段，人们所创造的材料可粗略地分为三大类^[1]：

一是普通材料，诸如木材、塑料、橡胶、石料、玻璃、金属、钢铁等，其努氏硬度略低于1000；

二是硬质材料，诸如工具钢、硬质合金、陶瓷等，其努氏硬度在1000到4000之间；

三是超硬材料，诸如立方氮化硼和金刚石，其努氏硬度高于4000。

硬质合金是如此庞大的名目繁多的材料阵容中的重要一员。它的问世与发展是材料发展史中，特别是近代工具材料发展史（图1—1^[2]）中的划时代的变革，对工业发展和生产效率的提高起了重要的推动作用，使人类开发自然的效率成十倍、上百倍的提高。正因为如此，尽管硬质合金在漫长的材料发展过程中只有短短的六十多年的历史，但它却取得了惊人的发展，已由小规模生产发展成为一个完整的独立的工业体系。它的触角几乎伸到所有工业和技术部门。目前它已成为现代工业部门和新技术领域不可缺少的工具材料和结构材料。

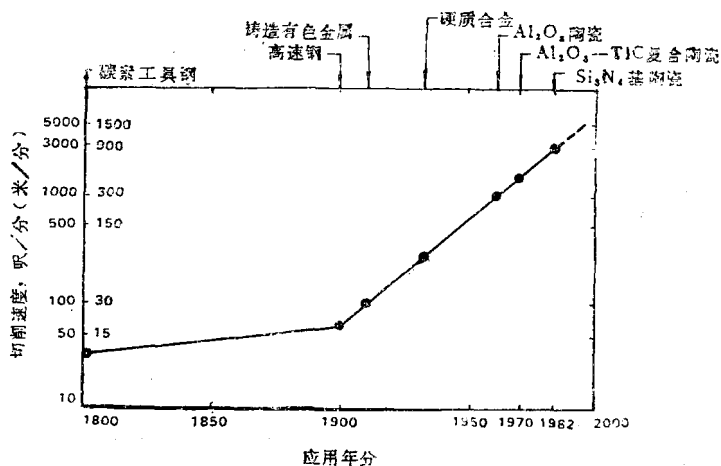


图1—1 工具材料的进展

在世界硬质合金工业发展的六十年中，随着科学技术和世界工业的迅速发展及其对硬质合金的要求日益增高，世界一些国家对硬质合金基础理论、生产工艺、工艺装备、使用技术等开展了大量的卓有成效的研究，使其生产工艺日趋成熟、工艺装备日臻完善、应用技术不断提高，从而推动了硬质合金生产不断发展、产品品种不断扩大、产品质量不断提

高、市场不断开拓。

第二节 世界硬质合金发展历史

纵观世界硬质合金的发展历史，根据硬质合金产量、品种、质量和应用的状况，大体上可分为四个发展阶段^[3,4]。

第一阶段（1927～1936年）——世界硬质合金工业的形成阶段

本世纪初，为了解决灯泡钨丝拉丝模的质量问题，人们着手探索新的材料。早在1914年，在德国欧斯拉姆灯泡厂工作的施律特尔，经过长时间的探索发现，把碳化钨渗入低熔点金属中，就可在几乎不降低硬度的情况下使产品具有韧性。1923年他提出了采用WC粉与少量铁族金属——铁、镍或钴混合，经压制并在1300℃以上的温度下于氢气中烧结的新工艺，并取得了专利。按这种工艺制取的拉丝模具有很高的硬度和足够的强度，其使用寿命比高速钢高十几倍，从而有效地解决了当时钨丝拉拔的关键。这就是世界公认的最早的硬质合金生产工艺，并为硬质合金生产的发展奠定了基础。

1926年，德国克虏伯公司购买了该项专利，次年投入工业规模生产硬质合金产品，并以Widia（似金刚石）的商标将其产品投放市场。继德国之后，美国、奥地利、英国、苏联、日本等国相继研制并生产硬质合金。到三十年代初，世界硬质合金产量已达50吨。

