

А.Х. Расулов, С.Д. Нурмуродов, А.А. Алланазаров

**ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ТВЕРДОСПЛАВНЫХ
ФОРМООБРАЗУЮЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ МЕТОДОМ
ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ**



УДК 669:583.9, 669:14.018, 621:74.04

А.Х. Расулов, С.Д. Нурмуродов, А.А. Алланазаров. Технологии производства твердосплавных формообразующих инструментов методом порошковой металлургии: Монография - Ташкент, ТашГТУ, 2020.-128 с.

В монографии рассматриваются вопросы результатов исследования по разработке технологии производства твердосплавных формообразующих инструментов методом порошковой металлургии авторов, такие, как теоретические основы и технологические аспекты создания конструкционных материалов с использованием порошков тугоплавких металлов, а также их практическое применение в концепции развития современных машиностроительных и металлургических предприятий.

Используя зарубежный и отечественный опыт введения новых материалов в производственной деятельности и с учетом результатов современных исследований, авторы рассмотрели проблемы по применению порошков тугоплавких металлов при разработке технологии производства твердосплавных формообразующих инструментов методом порошковой металлургии, в том числе методы развития промышленного производства.

Монография предназначена для инженерно-технических и научных работников, включая старших научных сотрудников-соискателей в области материаловедения, литейного производства, технологии новых материалов, а также для магистрантов, студентов технических вузов, специалистов машиностроительных и металлургических предприятий.

Рекомендована к изданию Решением Совета Ташкентского государственного технического университета №8 от 05.03.2020г.

Ответственный редактор:

Рецензенты: д.т.н., проф. Ф.С. Абдуллаев, к.ф.-м.н. Турсункулов О.

©Ташкентский государственный технический университет, 2020 г.
© А.Х. Расулов, С.Д. Нурмуродов, А.А. Алланазаров.



Расулов Алишер Хакимович – доцент кафедры “Материаловедение”, доктор философии по техническим наукам (PhD), доцент.

Научные работы: В последние годы получен 1 патент, опубликованы 3 учебника, 4 учебно методических пособий, 2 монографии и более 50 научных статей. Поданы 2 заявки на получение патента Агентства по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан. Активно участвовал в Республиканских ярмарках “Научные идеи, разработки и проекты”. Выполнены 1 инновацион проект и 3 хоздоговорных работ.



Нурмуродов Салохиддин Дусмуротович – профессор кафедры “Материаловедение”, доктор технических наук, профессор.

Научные работы: Получен 4 патента, опубликованы 6 учебника, 8 учебно методических пособий, 4 монографии и более 90 научных статей. Поданы 2 заявки на получение патента Агентства по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан. Активно участвовал в Республиканских ярмарках “Научные идеи, разработки и проекты”. Выполнены 2 инновацион проект и 6 хоздоговорных работ.



Алланазаров Акмал Абдулхаквич – докторант кафедры “Материаловедение”.

Научные работы: В последние годы опубликованы 1 монография и более 10 научных статей. Поданы 2 заявки на получение патента Агентства по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан. Активно участвовал в Республиканских ярмарках “Научные идеи, разработки и проекты”.

А.Х.Расулов, С.Д.Нурмуродов, А.А. Алланазаров

**ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ТВЕРДОСПЛАВНЫХ
ФОРМООБРАЗУЮЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ МЕТОДОМ
ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ**

Ташкент–2020

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН
ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени ИСЛОМА КАРИМОВА**

А.Х.Расулов, С.Д.Нурмуродов, А.А. Алланазаров

**ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ТВЕРДОСПЛАВНЫХ
ФОРМООБРАЗУЮЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ МЕТОДОМ
ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ**

Ташкент–2020

УДК 669:583.9, 669:14.018, 621:74.04

А.Х. Расулов, С.Д. Нурмуродов, А.А. Алланазаров. Технологии производства твердосплавных формообразующих инструментов методом порошковой металлургии: Монография - Ташкент, ТашГТУ, 2020.-136 с.

В монографии рассматриваются вопросы результатов исследования по разработке технологии производства твердосплавных формообразующих инструментов методом порошковой металлургии авторов, такие, как теоретические основы и технологические аспекты создания конструкционных материалов с использованием порошков тугоплавких металлов, а также их практическое применение в концепции развития современных машиностроительных и металлургических предприятий.

Используя зарубежный и отечественный опыт введения новых материалов в производственной деятельности и с учетом результатов современных исследований, авторы рассмотрели проблемы по применению порошков тугоплавких металлов при разработке технологии производства твердосплавных формообразующих инструментов методом порошковой металлургии, в том числе методы развития промышленного производства.

Монография предназначена для инженерно-технических и научных работников, включая старших научных сотрудников-соискателей в области материаловедения, литейного производства, технологии новых материалов, а также для магистрантов, студентов технических вузов, специалистов машиностроительных и металлургических предприятий.

Рекомендована к изданию Решением Совета Ташкентского государственного технического университета

Ответственный редактор:

Рецензенты: д.т.н., проф. Ф.С. Абдуллаев, к.ф-м.н. Турсункулов О.

©Ташкентский государственный технический университет, 2020 г.

©© А.Х. Расулов, С.Д. Нурмуродов, А.А. Алланазаров.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	7
ГЛАВА 1.СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ И ВЫБОР НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	11
1.1Анализ современного состояния проблемы создания твердосплавного инструмента.....	11
1.2Технические, технологические основы и обоснование совершенствования технологии получения твердосплавного ролика вводной коробки клетки, применением высокодисперсных порошков тугоплавких металлов.....	20
1.2.1. Основные направления экономии вольфрама.....	20
1.2.2. Составы, технология, свойства и области применения безвольфрамовых твердых сплавов (БВТС).....	23
1.2.3. Направления по совершенствованию и созданию новых безвольфрамовых твердых сплавов (БВТС).....	27
1.2.4. Использование вакуума в производстве твердых сплавов.....	30
1.2.5. Общие задачи разработки технологии твердых сплавов (последние достижения).....	33
1.3. Цели и задача исследования.....	39
ГЛАВА 2.РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ И ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ.....	46
2.1. Выбор и обоснование объектов исследования.....	46
2.2. Методика определения состава спеченной порошковой молибденовой композиции.....	47
2.3. Методика испытания механических и эксплуатационных свойств формообразующих твердосплавных инструментов.....	50
ГЛАВА 3.ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИНСТРУМЕНТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОРОШКОВ МОЛИБДЕНА.....	64
3.1. Исследования структуры и свойств спеченной порошковой молибденовой композиции.....	64
3.2. Разработка технологии изготовления применительно к формообразующим инструментам с использованием порошков молибдена.....	69
3.3. Исследование влияния на свойства инструментов технологических параметров (режимы прессования и спекаемость).....	93
3.4. Рекомендации по изготовлению инструментов с использованием порошков молибдена.....	96
ГЛАВА 4. ПРИМЕНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА ТВЕРДОСПЛАВНОГО ИНСТРУМЕНТА И ОЦЕНКИ ИХ ТЕХНИКО - ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ.....	106
4.1. Применение результатов исследования при производстве формообразующих твердосплавных инструментов.....	106

4.2. Расчет годового экономического эффекта от внедрения технологии производства и спекания инструментов с применением молибдена.....	109
4.3. Расчет ожидаемого экономического эффекта от внедрения технологии производства твердосплавного ролика с использованием нового спеченного сплава системы Mo-TiC-Ni-W-Fe, изготавливаемого методом порошковой металлургии.....	110
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	114
ОБЩИЕ ВЫВОДЫ.....	116
ЛИТЕРАТУРА.....	119

Принятые сокращения:

БВТС– безвольфрамовый твердый сплав;

(МВТС) – маловольфрамовый твердый сплав;

НПО – научно-производственное объединение «По производству редких металлов и твердых сплавов» при АО «Алмалыкский ГМК»;

УДП - ультрадисперсные порошки;

ПУВ–300 - плазменная установка восстановительная;

АО «Узметкомбинат» - Акционерное общество «Узбекский металлургический комбинат»;

СПЦ - сортопрокатный цех;

НМЗ ГП «НГМК» - Навоийский машиностроительный завод Государственное предприятие «Навоийский горно-металлургический комбинат»;

ОТК–отдел технического контроля;

ПАВ - поверхностно-активные вещества;

КМ - керамическая матрица.

ВВЕДЕНИЕ

В мире в сфере промышленности повышается потребность в получении и использовании твердосплавных инструментов со специальными механическими, технологическими и физическими свойствами из порошков тугоплавких металлов. В сфере получения бездефектных твердосплавных материалов на основе нанопорошков на нанотехнологию ежегодно расходуется 9-10 миллиардов долларов США, в том числе в США 4-5 миллиардов долларов США, в Японии 2-3 миллиардов долларов США, а в других странах составляет приблизительно 2 миллиарда долларов США. В решение комплекса проблем по повышению надежности и долговечности инструментов, улучшения качества изделий важным остается задача изготовления твердосплавных деталей на основе новых перспективных материалов.

С обретением независимости наша Республика отдаёт предпочтение разработке технологии получения порошков тугоплавких металлов и изготовления твердосплавных инструментов из местного сырья. В этом плане в сфере улучшения качества продукции и применение усовершенствованных технологий для изготовления твердосплавных деталей и по оптимизации режимов термической обработки достигнуты значительные результаты. В приоритетных направлениях развития и либерализации экономики в Стратегии действий по пяти приоритетным направлениям развития Республики Узбекистан в 2017 - 2021 годах отдельно отмечено внедрение современных технологий в производства материалов и изделий для экспорта и повышение конкурентоспособности национальной экономики. Разработка технологии изготовления твердосплавных формообразующих инструментов из порошков тугоплавких металлов методом порошковой металлургии направлены на выполнение этих задач.

