

世界硬质合金

指南与手册

〔英〕肯尼思·J·A·布罗克斯著

硬质

TF135-62

K

44

C.1

世界硬质合金指南与手册

[英]肯尼思.J.A.布罗克斯 著

第二版

全面修订与增订本

G108/18



中国科学院图书馆藏

World Directory and Handbook of Hardmetals

by Kenneth J. A. Brookes

Second Edition

Completely Revised and Enlarged

An Engineers' Digest Publication

※

※

※

世界硬质合金指南与手册

〔英〕肯尼思·J. A. 布罗克斯 著

(只限国内发行)

株洲硬质合金厂情报科译

译 者 的 话

为了适应我国硬质合金生产与使用技术发展的需要，我们根据厂领导的指示，对《World Directory and Handbook of Hardmetals》一书进行了翻译，供硬质合金生产、使用、科研、教学、外贸等方面的有关同志参考。

本书共分两部份。第一部份全面地叙述了当前世界硬质合金工业发展情况，即概要地介绍了硬质合金工业发展历史，论述了硬质合金生产工艺及其成份、结构、性能以及硬质合金的检验、质量控制和分类方法，阐述了硬质合金制品的设计要点及其组合与连接的方法；第二部份分别介绍了180多家硬质合金生产厂和330多家硬质合金工具、模具及粉末供应厂商的基本情况；最后附有三个索引，即公司索引、商标索引和牌号索引。

本书由卜福昌、何仁春、虞星波同志翻译，由张超凡、李沐山同志校对，全书由李沐山同志定稿。本书的出版工作由叶仁申同志总负责，本科的其他同志也为该书的出版发行做了大量工作。

在翻译过程中，对原书中明显的错误作了修正，译文力求通俗易懂，但由于我们水平有限，尤其是书中涉及的专业范围较广、文种较多，欠妥甚至错误之处在所难免，敬请读者批评指正。

株洲硬质合金厂情报科

一九八二年四月

目 录

第 一 部 份

绪言	(1)
1. 历史概述	(2)
2. 烧结硬质合金的生产	(6)
2.1 从钨矿到金属	(6)
2.2 碳化钨	(9)
2.3 碳化钨—碳化钛	(10)
2.4 碳化钨—碳化钛—碳化钽 (碳化铌)	(11)
2.5 钛基硬质合金	(12)
2.6 从碳化物到混合料	(12)
2.7 压制、预烧和成形加工	(14)
2.7.1 成形剂	(15)
2.7.2 压制	(17)
2.7.3 脱除成形剂和预烧	(19)
2.7.4 成形加工	(20)
2.8 烧结	(21)
2.9 热压	(24)
2.10 热等静压	(25)
2.11 涂层硬质合金	(26)
3. 烧结硬质合金的成份与结构	(29)
3.1 碳化钨—钴 (WC—Co) 合金	(29)
3.2 碳化钨—碳化钛—钴 (WC—TiC—Co) 合金	(32)
3.3 碳化钨—碳化钽 (碳化铌)—钴 (WC—Ta(Nb)C—Co) 合金	(33)
3.4 碳化钨—碳化钛—碳化钽 (铌)—钴或钴—钽 (WC—TiC—Ta(Nb)C—Co 或 Co—Ru) 合金	(34)
3.5 碳化钛—镍—钼合金	(35)
3.6 碳化铬—镍 (Cr_3C_2 —Ni) 合金	(36)
3.7 钢和合金粘结的碳化钛合金	(36)
3.8 其他基体的合金	(37)
3.9 涂层合金	(37)
4. 烧结硬质合金的性能	

4.1	密度	(41)
4.2	硬度	(42)
4.3	耐磨性	(43)
4.4	弹性模量 E	(43)
4.5	刚性模量 G	(43)
4.6	泊松比 μ	(44)
4.7	抗弯强度	(44)
4.8	抗压强度	(45)
4.9	抗拉强度	(46)
4.10	冲击强度	(46)
4.11	疲劳强度	(47)
4.12	热膨胀系数	(48)
4.13	导热率	(48)
4.14	比热	(49)
4.15	矫顽磁力	(49)
4.16	电阻率	(50)
4.17	导磁率	(50)
4.18	耐腐蚀性	(50)
5.	常规检验与质量控制	(51)
5.1	比重	(51)
5.2	硬度	(52)
5.3	外观与显微结构	(53)
5.4	断口	(58)
5.5	磁性能	(59)
5.6	内部孔隙度的非破坏性直接检验	(60)
5.7	涂层厚度与结构	(60)
6.	硬质合金制品的设计	(61)
6.1	直接压制	(61)
6.2	压制与成形加工	(63)
6.3	设计要点	(63)
6.3.1	避免应力集中	(63)
6.3.2	避免过长或过薄的制品	(64)
6.3.3	避免截面急剧变化	(64)
6.3.4	保持端面平行	(64)
6.3.5	保证牢固支承	(64)
6.4	等静压	(64)
6.5	挤压	(65)
	压	(65)

6.7	热等静压	(65)
6.8	公差	(65)
6.9	硬质合金牌号	(65)
7.	组合与连接方法	(66)
7.1	机械方法	(66)
7.1.1	冷缩配合或过盈配合	(66)
7.1.2	用螺纹件夹固	(67)
7.1.2.1	硬质合金制品中的孔	(67)
7.1.2.2	硬质合金制品中的螺纹	(67)
7.1.3	楔块固定	(68)
7.2	熔焊	(68)
7.3	钎焊	(68)
7.4	非金属粘结剂	(69)
7.5	橡胶硫化	(70)
8.	精加工和其他烧结后处理工序	(70)
8.1	研磨	(70)
8.2	电火花加工 (放电加工或 EDM)	(73)
8.3	电化学加工 (ECM)	(74)
8.4	超声波加工	(74)
8.5	“常规”加工	(74)
8.6	研磨与抛光	(74)
8.7	涂层	(75)
9.	机械车间用硬质合金	(76)
9.1	切削工具的分类	(76)
9.1.1	根据结构分类	(81)
9.1.2	根据加工方式分类	(81)
9.1.3	根据切削刃数分类	(81)
9.1.4	根据切削刃前角分类	(81)
9.2	各种加工的正确牌号	(81)
9.3	界面粘合磨损与月牙洼磨损	(82)
9.3.1	切削刃上的粘合	(83)
9.3.2	切削速度效应	(84)
9.3.3	月牙洼磨损	(85)
9.4	基本机械加工数据	(87)
9.4.1	硬质合金	(87)
9.4.2	表面速度与列出的硬度	(87)
9.4.3	焊接刀具与机夹刀片	(87)
9.4.4	吃刀深度	(92)