为了解决钢材加工问题，一些国家开始研究通过在WC-Co合金中添加其他难熔化合物来改善其性能。到1929年，美国施瓦茨柯夫和赫尔施提出在WC-Co合金中以TiC-WC固溶体形式添加TiC以改善合金加工钢材的性能，从而为WC-TiC-Co合金的发展奠定了基础，并推动了这种合金的迅速发展。例如，同年德国克虏伯公司推出了Widax牌号的WC-TiC-Co合金；1930年基费尔研制出优质切削钢材的合金（80%WC-14%TiC-6%Co+Ni合金）；美国推出“813合金”（WC-30%TiC-7~8%Co合金），扩充了钢材精加工用合金；苏联、奥地利等国也开始生产这类合金。

1932年，美国费斯特岑公司研制出添加钽的硬质合金，即WC-TiC-TaC-Co硬质合金，从而使当时钢材加工有了全面适应的合金。

与硬质合金牌号不断扩充的同时，在硬质合金焊接、刃磨和合理使用方面，各国金属加工行业都作了大量工作，进一步解决了焊接和刃磨裂纹以及使用时的崩刃问题。特别三十年代初，美国开始采用天然金刚石砂轮，从而大大地提高了硬质合金磨削效率。硬质合金的应用实践使人们认识到，尽管采用硬质合金使工具费用大幅度提高，但相对于几十倍、上百倍地提高工效和改善加工精度而言，经济效益是十分明显的，因而深受用户的欢迎。这样就促进了硬质合金生产规模不断扩大，产量不断提高，到1936年产量已达110吨，比1927年提高了100倍。

在开发硬质合金拉拔模具和切削工具的同时，从三十年代开始，硬质合金也开始在矿山凿岩和其他行业进行试用，并得到不断发展。

综上所述，这一阶段的主要特点是，从1927年到1936年的十年里，硬质合金从其自身的工艺技术到相关工业的配合和使用，都得到了不断的完善，逐渐形成了自己的工业体系。

第二阶段（1937年～1949年）——世界硬质合金工业的发展阶段

这一阶段主要是处于第二次世界大战期间。战争刺激了硬质合金工业的大发展。由于硬质合金具有高硬度、高耐磨性、耐高温等特性，因此，它不仅对于制造武器本身（如弹头），而且对于制造生产武器的工具都是极为重要的材料。

德国于1929年研制成功硬质合金穿甲弹头。德国法西斯在发动侵略战争中首先使用了这种穿甲弹头。由于硬质合金弹头穿透坦克钢板的威力震惊于世，一改人们对坦克无坚不摧的看法。为了满足侵略战争的需要，从1935年到1943年的九年间，德国共生产硬质合金穿甲弹头2600吨左右，其中1940年产量最高，达700吨。1940年以后，苏联、英国、美国相继大批生产硬质合金穿甲弹头，结果这种穿甲弹头又变成了苏联红军和英美盟军反击侵略者的一种锐利武器。

英国为了对付德国的侵略，1940年上半年开始大批生产飞机，其产量增长10倍以上。为了提高生产效率，在金属加工中全部改用硬质合金刀具，使其硬质合金产量一跃达到250吨，比战前超过10倍以上。

同年苏联为了反击德军，在军械生产中也全面推广硬质合金工具，并于1941年将莫斯科硬质合金联合厂部分内迁到基洛夫格勒（乌拉尔），组建了一个新的硬质合金厂。这两家工厂在卫国战争期间生产了大量硬质合金武器和工具。

与此同时，美国加快了军火生产，广泛采用硬质合金工模具，使其硬质合金用量猛增。由于硬质合金冲模成功地取代钢模，因而首先使子弹壳的铜改成钢，从而为前线子弹大量消耗提供了原料保证。1944年，美国硬质合金产量比1938年增加了35倍，开创了超千吨的产量记录。

