

75.4

00-2169

中等专业学校教学用书

硬质合金生产原理

B.C.拉柯夫斯基 合著
H.P.安捷尔斯

冶金工业出版社

中等專業學校教學用書

硬質合金生產原理

B. C. 拉柯夫斯基
H. P. 安捷爾斯
合著

冶金工業出版社

本書是根据苏联国立冶金出版社 1951 年出版 В. С. 拉柯夫斯基和 Н. Р. 安捷尔斯合著的“硬質合金生产原理”苏联中等技术学校“硬質合金生产”專業的教科書。

書中闡述了金屬陶瓷硬質合金的生产原理，以及鑄造碳化物，司太立合金，粒狀合金，焊条合金的制造工艺与理論基础。此外，还包括了金屬陶瓷硬質合金的工艺和金屬学的教学實習。

参加本書譯校工作者有：刘国鈺、姚汉武、朱沐、王景鑑、戴受惠諸同志。

В. С. Раковский Н. Р. Андерс
ОСНОВЫ ПРОИЗВОДСТВА ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ
Металлургиздат (Москва 1951)

硬質合金生产原理

刘国鈺等譯校

編輯：李建国

設計：童熙菴

責任校对：赵崑方

1953 年 8 月第一版

1958 年 8 月北京第一次印刷 6,000 册

850×1168 · 1/32 · 113,500 字 · 印張 $6\frac{6}{32}$ · 定价 (10) 0.95 元

冶金工業出版社印刷厂印

新华書店發行

書号 0842

冶金工業出版社出版 (地址：北京市灯市口甲 45 号)

北京市書刊出版業營業許可証出字第 093 号

目 录

序言	5
导論	8
第 一 章 金屬陶瓷硬質合金金屬学的基本原理	13
§ 1 概述	13
§ 2 难熔金屬	13
§ 3 复碳化物的形成与相互作用	16
§ 4 金屬陶瓷硬質合金中的輔助金屬	19
第 二 章 金屬陶瓷硬質合金中用的金屬粉末制备工艺	20
§ 1 金屬粉末制备过程的理論基础	20
§ 2 还原过程的工艺	25
第 三 章 碳化物粉末的制造工艺	33
§ 1 碳化物制造过程的理論基础	33
§ 2 碳化物粉末的制造工艺	40
第 四 章 粉末的研磨过程及硬質合金混合料的制备	47
§ 1 研磨过程的理論基础	47
§ 2 制备硬質合金混合料的工艺	52
第 五 章 粉末的成型过程	64
§ 1 概述	64
§ 2 压型过程的基本原理	64
§ 3 工艺过程的叙述	72
§ 4 压型設備	80
第 六 章 金屬陶瓷合金的燒結	85
§ 1 燒結过程的理論基础	85
§ 2 燒結的工艺	100
§ 3 金屬陶瓷硬質合金的基本性能	104
§ 4 金屬陶瓷硬質合金生产中的廢品	106
第 七 章 应用金屬陶瓷硬質合金的簡要知識	110
§ 1 概述	110
§ 2 硬質合金在金屬加工中的应用	110
§ 3 金屬陶瓷硬質合金在采矿工業中的应用	114
第 八 章 鑄造碳化物	115

§ 1	概述	115
§ 2	鑄造碳化鎢的制造工艺及其特性	115
第 九 章	司太立合金和类司太立合金	130
§ 1	概述	130
§ 2	司太立合金和类司太立合金的金属学基本原理	131
§ 3	制备司太立合金和类司太立合金的工艺基础	136
§ 4	司太立合金和类司太立合金的堆焊过程	143
第 十 章	焊条合金及粒状合金	146
§ 1	概述	146
§ 2	焊条合金和粒状合金的金属学基本原理	147
§ 3	焊条合金的制造工艺	152
§ 4	焊条合金生产中的废品和技术检查	164
§ 5	斯大林尼德的制造工艺及其性质	166
§ 6	伏卡尔的制造工艺及其性质	169
§ 7	焊条合金和粒状合金堆焊的基本原则	169
§ 8	金属和零件机械磨损的物理原理	171
第 十 一 章	硬質合金生产中的技术检查	173
§ 1	概述	173
§ 2	一些技术检查的方法	173
第 十 二 章	一些基本的经济知识	185
§ 1	概述	185
§ 2	硬質合金的成本	185
第 十 三 章	教学实习	187
实 习 1	测定粉末的粒度	187
实 习 2	制造不同粒度的鎢粉	189
实 习 3	压型过程的研究	191
实 习 4	研究原始粉末的粒度与燒結合金性能的关系	193
实 习 5	测定計算用的收縮系数	194
实 习 6	硬質合金的全相研究	195
实 习 7	测定硬質合金的显微硬度	196
参考文献		197