В мире актуальным являются разработка технологии изготовления твердосплавных деталей и изделий, полученных методом порошковой

металлургии. В этой сфере осуществляются целевые научные исследования, в том числе научные изыскания для решения задач в следующих направлениях: оптимизация состава и совершенствование технологии существующих твердых сплавов; разработка новых режимов термической обработки деталей, полученных методом порошковой металлургии.

В научных работах зарубежных учёных X. Shreter, R. Kiffer, T. Shtraux, P. Rautal, Dj. Norton и других проводились исследования по созданию твердосплавных инструментов. Научные исследования, направленные на получение твердосплавных инструментов из новых сплавов на основе высокодисперсных порошков тугоплавких металлов с специальными технологическими, химическими и физическими свойствами является весьма актуальной задачей. В этом направлении научно-исследовательские работы осуществляются в ведущих научных центрах и высших образовательных учреждениях мира, в том числе в институте металлургии и машиностроения имени Байкова А.А.(Россия), в Институте химии Уральского отделения Российской Академии Наук (Россия), в Японском институте металлургии, Университете Нагоя (Япония), в Американском университете науки и технологий (США), в Английском Университете технологий (Англия), в Белорусском Национальном техническом университете (Белоруссия), в Институте проблем материаловедения имени Францевича И.Н. (Украина), в Ташкентском государственном техническом университете (ТГТУ, Узбекистан).

В результате исследований, проведенных в мире по получению твердосплавных инструментов из новых сплавов на основе высокодисперсных порошков тугоплавких металлов с специальными технологическими, химическими и физическими свойствами, соответствующими современным требованиям, получен ряд научных результатов, в том числе: разработаны технологии получения наноструктуры различных тугоплавких металлов (Институт металлургии и материаловедения, Россия), предложены безвольфрамовые твердые сплавы с никель-молибденовой связкой и

многокомпонентной основой карбидов титана, ванадия, вольфрама, ниобия в различных сочетаниях (Грузинский политехнический институт, Грузия), разработана технология получения разных тугоплавких металлов и соединений с получением наноструктур твердых сплавов (Институт теплофизики Российской Академии Наук, Россия), разработан новый состав твердосплавных конструкционных материалов (Ташкентский государственный технический университет, Узбекистан).

Значительную роль в постоянном развитии исследований наномира сыграли два события: создание сканирующего туннельного микроскопа и открытие новой формы существования углерода в природе. Новые методы и средства исследования структуры материалов позволили наблюдать атомно-молекулярную структуру поверхности монокристаллов в нанометровом диапазоне размеров благодаря применению теории квантового эффекта туннелирования.

В странах СНГ действуют пять крупных специализированных заводов твердых сплавов и в том числе единственный в Средней Азии «Научно-производственного объединения (НПО)» по производству редких металлов и твердых сплавов при АО «Алмалыкский ГМК» (г. Чирчик, Узбекистан).

На сегодняшний день достигнуты значительные успехи в улучшении усовершенствовании технологии и составов твердых сплавов, освоении методов изготовления изделий и деталей сложной формы и т.д.

В настоящее время развитие твердосплавной составляющей промышленности идет по трём основным направлениям:

- совершенствование состава и технологии существующих твердых сплавов;
- разработка новых сплавов и технологий;
- оптимизация составов и свойств новых композиционных материалов.

Интенсивное развитие науки, техники и технологий в XXI веке настоятельно требует наращивание производства твердосплавных

формообразующих инструментов из новых сплавов и материалов. Для обеспечения становления эффективной высокотехнологичной промышленности необходимо добиться изготовления деталей и изделий с требуемыми свойствами, гарантирующими их надежность в процессе эксплуатации и их конкурентоспособность, как на внутреннем, так и на внешнем рынке.

Узбекские ученые Каламазов Р.У., Чекуров В.В. и другие проводили научно-исследовательские работы по созданию твердосплавных конструкционных материалов. Каламазов Р.У. и его ученики проводили научно-исследовательские работы по получению нанопорошков металлов, соединений и сплавов, и по изучению морфологии структур и состава фаз. Чекуров В.В. исследовал теплофизическое влияние состава, структуры и свойств литых биметаллических композитов, предназначенных для работы в тяжелых условиях. Нурмуродов С.Д. проводил научно-исследовательские работы по получению конструкционных материалов с использованием ультрадисперсных порошков вольфрама.

Однако многие детальные исследования по внедрению твердосплавных формообразующих инструментов на основе порошков тугоплавких металлов не проводились. В настоящее время получение твердых сплавов и в том числе твердосплавных формообразующих инструментов на основе порошковой металлургии является актуальным и имеет научно-практическое значение.

Целью настоящей работы является исследование в области материаловедения, литейного производства, технологии новых материалов, машиностроительных и металлургических предприятий, а также ознакомления инженерно-технических и научных работников, в том числе для старших научных сотрудников-соискателей, магистрантов, студентов технических вузов.

ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ И ВЫБОР НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1 Анализ современного состояния проблемы создания твердосплавного инструмента

Твердые сплавы являются композиционными материалами особого класса, обладающие высокой твердостью, износостойкостью и прочностью, которые сохраняются при сравнительно высоких температурах (900–1150⁰С) и работают при сравнительно тяжелых условиях производства. Кратко можно определить их как композиция, состоящая из тугоплавкого соединения, карбида, и связующего металла.

Твёрдые сплавыэто металлокерамические материалы, полученные методами порошковой металлургии, способные сохранять эти свойства при 900 - 1150 °С. В основном изготавливаются из высокотвёрдых и тугоплавких материалов на основе карбидоввольфрама, титана, тантала, хрома, связанныйкобальтовойникелевой металлической связкой, при различном содержании компонентов.

Твердые сплавы получают из карбидов тугоплавких металлов и металлов железной группы спеканием в присутствии жидкой фазы в специальных печах типа СТН 1.бгазопламенных, угольно-трубчатых печах, или в вакуумных печах спекания. Основой спеченных твердых сплавов являются тугоплавкие и твердые металлы и другие вещества.

Эти соединения (карбиды, бориды, нитриды, силициды), в большинстве своем имеют особую кристаллическую структуру, характерную для фаз внедренияпри образование кристаллических решеток.

К фазам внедрения, относится карбиды металлов, которые имеют высокие температуры плавления и малые коэффициенты термического расширения. В основном они характеризуются повышенной хрупкостью и низкими значениями прочности и пластичности, которые снижают основные свойства твердых сплавов.

Дальнейшее развитие создание твердых сплавов связано с появлением прогрессивных направлений в технике. К этому времени появились новые методы изготовления изделий из тугоплавкого металла методом порошковой металлургии и разработаны новые способы получения твердых сплавов и сверхтвердых алмазосодержавших композиционных материалов. Метод порошковой металлургии является единственным методом для создания сплавов, состоящих из многих компонентов, значительно различающихся по температуре плавления.

Со стороны многих ученых получены патенты по созданию твердых сплавов различных марок. Например, патенты получения Г. Ломаном и позже Х. Шретером послужили основой для разработки различных марок сплава «Видиа» (как алмаз) типа G и H (германский стандарт на твердые сплавы). Немецкий учёный Х. Шретер для создания спеченного твердого сплава в качестве основы использовал монокарбид вольфрама, смещав его с порошком кобальта. Таким образом, было положено начало по созданию твердого сплава с кобальтовой связкой.

Впервые в мире ещё в 1926 году германская фирма «Krupp» начало промышленное производства твердых сплавов на основе монокарбида вольфрама с кобальтом в качестве цементирующего металла под названием «Видиа». Твердый сплав «Видиа» обозначенный в Германском стандарте маркой G1 с составом $94\% \text{WC} + 6\% \text{Co}$ использовался как металлообрабатывающий режущий инструмент. Этот состав твердого сплава позволил увеличить скорость резания в 10-20 раз (в зависимости от обрабатываемого материала) и дал толчок развитию металлообрабатывающей промышленности.

Результаты научно-исследовательских работ немецкого ученого Х. Шретера и других позволили наладить выпуск вольфрамкобальтовых твердых сплавов с содержанием 4...13% Co.

Создание и производстватвердых сплавов в странах независимых государств (СНГ) тесно связано с развитием производства редких металлов-вольфрама, молибдена, тантала, ниобия и их карбидов.

Ещё 1929 году в России были получены первые образцы твердого сплава и были наложены выпуск изделий из твердого сплава, получившего название «Победит».

Сплав под названием «Победит», содержащий 90% монокарбида вольфрама и 10% кобальта, предназначался для изготовления твердосплавных пластин с целью оснащения резцов металлообрабатывающей промышленности, волок для протяжки проволоки, вставок, буровых коронок для разведочного бурения горных пород и других породоразрушающих инструментов различного назначения работающих в тяжелых условиях.

Авторами сплава «Победит» были, русские ученые Г.А.Меерсон и Л.П.Малков. Они карбид вольфрама получали в газопламенной печи в графитовых тиглях, затем всухую перемешивали его с кобальтом в стальных барабанах 10 часов и спекали в угольно-трубчатых печах, и из предварительно спеченной заготовки заточкой изготавливали пластины. После появления синтетического каучука твердосплавные пластины стали получать холодным или горячим прессованием в пресс-формах, проводили предварительное спекание, а окончательное спекание проводили в алундовых печах с молибденовым нагревателем.

Следующая поколения твердых сплавов, сплав РЭ8(составом 92% WC +8% Co), по усовершенствованной технологии были получены русским ученым В.Я. Рискиным им ещё в 1936 году, которые получили наименование «ВК» и в таком обозначении вошли в ГОСТ 3882.