为了解决缺钨的问题，德国和美国还研制、开发了大批无钨硬质合金。

这个阶段硬质合金工业发展的特点大体上可概括为以下几点：一是为了加速军火生产，各国政府以巨额军费购买硬质合金，使硬质合金工业得到了极大的发展，使世界硬质合金产量由战前的100多吨提高到3000多吨；二是为了满足军工生产的需要，硬质合金品种不断扩大，质量不断提高，不仅在生产中广泛采用含钽（铌）的硬质合金，而且开发了无钨硬质合金以解决缺钨的问题；三是硬质合金本身也成为武器之一（如穿甲弹头），为硬质合金开辟了新的应用领域。

第三阶段（1950～1969年）——世界硬质合金工业的成熟阶段

随着战后世界经济的恢复，硬质合金工业进入了新的发展时期，并逐步走向成熟发展阶段。

从五十年代初开始，以冶金、机械、电力和铁路为标志的基础工业出现了大发展的局面，特别是世界钢和有色金属的产量急剧增长。钢和有色金属加工以及生产导线用的铜、铝等线材的加工等都需要硬质合金，同时世界汽车等工业也迅速发展，这也需要大量的硬质合金。

基础工业的发展有力地促进了硬质合金工业急剧发展，产量大幅度提高，年平均增长速度高达21%，到1957年猛增到6000吨，到1967年又突破了10000吨。世界硬质合金生产厂家不断增加，其中年产1000吨以上的公司就有四家。

与此同时，硬质合金的应用领域迅速扩大。为了提高生产率，几乎所有工业部门都在

推广应用硬质合金。例如，在矿山凿岩工业中，推广了硬质合金钎头、钻头、截煤机齿等，使硬质合金产量急剧增加，达到硬质合金总耗量的30~50%，化工行业中的密封环、喷嘴等耐磨零件；建材行业中的冲击钻、制砖模等；粉末冶金工业中的冲压模具、球磨机衬板等；食品工业中的制造饮料罐用的模具，等等。

随着硬质合金生产和应用的扩大，对硬质合金提出更高的要求。为了适应这些要求，在这一阶段中进一步完善了硬质合金生产工艺，研制并推广了新型工艺设备，诸如搅拌球磨机、喷雾干燥器、真空烧结炉、冷热等静压机等先进的高效设备，从而有力地促进了硬质合金质量的提高，保证了各个工业部门的需要。

与硬质合金工业息息相关的工业技术部门，在这个时期也发生了很大的变化，这些工业部门的变化也促进了硬质合金工业的发展。例如，航空工业中大量推广使用钛合金，为此需要适应于钛合金加工的硬质合金牌号；磨料工业中大量生产人造金刚石促进了硬质合金顶锤的大量应用，反过来，人造金刚石磨料的开发与应用，又为硬质合金加工和提高硬质合金制品的尺寸精度提供了前提，从而促进了硬质合金应用领域的扩大。

在硬质合金材质方面，已不仅仅是WC-Co和WC-TiC-Co合金，而且其中很大一部分已由WC-TaC(NbC)-Co和WC-TiC-TaC(NbC)-Co硬质合金所取代，同时还研制并开发了TiC-Ni-Mo无钨硬质合金以及以各类钢为粘结剂的钢结硬质合金。

在硬质合金刀具形状方面，1953年美国瓦奇可罗首先采用了可转位刀片，引起了硬质合金刀具领域中一次重大变革。由于可转位刀片与焊接刀片相比具有一系列优越性和技术经济效果，因而引起了各工业发达国家的重视并得到了迅速普及。同时随着硬质合金制品加工技术的不断改进，各主要硬质合金厂家已开始大力发展深度加工，并由单纯毛坯生产转向配套工具生产。

在这个阶段中硬质合金工业发展的主要特点：一是在生产发展的同时，研制并开发了一些新型生产设备，进一步完善了生产工艺；二是硬质合金的应用进一步扩大，其触角几乎伸到各个工业部门；三是研制并开发了一系列新的材质和牌号，为现代硬质合金的发展奠定了良好的基础；四是硬质合金生产向深度加工和工具配套延伸。这一切都标志着世界硬质合金工业已进入成熟发展的阶段。

