

В.С. Панов, И.Ю. Коняшин,
Е.А. Левашов, А.А. Зайцев

ТВЁРДЫЕ СПЛАВЫ

STOREMISIS.RU

УДК 669.018.25

T26

Рецензенты:

канд. техн. наук, доц. *С.В. Медведева*;

д-р техн. наук, проф. *С.Д. Шляпин* (ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт
(Национальный исследовательский университет)»)

Авторы:

Панов В.С., Коняшин И.Ю., Левашов Е.А., Зайцев А.А.

Твердые сплавы : учебник / В.С. Панов [и др.]. – 3-е изд., доп.
T26 и перераб. – М. : Изд. Дом НИТУ «МИСиС», 2019. – 398 с.
ISBN 978-5-907226-25-8

В учебнике рассмотрены вопросы создания и развития направления твердых сплавов, общие и специальные вопросы по технологии, составам, структуре и свойствам спеченных твердых сплавов на карбидной основе с различными типами связей. Изложены физико-химические основы производства сплавов, освещены технологические процессы получения металлических порошков, карбидов, твердосплавных смесей и изделий из них, а также методы контроля полуфабрикатов и готовых сплавов. Приведены металлургические и теоретические основы строения твердых сплавов, технологии нанесения износостойких покрытий на изделия. Даны области применения твердых сплавов различного состава в народном хозяйстве.

Предназначен для обучающихся в бакалавриате и магистратуре по направлению «Металлургия».

УДК 669.018.25

ISBN 978-5-907226-25-8

© Коллектив авторов, 2019

© НИТУ «МИСиС», 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	9
Введение	11
1. История создания твердых сплавов	12
1.1. Создание и совершенствование твердых сплавов в мире и СССР	12
1.2. Производство твердых сплавов в Российской Федерации в 1990–2015 гг.	40
Библиографический список	40
2. Классификация и общая характеристика твердых сплавов	44
Библиографический список	49
3. Металловедческие основы твердых сплавов	50
3.1. Фазовые диаграммы состояния как основа создания твердых сплавов	50
3.2. Система W–C–Co	52
3.2.1. Расположение основных фазовых областей тройной системы W–C–Co	52
3.2.2. Некоторые важные области диаграммы состояния системы W–C–Co	53
3.2.3. Процессы при спекании сплавов в соответствии с видом вертикального разреза по линии Co–WC	55
3.3. Система W–C–Ni	57
3.3.1. Общие сведения о тройной системе W–C–Ni	57
3.3.2. Общие сведения о системе W–Fe–Ni–C	59
3.3.3. Гипотезы, объясняющие различия свойств сплавов WC–Ni и WC–Co	63
3.4. Общие сведения о системе W–Ta–C–Co	66
3.5. Общие сведения о системе W–Ti–C–Co	68
3.6. Общие сведения о системе W–Ti–Ta–C–Co	72
3.7. Общие сведения о системе Ti–Ni–Mo–C	74
3.8. Некоторые важнейшие области диаграммы состояния системы W–Ti–Ni–Al–C	76
Библиографический список	78
4. Структура и свойства карбидных фаз твердых сплавов	80
4.1. Структура и свойства монокарбида вольфрама	80
4.2. Структура и свойства сложных карбидов системы W–Ti–Ta–(Nb)–C	82
Библиографический список	86

5. Структура и свойства металлических связок твердых сплавов.....	88
5.1. Связки на основе кобальта.....	88
5.2. Связки на основе никеля.....	93
5.3. Связки на основе железа.....	96
Библиографический список.....	98
6. Технология производства твердых сплавов.....	100
6.1. Исходные материалы.....	100
6.2. Физико-химические условия восстановления оксидов водородом.....	103
6.2.1. Термодинамика восстановления.....	103
6.2.2. Равновесные условия реакций восстановления оксидов вольфрама водородом.....	104
6.2.3. Кинетика восстановления WO_3 водородом.....	107
6.2.4. Механизм восстановления оксидов газообразными восстановителями.....	109
6.2.5. Кристаллохимические превращения и перенос через газовую фазу при восстановлении WO_3 водородом.....	110
6.3. «Прямочная» подача водорода в печь, активация и восстановление WO_3 в плазме.....	116
6.4. Особенности получения порошка молибдена водородным восстановлением оксидов.....	118
6.5. Получение порошков карбидов WC, TiC, (Ti,Ta,W)C.....	121
6.5.1. Физико-химические условия и термодинамика процесса карбидизации карбида вольфрама.....	121
6.5.2. Карбид титана: физико-химические условия получения и термодинамика процесса карбидизации.....	125
6.5.3. Физико-химические условия получения сложных карбидов (Ti,W)C и (Ti,W,Ta)C: подготовка смесей и кинетика образования.....	130
6.5.4. Получение карбидов методом СВС.....	138
6.6. Приготовление твердосплавных смесей.....	138
6.6.1. Способы приготовления твердосплавных смесей.....	138
6.6.2. Процессы, наблюдаемые при смешивании карбидов с кобальтом, и их влияние на свойства сплавов.....	141
6.6.3. Аппаратура для получения смесей.....	143
6.7. Формование смесей и различные методы прессования.....	144
6.7.1. Особенности формования смесей в стальной пресс-форме.....	144