В результате научно –исследовательских работ по созданию твердых сплавов были разработаны группа безвольфрамовых твёрдых сплавов(БВТС), которые получили название «Керметы». Эти сплавы содержат в своём составе карбиды титана (TiC), карбонитриды титана (TiCN), связанные никель-

молибденовой основой. Технология их изготовления аналогична вольфрамсодержащим твердым сплавам.

Безвольфрамовые твёрдые сплавы типа «Керметы» по сравнению с вольфрамовыми твёрдыми сплавами имеют меньшую прочность на изгиб, ударную вязкость, чувствительны к перепаду температур из-за низкой теплопроводности, но имеют преимущества - повышенную теплостойкость (1000°C) и низкую схватываемость с обрабатываемыми материалами, благодаря чему не склонны к наростообразованию при резании. Поэтому их предлагают использовать для чистового и получистового точения, фрезерования различных металлов.

Основу безвольфрамовых твердых сплавов (БВТС) или керметов составляет не карбид вольфрама, а иное тугоплавкое соединение карбид или карбонитрид титана, цементирующей фазой служат металлы – никель и/или кобальт, с упрочняющими добавками переходных металлов 4, 5, 6 групп (Mo, W, Cr, Nb и т.д.).

Безвольфрамовые твёрдые сплавы (БВТС) или «Керметы» сочетают в себе как керамические свойства (твёрдость и износостойкость, устойчивость к окислению, низкую адгезию к обрабатываемому материалу), так и металлические свойства (прочность, сопротивление удару). Микроструктура безвольфрамовых твёрдых сплавов или керметов представляют собой сложный карбид, образующий оболочечную структуру вокруг каждой частицы карбонитрида и обеспечивающий прочную связь этих твёрдых частиц с пластичной металлической связкой, который является отличительной особенностью. Эти материалы особенно характеризуется низким удельным весом в сравнении с вольфрамовыми твёрдыми сплавами ВК, ВК8, и ВК15.

Первый в мире кермет (TiC , Mo_2C , Ni/Co,Cr) был запатентован компанией «Plansee» (Германия) в 1931 году, однако в то время он не нашёл широкого применения из-за низких значений прочности. Только в 1959 году фирма «Ford» (США) сообщила о возможном применении керметов для режущего

инструмента на некоторых операциях, что послужило новым толчком для проведения исследований в данной области.

Серийный выпуск керметов в США начался в 1966 году. В странах независимых государств первые безвольфрамовые твёрдые сплавы появились в 60-х годах XX столетия – разработанный Российским научным исследовательским институтом твердых сплавов (ВНИИТС), сплав получил обозначение "ТМ".

В странах независимых государств наибольшее распространение получили безвольфрамовые твёрдые сплавы марок ТН20 (на основе TiC) и КНТ16 (на основе TiCN), главным недостатком которых была недостаточная прочность и нестабильность свойств.

Компания «ВИРИАЛ» взяв за основу эти марки, до сих пор пользующиеся спросом в России, усовершенствовал их, а также технологию их изготовления с использованием самого современного оборудования, например вакуум-компрессионных печей «Терла» (Германия), и наладил производство безвольфрамовые твёрдые сплавы для двух основных областей применения: трибологии и металлообработки. Каждая область применения требует от материалов своих особенностей, поэтому технологии производства двух видов керметов схожих составов, но различного применения разработаны с учётом этих особенностей. Кроме этого, «ВИРИАЛ» ведёт разработки керметов собственных составов с потребительскими свойствами, не уступающими лучшим мировым аналогам. В компании «ВИРИАЛ» разработана технология производства высококачественных трибологических керметов марок КНТ16Трибо и КНТ20Трибо, отличающихся содержанием металлической связки и, как следствие, твёрдостью/износостойкостью и прочностью. Они предназначены, прежде всего, для радиальных подшипников трения в насосах по перекачки разнообразных жидкостей, как при низких температурах, так и при температурах близких к кипению: морской воды, пластовой жидкости при

добыче нефти и газа, загрязнённой воды абразивными частицами, различных солевых растворов.

Например, растаявший уличный снег и т.д., при условии относительно невысоких рабочих нагрузок.

Отличительными особенностями трибологических керметов компании «ВИРИАЛ» являются следующие:

1. Высокая прочность, обеспечиваемая регулировкой микроструктуры (составом и объёмом К-фазы), а также применением вакуум -компрессионного спекания, которое практически устраняет остаточную пористость в материале. Высокая прочность керметов значительно снижает вероятность растрескивания пар трения в процессах сборки и эксплуатации.

2. Низкий и стабильный коэффициент трения, обеспечиваемый микронным размером зерна твёрдой фазы и специальной подготовкой рабочих поверхностей изделий, снижает энергозатраты оборудования.

3. Как негативный фактор можно указать на меньшие предельные нагрузки, которые выдерживают пары трения из керметов в процессе работы (в сравнении с вольфрамовыми твёрдыми сплавами), связанные, прежде всего с меньшим модулем упругости и более низкой теплопроводностью. Свойства трибологических керметов в сравнении с стандартным вольфрамовым твёрдым сплавом ВК8 приведены в таб.1.1.

Придя на смену инструментальным и быстрорежущим сталям, твердые сплавы оказали и оказывают значимое влияние на развитие всех отраслей промышленности. В настоящее время нет почти ни одной ведущей отрасли, которая в той или иной мере не применяла бы твердые сплавы. Ими выполняется основной объем работ в области металлообработки резанием и давлением, бурение скважин на нефть и газ, в геологоразведке, при добыче угля и полезных ископаемых, в авиастроении и приборостроении, деревообработке, а также во многих других областях промышленности.

Свойства трибологических керметов в сравнении с стандартным вольфрамовым твёрдым сплавом ВК8

Характеристика	Материал		
	КНТ16Трибо	КНТ20Трибо	ВК8 (ГОСТ 3882)
1.Плотность, г/см ³	6,0	6,2	14,6
2.Предел прочности при изгибе, МПа	1800	2000	1670
3.Модуль Юнга, ГПа	430	400	600
4.Твердость по Роквеллу, HRA	91,0	90,0	87,5
5.Трещиностойкость, МПа×м	10	11	14
6.Коэффициент теплопроводности, Вт/(м×К)	20	24	50
7.Коэффициент термического расширения, 10 ^{^-6} /К	8,5	9,0	5,1
8.Коэффициент трения в воде	0,01	0,01	0,01
9.Предельная удельная рабочая нагрузка, МПа	2,0	2,0	> 4,0
10.Балл коррозионной стойкости в морской воде	4	4	4 (стойкий)

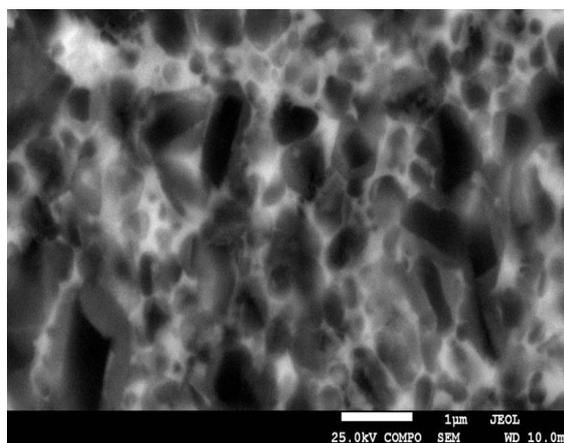


Рис 1.1. Изображение микроструктуры шлифа образца трибологического кермета «ВИРИАЛ»



Рис.1.2. Внешний вид изделий из трибологических керметов «ВИРИАЛ»

Твердые сплавы по своим эксплуатационным свойствам в десятки раз превосходят быстрорежущую сталь, притом затраты при эксплуатации твердосплавных резцов в 4–6 раз ниже, чем при работе с резцами из быстрорежущей стали. Применение твердосплавного инструмента для обработки металлов давлением обеспечивает увеличение стойкости по сравнению со стойкостью стального инструмента в 20–50 раз, а также большой экономический эффект, который в значительной степени зависит и от культуры использования твердосплавных изделий у потребителя.

Твёрдые сплавы в настоящее время являются распространенным инструментальным материалом, широко применяемым в инструментальной промышленности. За счет наличия в структуре тугоплавких карбидов твёрдосплавный инструмент обладает высокой твёрдостью HRA 80-92 (HRC 73-76), теплостойкостью(800—1000⁰C), поэтому его можно применять скоростях, в несколько раз превышающих скорости резания для быстрорежущих сталей. Однако, в отличие от быстрорежущих сталей, твёрдые сплавы имеют пониженную прочность ($\sigma_{из} = 1000—1500$ МПа) не обладают ударной вязкостью. Твердые сплавы нетехнологичны: из-за большой твердости из них невозможно изготовить в целом фасонный инструмент, к тому же они ограниченно шлифуются - только алмазным инструментом, поэтому твёрдые

сплавы применяют в виде пластин, которые либо механически закрепляются на державках инструмента, либо припаиваются к ним.

Анализ научно-исследовательских работ в области твердых сплавов показывает, что улучшение их качества и повышение эксплуатационных характеристик проводится по следующим основным направлениям:

1. Совершенствование технологии, технологических операций и оборудования;
2. Повышение свойств карбидной основы и связующей фазы;
3. Получение сплавов с регулируемой зернистостью;
4. Разработка многогранных неперетачиваемых пластин и пластин с износостойким покрытием;
5. Разработка безвольфрамовых (БВТС) и маловольфрамовых твердых сплавов (МВТС);
6. Разработка керамических и оксидно-карбидных твердых сплавов.

В настоящее время развитие твердосплавной составляющей промышленности идет по двум основным направлениям:

- совершенствование состава и технологии существующих твердых сплавов;
- разработка новых сплавов и технологий.