第四阶段（从1970年开始到现在）——世界硬质合金工业的产品精密化阶段

随着科学技术的飞速发展，特别是电子、宇航、现代军事等尖端技术的发展，以及随着传统工业部门对提高产品质量的要求不断提高，对硬质合金产品也提出越来越高的要求。为了适应这种要求，硬质合金工业也随之迈入了新的发展阶段——硬质合金制品精密化阶段。

进入七十年代以来，在现代机械加工中，对切削刀具用硬质合金切削刀片的尺寸精度的要求明显提高，因此硬质合金生产厂家则不断提高其产品精度，例如，在一些工业发达的国家中已淘汰了U级硬质合金精度等级（见表1—1）。同时对硬质合金模具尺寸精度的要求更为严格，许多硬质合金模具尺寸精度已达到微米级，甚至有的模具已达到超微米级。

表1—1 硬质合金可转位刀片的ISO尺寸精度标准

产品类型	精度级别	d ($\phi 12.7$)	m 值	生产状况
车 刀 片	U	± 0.13	± 0.20	基本淘汰
	M	± 0.08	± 0.13	毛坯精度
	G	± 0.025	± 0.025	研磨制品精度
铣 刀 片	A	± 0.025	± 0.005	研磨制品精度
	C	± 0.025	± 0.013	研磨制品精度
	K	± 0.08	± 0.013	研磨制品精度

为了提高硬质合金工具的性能及其工作的可靠性,对原料的纯度和粒度的要求不断提高。近年来,国外硬质合金生产厂家采取许多措施来提高原料的纯度和严格控制粒度。以硬质合金生产中的主要原料——碳化钨为例,其纯度比七十年代以前有了明显的提高,如表1—2所示。其粒度参数的控制,已由过去的粗、中、细三个级别,改为目前的五级、六级、十级,甚至有的达十五级,粒度范围已由过去的1~6微米扩展到0.5~25微米。以六级为例,其各级的档次范围为:0级—— <1 微米;Ⅰ级——1~1.99微米;Ⅱ级——2~5.99微米;Ⅲ级——6~8.99微米;Ⅳ级——9~13.99微米;Ⅴ级——14~25微米。

表1—2 七十年代以后与七十年代以前碳化钨纯度的比较

年 代	C _总 ,公差	杂 质 含 量, %						
		Fe	Ca	S	Si	C _{游离}	碱金属	氮化残渣
七十年代以前	± 0.08	0.05	0.01	0.06	0.03	± 0.02	0.10	—
七十年代以后	± 0.02	0.02	0.003	0.01	0.003	± 0.02	0.10	0.02

进入七十年代以来,为了适应生产高精度和高可靠性硬质合金产品的要求,许多硬质合金生产厂家普遍采用一些先进的工艺与设备。例如,在还原碳化方面,由大管还原炉改成多排小管炉,碳化由电阻加热炉改成感应加热炉,从而降低了炉子温差,使物料均质性和重现性明显改善,并能达到粒度控制自如;在成形方面普遍采用高精度压机(如托斯特压机)和高精度模具,从而保证了产品的高精度,同时普遍采用冷等静压成形技术和挤压技术;在烧结方面已普及真空烧结,真空烧结炉不断更新,并采用电子计算机控制炉温,使炉温控制在 $\pm 20^\circ\text{C}$ 的范围内,热等静压也得到了进一步普及,近年来又研制成功低压热等静压设备与工艺,使硬质合金产品密度接近理论值,可达到99.999%,合金内的孔隙几乎完全被消除,从而显著地提高了产品质量^[5]。

为了适应难加工材料的加工,以及微型钻头、点阵打印针、精密模具的制造,世界各主要硬质合金生产厂家都推出了新型超细硬质合金,使WC—Co硬质合金的强度和硬度明显提高。这些合金除了满足上述用途的需要以外,还用来制作耐冲击工具和模具。