6.7.2. Пластифицирующие добавки к смесям	146
6.7.3. Мокрое прессование	147
6.7.4. Последовательное циклическое прессование	149
6.7.5. Горячее прессование.....	150
6.7.6. Импульсное прессование.....	151
6.7.7. Изостатическое прессование.....	151
6.7.8. Вибрационное формование	152
6.7.9. Прокатка порошков.....	152
6.7.10. Мундштучное выдавливание	153
6.7.11. Литье под давлением	154
6.7.12. Инжекционное формование	154
6.7.13. Сварка спеканием	155
6.7.14. Формование смесей методом пластифицированных заготовок	156
6.8. Спекание твердосплавных смесей.....	157
6.8.1. Теоретические основы спекания.....	158
6.8.2. Твердофазное спекание.....	162
6.8.3. Жидкофазное спекание	163
6.8.4. Особенности процесса спекания сплавов WC–TiC–Co и WC–TiC–TaC(NbC)–Co	170
6.8.5. Характерные дефекты твердых сплавов. Структурная неоднородность и меры ее устранения	172
6.9. Методы контроля твердосплавных изделий	174
6.9.1. Металлографическое исследование пористости и микроструктуры твердых сплавов.....	174
6.9.2. Измерение магнитных свойств твердых сплавов	178
6.9.3. Измерение механических свойств твердых сплавов	180
Библиографический список.....	183
7. Влияние состава и структуры на свойства и области применения твердых сплавов	185
7.1. Содержание Co и средний размер зерна WC-фазы.....	185
7.2. Однородность микроструктуры твердых сплавов	190
7.3. Влияние углерода на структуру и свойства твердых сплавов.....	194
7.4. Химический и фазовый состав связующей фазы	198
7.5. Свойства твердых сплавов с учетом технологии получения WC	201
7.6. Ингибиторы роста зерна карбида вольфрама.....	203

7.7. Форма и характеристики связности зерен WC.....	206
Библиографический список	210
8. Теория прочности твердых сплавов	215
8.1. Зависимость свойств твердых сплавов от состава и структуры	215
8.1.1. Сплавы WC–Co	215
8.1.2. Свойства двух- и трехфазных твердых сплавов WC–TiC–Co	224
8.1.3. Трехфазные сплавы WC–TiC–Co	230
8.1.4. Сплавы WC–TaC–Co	238
8.1.5. Сплавы WC–TiC–TaC–Co	241
8.1.6. Маловольфрамовые и безвольфрамовые твердые сплавы	245
8.2. Теория прочности твердых сплавов WC–Co	246
8.2.1. Формирование карбидного скелета и прочность сплавов WC–Co	247
8.2.2. Термические микронапряжения в сплавах WC–Co	252
8.2.3. Механизм деформации сплавов WC–Co	254
8.2.4. Теория Гриффитса – Орована для объяснения прочности твердых сплавов	255
8.2.5. Теория дисперсионного упрочнения	259
8.3. Современная концепция прочности твердых сплавов WC–Co	262
8.4. Теория прочности твердых сплавов WC–TiC–Co	265
8.5. Прочность твердых сплавов WC–TaC–TiC–Co	269
Библиографический список	271
9. Основные типы современных промышленных твердых сплавов	272
9.1. Традиционные твердые сплавы	272
9.2. Нетрадиционные промышленные марки твердых сплавов	275
9.2.1. Функционально-градиентные твердые сплавы WC–Co ..	275
9.2.2. Миграция кобальтовой связки в твердосплавных изделиях с градиентом содержания углерода	282
9.2.3. Функционально-градиентные твердые сплавы WC–Ti(C,N)–Co и WC–(Ti,Ta,Nb)C,N–Co	284
9.3. Квазинанокристаллические твердые сплавы	287
9.4. Твердые сплавы с нанопропроченной связкой	294
Библиографический список	297