9.4.5	改进	(92)
9.5	木材加工工具	(92)
9.5.1	锯齿	(92)
9.5.2	刮刀与刨铁	(93)
9.5.3	其他木材加工工具	(93)
9.6	其他材料的加工	(93)
10.	非机械加工用途	(93)
10.1	凿岩与采石	(94)
10.2	金属成形工具	(98)
10.3	结构零件	(101)
10.4	耐磨零件	(103)
10.5	磨粒	(104)
11.	硬质合金分类法	(105)
11.1	德国	(105)
11.2	美国	(107)
11.3	苏联	(109)
11.4	国际标准	(110)
11.5	英国	(112)
11.6	代用分类法	(114)
12.	第一部分索引	(115)

第 二 部 份

13.	公司资料	(119)
13.1	硬质合金供应厂商	(120)
13.2	硬质合金工具、模具、粉末等的供应厂商	(365)
14.	硬质合金选择指南	(427)
14.1	机械加工用硬质合金指南——国际标准分类号	(427)
14.2	机械加工用硬质合金指南——涂层牌号	(428)
14.3	耐磨与耐冲击用硬质合金指南	(428)
15.	第二部份索引	(449)
15.1	公司索引	(449)
15.1.1	汉语索引	(449)
15.1.2	外语索引	(503)
15.2	商标索引	(564)
15.3	硬质合金现行牌号索引	(589)

第 一 部 分

绪 言

本书第一版的目的很简单：揭开硬质合金工业的“奥密”。作者希望它能有助于硬质合金用户从市销的大量合金中进行合理选择，并有助于他们了解所选择的产品的结构、性能和使用特点。

大多数硬质合金书籍可分为三类：一类是过于简单，对从事于实际工作的工程师、买主或冶金工作者没有多大用处；另一类又太深奥，太专门化，只有大学教授或硬质合金专家才能看得懂；第三类则是硬质合金公司出版的，其内容不全，客观性欠佳。因此，我们的任务就是要填补文献中一个很大的空白。

多年以来，国际硬质合金数据中心——作者咨询处——为硬质合金工业制订了世界硬质合金“对照表”，作为按其用途选择牌号的指南，该指南虽然粗糙，但尚能用。这种方法的不足已为人所公认并作了解释，但在本指南的第一版发表之前还没有一种有效的供选择的方案。然而，这些长期形成的表却为本书奠定了基础，甚至成为它的一个重要组成部分。

如本书标题所指出，本书既是一本技术手册，又是一部国际性指南。前面一些介绍性章节既不能使读者建设起硬质合金厂，且内容又不够充分，不会对现有生产厂家非常有用，但还是希望能对他们有所裨益。这些章节与其说适用于受有关硬质合金例行教育不够或未受过这方面教育的设计师、生产工程师或冶金工作者，不如说更适用于需要了解这种产品的重要作用的工程买主。

指南部分包括世界上大多数硬质合金生产厂家的最基本情况以及所收到的有关其产品的资料，其中许多资料从未在别处发表过。多年来，硬质合金工业以过分保密及其专门技术而著称，幸而这种状况正在逐渐改变，因而本版得以收到大量新资料。但是在那些从真正制造厂家买进硬质合金而重贴标签的“假生产者”的队伍中，遮遮掩掩之风仍在盛行，一夜之间他们就可对冒牌“牌号”的性能做出重大更改。

虽然这个最新修订版本的篇幅比第一版显著增加，内容也全面得多，但疏漏和欠妥之处在所难免，尤其是对发展中国家较小的公司的具体情况更是如此。我们增补了不少包括工具、模具和其它硬质合金产品的代理商、商标和生产厂家的条目。我们希望实际错误尽量少，但对可能出现的错误，就只能敬请读者原谅。欢迎提出修改、补充和批评意见。

我们再次向全世界各有关硬质合金生产厂和硬质合金工具制造厂表示万分感谢，感谢他们花费时间、精力和专长（往往以很高的水平）来填写详细调查表和解答我们的咨询。我们相信，他们的支持会使我们能够为他们及其买主编写一部更具有实用价值的书。

肯尼思·J·A·布罗克斯 1979年2月

1. 历史概述

硬质合金是用粉末冶金方法生产的一系列非常坚硬的难熔耐磨合金。在所有情况下，碳化物颗粒都是用一种在烧结温度下呈液态的粘结金属“胶结”的。各种硬质合金的成分和性能差异之大如同黄铜和高速钢那么明显。

尽管在所有硬质合金中不只含有单一的碳化钨组份，但不太熟悉的用户却把它们统称为“碳化钨”。这并非是偶然的，因为最早研制成功的牌号都是基于这种组份，现在制造的大多数硬质合金牌号也是如此（见表1.1）。

在本世纪初，发现高速钢之所以具有突出的切削能力，是由于在金属基体中含有很硬的碳化物颗粒，主要是碳化钨。因此，下一步很显然就是要制备由纯碳化钨组成的切削工具。在非常困难的情况下（需要2000℃的温度）终于实现了这个目标，但发现它们实在太脆，远不能用于工业目的。

卡尔·施勒特（Karl Schroter）从1914年起着手从事这项工作，并解决了这个带根本性的问题。他发现，如果将碳化钨粉同高达10%的铁、钴、镍之类金属混合，再把压制品在1500℃左右的温度下烧结，便可制得具有低孔隙度、很高硬度和相当高强度的产品。