涂层硬质合金的出现较好地解决了硬质合金硬度和强度之间的矛盾,大幅度地提高了

硬质合金的质量，使其切削速度成倍增长，明显地提高了加工效率和工业生产率，深受用户欢迎，因而在世界范围内得到了飞速发展。西德克虏伯公司和瑞典山特维克公司先后从1969年开始销售涂层硬质合金可转位刀片，到七十年代中期涂层刀片已用于高速精加工、半精加工和粗加工各种钢材和铸铁，并出现了铣削牌号。各国都在大力推广涂层刀片，其用量不断增大（见表1—3和表1—4），从而使涂层刀片的产量不断提高。目前世界各主要硬质合金生产厂家都有成系列的涂层硬质合金牌号。

表1—3 美国各种工具材料用量的变化（%）

工具材料类型	1979年	1983年	变化情况
涂层硬质合金	26	43	上升
未涂层WC基硬质合金	68	50	下降
TiC基金属陶瓷硬质合金	3	3	持平
陶 瓷	3	4	上升

与此同时，硬质合金工业已延伸到非硬质合金领域——陶瓷和超硬材料领域。这些工具材料具有极高的硬度和耐磨性，如图1—2所示〔1〕，可极大地提高切削速度和加工效率，从而可为现代自动加工生产线、程控机床、无人操作机床提供高效的工具。因此，这些材料的出现引起了硬质合金界的极大兴趣，世界许多硬质合金生产厂家纷纷涉足于这个领域，已成为硬质合金领域的热点，发展异常迅速。目前主要硬质合金生产厂家都能生产陶瓷和超硬材料工具，有的并已系列化。目前这些新型工具在一些特定的应用领域中正在成功地取代传统硬质合金。

表1—4 日本和欧美各种工具材料用量的变化（%）

国 别	工具材料类型	1979年	1983年
日 本	涂层硬质合金	15	50
	未涂层WC基硬质合金	58	20
	金属陶瓷	20	20
	陶 瓷	7	10
欧美国家	涂层硬质合金	50	60
	未涂层WC基硬质合金	45	20
	金属陶瓷	2	10
	陶 瓷	3	10

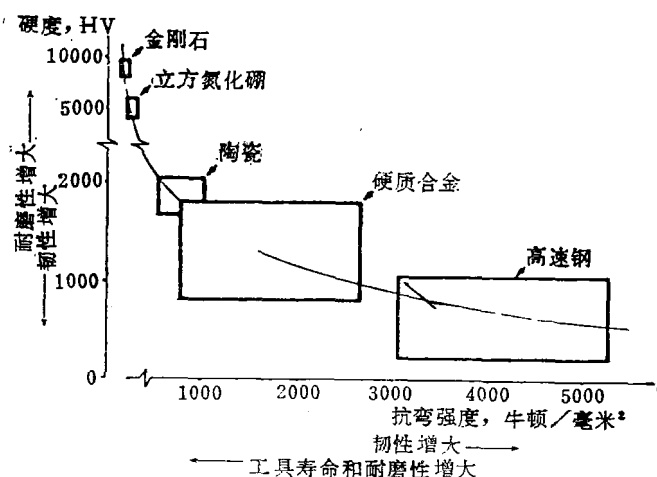


图1-2 各种切削工具材料的硬度—韧性图

在这一阶段中，世界硬质合金工业发展的主要特点可归纳为以下几点：一是为了适应现代科学技术发展的需要，世界硬质合金工业正在向精密化的方向发展；二是为了适应生产精密产品的要求，不断改进生产工艺与设备，研制出一些新型合金，特别是超细硬质合金和涂层硬质合金，同时硬质合金生产正向深度加工和工具配套方面发展；三是为了提高加工效率和适应新型自动化机床的要求，硬质合金工业正在向新的领域——陶瓷和超硬材料领域延伸。这一切都标志着硬质合金产品已发展成为高技术产品。