10. Керметы и безвольфрамовые твердые сплавы	302
10.1. Керметы на основе TiCN	302
10.2. Карбидно-оксидные твердые сплавы для резания	306
10.2.1. Твердосплавные оксидно-карбидные твердые сплавы ...	306
10.2.2. Композиционный слоистый режущий инструмент ВОК95-С и ВОК85-С.....	307
10.3. Состав, технология, свойства и области применения отечественных БВТС	308
10.4. Безвольфрамовые твердые сплавы, получаемые методом СВС	309
10.4.1. Общая характеристика технологии	309
10.4.2. Сплавы марки СТИМ.....	311
10.4.3. Твердые сплавы для технологии электроискрового легирования	317
10.4.4. Получение крупногабаритных твердосплавных изделий методом СВС	325
10.4.5. Синтетические градиентные материалы (СИГМА)	328
10.4.6. СВС-мишени	330
Библиографический список.....	331
11. Многогранные неперетачиваемые пластины и покрытия.....	336
11.1. Применение многогранных неперетачиваемых пластин в машиностроении и металлообработке	336
11.2. Преимущества и недостатки МНП	337
11.3. Твердые сплавы с износостойкими покрытиями	339
11.3.1. Метод CVD	340
11.3.2. Факторы, влияющие на процесс осаждения CVD-покрытия	343
11.3.2. Метод PVD.....	344
11.3.3. Многослойные покрытия.....	345
Библиографический список.....	347
12. Области применения и механизмы износа твердых сплавов	349
12.1. Обработка металлов резанием.....	349
12.2. Условия работы реза	349
12.3. Виды износа реза	350
12.4. Механизм износа твердых сплавов при резании	351
12.5. Обработка стали, чугуна, цветных металлов, титана, нержавеющих сплавов, древесины и других материалов резанием	351

12.6. Горнодобывающая промышленность	355
12.6.1. Бурение горных пород.....	355
12.6.2. Резание горных пород и каменного угля	361
12.7. Строительные работы.....	366
12.8. Износостойкие детали, сплавы спецназначения и измерительный инструмент	371
12.8.1. Износостойкие детали	371
12.8.2. Измерительный инструмент.....	374
12.9. Бесстружковая обработка металлов.....	375
12.9.1. Волочение	375
12.9.2. Штамповка.....	376
12.9.3. Объемная штамповка	376
Библиографический список.....	377
13. Технология переработки отходов твердых сплавов.....	379
13.1. Прямая и полупрямая механическая обработка.....	379
13.2. Гидрометаллургическая и электрофизическая обработка	380
13.3. Метод термической регенерации	383
13.4. Метод экстракции кобальта цинком с последующей вакуумной дистилляцией («цинковый способ»)	383
14. Основные направления усовершенствования состава, структуры и технологии получения твердых сплавов.....	385
14.1. Алмазосодержащие твердые сплавы	385
14.2. Твердые сплавы, получаемые сверхскоростным спеканием	390
14.3. Применение аддитивных технологий для получения твердых сплавов	393
Библиографический список	395

1. ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ

1.1. Создание и совершенствование твердых сплавов в мире и СССР

Твердые сплавы на основе монокарбида вольфрама (WC) являются уникальными материалами для применения в условиях интенсивного износа, под высокими ударными нагрузками, при термических ударах, высоких нагрузках на изгиб и сжатие, повышенных температурах и усталостных нагрузках. Результатом их создания в начале 1920-х годов стали революционные изменения в различных отраслях промышленности, включая металлообработку, добычу полезных ископаемых, строительство и т.п.