Однако многие детальные исследования по внедрению твердосплавных формообразующих инструментов из новых сплавов и порошковых материалов, получаемых высокотехнологичными способами, например, из материалов в высокодисперсном состоянии, полученных плазмохимической технологией и изделий с оптимальным сочетанием прочности и пластичности из большинства тугоплавких металлов методом спекания, а также композитов, не проводились.

В настоящее время получение твердосплавных формообразующих инструментов из новых сплавов и порошковых материалов в условиях нашей страны является актуальным и имеет научно-практическое значение.

1.2 Технические, технологические основы и обоснование совершенствования технологии получения твердосплавного ролика вводной коробки клетки, применением высокодисперсных порошков тугоплавких металлов

1.2.1 Основные направления экономии вольфрама

Сегодня в мире актуальным является вопрос высокой дефицитности основных компонентных составляющих твердого сплава и, прежде всего, W и Co, в развитых странах мира развернуты широкие изыскания по разработке экономно-легированных твердых сплавов, обычно не содержащих или содержащих в небольших количествах вольфрама, такие сплавы получили наименование безвольфрамовые (БВТС). Перспективным направлением разработки безвольфрамовых твёрдых сплавов оказалось создание сплавов на основе карбидов или карбидо-нитридов титана с никель-молибденовой связкой.

Эти сплавы отличаются высокой твердостью, имеют низкий коэффициент трения и пониженную склонность к адгезионному взаимодействию, что уменьшает износ инструмента.. Безвольфрамовые твёрдые сплавы в сравнении со стандартными вольфрамосодержащими сплавами имеют более низкий модуль упругости, меньшую теплопроводность и ударную вязкость, поэтому они хуже сопротивляются ударным и тепловым нагрузкам, упругим и пластическим деформациям, имеют пониженную жаропрочность, более интенсивно разупрочняются при повышенных температурах.

Научно-исследовательские работы и разработка новых безвольфрамовых (БВТС) и маловольфрамовых твердых сплавов (МВТС) находятся ещё в стадии разработки, технология их изготовления и оптимальные составы, как в Узбекистане, так и за рубежом ещё окончательно не установлены.

Экономия вольфрама является весьма актуальным. Применения вольфрама при создании твердых сплавов является экономически нецелесообразным в связи с дефицитом, дороговизной и непрерывным расширением областей. Вольфрам занимает 59-е место по распространению в

земной коре. Запасов титана в 3000 раз больше (9-е место) и применения его для создания твердосплавных инструментов день за днём расширяется в целом по всему миру. Поэтому над экономией вольфрама и вышеуказанной решением проблемы работает много организаций у нас в республике и за рубежом в развитых странах. По конкретным данным и сведениям научных исследований, развитие страны через 20-40 лет переводится в массовом порядке на основе недорогих и недефицитных металлов алюминия, магния и титана. Эти легкие и прочные твердые сплавы дают возможность в 2-3 раза облегчить детали и изделий а в 10 раз сократить затраты на ремонт оборудование и машин. Развитие машиностроения требует применение энергосберегающих и материалосберегающих материалов и технологий, позволяющих обеспечить высокий уровень обслуживания изделий. Особо важное место в исследованиях, направленных на создание новых материалов, не содержащих вольфрам, но близких по свойствам к вольфрамосодержащим сплавам и технологии их производства имеют работы по безвольфрамовым твердым сплавам. Следующая группа работ связана с созданием принципиально новых материалов или изделий, не содержащих вольфрама или содержащих его в небольших количествах, и ими в ряде случаев с успехом можно заменить вольфрамосодержащие материалы. Повышение качества продукции путем совершенствования технологии твердых сплавов – один из самых важных путей экономии вольфрама.

Решения проблемы создания твердых сплавов, не содержащих вольфрам, их освоение, выпуск и внедрение в промышленность – важнейшая задача нашего времени. Это новое направление в разработке инструментов из твердых сплавов, исследования ведутся широким фронтом. В результате исследований установлено, что смачивающая способность карбида титана никелем в водороде и в вакууме все же недостаточна, так как идет при спекании происходит процесс срастания зерен карбида, увеличивается смежность границ $TiC - TiC$ и как следствие, прочность сплава оказывается низкой. При добавке

молибдена удалось снизить краевой угол смачивания почти до нуля при температуре спекания и существенно повысить прочность сплава. Кроме того, молибден, растворяясь в карбиде титана, образует на поверхности частиц карбида титана новую более твердую фазу, являющуюся твердым раствором $TiC - Mo_2C$. Благодаря этому получается и более мелкозернистая структура (смежность $TiC - TiC$ уменьшается и соответственно уменьшается рост карбида титана), при этом прочность, и твердость сплава повышаются. В результате образования твердого раствора на основе никеля за счет некоторого растворения молибдена в никеле, приводит к повышению твердости и прочности сплава.

Вторым решающим фактором является выбор материала связки, к свойствам которого предъявляется ряд требований с точки зрения взаимодействия – совместимости, растворимости и смачивающей способности основы. Проведенные исследования показали, что только добавка молибдена к никелю снижает краевой угол смачивания до нуля и только для карбида титана, при этом обеспечивая получение мелкозернистой структуры. Это привело к разработке БВТС с никель-молибденовой связкой. В этих же исследованиях было показано, что уменьшить хрупкость, коэффициент трения, склонность к термоудару сплавов $TiC-Ni-Mo$ можно за счет усложнения состава твердой составляющей введением других карбидов или нитридов.

1.2.2 Составы, технология, свойства и области применения безвольфрамовых твердых сплавов (БВТС)

Применение безвольфрамовых твёрдых сплавов эффективно, главным образом, в виде сменных многогранных пластин, так как при напайке и заточке из-за низкой теплопроводности возможно появление внутренних напряжений и, как следствие, трещин на пластинах, а также снижение их эксплуатационной стойкости. Физико-механические характеристики некоторых марок БВТС представлены в таблице 1.2.

Таблица 1.2

Состав и основные свойства промышленных марок БВТС

Марка сплава	Содержание основных компонентов в % (по массе)						Физико-механические характеристики		
							Прочность на изгиб $\sigma_{из}$ МПа	Плотность, ρ г/см ³	HRA, не менее
	TiC	TiCN	Ni	Mo	W	Fe			
ТН20	79	-	15,0	6,0	-	-	1050	5,5-6,0	90,0
КНТ16	-	74	19,5	6,5	-	-	1200	5,5-6,0	89,0

Применения безвольфрамовых и маловольфрамовых твёрдых сплавов зависит от правильности изготовления и подготовки инструмента к работе, выбора режимов резания и условий обработки материалов. Например, традиционный БВТС марок ТН-20, КНТ-16 не рекомендуется при обработке труднообрабатываемых материалов, отбелённых твердых чугунов и закаленных сталей, различных марок. Внедрения существующих безвольфрамовых и маловольфрамовых твёрдых сплавов и прогнозируемое расширение их применения в связи с появлением новых более совершенных марок показывает, что при выпуске требуемой номенклатуры изделий и обеспечении стабильного уровня качественных показателей, около 25-30% объема выпуска вольфрамосодержащих твердых сплавов для обработки стали может быть заменено на безвольфрамовые.

Согласно ГОСТу сплав TiC-Ni-Mo имеет состав: 79% TiC; 15% Ni; 6% Mo. Новая технология получения многокомпонентного сплава системы Mo-TiC-Ni-W-Fe разработана так, чтобы произвести безкислородный карбид титана с максимальным содержанием $C_{\text{связ}}$, малоокисленную мелкозернистую смесь - с однородным распределением составляющих. Для получения карбида титана близкого к стехиометрическому содержанию углерода проводят вакуумное составление шихты для карбидизации (СДК). Приготовление смеси проводится по нижеуказанной технологии. Размол смесей по указанным режимам позволяет, получать исходные порошки размером 0,3 мкм, благодаря чему после спекания сплавы имеют повышенную плотность и мелкозернистую структуру. Целью операции смешивания является приготовление смеси порошков, пригодных для последующего процесса формования необходимой структуры. От условий выполнения этой операции в значительной степени зависят свойства готового сплава. Порошки твердой тугоплавкой составляющей (TiC-79%) характеризуются весьма малой пластичностью. Поэтому перед прессованием в смесь, содержащую TiC-79%, Ni-17%, Mo-4%, вводят пластифицирующие вещества, которые улучшают прессуемость смеси, уменьшают трение между прессовкой и стенками пресс-формы, придают заготовкам некоторую дополнительную прочность с помощью клеящей способности пластификатора. В данном случае в качестве пластификатора применяется парафин с добавкой поверхностно-активных веществ (ПАВ). В основном в качестве поверхностно-активных веществ используют пчелиный воск, олеиновую, стеариновую кислоты, церезин, которые добавляют к парафину в количестве 3-5%.

Сушка готовой смеси, проводится в специально разработанных вакуумных агрегатах. Разрежение в вакуумном агрегате составляет примерно 13300-15000 Па, время сушки партии смеси приблизительно 15-20 ч. Высушенная и просеянная смесь замешивается на растворе синтетического каучука, с концентрацией 8%. Гранулированная смесь прессуется на обычных

прессах при давлении 1150 МПа. Присутствие кислорода в карбиде титана приводит к увеличению краевого угла смачивания и, следовательно, к образованию пористости, огрублению структуры и снижению физико-механических свойств. Для снижения кислорода используется вакуум при приготовлении карбида титана, сушке смесей после размола, а также при окончательном спекании сплавов.