烧结硬质合金是弗利特·克虏伯（Fried Krupp）在1927年以“Widia”（Wie Diamant——类似金刚石）的名称广泛推销的，Widia这个名称现在仍在沿用。后来，生产发展很快，1930年月产1吨，到1944年德国的产量尽管受到缺少钨的严重影响，仍达到月产40吨以上，相当于几十万片刀片。

虽然关键的东西是在德国发现的，但后来的大量发明却是在美国、奥地利、瑞典和其他国家取得的。由于专利权和钨的战略性质，烧结硬质合金的发展历史可以概括为沿着碳化钨基合金（表1.2）和完全不用碳化钨的合金（表1.3）两个方向不断改进的历史。

表1.1 机械加工用硬质合金的典型牌号*

分 类 号			成 份						性 能		
I S O 应用 分类号	美 国 工 业 分 类 号	** BHMA 性 能 分类号	WC	TiC	Ta(Nb)C	Co	Ni	Mo	密 度 (克/厘米 ³)	硬 度 (HV)	抗弯强度 (牛顿/ 毫米 ²)
P 01	C8	919	—	80	—	—	10	10	5.8	1900	850
P 01	C8	919	50	35	7	6			8.5	1900	1100
P 05	C7	926	78	16	—	6			11.4	1820	1300
P 10	C7	727	69	15	8	8			11.5	1740	1400
P 15	C6	635	78	12	3	7			11.7	1660	1500
P 20	C6	444	79	8	5	8			12.1	1580	1600
P 25	C6	344	82	6	4	8			12.9	1530	1700
P 30	C5	353	84	5	2	9			13.3	1490	1850
P 40	C5	263	85	5	—	10			13.4	1420	1950
P 50	—	182	78	3	3	16			13.1	1250	2300
M10	—	453	85	5	4	6			13.4	1590	1800
M20	—	363	82	5	5	8			13.3	1540	1900
M30	—	262	86	4	—	10			13.6	1440	2000
M40	—	273	84	4	2	10			14.0	1380	2100
K 01	C4	930	97	—	—	3			15.2	1850	1450
K 05	C4	830	95	—	1	4			15.0	1780	1550
K 10	C3	741	92	—	2	6			14.9	1730	1700
K 20	C2	560	94	—	—	6			14.8	1650	1950
K 30	C1	280	91	—	—	9			14.4	1400	2250
K 40	C1	290	89	—	—	11			14.1	1320	2500

* 各厂家之间可能差别很大。

** 英国硬质合金协会。

表1.2 WC基烧结硬质合金发展历史

1923—25	WC—Co
1929—31	WC—TiC—Co
1930—31	WC—TaC(VC, NbC)—Co
1932	WC—TiC—TaC(NbC)—Co
1938	WC—Cr ₃ C ₂ —Co
1956	WC—TiC—Ta(Nb)C—Cr ₃ C ₂ —Co
1959	WC—TiC—HfC—Co

1968—69	WC—TiC—TaC(NbC)—HfC—Co
1968—69	WC—TiC—NbC(TaC)—HfC—Co
1965—78	TiC, TiN, Ti(C, N), HfC, HfN和Al ₂ O ₃ 涂层的WC基合金
1967—70	亚微细WC—Co
1965—75	热等静压
1969—71	热化学表面硬化
1974—77	多晶金刚石涂复层的WC基硬质合金
1973—78	复碳化物, 碳氮化物—氮化物以及碳化物—碳氮化物—氮化物—氧化物复合涂层
1976—79	添加Ru的复杂硬质合金

表1.3 无WC的烧结硬质合金发展历史

1929—31	TiC—Mo ₂ C—Ni, Cr, Mo
1930—31	TaC—Ni
1931	TiC—TaC—Co
1931	TiC—Cr, Mo, W, Ni, Co
1938	TiC—VC—Ni, Fe
1944	TiC—NbC—Ni, Co
1949	TiC—VC—NbC—Mo ₂ C—Ni
1950	TiC(Mo ₂ C, TaC)—Ni, Co—Cr
1952—66	TiC—可热处理钢和合金
1957	TiC—TiB ₂
1965—70	TiC—Mo ₂ C(混合物)—Ni, Mo
1968—70	(Ti, Mo)C(固溶体)—Ni, Mo, Cr
1969—70	TiC—TiN—Ni
1968—73	TiC—Al ₂ O ₃
1972—75	TiC—Ta ₂ N—Ni

早期研究旨在首先是提高拉丝模的质量, 其次是改进切削工具, 最后是烧结硬质合金在品种繁多的模具、工具、耐磨零件和机械零件上的应用。整个硬质合金产量中近半数用于矿山工具; 另一方面, 无数家庭都有那么几片合金用来作石工钻头、玻璃割刀或磨刀器。

然而, 比较短的硬质合金历史却因缺乏标准、过分保密以及生产过份分散(尤其是在英国)而受到严重阻碍。除了1939—45年战争期间, 在德国和欧洲大陆的生产实行严格标准化以外, 一直没有工业范围的成份或性能标准。事实上, 德国的战时标准持续了很久, 因为战后公布的细则仍是许多生产厂家的基础。可惜, 它们还是构成了基于使用而不是基于成份或性能的德国标准的基础, 后者进一步发展成为现行的ISO分类系统。

其他国家的发展情况也类似, 尤其是美国更是如此。美国原来的布伊克(Buick)系统尽管有的地方不大可信, 但最后却被用作通用的“工业标准”。由于没有其他公认

的比较基础（除现在几乎已不太用的英国硬质合金协会标准外）和不顾生产厂家的否认，各用户仍以为具有相同“标准”分类号的不同生产厂家的牌号基本上相类似，这是不足为奇的。事实上，谁也不能担保这些牌号在成份、硬度、韧性、耐磨性、切削性能或任何其他性能上是相似的。

此外，多年来大部份生产厂家都是采取过份保密的态度。这样作在许多方面已造成严重恶果。在大多数情况下，生产厂家所拥有的最秘密的东西却是无密可保的，其各种技术对他们的竞争者来说同样是十分熟悉的。可是，由于他们在合作研究或销售方面互相限制，某些较先进的厂家容易被少数几家大厂吃掉，而大部份其他厂家则在世界上就显得微不足道了。遗憾的是，英国已经出现了不合作和工业分散的恶果，这里尽管厂家很多，但销售完全受进口货的支配，并为海外所控制。