序 言

在苏联硬質合金的生产已經成为一个独立而龐大的工業部門。硬質合金已普遍应用于金屬加工、矿山和很多其他国民經济部門中。

苏联工業经历了光荣的發展途徑。苏联的科学家和工程师們对于硬質合金的制造工艺及其性能的研究方面作出了巨大的貢獻。

苏联硬質合金工業的創始人 Л. П. 馬里科夫 (Мальков) 工程师和 Г. А. 麦尔遜 (Меерсон) 教授及其同事們在研究碳化鈦和鈦鎢硬質合金方面完成了很多工作。Я. С. 烏曼斯基 (Уманский) 教授及其同事們在研究难熔金屬碳化物的物理性能方面有着珍貴的貢獻。

苏联科学家在創立硬質合金金屬学原理方面有着偉大的功績；这里必需指出 Н. М. 查魯濱 (Зарубин)、М. М. 巴比奇 (Бабич)、А. Е. 科瓦爾斯基 (Ковальский)、В. И. 特列齐雅柯夫 (Третьяков)、И. Н. 恰波洛娃 (Чапорова) 等；在这些科学家的著作中确定了合金組織与其性能間的关系，並深入地研究了 W-C-Co 和 W-C-Ni 系的平衡图。

苏联科学家在硬質合金金屬学方面的著作完全推翻了外国学者們一些不正确的观念，特别是美国 Р. М. 麦克康納 (Мкенна)，他曾經宣揚有 $TiWC_3$ 化合物的存在，並建立一套十分荒謬的制造鈦鎢硬質合金的工艺学。

工程师 С. Р. 瑞尔佐夫 (Жильцов)、Г. Н. 列文 (Левин)、Е. л. 李平施捷恩 (Либенштейн)、В. Я. 李斯金 (Рискин) 在硬質合金生产的工艺学和生产組織方面有着巨大的貢獻，他們和許多职工一道保證了苏联硬質合金工業的高度技术水平，而現在已成為世界上先進的工業。

斯大林獎金获得者 И. С. 布罗欣 (Брохин)、工程师 Л. Л. 費捷麦尔 (Федермеер) 創造了制造形狀复杂的硬質合金制品 (如整体的銑刀、絞刀等) 的工艺学。

由于 И. И. 克留柯夫 (Крюков, 硬質合金工業中最老的工作者之一) 和 А. М. 卡斯巴洛夫 (Каспаров) 諸人工作的結果, 堆焊硬質合金 (特別是斯大林尼德合金) 在工業中获得广泛的应用, 这些合金已可靠地应用于很多工業部門的實踐中。

技术科学副博士 Ф. Ф. 斯米尔諾夫 (Смирнов)、工程师 Б. З. 列文、Н. А. 罗茲諾 (Розно)、Л. М. 列文、М. П. 謝別列娃 (Шепелева) 等在金屬加工中硬質合金的应用技术上做出很大的貢獻。

以上仅仅談到一些最重要的工作, 这远不及苏联科学家和工程师們在应用硬質合金方面的全部工作。尤其是苏联研究工作者对于硬質合金的質量檢查, 应用硬質合金独特而深入地解决許多重要問題各方面的許多工作都沒有述及。