К изобретению твердых сплавов в Германии после Первой мировой войны привела необходимость замены дорогостоящих волок на основе натуральных алмазов, предназначенных для волочения вольфрамовой проволоки, на более дешевые. На берлинском заводе «Ауэр гезельшафт» (Auer Gesellschaft), дочернем предприятии компании «ОСРАМ» (OSRAM), которая была одним из основных производителей вольфрамовой проволоки в то время, велись интенсивные исследования в области разработки материалов для изготовления волок. На рис. 1.1 приведена фотография Франца Скаупи, который руководил научно-исследовательской группой на заводе «Ауэр гезельшафт» в Берлине [1, 2]. Его сотрудники исследовали возможность использования технологии спекания порошков WC для производства компактного карбида вольфрама, пригодного для производства волок. Первые попытки были неудачными до тех пор, пока один из сотрудников не предложил добавить к карбиду вольфрама некоторое количество железного или никелевого порошка и спечь такую смесь. Первые эксперименты по добавлению порошков Fe и Ni в WC с последующим спеканием привели к противоречивым результатам. Карл Шрётер, который в то время работал в составе группы профессора Ф. Скаупи, попробовал смешать карбид вольфрама с порошком кобальта и провести спекание прессовок из такой порошковой смеси, что привело к получению положительных результатов. Композиционный материал из карбида вольфрама с кобальтовой связкой стали успешно применять для получения волок при производстве вольфрамовой проволоки.

ки. Впоследствии К. Шрётер подал заявку на патент, который позднее получил признание во всем мире [3].



Рис. 1.1. Франц Скауппи, руководитель исследовательской группы фирмы «Ауэр гезельшафт» в Берлине [1]

Интересен тот факт, что сотрудники компании «ОСРАМ» не до конца осознали важность данного изобретения, поэтому заявка на патент была зарегистрирована только в Германии, Англии и США, а приоритет заявки в других странах не был закреплен. Позднее компания «ОСРАМ» уступила права на этот патент компании «Крупп» (Krupp), и та вскоре начала производство опытных партий нового материала. Патентные поверенные фирмы «Крупп» зарегистрировали новый материал под торговой маркой «ВИДИА» (WIDIA), название которой представляло собой сочетание немецких слов «wie» и «Diamant», что означает «подобный алмазу».

Брошюра, описывающая твердые сплавы «ВИДИА», которая была выпущена в 1936 г., показана на рис. 1.2 [4]. Производство твердых сплавов фирмой «Крупп» в значительных масштабах было начато в 1926 г., и в этом же году была развернута рекламная компания первых марок твердых сплавов для металлообработки и волочения проволоки.