近年来，在硬质合金切削工具方面发生了两次“革命”，一次是源自美国，另一次则来自欧洲。首先发生的是由焊接刀片转为机夹刀片，接着便是涂层工艺的飞速发展。

所有焊接刀具或多或少受到焊接工序本身所残留的应力的影响，在操作者技术不熟练或者设计不当时，这种应力甚至在未切削金属之前就会引起刀具破裂。焊接刀具也有其优点，即可以多次重磨，几乎可以磨到用完，但每次刃磨都要调整刀具以保持加工精度。随着劳动力成本的提高，起初在美国，后来发展到欧洲和其他地方，开始采用往往便宜一些的“可转位刀片”，即尺寸精确的夹固式刀片。这种刀片无需重新调整，但可用到每个切削刃或刀尖丧失原有锐度为止。无焊接应力和“一次使用”的概念，意味着还可以采用硬度更大，寿命更长的牌号。但是，硬质合金在报废前只磨损那么一点点就丢掉不用，致使一个次要行业应运而生，他们将所谓“可卸”刀片进行重磨并装配在改装的刀杆上再次使用。这样一来，以生产硬质合金为主的公司曾经大幅度上升的产量便停滞下来，甚至在某些情况下还有所下降。

后来，碳化物和氧化物涂层的问世和迅速推广终于避免了这场战斗。在韧性较大、冲抗击性较强的基体上涂复一层硬度更大、耐磨性更高的表面，使生产厂家能生产出新一代的寿命更长的刀片，而且这种刀片还有一个“优点”，即是重磨会破坏其增强的性能。有些生产厂在几年之内就使其涂层硬质合金销售额达到全部切削工具用硬质合金的90%。

当切削工具和采矿工具达到“饱和”点时，生产厂家普遍都在机械零件和耐磨零件方面加倍努力。仅在几年之前，世界硬质合金产量中有20%以上曾用作几千万个轮胎防滑钉或“道钉”，这些钉子能够咬住冰雪路面，但遗憾的是也会破坏无冰雪的路面。结果，许多国家禁止使用装防滑钉的轮胎，这个快速发展的行业就这样奄奄一息了。

可能对硬质合金工业会产生更持久影响的另一个发展，看来是把它用于以前很不经济的那些应用领域。这就是热等静压（H.I.P.），用这种方法可以在烧结温度下借助施加的高压惰性气体将几乎所有残余孔隙都从硬质合金中挤出。采用这种方法，可使韧性、断裂应力和抗冲击性增加一倍或二倍，也可使非常大的制品的废品率减少到原值的几分之一。例如，精密抛光的森氏轧辊的合格率可由5%提高到95%。矿山工具也因消除了引起应力的微孔而使性能显著提高。

未来的发展可能不如近年这么大，但这仍不失为一个比较年青的大有作为的工业部门。今后最艰巨的任务也许是制订能真正客观反映不同厂家产品的国际标准。

2. 烧结硬质合金的生产

硬质合金的生产工序既长而又复杂，几乎其中的每个因素都对成功与否有着举足轻重的作用。在许多方面，这些工艺是硬质合金工业所特有的。

最初的而且现在仍是基本的产品是由很细的碳化钨颗粒(硬而耐磨的组份)被韧性的比较软的金属钴粘结而成。碳化钨常常补加以钛、钽、铌、铬、钒、钼或钨的碳化物的一种或其组合物，或者为其所取代，而钴同样也可与镍或镍—钼形成合金或者用它们取代。

人们往往把烧结制品同“砖和灰浆”对比，这种对比某种程度上是很逼真的，因为“灰浆”(钴)在最终烧结时呈液态并在从烧结温度冷却时则凝固。但类似之处也不过就是如此而已。

主要生产阶段是：金属钨粉的生产、碳化钨的制备、复式碳化物和其他碳化物的制备、同钴混合制取混合料、压制、预烧、成形加工、最终烧结。

上述生产工序的相互关系如图2.1所示。产品很少以“烧结态”使用，而是要经过磨削、抛光、喷砂、喷镀或涂层，以获得更硬的更耐高温的表面。

2.1 从钨矿到金属(图2.2)