При вакуумном спекании вообще и спекании твердых сплавов особенно большую роль играет натекание воздуха в печь, количество которого должно быть минимальным и строго постоянным. В связи с этим окончательное спекание твердых сплавов в настоящее время во всех предприятиях проводится в индукционной вакуумной печи СШВЛ шахтного типа. Температура окончательного спекания составляет 1400-1450 °С, вакуум 665×10^{-1} - 665×10^{-2} Па, время изотермической выдержки 30-40 мин. Во избежание роста зерен карбидной фазы при спекании температура должна быть только на 50-70 °С выше температуры образования эвтектики, а продолжительность изотермической выдержки - не более 40 мин.

Для изготовления быстроизнашивающихся деталей типа сопел, фильер и других деталей широко применяется безвольфрамовые твердые сплавы. Первые в Узбекистане они применены для изготовления матриц и новых роликов вводной коробки клетки №23 и №25 привалковой арматуры прокатных станов, работающих в агрессивных и абразивных средах, а также для изготовления формообразующих инструментов различного назначения. Перспективно применены эти сплавы для изготовления матриц и новых роликов вводной коробки клетки №23 и №25 прокатного стана АО «Узметкомбинат». При этом пониженная способность сплавов к взаимодействию с деформируемым металлом исключает его налипание на инструмент, способствует повышению качества изделий, резко увеличивает выход годного и даже при небольшом объеме производства позволяет получать существенную экономическую эффективность.

Безвольфрамовые сплавы имеют высокую окалинотойкость, причем образующаяся на поверхности изделий тонкая оксидная пленка, прочно сцеплена с основной и выполняет в процессе эксплуатации инструмента при высоких температурах роль твердой смазки. Благодаря этому сплавы имеют низкий коэффициент трения и хорошо сопротивляются износу даже в агрессивных и абразивных средах.

В нашей Республике на НПО «По производству редких металлов и твердых сплавов» при АО «Алмалыкский ГМК» выпускаются сплавы ТН для различных целей следующих составов:

74% TiC; 20% Ni; 6% Mo;

69% TiC; 24% Ni; 7% Mo;

50% TiC; 37,5% Ni; 12,5% Mo;

64% TiC; 21% Ni; 15% Mo.

Безвольфрамовые сплавы используют для изготовления быстроизнашивающихся деталей типа сопел, фильер, втулок, пресс-форм для прессования порошков, работающих в агрессивных и абразивных средах, а также для изготовления формообразующих инструментов работающих в тяжелых условиях. Они характеризуются большей работоспособностью, по сравнению с традиционными. Был разработан новый молибденовый сплав, системы Mo-TiC, технология изготовления которого базируется на методах порошковой металлургии, что, несомненно, экономичнее и технологичнее литых эвтектических сплавов той же системы. Состав литого эвтектического сплава системы Mo-TiC: 87% Mo, 13% TiC. Большое содержание Mo в литом эвтектическом сплаве делает его немного дороже, а получение литого эвтектического сплава системы Mo-TiC является трудоемким и энергоемким процессом [9]. В разработанном спеченном молибденовом сплаве соотношение Mo и TiC–50/50%. Кроме этого, для улучшения эксплуатационных и технологических свойств в сплав вводились следующие добавки: Fe, Ni, W и LaB₅. По физико-механическим, технологическим и другим свойствам спеченный

молибденовый сплав системы Mo-TiC превосходит литейный эвтектический сплав той же системы. На основании результатов проведенных исследований состава, структуры, физико-механических свойств, спеченного молибденового сплава системы Mo-TiC можно рекомендовать его в качестве рабочего элемента для штампового инструмента.

В связи с вышеизложенными следует отметить, что сплавы ТН оказались недостаточно прочными и очень хрупкими, решается задача разработки новых безвольфрамовых сплавов с более высокими свойствами. Поэтому авторами разработаны новые сплавы TiC-Ni-Mo с другими соотношениями входящих элементов, увеличением содержания карбида титана и никеля, а также введением в состав в небольшом количестве железа и вольфрама.

1.2.3 Направления по совершенствованию и созданию новых безвольфрамовых твердых сплавов (БВТС)

Направления по совершенствованию и созданию новых безвольфрамовых твердых сплавов в нашей стране можно разделить на три части:

- совершенствование связующей фазы безвольфрамовых твердых сплавов;
- совершенствование основы безвольфрамовых твердых сплавов;
- совершенствование технологических процессов при производстве изделий из безвольфрамовых твердых сплавов.

По первому направлению в литературе имеется большое количество данных по легированию никель-молибденовой связки, но существенного изменения свойства сплавов не наблюдается. Как правило, растет твердость, хрупкость и падает прочность. Более обнадеживающие данные получены при замене никель-молибденовой связки. Твердые сплавы типа TiC-Fe-Cr-Ni по своим свойствам занимают промежуточное положение между известными безвольфрамовыми твердыми сплавами и ферротикарами. Предельная

пластическая деформация безвольфрамовых твердых сплавов и ферротикаров в 1,5 раза выше, чем у сплавов TiC-Ni-Mo, а твердость незначительно ниже.

Второе направление – совершенствование основы безвольфрамовых твердых сплавов и ферротикаров часто переплетается с первым. В природе не существует материалов, обладающих одинаково высокой прочностью, твердостью и проявляющих одинаковую степень инертности ко всем обрабатываемым материалам. Поэтому выбор эффективного инструментального материала должен осуществляться на основе конкретных его характеристик и типа заданной операции. Многие ученые предлагают путь улучшения свойств безвольфрамовых твердых сплавов и маловольфрамовых твердых сплавов на уровне межатомного взаимодействия составляющих сплава. Для выбора основы твердого сплава предлагается использовать предположение, что твердость химического соединения изменяется пропорционально числу электронов атомов – акцепторов и пропорционально общему числу электронов атомов – доноров (за вычетом электронов связи). Прочность соединения увеличивается с ростом числа электронов металлов. При этом уровень прочности повышается у соединений, образованных металлами с меньшим числом электронов и большим числом электронов связи. Фактом отмечено повышения прочности соединений металлов VI и VII групп по сравнению с прочностью соединений металлов IV группы, что связано с увеличением пластичности соединений в результате роста числа неспаренных электронов у металла, осуществляющих металлическую связь. Уменьшение твердости и повышение прочности соединений металлов VI и VII групп обусловлено ростом запаса пластичности в результате увеличения числа неспаренных электронов у металлических атомов. Металлическую связь осуществляет избыточный электрон, и оно повышает пластичность соединения. При этом смачиваемость тугоплавких соединений ухудшается с увеличением энергии связи у смачиваемого соединения и ростом энергии связи у смачивающего металла или сплава.

Третье направление - совершенствование технологии и оборудования безвольфрамовых твердых сплавов. В литературе широко представлено, что предлагается усилить свойства сплавов за счет повышения характеристик, полученных введением технологии “плакирования” карбида титана молибденом.

Результаты проводимых исследований по внедрению деталей и изделий во всех предприятиях из безвольфрамовых твердых сплавов и маловольфрамовых сплавов позволило сэкономить вольфрамосодержащие твердые сплавы (по данным проводимых исследований 1 кг безвольфрамовых твердых сплавов заменяет 2,5 кг вольфрамосодержащих сплавов марки ВК6, ВК8 и ВК15).

Общий выпуск безвольфрамовых твердых сплавов из 100 % в США составляет примерно 15%, в Японии около 30%, в странах независимых государств 5% а в Узбекистане не превышает 2-3% и требует улучшения качества производимых изделий из безвольфрамовых твердых сплавов. Сегодня за рубежом широким фронтом применяются безвольфрамовые твердые сплавы различного назначения, в основном TiC-Ni-Mo, которые показывают наиболее хорошие результаты.

Сплавы TiC-Ni-Mo различного состава находят за рубежом применение не только для режущего инструмента, но и в качестве материалов подшипников и уплотнений в конструкциях летательных аппаратов. При этом отмечается, что наличие больших количеств молибдена в связке может привести к образованию в условиях эксплуатации (до 1100⁰С) молибдата никеля и оксидов молибдена, которые при высоких температурах выполняют задание твердой смазки.

Для повышения качества твердых сплавов применяют несколько методов. Эти методы можно разделить на две большие группы:

1. Повышение качества исходных материалов, которые подробно рассмотрены в монографиях по металлургии редких металлов.

2. Усовершенствование состава и основных операций процесса производства твердых сплавов.

Примерами повышения качества твердых сплавов являются:

- получение сплавов с применением молибдена, вольфрама, карбида вольфрама и карбида титана повышенной дисперсности;
- получение сложных карбидов с повышенным содержанием связанного углерода;
- интенсивное использование вакуума в производстве твердых сплавов;
- применение новых высокопроизводительных процессов производства и оборудования;
- применение неразрушающих методов контроля качества структуры и свойств твердых сплавов;
- принятие некоторые дополнительных мер: термообработка, различные виды обработки, шлифовка поверхности твердых сплавов и т.д.

1.2.4 Использование вакуума в производстве твердых сплавов

На сегодняшний день вакуум в твердосплавном производстве применяется достаточно широко:

- при получении смесей для карбидизации (СДК);
- получение карбидов;
- вакуумная сушка смесей (дистилляция);
- спекание изделий из твердых сплавов в вакууме.

В порошковой металлургии часто требуется однородная смесь нескольких порошков с различными удельными массами, поскольку последующие термические процессы (карбидизация, спекание и т.п.) в значительной мере определяются степенью контакта порошков и качеством их смешивания. Достижения однородности смеси является основной задачей операции составления смесей для карбидизации. При условии высокой однородности смеси и хорошей степени контакта порошков можно обеспечить

требуемую плотность. При этом особенно важно достичь хорошего смешивания при приготовлении смесей для карбидизации для вакуумной карбидизации, при которой реакция проходит преимущественно в твердой фазе, и контакт между частицами играет определяющую роль. В АО «Алмалыкский ГМК» связи с указанным выше предложено проводить операцию составления смесей для карбидизации в вакууме. В вакууме все тела двигаются с одинаковой скоростью, поэтому при вакуумном смешивании порошки не расслаиваются, а сами процессы смешивания порошков с различной удельной массой (например, сажи, титана и вольфрама) резко интенсифицируются.