虽然, 关于硬質合金在實驗上、理論上和工艺学上都积累了丰富的資料, 但是, 在苏联或在国外的文献中却没有关于硬質合金制造工艺問題的教材。

在苏联及国外出版的書籍中, 或者仅叙述局部的問題, 或者过于膚淺, 或者属于硬質合金發展初期的著作, 現在都已非常陈旧。

本書是根据莫斯科有色冶金中等技术学校“硬質合金制造工艺”教学大綱編写的。

書中叙述了現代硬質合金制造的理論和工艺基础, 研究其特性和有关应用方面的基本知識。

本書系根据苏联的丰富生产經驗, 国内外的研究, 以及作者本人的工作而編著的。初步嘗試彙集这些資料按照严格的系統来闡明硬質合金工艺学原理。

导論、第一章和第七章至十三章由 В. С. 拉科夫斯基执笔, 第二章至第六章由 Н. Р. 安捷尔斯执笔, 並由 В. С. 拉科夫斯基

作总的編輯。

作者对教授 Я. С. 烏曼斯基博士和 Л. П. 馬里科夫 技术科学副博士的評閱，以及 И. М. 雷札夫斯基 (Рыжавский) 主編的宝貴指教，給本書以大大的改善，謹致以衷心的感謝。

(作 者)

导 論

硬質合金是种类繁多的一类合金，其特点在于高的硬度和耐磨性。

硬質合金的主要用途是装备各种工具(金屬切削工具, 矿山用工具, 引拔与冲压工具等)和堆焊设备及机器上易于磨損的零件。

近代硬質合金的名目繁多，計有百余种不同的牌号。但是仅管形形色色，仍可分成若干具有一定特征的类型。

硬質合金可按其制备的方法来分类。

現代硬質合金被分成五种主要类型，它們的特征列于表 1 (參看第 9 頁)

硬質合金的發展史，按其本質來說，就是工具材料应用在金屬切削加工和采矿鑽探工程上的發展史。

生产上日益增長的要求，以及需要获得生产效率更高的工具，引起了工具材料成分上的錯綜复杂。

含錳鉻成分的高速切削鋼具有很高的耐磨性，能使金屬加工得到更快的切削速度，代替了二十世紀初期还在采用的普通碳素鋼。

高速鋼的出現引起了金屬切削加工上真正的技术革命，使金屬加工生产率有可能提高一二倍。最初的硬質合金是在二十世紀初叶 1907 年以司太立合金类型出現的。

繼司太立合金之后，1914 年出現了鑄造碳化錳。

对于工具材料提出的要求日益增高，單靠司太立合金已不能滿足二十世紀二十五年末叶的需要，于是开始了探求新的硬質合金。

1927 年金屬陶瓷硬質合金出現，探求才获得成功。从这时起金屬陶瓷硬質合金便迅速發展，並开始出現各种新牌号的硬質合金。

表 1

硬質合金的类别

序次	合金类型	组 别	工 艺 的 特 征
1	2	3	4
I	金 属 陶 瓷	鈎-鈷	碳化鈎与鈷的合金是由粉末压型而后用燒結的方法，或用热压的方法制成。作金屬加工和矿山机械的工具以及机器的零件用
		鈦-鈎	碳化鈎、碳化鈦与鈷的合金。制法同上，主要作加工鋼材的切削工具用
II	鑄 造 碳 化 物	—	鑄造碳化鈎主要装备石油鑽探用的切削式鑿头
III	司太立合金和 类司太立合金	司 太 立 合 金 类司太立合金	鉻、鈷（或鎳）、鈎和碳的鑄造合金。主要用来堆焊易于磨損的零件 鉄、鉻、鎳和碳的鑄造合金，加有少量硅和錳。用来堆焊易于磨損的零件
IV	粒 状 合 金	—	由合金組元組成的粒状或粉状配料。堆焊在高速切削零件上成为硬質合金。用来堆焊易于磨損的零件和矿山工具
V	焊 条 合 金	—	帶有造料（包括鉄合金、熔剂等成分）的电焊条。用来堆焊和修理易于磨損的零件

在这几年中也出现各种不同的电焊条型的堆焊硬質合金。

苏联硬質合金生产的发展是在1929年奠基的，当时出现的第一种金屬陶瓷硬質合金名叫“波別基特”（Победит），其制造工艺是由一批工程师、技术員、工長在Л. П. 馬里科夫（Мальков）和Г. А. 麦尔逊亲身参与並指导之下研究成功的。