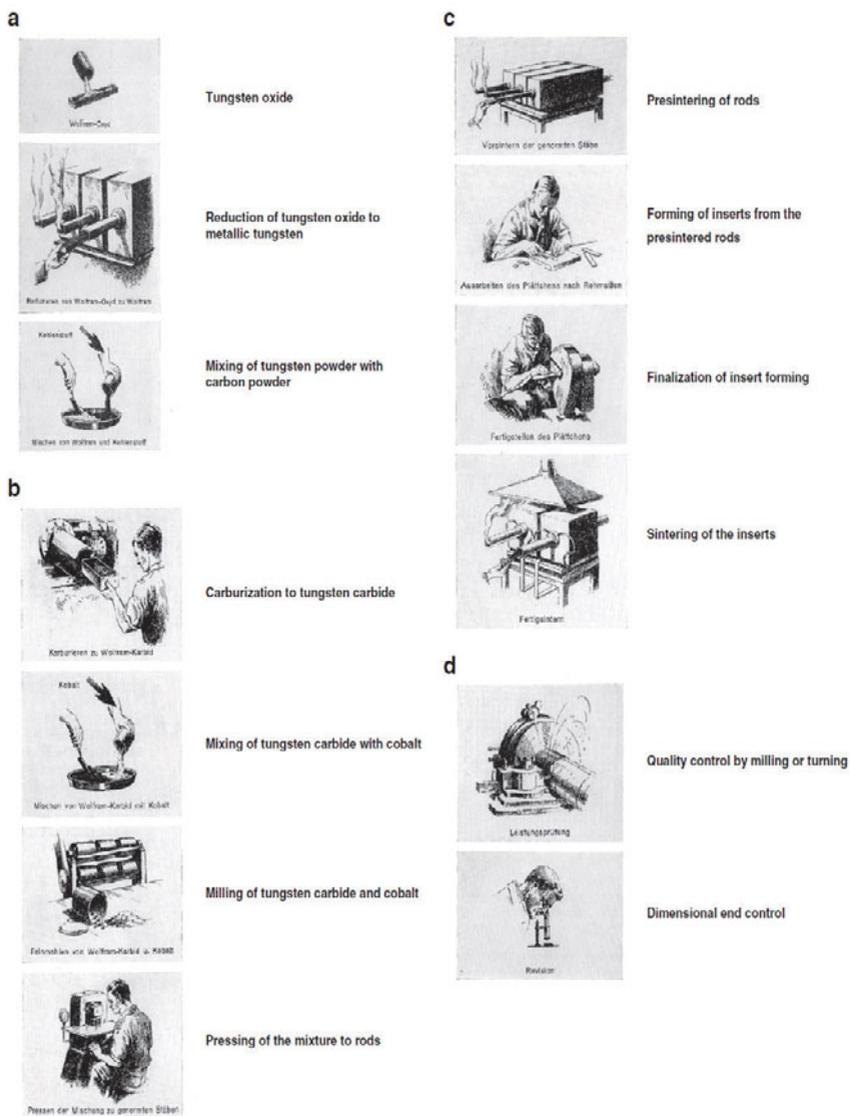


Рис. 1.2. Производство твердого сплава ВИДИА в 1936 г. [1]

Качество твердых сплавов WC-Co в заводской лаборатории фирмы «Крупп» в то время проверялось очень просто: вязкость разрушения контролировалась ударом молотка по образцу твердого сплава,

а твердость – путем царапания стекла. По отзывам сотрудников, через некоторое время в заводской лаборатории не осталось ни одного оконного стекла без царапин [5]. Микроструктуру твердых сплавов изучали с помощью оптических микроскопов, анализируя поверхности изломов, в том числе для оценки остаточной пористости. Природный газ, который вначале использовался в качестве атмосферы спекания, был заменен водородом. Конечно, применение водорода было опасным: в первые несколько лет производства твердых сплавов произошло несколько взрывов в устройстве по очистке водорода, которые привели к серьезным повреждениям, но, к счастью, обошлось без жертв [6]. После спекания твердосплавные изделия припаивались к стальным державкам, обтачивались и шлифовались (рис. 1.3). Брошюра, озаглавленная «Справочник по ВИДИА», была опубликована на шести языках в 1936 г. (рис. 1.4).

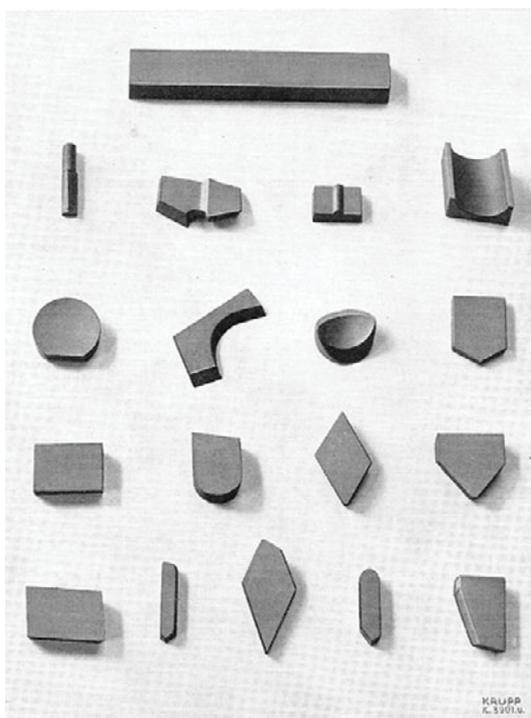


Рис. 1.3. Изделия из твердого сплава, полученные в Германии в 1936 г. в соответствии со «Справочником по ВИДИА», 1936 г. [1]



Рис. 1.4. «Справочник по ВИДИА», опубликованный на шести языках в 1936 г.