综上所述，硬质合金作为一种新兴的工具材料和结构材料，问世六十多年来，大体上经历了工业体系的形成、发展、成熟和产品精密化等阶段，已成为现代科学技术和工业发展不可缺少的材料，充分显示出它的优越性和强大的生命力，对世界科学技术和工业的发展起了重要的推动作用。

第三节 世界硬质合金生产概况

如上所述，世界硬质合金工业是一个发展比较快的工业部门。在1950年到1970年期间，世界硬质合金年增长率达9%〔6〕。1947年世界硬质合金产量仅为1600吨，到1967年增加到11000吨，即二十年间增长了6倍多。以瑞典山特维克公司为例，其硬质合金产量1958年仅为300吨，到1970年猛增到1700吨。在产品结构方面，采矿工具用硬质合金约占总产量的一半，切削工具约为25%，其余为耐磨工具及其他制品〔7〕。在此期间，硬质合金领域中的重要进展是，五十年代出现了可转位刀片及六十年代末期研制成功涂层刀片并投放市场。与此同时，开始研制搅拌球磨机，应用冷等静压成形技术，并开发了钢结硬质合金、添加TaC(NbC)的合金、TiC基金属陶瓷等。

进入七十年代以来，由于世界能源危机，各国竞相寻找能源，大规模进行地质探矿和矿山开采，使硬质合金产量大幅度增加，到1973年世界硬质合金产量达到了13000~15000吨，增长近40%。在此期间，硬质合金生产技术的主要进展是完善化学气相沉积涂层工艺，发展涂层硬质合金，世界主要硬质合金生产厂家均推出了涂层硬质合金刀片。在生产

中开始推广热等静压机、喷雾干燥器、搅拌球磨机、全自动压力机、大型真空烧结炉等先进设备。同时在一些先进硬质合金生产厂家开始应用电子计算机等先进手段进行硬质合金生产控制和管理。在产品结构方面也发生了较大的变化,以美国硬质合金产品结构为例,1978~1979年间,切削工具用量达到45%,矿山工具用量为25%,模具和耐磨零件用量为25%,其他产品为5%。

进入八十年代初,世界硬质合金工业保持了七十年代欣欣向荣的景象,产量直线上升,到1981年世界硬质合金产量达到25000吨,十年中增长1倍多。但是,在1982到1983年间,由于世界经济萧条,硬质合金产量急剧下降,西方国家的硬质合金的产量下降35%左右^[8]。从1984年起产量开始回升,达到20000~21000吨,并保持了稳定增长的势头,但其增长速度不如七十年代那样快。到1985年产量接近于1981年的水平,达到24600多吨^[9]。1986年以后基本上维持这一水平。

硬质合金工业发展比较快的国家有美国、苏联、瑞典、日本等国。例如,美国硬质合金产量,1980年就达到5500吨,1981年猛增到7100吨,1982年由于经济危机的影响减产30~35%,1983年产量继续下跌,降到4200吨,1984年恢复到6000吨,1985~1986年基本上保持了这一水平,瑞典硬质合金产量由1970年的1700吨增加到1980年的3100吨,1983年山特维克公司由于受世界经济危机的影响,出现了轻度亏损^[10],1984年扭亏为盈,销售总额为58.98亿瑞典克朗(约7.8亿美元),1985年增长13%,达到66.46亿克朗(8.7亿美元),1986达到66.9亿克朗(约8.9亿美元)。

进入八十年代以来,在生产技术上主要是进一步完善和推广七十年代出现的新工艺和新设备,诸如喷雾干燥器、大型卧式真空烧结炉、热等静压机、低压烧结炉等设备。同时电子计算机等新技术在硬质合金工业中得到较为普遍的应用。