硬質合金的制造与应用已得到巨大的发展，几乎没有一个工业部門中硬質合金不是占着稳固的地位。

图1表示工具金屬发展的情况。从图上可以看出：化学成分的逐渐复杂，提高了工具金屬的质量，因而也增加了加工的速度。

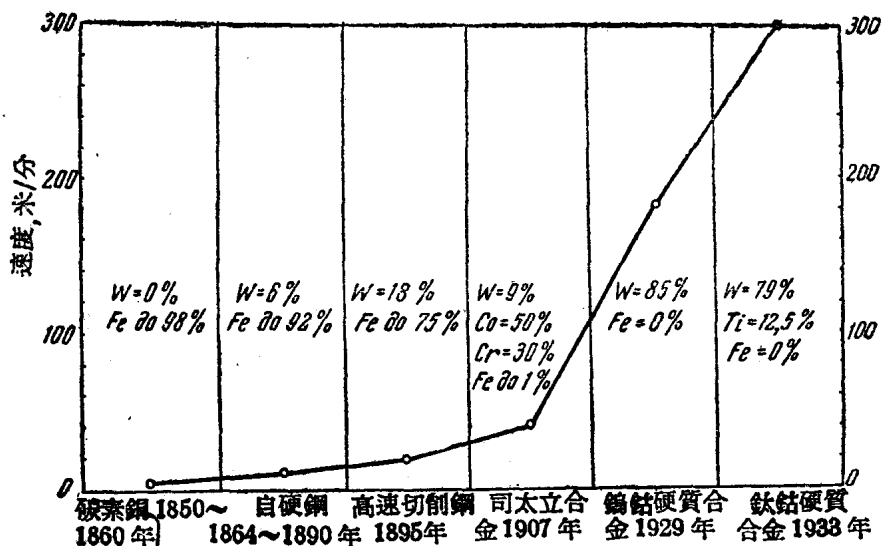


图1 以各种工具材料加工鋼材 ($\sigma=110$ 千克/毫米²) 的切削速度 (米/分鐘) 比較图

苏联目前具有发达而完善的硬質合金生产，保証制出优质的产品。硬質合金的制造，尤其是金屬陶瓷硬質合金的制造是建筑在苏联科学家自己所創立和研究出的严整的科学基础上。

硬質合金对国民經济的意义十分巨大：它使得机器和机械設

备的生产率急剧增大，使被加工的物件具有高度的光潔和精确性，在許多情况下可以省去精整的手續，並使那些因硬度高、在硬質合金未出現以前無法加工的材料获得加工的可能性。

此外（这点也具有極其重要的意义），硬質合金应用在工具装备上可以节约大量稀缺和貴重的工具材料和資金，因为在硬質合金中1公斤鎢的單位工作量較之在高速鋼中的1公斤鎢要大好几倍。

硬質合金堆焊在工業装备易于磨損的零件上，节省了大量这种零件的材料，堆焊后零件寿命提高很多倍，一般是数十倍。此外，在大多数情况下，易于磨損的零件通常都可以被堆焊好几次。