Рис. 1.5. Стенд, представляющий первый твердый сплав под брендом «ВИДИА» на Весенней ярмарке в Лейпциге в 1927 г. [2]

Первая презентация нового материала под брэндом «ВИДИА» состоялась на Весенней ярмарке в Лейпциге в 1927 г. и вызвала сенсацию (рис. 1.5). В 1930-х годах этот материал был чрезвычайно дорогим: 1 г твердого сплава стоил примерно 1 долл. США, что было сравнимо с ценой грамма золота. Поэтому спрос на твердые сплавы и, следовательно, общий объем производства твердых сплавов в начале 1930-х годов были ограниченными. Тем не менее цены на изделия из твердых сплавов перед началом Второй мировой войны постоянно снижались: в 1937 г. стоимость составляла 0,44 долл/г, в 1941 г. – 0,22 долл/г, в 1944 г. – 0,15 долл/г. В середине 1930-х годов Фирма «Крупп ВИДИА» выпускала примерно 41 т твердых сплавов в год.

Следует отметить, что уже в конце 1930-х годов ассортимент марок твердых сплавов, производимых «Крупп ВИДИА», был довольно широким и включал в себя сплавы, содержащие карбид титана для резания стали, разработанные в 1929 г., а также мелкозернистые сплавы, содержащие карбиды ванадия и тантала в качестве ингибиторов роста зерна, которые были созданы в 30–31 годах XX в. Все эти марки были описаны в отчете по твердым сплавам, подготовленном группой британских экспертов после посещения ими Германии в 1945 году (рис. 1.6 и 1.7). Завод-изготовитель «Крупп ВИДИА» в Эссене был сильно разрушен во время Второй мировой войны, так что производство твердых сплавов в 1944 г. было приостановлено. Тем не менее сразу же после того как в апреле 1945 г. американские войска заняли Эссен, были проведены интенсивные восстановительные работы и производство твердых сплавов возобновилось.

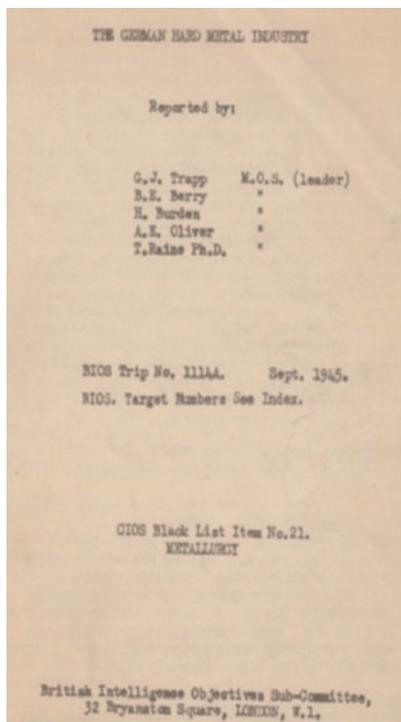


Рис. 1.6. Отчет о состоянии немецкой твердосплавной промышленности, написанный группой британских экспертов после посещения ими Германии в 1945 г.

Table 5
PROPERTIES OF KRUPPS HARD METAL TOOL TIPS

Composition	Sintering Temperature °C	Sintering Time in Min. for Tip Thickness 2mm-15mm	Transverse Rupture Strength Kg./sq.mm.	Co-efficient of Thermal Expansion $10^{-6} \frac{cm}{cm/°C}$	Heat Conduction Cal./Sec/°C	Specific Heat Cal./g/°C	Electric Resistance Ohms/Meter 1 sq.mm section
78 W C 16 Ti C 6 Co	1600	20 - 100	125	6	0.09	0.06	0.43
78 W C 14 Ti C 8 Co	1550	20 - 100	140	6.2	0.08	-	0.44
88 W C 5 Ti C 7 Co	1500	20 - 100	150	5.5	0.15	0.05	0.25
94 W C 6 Co	1420	20 - 100	160	5	0.19	0.05	0.2
89 W C 11 Co	1400	20 - 100	160	5.5	0.16	0.05	0.16
85 W C 15 Co	1380	17 - 60	205	-	-	-	-
94 W C 6 Co	1420	17 - 60	160	5	0.19	0.05	0.21
91.5 W C 0.5 V C 1 Ta C 7 Co	1500	66 - 220	115	5	-	-	0.25
69 W C 25 Ti C 6 Co	1550	66 - 220	110	7	0.05	-	0.65
74.5 W C 60 Ti C 5.5 Co	1700	66 - 200	80	-	-	-	-

Рис. 1.7. Марки твердых сплавов, производимых фирмой «Крупп ВИДИА» во время Второй мировой войны, согласно отчету, показанному на рис. 1.6