进入八十年代以来,世界硬质合金生产发展的主要原因是地质钻探、矿山凿岩用量增大以及硬质合金深度加工的发展促进了新的应用领域(如电子工业、耐磨零件等)的开拓。

与此同时,硬质合金产品结构也发生了一些明显的变化。以美国硬质合金的应用为例,其产品应用结构的变化情况如表1—5所示^[11]。

从表1—5中可以看出,切削工具和矿山地质工具的用量有减少的趋势,而模具和耐磨零件的用量有增长的倾向。

八十年代世界硬质合金工业发展的一个突出的特点是涂层硬质合金迅速发展,产量大幅度增长,应用领域不断扩大,已成功地应用于铣削工序。目前涂层刀片已发展到占切削刀片总量的一半以上。例如,美国涂层刀片占可转位刀片的比例由1979年的26%增加到1983年的43%,未涂层刀片所占的比重由原来的68%降到50%以下;瑞典山特维克公司的涂层刀片已占可转位刀片的85%左右^[10,12]。

据不完全统计^[13],目前世界上有50多个国家生产硬质合金,其总产量估计可达27000~28000吨。其中美国产量估计可达6000~6500吨,苏联7000~7100吨^[14],瑞典3100~3300吨,日本3300吨左右。

进入八十年代以来,出现了西方先进技术向东方转销的倾向。例如,瑞典山特维克公司1980年为南斯拉夫设计并装备一个硬质合金厂(山特维克公司占30%股份),1981年

表1—5 美国硬质合金应用结构的变化

应 用 领 域	应 用 结 构, %		
	1978~1979年	1982~1983年	1984年
钢材加工工具	25	20	20
铸铁、有色金属加工工具	20	20	20
矿山地质工具	25	15	20
模具和成形工具	10	15	12
耐磨零件	15	25	23
其 他	5	5	5

与苏联签订建设硬质合金工具厂的合同, 1982年与保加利亚达成建设硬质合金厂的协议, 1983年与我国签订建设年生产能力为300吨的硬质合金厂的协议, 1985年向苏联提供价值5000万瑞典克朗的技术诀窍; 西德克虏伯·维迪阿公司与我国签订建设硬质合金厂的协议; 西德赫尔特公司为南朝鲜建设一个硬质合金厂; 奥地利沃斯特·阿尔平工业设备公司与苏联签订建设硬质合金制品厂的协议^[16]; 美国休斯公司为我国建设一个硬质合金石油钻探工具厂等。

第四节 世界硬质合金贸易概况

目前世界硬质合金市场的年贸易量大约为6000吨左右, 约占硬质合金总产量的21~22%。

整个世界硬质合金市场可划分为北美、西欧、东欧和亚洲四大市场。现将这四大硬质合金市场作一简要的分析^[8]。

1. 北美市场 北美市场包括美国和加拿大。该市场的硬质合金生产发展较快, 其产量很大, 但消耗量也大。美国硬质合金产量在1960年为1000吨, 约占当时世界硬质合金总产量的三分之一, 到1970年增加到4000吨, 1980年达5500吨, 1981年创最高纪录, 达7100吨。1982~1983年由于经济不景气, 硬质合金产量下降到4200吨左右。1984年由于汽车工业复苏, 硬质合金产量恢复到6000吨左右, 近几年来, 基本上保持在这一水平上。加拿大硬质合金产量很小, 只有100吨左右, 但耗量很大, 主要靠进口。

北美市场是一个硬质合金大市场。其中美国硬质合金进口量和出口量都很大。出口的主要对象是加拿大、英国和西德, 估计1985年出口额达3.4亿美元。同时美国也是进口硬质合金的大户, 估计1985年进口额达2.1亿美元。

2. 西欧市场 西欧市场是比较大的硬质合金市场。该市场硬质合金生产发展较快, 产量较大, 其主要特点是生产技术比较先进, 深度加工和产品配套力量很强。世界上比较著名的硬质合金生产厂家大部分都集中在该地区。其中瑞典有两家, 即山特维克公司和赛克工具公司, 两个厂的总产量约为3100吨, 其中90%供出口; 西德有两家, 即维迪阿公司和