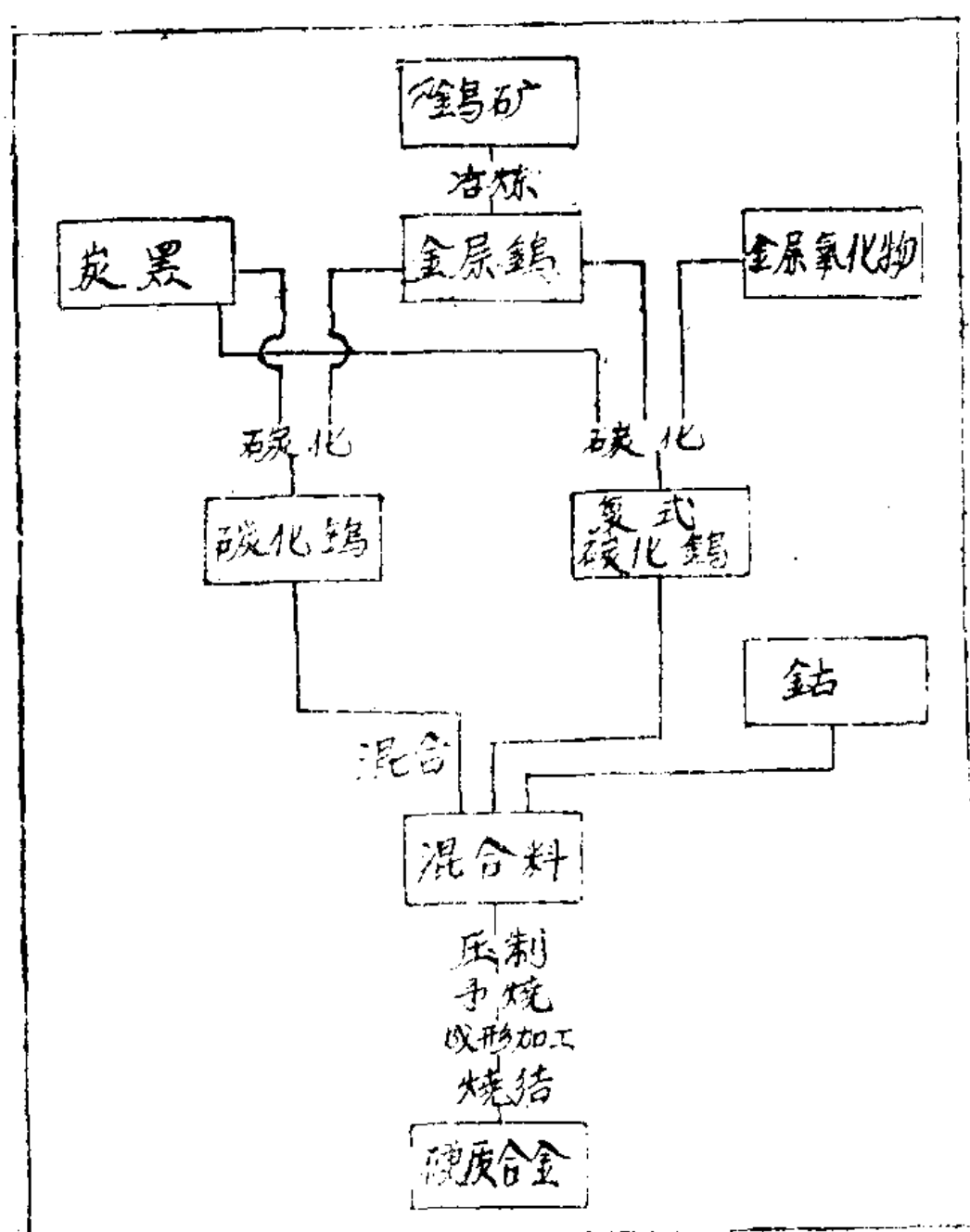


图2.1 硬质合金生产流程示意图

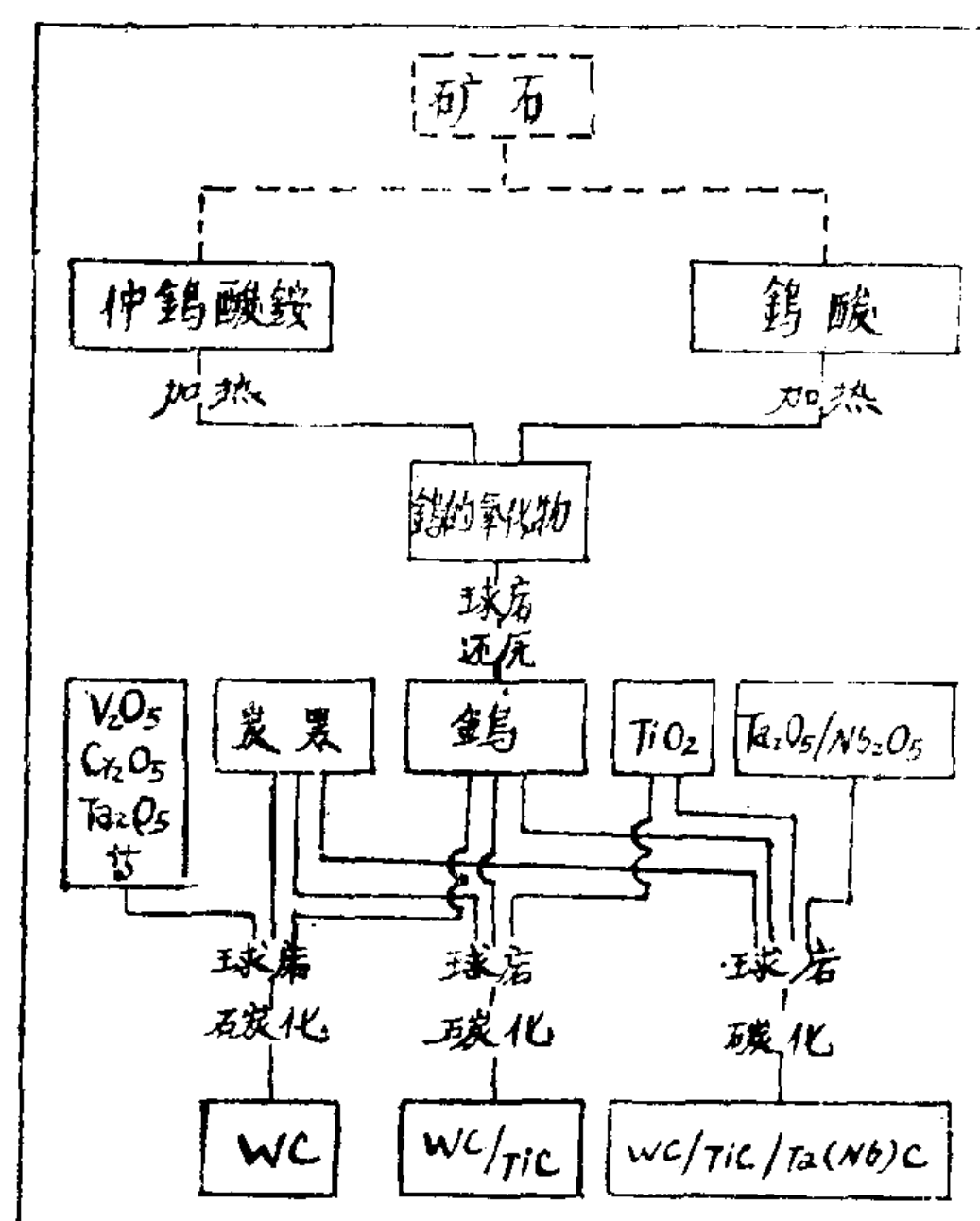


图2.2 碳化物粉末生产的简化流程图

硬质合金生产所用的各种碳化物中，通常只有碳化钨是用纯金属粉末碳化的方法制取的。所有其他碳化物都是经氧化物直接碳化而制备的，从而可省掉中间阶段。最终产品的粒度和其他性能在很大程度上取决于钨粉的这种性能，致使前段的失误很难在以后的任何生产阶段中得到补救。