Научные эксперименты проводились 2015-2016 гг в производственных условиях металлургического цеха №3 АО «УзКТЖМ» на лабораторной шаровой мельнице объемом 4 л и скоростью вращения 63 об/мин с твердосплавными шарами диаметром 8-10 мм. Мельница закрывалась стальной крышкой с уплотнением из вакуумной резины. В крышку вмонтирован кран, к которому во время откачки воздуха присоединяется вакуумметр и шланг от вакуумного насоса ВН-461. Время смешивания определялось при составлении смесей для карбидизации карбида титана следующим образом. В шаровую мельницу загружали 2 кг шаров, 2,82 кг порошка титана и 0,18 кг сажи. Разрежение в мельнице составляло 30-35 тор (1 тор-133 Па). Отбор проб на химический анализ проводился через 15, 30, 45, 60, 75 и 90 мин. Пробы отбирались из 10 разных точек партии смеси и анализировались на содержание общего углерода газа объемным методом. Контрольная партия смешивалась на воздухе. Процесс смешивания особенно ускоряется при создании в мельнице относительно неглубокого вакуума 4000-6665 Па; дальнейшее увеличение вакуума менее эффективно.

Анализ проводимых исследований при получении карбидов (температура карбидизации 1450⁰С) показал, что содержание как общего, так и свободного углерода в карбидах, полученных из вакуумной смесей для карбидизации и из

обычной, примерно одинаково (6,10 и 0,018% против 6,07 и 0,021% соответственно), несмотря на то, что составление смесей для карбидизации в вакууме потребовало мало времени и продолжалось всего лишь 15 мин. По данным по технологии АО «УзКТЖМ» составление смесей для карбидизации всего занимает 22 ч.

Карбид титана является основной составляющей безвольфрамовых твердых сплавов TiC-Ni-Mo. Для приготовления смесей, для карбидизации карбида титана и для смешивания диоксида титана с сажей требуется длительное время (примерно 24 часа).

Операцию приготовления смесей для карбидизации проводят в среде этилового спирта, по такой же технологии работает и Донецкий завод Химреактивов (Украина). Были проведены также эксперименты по составлению смесей для карбидизации карбида титана в вакууме. При этом время смешивания составило примерно 4 ч (вместо 24 ч). Полученные карбиды содержали 18 – 19 % связанного углерода и до 0,5 % свободного, что вполне соответствует предъявляемым требованиям.

На лабораторной стадии исследования установлено, что составление смесей для карбидизации в вакууме позволяет резко сократить длительность времени смешивания без ухудшения качества получаемых карбидов и в ряде случаев отказаться от использования жидких размольных сред. На основании проведенных научно экспериментальных работ и результатов производственно промышленных испытаний была разработана конструкция и изготовлена высокопроизводительная вакуумная мельница.

Применения вакуума для получения карбидов и спекание безвольфрамовых твердых сплавов способствует повышению содержания связанного углерода, удалению газов, летучих примесей, улучшает свойства изготавливаемых образцов, уменьшает расход энергии. При этом температура спекания в вакууме составляет на 30-50⁰С ниже.

На сегодняшний день в нашей республике сдерживающим фактором широкого использования спекания безвольфрамовых твердых сплавов в вакууме является отсутствие хороших производственных вакуумных печей.

1.2.5 Общие задачи разработки технологии твердых сплавов (последние достижения)

Одним из перспективных направлений совершенствования твердых сплавов является разработка технологии, обеспечивающей одновременное улучшение таких свойств, как вязкость и износостойкость, прочность и пластичность в сравнении со традиционными. Именно сочетание прочности и пластичности обеспечивает долговечность твердосплавного инструмента.

Требуемым сочетанием прочности и пластичности будет обладать сплав с повышенной полидисперсностью карбидной составляющей. По результатам научно - исследовательских работ предполагается, что крупное зерно карбидной фазы обеспечит пластичность, а мелкое зерно – повышенную износостойкость сплава. Твердость, пределы текучести и прочности при сжатии с увеличением доли мелких зерен в структуре сплава возрастают. Предел прочности при изгибе практически не зависит от изменения соотношения крупных и мелких зерен в смеси и сплаве и лишь немного снижается при наибольшем содержании мелких зерен. Предельная пластическая деформация с увеличением доли, мелкой фракции зерен карбида титана в смеси до 40 % практически не меняется, а с увеличением до 60 % снижается незначительно (10%). Анализ полученных данных показывает, что наиболее выгодным сочетанием пластичности и износостойкости обладают сплавы с соотношением крупной и мелкой фракций карбида 60:40.

Создание материалов на основе порошков тугоплавких металлов относится к ключевым задачам современной экономики. В современном производстве Республики Узбекистан высокодисперсным порошкам тугоплавких металлов должно уделяться первостепенное внимание, поскольку

от их применения в производстве инструментов во многом зависит уровень базовых отраслей промышленности.

Практика показывает, что зависимость износостойкости твердых сплавов от количества кобальта и размера зерен аналогично зависимости твердости от тех же параметров. Она понижается с увеличением содержания кобальта и размера карбидных зерен.

Основными факторами, определяющими работоспособность твердого сплава, в формообразующем инструменте является:

- свойства твердого сплава;
- конструкция инструмента;
- условия эксплуатации.

В процессе эксплуатации твердосплавный инструмент выходит из строя:

- в результате скола;
- образования радиальных трещин;
- наличия сетки микротрещин из-за термического воздействия или механической нагрузки.

Твердые сплавы должны иметь повышенное сопротивление износу, разрушению при динамических и тепловых нагрузках, обладать определенными пластическими свойствами при работе в тяжелых условиях.

В настоящее время заметно повысилось качество твердых сплавов. Существенно изменилась номенклатура твердых сплавов, выпускаемых промышленностью. По мнению специалистов это связано с использованием производителями более совершенного оборудования более качественных технологий.

Например, Московский комбинат твердых сплавов (МКТС), производит твердые сплавы по технологии и с использованием оборудования и сырья шведской фирмы “Sandvik Coromant”, завод “Победит” (г. Владикавказ), выпускает твердые сплавы серии ВК иНПО «По производству редких металлов и твердых» при АО «Алмалыкский ГМК», который производит широкий

ассортимент по номенклатуре твердых сплавов и композиционных материалов сплавов (г. Чирчик, Узбекистан).

С обретением независимости наша Республика отдаёт предпочтение перехода на рыночную экономику и интеграции промышленности с промышленностью развитых стран Запада, целесообразно рассмотреть основные тенденции совершенствования современных новых марок безвольфрамовых твердых сплавов.

Твердосплавные формообразующие инструменты, применяемые в автоматизированном производстве должны быть надежными и качественными. Эти характеристики зависят не только от средних значений прочности, но и от стабильности его прочностных свойств. Поэтому разработаны новые технологии, направленные на повышение однородности свойства сплавов.

Примером такой тенденции может служить создание нового сплава А-1, мелкозернистой с структурой разработанной фирмой Sumitomo (Япония). Этот новый сплав имеет не только строго фиксированный размер зерна (0,5-0,8 мкм), но и высокую однородность распределения связки по объему материала.

Учеными разработаны несколько марок сплавов с мелкозернистой структурой, обладающих высокими показателями по прочности при изгибе и кручении и однородностью размера зерна.

На сегодняшний день большое внимание уделяют совершенствованию связки твердого сплава, которая является слабым технологическим звеном сплава. Улучшение свойства твердого сплава отмечено при его легировании рением (Re). В частности, введение 0,4% (по массе) рения в сплав (94% WC – 6% Co) увеличивает его прочность при изгибе на 16% при сохранении твердости. Широкое применение сплавов с (Co-Re)- и (Co-Ru)-связками сдерживается дефицитностью рения (Re). Поэтому в последнее время разработаны сплавы с новыми типами малолегированных связок, в которых кобальт частично или полностью заменен никелем, молибденом и железом. В

частности, все большее применение находят сплавы со связками Fe-Co, Fe-Ni, Co-Ni, Fe-Co-Ni, Fe-Mo и др.

Заметное влияние на свойства твердых сплавов с мелкозернистой структурой оказывает содержание кобальта. В частности, рост содержания кобальта в сплаве позволяет увеличить предел прочности при изгибе и ударную вязкость, теплопроводность, снизить коэффициент термического расширения, твердость, модуль упругости и удельное электрическое сопротивление. Оптимальное сочетание свойств мелкозернистых сплавов обеспечивается при содержании кобальта в пределах 6% от объема. Такие сплавы используют для производства цельных твердосплавных инструментов: сверл, зенкеров, концевых фрез, метчиков, формообразующих инструментов и т.д.

Наиболее радикально совершенствуются безвольфрамовые твердые сплавы (БВТС). Необходимо отметить, что если в странах СНГ выпуск БВТС составляет не более 1% от общего объема твердых сплавов, то в Западной Европе и США используют 2-5% БВТС, а в Японии до 30-35%.

В мировой практике в настоящее время производят БВТС, главным образом, на основе TiC, TiC-TiN с различными вариантами связок (табл. 15).