在上述几种硬質合金中，以金屬陶瓷硬質合金的制造工艺最复杂，因此將分成数章加以說明，而其余的硬質合金制造較簡單，故每一类型用一章的篇幅来叙述。

在有关硬質合金的生产和应用的文献中，以及在生产实际中常常遇到名詞术語上的分歧。茲將最常用的术語及其釋义列举于下：

常 用 术 語	解 义
松装密度 (насыпной вес)	單位体积中自由填充粉末的重量, 以克/厘米 ³ 表示
松装体积	單位重量的粉末自由填充的体积, 通常以厘米 ³ /克表示
粉末流动性	粉末流过小孔时的速度大小
粉末的比表面积	1 克粉末中所有粒子的表面积, 以厘米 ² 表示
还 元	由金属氧化物制备金属粉末的过程
碳 化	制备金属碳化物粉末的过程
金属陶瓷的	用粉末冶金方式制造的
相对密度	压块或烧结块的密度与原材料在致密时密度之比 (以百分数表示)
相对体积	粉末压块或烧结块的体积与原材料在致密时体积之比
压块 (有时叫做半成品)	粉末在压模中压型后所得到的成品
线收缩系数	半成品 (压块) 的线尺寸和烧结成品的线尺寸的比例
致密化系数	粉末松装体积与压块体积之比
单向压型	粉末在压模中压型时所用的压力来自一个方向
侧压力	垂直于压型压力方向的压力
热 压	粉末在热态下压型, 并同时烧结
第一次烧结	低温烧结, 使制品具有必需的强度, 以便进一步加工
粘結金屬	合金配料中的一个组成部分, 它在合金烧结时熔化成液相, 合金凝固时此液相便将硬的碳化物晶粒粘結起来
第二次烧结	高温烧结, 烧结后成品便具有最后的强度

第一章 金屬陶瓷硬質合金

金屬学的基本原理

§ 1 概 述

正如其名称所表示那样，硬質合金最特殊的性能是其高的硬度及因此而具有的高耐磨性。

硬質合金的特点在于紅硬性很高，就是說在高溫下（900~1100°C以下）有保持硬度的能力，而鋼在600°C便失去固有的硬度。

硬質合金的这些性能，系由其中存在的难熔金屬碳化物所决定，而且这些碳化物的化学成分、含量和粒度对硬質合金的物理-机械性能起着巨大的影响。

硬質合金中碳化物的含量可以在一个較寬的範圍內变动（从鑄造碳化物合金中含99~100%到司太立合金中含10~15%）。

为了更好地了解硬質合金的性能，必需研究难熔金屬及其碳化物的性能。

§ 2 难熔金屬

元素周期表（Д. И. 門德雷也夫）中第IV，V和VI族的金屬具有很多优良的性能：熔点高，强度大，能与碳、氮、硼生成極硬的化合物。

就其在硬質合金中应用的观点来看，鎢、鉬、鈦、钒、铌、钽等是最重要的金屬。

这些金屬与碳所組成的化合物，对于硬質合金工艺極其重要。根据它們的結構称为“間隙相”碳化物。碳化物和一些其他間隙相的晶格是由兩種不同类型的原子（金屬原子和非金屬原子）構成的，就碳化物來說，是由金屬原子与碳原子構成

的。

間隙相——金屬与碳的化合物（碳化物）或金屬与氮的化合物（氮化物）具有类似金屬的性質：如导电性、导热性、金屬光澤並在大多数情况下均有高的硬度。

茲將上述各金屬的主要性質列于表 2。

表 2

应用在硬質合金中的金屬的主要性質

金 屬	元素周期表族別	原子序数	原 子 量	熔 点 °C	比 重
鈦.....	IV	22	47.9	2000	4.5
鈮.....	V	23	50.95	1720	5.8
鉻.....	VI	24	52.01	1550	6.74
錳.....	VII	25	54.93	1250	7.23
鐵.....	VIII	26	55.84	1528	7.85
鈷.....	VIII	27	58.94	1478	8.72
鎳.....	VIII	28	58.69	1452	8.9
鎢.....	IV	40	91.22	1857	6.53
鉭.....	V	41	92.91	2500	7.37
鉬.....	V	73	180.88	3000	16.6
鎢.....	VI	74	184.0	3360	19.5
鉍.....	VI	42	96.0	2620	10.3

硬度是間隙相最重要的性能，它与金剛石的硬度很接近。按照近代的观点，間隙相的硬度高系由于非金屬原子（碳原子，氮原子）阻碍了金屬原子的滑移，好似滑移面被楔住。这样得到較高的硬度，同时却失去了这些相的塑性，即变成脆性的。

但是，必需指出：只有在金屬原子与非金屬（碳、氮）原子的大小成一定比例时才可能形成間隙相。当这个比例等于或小于 0.59 时，則形成“間隙相”，即类金屬原子分布在金屬原子晶格的間隙中，否則，便形成另外的化合物（鹽类，揮發物等）。