钨矿（主要是黑钨或白钨）的选择和处理基本上超出本书范畴，况且也只有少数厂家才搞。典型冶炼方法是将黑钨矿破碎、研磨和分级，然后用热氢氧化钠浸出而得到钨酸钠溶液。用盐酸中和之后，加入氯化钙以沉淀钨酸钙，再加盐酸得到钨酸沉淀。

钨酸可以直接转化成黄色氧化物 WO_3 ，其粒度取决于钨酸的粒度以及处理时所用的温度和气氛；或者是将钨酸沉淀再溶于氨，用盐酸中和并结晶析出仲钨酸铵。沸腾蒸发得到片状 $5(\text{NH}_4)_2\text{O} \cdot 12\text{WO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 结晶，而低温（ 50°C 以下）结晶则沉淀出针状 $5(\text{NH}_4)_2\text{O} \cdot 12\text{WO}_3 \cdot 11\text{H}_2\text{O}$ 仲钨酸盐。

用“ $5\text{H}_2\text{O}$ ”的仲钨酸盐可根据其粒度和以后的工艺条件不同制取平均“直径”约1微米到5微米以上的钨粉。带“ $11\text{H}_2\text{O}$ ”的仲钨酸盐能使最终粒度更趋于均匀一致，其值可保持在 $0.8 \sim 1.2$ 微米。钨酸可以制备成提供最宽范围的粒度，即由超细的小于 0.25 微米到 10 微米以上。然而，几乎在每种情况下，很重要的是单批内的粒度应尽可能保持均匀，因为同一压块内的粒度不同，在最终烧结过程中会引起再结晶，伴随着晶粒的粗化以及产生“软点”。这是硬质合金生产厂家之所以强调质量控制以及采用“晶粒细化剂”（更确切地说是“晶粒长大抑制剂”）的最重要原因之一。

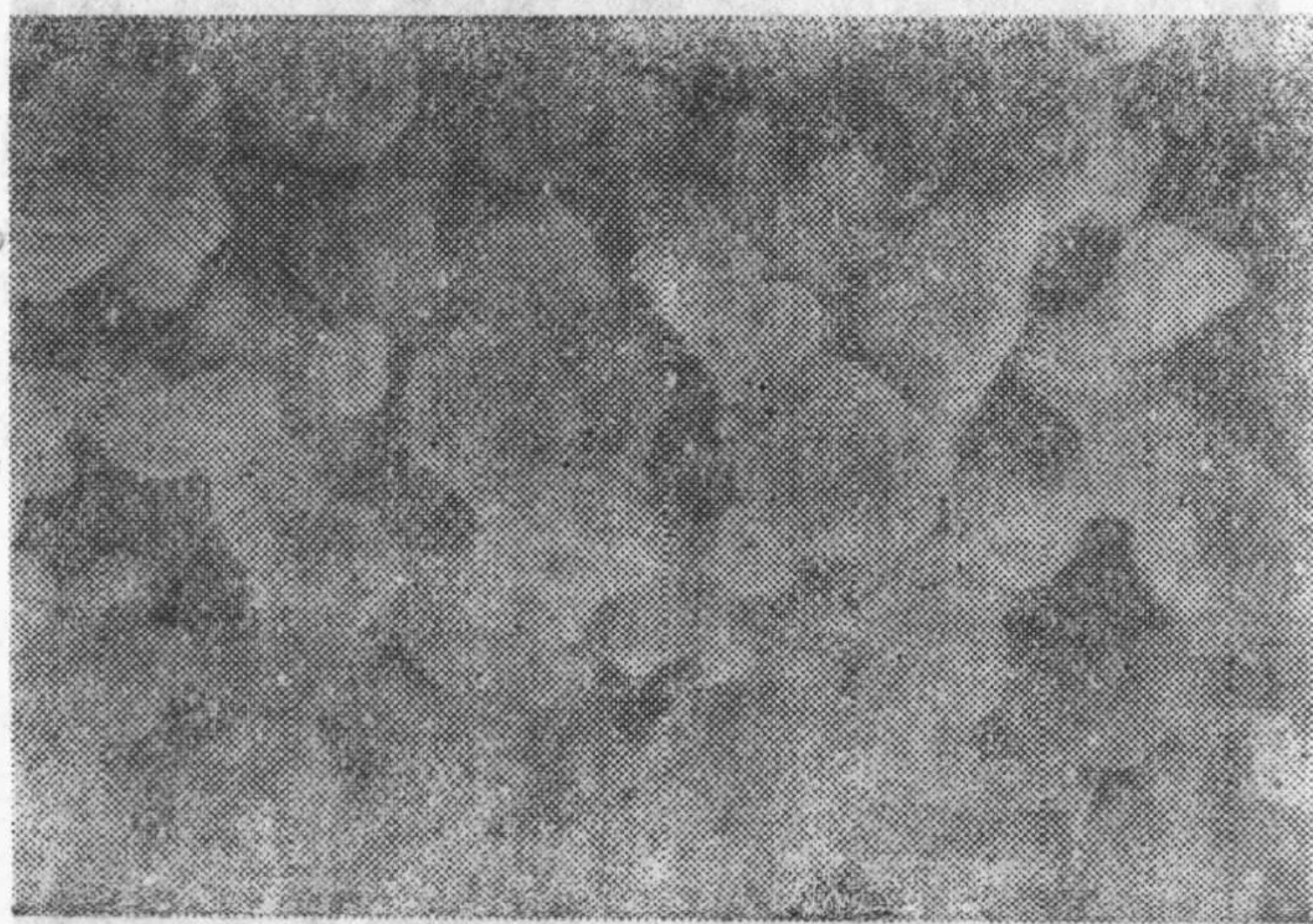


图2.3 钨粉 $\times 7000$

（瑞士施特拉克股份有限公司提供）

高纯仲钨酸铵或钨酸经三氧化钨和控制的氢还原的途径转化成钨粉（图2.3）。 WO_3 的制备常常是在不锈钢盘中经简单加热进行的，而还原成金属粉末则要在多带管式炉中于干氢气气氛中完成。炉子可用煤气或电加热，粉末置于不锈钢或耐热镍合金舟皿中半连续性地通过炉子（图2.4）。还原成金属可一次完成，或者经过中间氧化物（一般是棕色氧化物 WO_2 ），然后在更高温度下进一步完成。粒度最细的钨粉应在最低可用温度、最长时间、最干氢气的条件下制取，因此成本也最高。