Таблица 1.4

Составы БВТС, применяемые в мировой практике

На основе TiC	На основе TiC – TiN
TiCN – (W,Ti)C – Co	TiC – TiN – WC – Co
Ti(C,N) – Ni	TiC – TiN – Ni – Mo – W
Ti(C,N) – Ni – Mo	TiC – TiN – Ni – MoC
(Ti,Mo)CN – Ni – Mo	TiC – TiN – WC – MoC – Co
(Ti,Ta)CN – Ni – Fe – Mo	TiN – WC – Co
(Ti,W)CN – TaC – WC – Co	-
TiCN – (W,Ti)C – Co	-

Для повышения пластичности и сопротивляемости разрушению при термоциклических нагрузках БВТС дополнительно легируют карбидами Mo, V, Ta, Nb, Zr, Hf, Al, Cr, а также W. Рассматривается также возможность производства БВТС на основе боридов переходных металлов IV – VI групп Периодической системы и, в частности, TiB и TiB₂.

Эффективность БВТС при резании в значительной степени определяется составом и свойствами связки. При производстве БВТС в качестве связки чаще всего используют никель с добавками молибдена или кобальта (см. табл. 1.4), а для ее упрочнения в состав связки вводят Fe, Cr, Al, W, Ti, Si и др.

Например, при легировании БВТС алюминием происходит образование субмикроскопической фазы Ni (Ti, Al), выполняющей роль своеобразного фазового упрочнителя. В результате происходит упрочнение связки, растет твердость сплава без снижения его прочности. В мировой практике используют БВТС с содержанием связки в пределах 5-25% (по весу).

Фирма Sumitomo разработала серию БВТС, которые успешно заменили вольфрамосодержащие твердые сплавы для операций чистового и получистового точения сталей (P01-P20). В частности, сплав T12A применяется для получистового точения и фрезерования конструкционных сталей на ферритной основе с $V=150-200$ м/мин соответственно, а также для точения и фрезерования нержавеющей сталей на скоростях резания $V=60-250$ м/мин; $V=60-120$ м/мин. Наиболее удачным в этой серии является сплав T25A, предназначенный для получистового точения конструкционных сталей ($V=50-200$ м/мин) и фрезерования ($V=120-180$ м/мин, $S_z=0,25$ мм/зуб).

Еще одно направление совершенствования БВТС связано с введением в их состав небольшого количества WC и TaC с целью повышения теплопроводности, снижения коэффициента термического расширения, что заметно повышает сопротивляемость БВТС разрушению в условиях термоциклирования и значительно повышает износостойкость сплава для тяжелых операций и, в частности, для черного фрезерования.

Например, фирма Toshiba Tungalloy (Япония) разработала гамму БВТС (302, 308, 350, NS500) на основе TiC-TiN, легированных WC и TaC. Эти сплавы рекомендованы фирмой для оснащения инструмента, предназначенного для получистового точения сталей и чугунов, а также закаленных сталей и чугунов повышенной прочности, нержавеющей аустенитных сталей (P10-P20, K05-K20, M05-M10). Благодаря высокой сопротивляемости разрушению при термоциклических нагрузках торцовые фрезы, оснащенные пластинами NS540, могут быть использованы для фрезерования стали твердостью HB160 с $V=170$ м/мин; $S_z=0,2$ мм/зуб; $t=2-3$ мм, при этом допускается применение СОТС.

Фирма Adamas Carbide (США) рекомендуют пластины из БВТС марок ADAMAX300 и ADAMAX400 для чистового, получистового и чернового точения сталей (HRC₃42-45) и чугунов на скоростях резания до 220 м/мин, минутной подаче до 813 мм/мин и глубиной резания до 15 мм.

Фирма Teledyne First Stering (США) рекомендует разработанные БВТС на основе TiCN и (Ti, Mo)CN с никель-молибденовой связкой (марка SD-3) для точения, растачивания, подрезки, нарезания резьбы в сталях и чугунах, жаропрочных сталях, что свидетельствует о широкой области применения сплава SD-3. В частности, инструмент из сплава SD-3 достаточно эффективен при резании с $V=300-400$ м/мин заготовок из стали твердостью до 50 HRC₃.

Следует отметить, что БВТС, с их более высокой, чем у вольфрамосодержащих твердых сплавов, теплостойкостью, меньшей склонностью к адгезии с обрабатываемым материалом, вполне отвечают современной тенденции обработки заготовок за одну установку при минимальном припуске, высоких требованиях к точности и шероховатости обработанных поверхностей и использовании высоких скоростей резания.

Таким образом, инструмент, оснащенный пластинами из БВТС, становится особенно эффективным при обработке больших поверхностей с высокими требованиями по точности, правильности геометрической формы, шероховатости обработанных поверхностей. В частности, при тонком

фрезеровании направляющих длиной до 600 мм и шириной до 40 мм из стали 58СМo фрезой, оснащенной пластинами из БВТС марки Т60 с $V=125$ м/мин, $S_z=0,15$ мм/зуб; $t=0,3$ мм (критерием отказа служил параметр шероховатости $R_a=0,4$ мкм), число обработанных деталей за период стойкости фрезы составило 12 штук при шероховатости по всей обработанной поверхности $R_a=0,35$ мкм. При использовании торцовых фрез, оснащенных вольфрамсодержащим твердым сплавом, шероховатость обработанной поверхности при аналогичных условиях обработки составила $R_a=2,1$ мкм.

В ряде случаев инструмент, оснащенный пластинами из БВТС, превосходит инструмент из твердых сплавов с износостойкими покрытиями и керамики. В частности, инструмент, оснащенный пластинами из БВТС марки SN80 фирмы «Feldmuhle» (ФРГ) превосходит керамический инструмент при резании на скоростях 350-500 м/мин в условиях повышенных требований к прочности режущих кромок и качеству обработанной поверхности

1.3 Цели и задача исследования

Отмечено, что изучением данной проблемы занимались многие авторы [7-8]. Начало XXI века ознаменовалось развитием технологии тугоплавких высокодисперсных материалов. Она уже используется во всех развитых странах мира в наиболее значимых областях человеческой деятельности (промышленности, обороне, информационной сфере, радиоэлектронике, энергетике, транспорте, биотехнологии, медицине и т.д.).

Анализ роста инвестиций, количество публикаций по данной тематике требуют внедрения фундаментальных и прикладных работ и позволяют в ближайшие годы развивать технологии тугоплавких высокодисперсных материалов, являющихся одними из важных и, вместе с тем, более перспективных новых научных направлений.

Развитие научной школы в области спеченных твердых сплавов в металлургии и обработке материалов принадлежит ученым содружества

независимых государств и особенно Цветкова Ю.В., объединяющая его учеников и соратников, как на территории нынешней Российской Федерации, так и в ряде бывших союзных республик, осуществляющая практическую реализацию процессов плазменного восстановления и синтеза тугоплавких металлов в Прибалтике, Белоруссии, Украине, Средней Азии и Казахстане.

В качестве примера можно привести осуществленный в Узбекистане цикл исследований физико-химических и технологических свойств высокодисперсных порошков вольфрама и молибдена. Особенно получили практическую реализацию на АО «УзКТЖМ» (Узбекском комбинате тугоплавких и жаропрочных металлов) созданные технологии и аппаратное оформление плазменно-водородного восстановления оксидов вольфрама.

При этом помимо резкого повышения производительности и повышения эксплуатационных свойств, полученных из производимых на плазменной установке высокодисперсных порошков, отмечалось снижение энергозатрат как на собственно процесс восстановления, так и на последующие переделы.

Таким образом, было сформулировано положение, в значительной степени определяющее перспективы плазменной металлургии в целом - при оптимальном конструктивно-технологическом оформлении плазменные процессы являются энерго- и ресурсосберегающими при обеспечении совместимости с окружающей средой.

Анализ литературных источников показал, что в настоящее время с использованием плазмохимического метода представлена принципиальная возможность получения высокодисперсных порошков большинства тугоплавких металлов. Результаты исследований, проводимых во многих странах, свидетельствуют о реальной возможности применения высокодисперсных порошков тугоплавких металлов для изготовления твердосплавных инструментов, инструментальных и других материалов с повышенными эксплуатационными характеристиками.

В начале XXI века эта технология вновь привлекла к себе внимание в ряде стран, что позволило производить материалы, обладающие уникальными свойствами (повышенной твердостью, износостойкостью и другими ценными качествами), получение которых иными способами недостижимо. К ним относятся все твердосплавные инструменты из тугоплавких металлов, а также композитных материалов, в том числе из композиции металлов с неметаллами с сочетанием оптимальной прочности и пластичности.

Получение твердосплавных формообразующих инструментов из новых сплавов и порошковых материалов, получаемых высокотехнологичными способами, в частности, из материалов в высокодисперсном состоянии, с повышенными эксплуатационными характеристиками, изготовленных методом порошковой металлургии, рассматривается в мире как одно из направлений, определяющих научно-технический прогресс в XXI столетии. Прочность, плотность и пластичность один из важных параметров, определяющих свойства и качества твердосплавных инструментов.

Однако более детальные исследования по внедрению и моделированию состава сплавов для улучшения механических свойств, формообразующих твердосплавных инструментов с использованием высокодисперсных порошков тугоплавких металлов, в частности молибденовых и композитов, ещё недостаточно изучены. Таким образом, сформулированы цель и задачи настоящей работы.

Целью работы является разработка технологии производства твердосплавного формообразующего инструмента, а именно ролика вводной коробки клетки, изготовленного методом порошковой металлургии. Выявление закономерностей компактирования стандартных и нанодисперсных порошков молибдена и разработки новых технологий изготовления готовых видов продукции. Разработка научно-технологических основ создания твердых сплавов с использованием порошков тугоплавких металлов и улучшение технологических свойств порошковых материалов, а также теоретическое и

экспериментальное обоснование необходимости промышленного освоения молибдена в производстве твердосплавных инструментов. Расширение объёма и областей использования нового спеченного сплава системы Mo-TiC-Ni-W-Fe, изготавливаемого методом порошковой металлургии.