一些間隙相的重要性質〔1〕列于表 3 中。

表 3

应用在硬質合金中的金屬碳化物的主要性質

編號	名 稱	化學式	莫 氏 硬 度	熔 點 °C	金屬原子半 徑與碳原子 半徑的比例	比 重
1	碳化鎢.....	WC	9	2300	0.55	15.7
2	碳化二鎢.....	W ₂ C	>9	2360	—	17.15
3	碳化鈦.....	TiC	8~9	3140	0.53	4.5
4	碳化鉭.....	TaC	9	3800	0.53	14.0
5	碳化鈮.....	NbC	9	3500	0.53	7.5
6	碳化鋯.....	ZrC	8~9	3500	—	7.90
7	碳化鈳.....	VC	>9	2750	0.57	5.3

在苏联的硬質合金中，只有碳化鎢和碳化鈦获得实际的应用。

在化学成分上含碳量不定是碳化物間隙相的特征，此乃由于通常制备碳化物的金屬氧化物与碳化物形成可变成成分固溶体的結果。

列如，碳化鈦中化合碳的理論含量等于20%，实际上生产中所制得的碳化鈦，含碳量在相当寬的一个范围内变动（从17.5%开始，甚至更低些），这决定于其制造条件。在此情况下，碳化鈦与氧化鈦形成了固溶体。

碳化鎢在硬質合金中具有首要的意义，应该尽可能地全面研究。

W-C系以W. P. 賽克斯 (Sykes) 研究得最詳細〔2〕，他所研究的平衡图如图2所示。

从图上看：鎢溶解碳的量很少（0.05%以下）。在2600°C时碳化鎢WC發生包晶轉变，析出石墨狀的游离碳。

在W-C系中有两个共晶点，其中一个含碳量为1.5%（C点）；另一个含碳量为4.5%（O点）。碳化二鎢W₂C有两种結晶形态：即 α 与 β 。 α W₂C存在于1900~2400°C之間，超过2400°C則成 β W₂C。

图上 AC 綫段相当于碳溶于錳的固溶体开始凝固曲綫， CE 綫段相当于固溶体相 (W_2C+W) 的析出曲綫， EO 綫段相当于固溶体 (W_2C+C) 的析出曲綫。

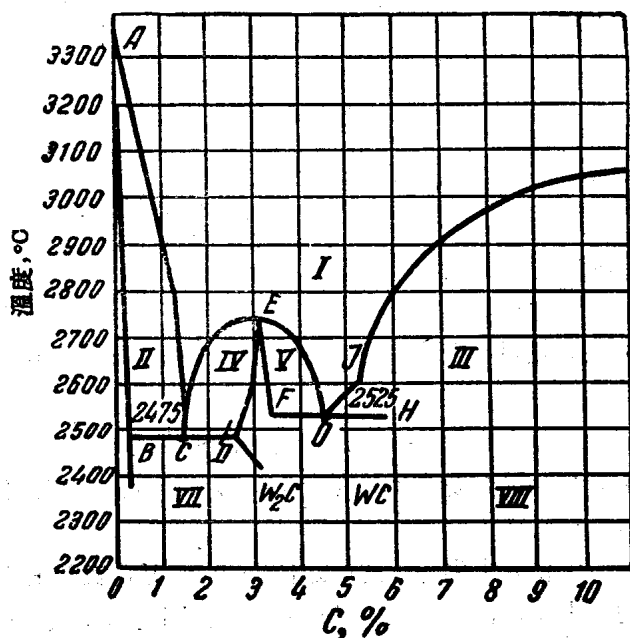


图2 W-C 系平衡图 (賽克斯)

化合物 WC 晶体沿 OI 曲綫从液态合金中析出。

在 E 点析出 W_2C ， O 点系 W_2C 与 WC 混合物组成的共晶点。 DEF 区为相当于 W_2C 晶格結晶的固溶体。

§ 3 复碳化物的形成与相互作用

有些金屬陶瓷硬質合金是由两种或两种以上碳化物制成，因此碳化物与碳化物之間的相互作用便具有重大的意义。苏联研究工作者的工作，特别是 Л. П. 馬里科夫 ， А. Е. 科瓦爾斯基 ， М. М. 巴比奇 ， Я. С. 烏曼斯基 ，以及一些外国的科学家建立了碳化物相互作用的一般原理，并对 TiC-WC ， TiC-VC ，