氢气中的水蒸汽能明显地促进晶粒长大，但遗憾的是还原过程本身也会产生水蒸汽。

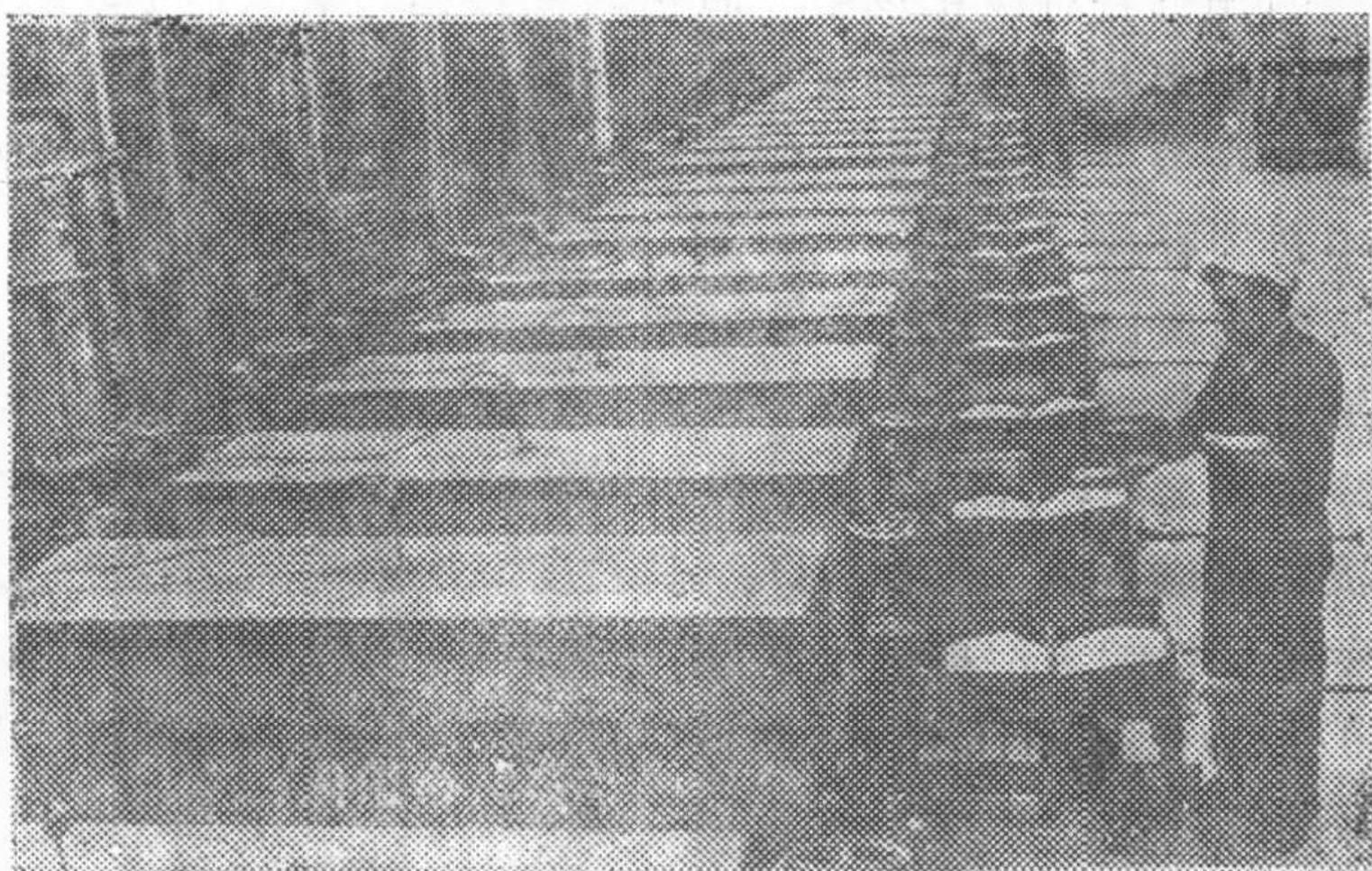
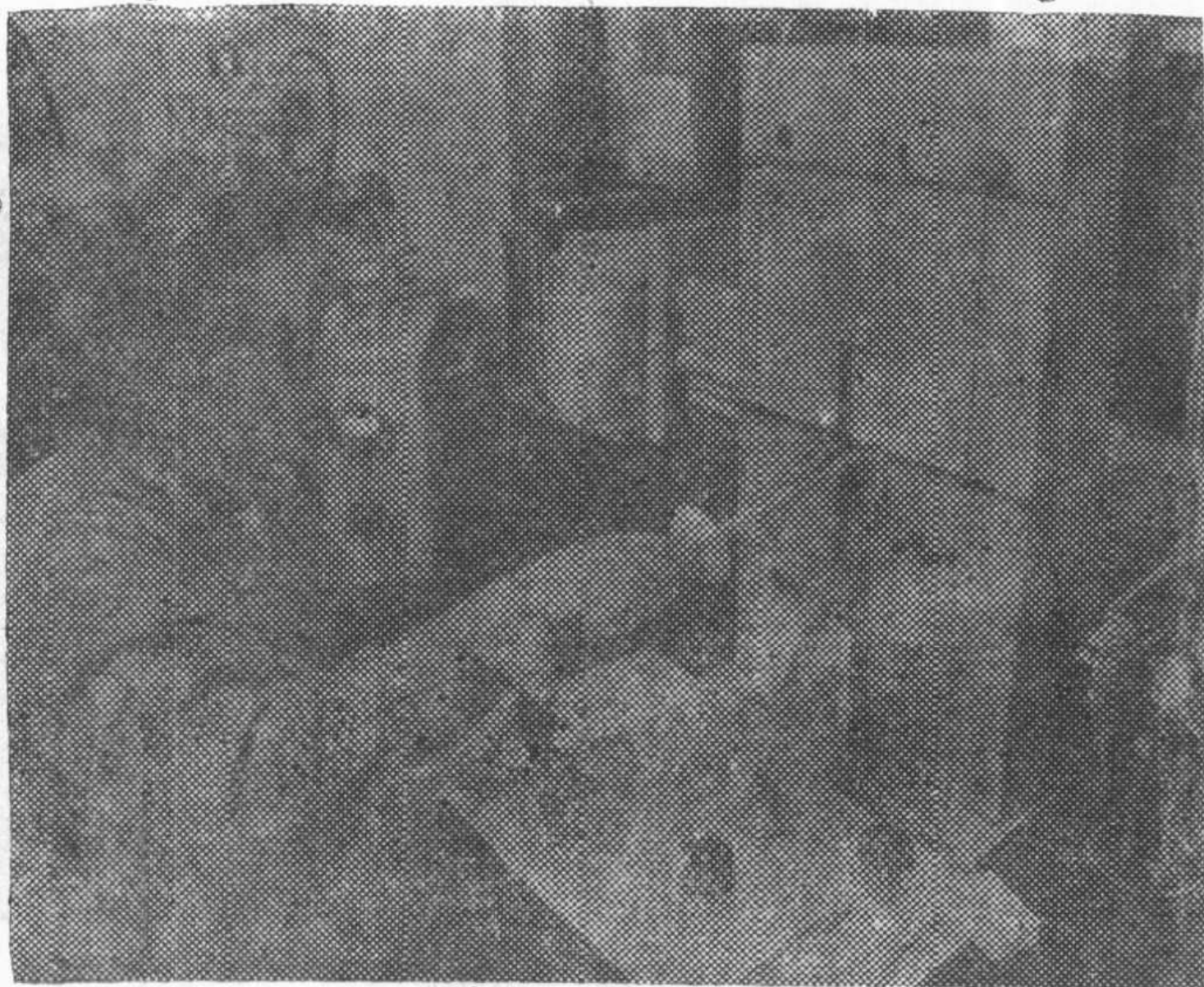