На протяжении десятилетия после создания твердых сплавов в Германии было основано несколько компаний по изготовлению твердых сплавов, а именно: корпорация «Карбой» (Carboly), входившая в состав концерна «Дженерал Электрик» (General Electric) в США (1928), «Сумитомо» (Sumitomo) в Японии (1929), «Планзее Титанит» (Plansee Titanit) в Австрии (1930), «Вимет» (Wimet) в Великобритании (1931), «Мицубиси» (Mitsubishi) в Японии (1931), «Фажерста» (Fagersta) / «Секо» (Seco), «Кеннаметал Инк.» (Kennametal Inc.) в США (1938). В 1942 г. началось производство твердых сплавов фирмой «Сандвик» (Sandvik) в Швеции. На рис. 1.8 показаны названия брошюр некоторых компаний, производивших твердые сплавы в первой половине XX в.

Производство твердых сплавов в Советском Союзе началось в конце 1920-х годов на базе цеха по изготовлению металлического вольфрама Московского электролампового завода [8], который был позднее переименован в Московский электротехнический завод (рис. 1.9). Производство метал-

лического вольфрама было организовано родоначальником советской твердосплавной промышленности Г.А. Меерсоном в 1922 г. Г.А. Меерсон позже стал одним из ведущих советских ученых в области тугоплавких и редких металлов, а также твердых сплавов (рис. 1.10).



Рис. 1.8. Обложки брошюр некоторых компаний, производивших твердые сплавы в первой половине XX в. [1]



Рис. 1.9. Московский электростанция, где в 1929 г. началось производство первой советской марки твердого сплава под названием «ПОБЕДИТ» [7]

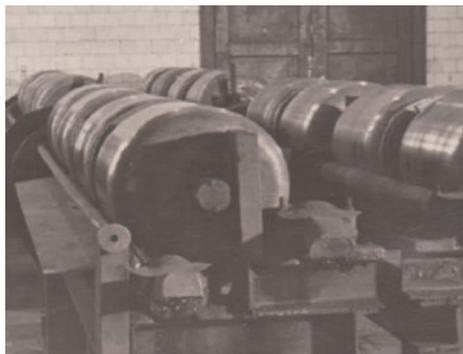


Рис. 1.10. Профессор Г.А. Меерсон (второй слева в первом ряду), разработчик первого советского твердого сплава ПОБЕДИТ, с сотрудниками (1940-е годы) [7].

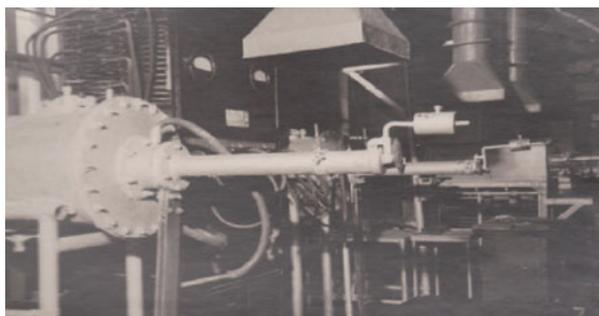
В 1929 г. Г.А. Меерсон в соавторстве с Л.П. Мальковым, после командировки в Германию, на базе Московского электролампового завода разработали первую советскую марку твердого сплава WC – 10 % Co, которая получила название «ПОБЕДИТ». Вскоре слово «ПОБЕДИТ» стало нарицательным, и даже сейчас многие люди в России используют его как термин для обозначения твердых сплавов. Интересно отметить, что и в Германии первый брэнд твердого сплава «ВИДИА» также стал именем нарицательным. ПОБЕДИТ был разработан предположительно на основе опубликованных патентов Шрётера на твердые сплавы и первой презентации твердого сплава «Widia-N» концерном «Фридрих Крупп АГ» (Friedrich Krupp AG) на Весенней ярмарке в Лейпциге. Советскому Союзу для изготовления твердых сплавов не требовалась лицензия фирмы «Фридрих Крупп АГ», поскольку патенты Шрётера были выданы только в Германии, Великобритании и США.