图2.4 英国威德内斯高速钢合金公司钨粉还原用的箱式推进炉

因此，尽管可以采取各种措施来预先干燥氢气，但是，如果氢气与被还原的粉末接触的时间太长，很快就会变湿。氢气预先干燥是使氢气通过活化的氧化铝或五氧化磷或冷冻到所需露点温度（ -40°C 以下）。氢气流过还原炉后，或者是在炉子出口端烧掉，或者是经干燥后循环使用。在循环使用时，从经济上看可以采用较高的流速，但难以保持最高纯度。

图2.5 硬质合金生产中广泛用于测定金属和碳化物粉末平均粒度的费歇尔超细筛（美国阿达马斯碳化物公司提供）



如前所述，粉钨粒度范围是大约从0.25微米到10微米左右，体积差为 $>60,000:1$ 。但一般来说约0.7微米以下的定为“微细”颗粒，1微米的为

“细”颗粒，1.5~2微米的为“中”颗粒，3—4微米的为“粗”颗粒。0.1微米以下的超细颗粒粉末具有非常特殊的用途，通常是用相当不同的化学工艺制取。尽管超细钨粉可以制取非常细的极其耐磨的硬质合金（而且就某些成份而言还可制取韧性特别高的牌号），但这种钨粉价格昂贵，在生产过程中需要采取特殊的预防措施，因而其生产被极大多数生产厂家所排斥。实际上也只有极少的硬质合金厂家冒险批量生产通常用费歇尔超细筛（图2.5）测得的粒度远低于1微米的钨粉。

2.2 碳化钨

用钨粉制取碳化钨(图2.2)比较简单,只需将钨粉与炭黑混合并在 $1400\sim 2650^{\circ}\text{C}$ 的温度下加热就行。温度要高到足以能在合适的时间内达到完全碳化,同时挥发掉大部分残留的杂质,但也不宜太高,以免新生成的碳化物发生晶粒长大。

由于炭黑和钨粉的密度差别极大,因此必须特别细心地混合与研磨。像在烧结硬质合金生产的其他各个阶段中一样,该工序尽管也可采用各种专用混合器和搅拌器,但采用滚动球磨机或搅拌球磨机可实现高效率。为其他工业生产的炭黑的产量很大,一般可以从其中选择到适用于硬质合金生产的高质量标准炭黑。典型高纯炭黑的未结团的颗立的粒度甚至比最细的钨粉还要细得多。

虽然炉内气氛起着炭黑载体的作用(通过生成甲烷之类气态碳氢化合物),但钨和炭黑的准确称量和混合至关重要。必须非常严格地保持化学计量的碳含量 6.12% (图2.6),以避免产生游离石墨或生成 W_3C (可导致最终烧结硬质合金中产生脆性 η 相)。当然,在嗣后的各个阶段也必须采取措施,



图2.6 为了测定硬质合金生产中所用的碳化钨和其他碳化物是否达到化学计量值,必须采用精确的定碳方法。一般是采用图示的燃烧法(美国阿达马斯碳化物公司提供)

尽可能减少脱碳或增碳。由于碳轻微过量对烧结硬质合金的主要性能影响不大,所以一般只将碳含量保持在最终成分的上限。

混合后,粉末在管式电阻加热炉中,在通氢气的条件下,或者在间歇式感应加热炉中进行碳化。氢气进入炉子之前可用甲烷饱和,以加速碳化过程,同时防止碳损失于炉