Опытное производство ПОБЕДИТа для металлообработки, изготовления фильер для волочения проволоки и т.п. началось вскоре после его разработки в 1929 г., так что твердые сплавы в Советском Союзе начали производить всего лишь тремя годами позже, чем в Германии (1926 г.) [2]. ПОБЕДИТ изготавливали путем сухого размола/смешивания порошка WC с кобальтом в стальных барабанах, как показано на рис. 1.11, а, с использованием патоки в качестве пластификатора, ручного прессования заготовок и их водородного спекания в печах с графитовой трубой (рис. 1.11, б), которые ранее применялись при производстве металлического вольфрама. Один из крупных советских партийных лидеров того времени Валериан Куйбышев уже в 1930 г. в своем докладе на XVI Съезде Коммунистической партии сообщал о высокой эффективности применения ПОБЕДИТа в разных отраслях промышленности. В 1931 г. было произведено около 16 т ПОБЕДИТа, что превышало общее количество твердых сплавов, выпущенных в западных странах в начале 1930-х годов [2]. Группа британских экспертов во главе с Г. Дж. Траппом в отчете «Немецкая твердосплавная промышленность», составленном по итогам посещения ими Германии в сентябре 1945 г. по поручению Британского подкомитета по объектам разведки (см. рис. 1.6), отмечали, что в 1929 г. фирма «Крупп ВИДИА» произвела всего лишь 9 т твердых сплавов, в 1931 и 1932 гг. – еще меньше, чем в 1929 г.; однако в 1935 г. производство выросло примерно до 24 т. Большой объем выпуска твердых

сплавов в Советском Союзе в начале 1930-х годов был связан, очевидно, с их низкой себестоимостью из-за дешевизны сырья и отсутствия лицензионных выплат за патенты Шрётера.



а



б

Рис. 1.11. Шаровые мельницы (*а*) и водородные печи (*б*), которые применялись для изготовления ПОБЕДИТа [7]

Дальнейшая история твердых сплавов в Советском Союзе была связана с Московским заводом редких элементов, на котором в 1930 г. было начато производство твердых сплавов. В 1931 г. этот завод, большое количество шахт и рудников, добывающих редкие металлы, а также цех твердых сплавов Московского электрозавода вошли в состав Всесоюзного объединения редких элементов «Союзредмет». Изготовление твердых сплавов было полностью перенесено с Московского электрозавода на Московский завод редких элементов, и в начале 1930-х годов там было организовано полномасштабное про-

изводство твердых сплавов: от изготовления вольфрамового ангидрида до получения спеченных твердосплавных изделий. Также в 1931 г. на этом заводе было освоено производство твердых наплавочных сплавов на основе карбидов вольфрама.

В начале 1930-х годов на Московском заводе редких элементов была основана исследовательская лаборатория во главе с В.Я. Рискиным. Лаборатория была хорошо оснащена современными устройствами и приборами для изготовления порошков вольфрама и карбида вольфрама, смесей WC-Co и изделий из твердых сплавов, а также изучения фазовых диаграмм системы W-Co-C. На рис. 1.12 показан рентгеновский дифрактометр, который использовался в лаборатории для изучения тугоплавких соединений (WC, TiC, (Ti,W)C и т.д.), твердых сплавов систем WC-Co, WC-Ni, WC-TiC-Co, а также соответствующих фазовых диаграмм.

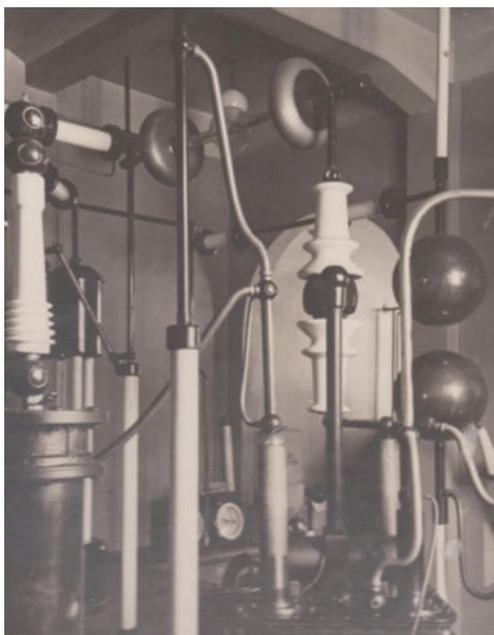


Рис. 1.12. Рентгеновский дифрактометр, применявшийся в исследовательской лаборатории Московского завода редких элементов в 1930-х годах [7]