Для достижения сформулированной цели были поставлены следующие задачи исследования:

получать изделия с оптимальным сочетанием прочности и пластичности из нового спеченного сплава системы Mo-TiC-Ni-W-Fe методом спекания;

проанализировать структуру, состав и свойства нового спеченного сплава системы Mo-TiC-Ni-W-Fe, изготовленного методом порошковой металлургии;

исследовать и объяснить процессы прессования и спекания порошков молибдена и материалов на его основе;

разработать технологические приёмы использования порошков молибдена для получения компактного металла, дисперсных порошков карбида титана, твердых сплавов и композиционных материалов;

разработать технологические основы спекания и термической обработки применительно к конкретным видам твердосплавных инструментов с использованием порошков молибдена.

усовершенствовать технологии получения традиционной продукции с использованием порошков молибдена и рекомендовать для производства новые виды изделий;

разработать технологические основы спекания и термической обработки применительно к конкретным видам твердосплавных инструментов с использованием порошков молибдена.

Таким образом, несмотря на большой информационный поток, связанный с разработкой твердосплавных сплавов в рассматриваемой проблеме ещё немало «белых пятен» и их устранение, несомненно, будет способствовать расширению практического использования порошков тугоплавких металлов, что является актуальным для отраслей экономики республики.

Анализ литературных источников показал, что в настоящее время с использованием плазмохимического метода представлена принципиальная возможность получения высокодисперсных порошков большинства тугоплавких металлов. Результаты исследований, проводимых во многих странах, свидетельствуют о реальной возможности применения порошков тугоплавких металлов для изготовления твердосплавных формообразующих инструментов, инструментальных и других материалов с повышенными эксплуатационными характеристиками.

Однако более детальные исследования по получению и моделированию состава твердых сплавов для улучшения механических свойств показали, что твердосплавные формообразующие инструменты с использованием порошков тугоплавких металлов, в частности композитов, ещё недостаточно изучены. Таким образом, сформулированы цель и задачи настоящей работы.

Выводы

В первой главе под названием «**Состояние проблемы и выбор направления исследований**» проанализировано современное состояние основ создания твердосплавных инструментов методом порошковой металлургии, использованием порошков тугоплавких металлов.

Результаты исследований, проводимых во многих странах, свидетельствуют о реальной возможности применения высокодисперсных порошков тугоплавких металлов для изготовления твердосплавных инструментов, инструментальных и других материалов с повышенными эксплуатационными характеристиками.

Однако более детальные исследования по внедрению и моделированию состава твердых сплавов для улучшения механических свойств, показали, что твердосплавные формообразующие инструменты с использованием высокодисперсных порошков тугоплавких металлов, в частности композитов, ещё недостаточно изучены. На основе проведённых исследований в первой главе представлены следующие выводы:

1. Актуальность разработки заключается во внедрении новых материалов, получаемых высокотехнологичными способами, а также в создании новых твердосплавных формообразующих инструментов с повышенными эксплуатационными характеристиками;

2. Замена в технологическом процессе переработки крупных порошков на высокодисперсные позволяет уменьшить температуру спекания заготовок и даёт возможность получения более однородной и мелкозернистой структуры спечённых изделий;

3. Большое внимание уделено совершенствованию связки твердого сплава, которая является слабым технологическим звеном сплава;

4. Проведенные исследования показали, что только добавка молибдена к никелю снижает краевой угол смачивания до нуля и только для карбида титана, при этом обеспечивая получение мелкозернистой структуры;

5. Анализ полученных данных показывает, что наиболее выгодным сочетанием пластичности и износостойкости обладают сплавы с соотношением крупной и мелкой фракций карбида 60:40.

ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ И ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Выбор и обоснование объектов исследования

Объектом исследования являются формообразующие инструменты, ролики прокатного стана, сплав нового состава системы Mo-TiC-Ni-W-Fe, изготовленный методом порошковой металлургии. Ролики вводной коробки клетки № 23 и №25 стана - 300 СПЦ-2 на АО «Узметкомбинат».

Таблица 2.1

Химический состав спеченного нового молибденового сплава системы Mo-TiC-Ni-W-Fe

Содержание, в % масс.,				
TiC	Fe	Ni	W	Mo
60–65	3,5–4,0	20–22	3,5–4,0	остальное

Таблица.2.2

Химический состав промпродуктов АО «АГМК»

Марка промпродукта	Содержание элементов, % масс,										
	Mo	As	Si	P	WO ₃	Al	Ag	Re	S	SiO ₂	Влага
ППМ-1	>40,0	0,07	3,0	<0,05	<0,8	0,0025	0,0076	-	-	-	6,0
ППМ-2	<25,0	0,07	5,0	<0,05	<1,2	0,0025	0,0076	-	-	-	6,0
ОПМ	>32,0	0,07	2,0-3,0	<0,05	<0,8	0,0025	0,0076	<0,17	1,5	11,0	0,5

На рис.2.1 представлено технологическое оформление плазменной установки «ПУВ-300», функционирующей на НПО «По производству редких металлов и твердых сплавов» при АО «Алмалыкский ГМК».

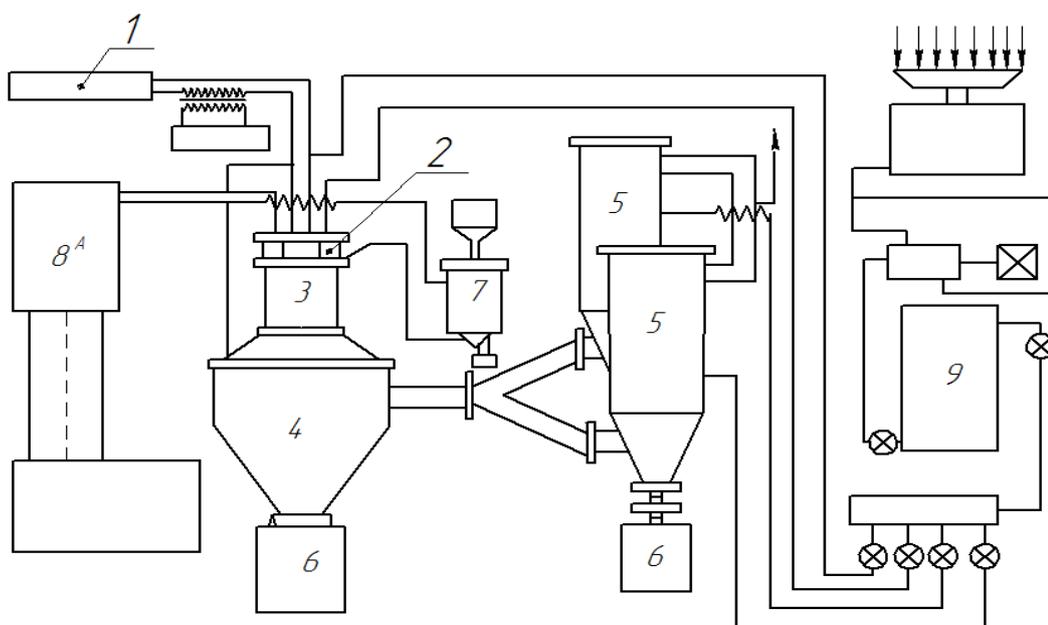


Рис.2.1. Схема плазменной установки «ПУВ-300» функционирующей на НПО «По производству редких металлов и твердых сплавов» при АО «АГМК»: 1 - источник питания, 2 - плазмогенератор, 3 - реактор, 4 - осадительная камера, 5 - фильтры, 6 - приемный бункер, 7 - дозаторы сырья, 8 - система газоснабжения, 8^А - узел ввода сырья, 9 - система водоснабжения.

2.2 Методика определения состава спеченной порошковой молибденовой композиции

Одной из основных задач данной исследовательской работы являлась разработка состава и технологии получения новой спеченной порошковой молибденовой композиции. Помимо основных компонентов Мо и TiC в состав композиции вводились с целью улучшения технологических и эксплуатационных характеристик Ni, Fe, и W:

Ni - обеспечивает вязкость, механическую прочность и устойчивость против коррозии, (детали, используемые при высоких температурах);

Ti - обеспечивает жаростойкость, механическую прочность при высоких температурах, устойчивость против коррозии и позволяет обеспечивать оптимальное соотношение характеристик прочности и пластичности;

W - обеспечивает твердость и жаропрочность, износоустойчивость;

Mo - обеспечивает пластичность, жаростойкость, устойчивость против коррозии.

В самом деле, при проведение экспериментов:

– никель (Ni) – вводился в композицию для достижения необходимой технологичности и пластичности порошковой смеси. Введения никеля в сплав обеспечивает хорошую прессуемость, а при спекании – необходимую плотность заготовки, что положительно сказывается на эксплуатационных свойствах;

– железо (Fe) – вводится в композицию тоже с целью повышения технологичности за счет восстановления окислов на поверхности частиц карбида титана и твердорастворного упрочнения инструмента за счет усвоения титана молибденом;

– вольфрам (W) - добавляется в композицию для твердорастворного упрочнения молибденовой основы и для повышения твердости сплава.

Предварительные эксперименты показали, что создание эвтектического сплава путем спекания порошковой композиции того же состава не удастся, так как спеченный сплав не отвечал требованиям ни по одному параметру. Поэтому разработка сплава – заменителя велась, с одной стороны, в направлении увеличения содержания TiC, а с другой стороны, в направлении введения дополнительных присадок, улучшающих технологические и эксплуатационные характеристики сплава.

Сравнительная оценка сплава проводилась по двум характеристикам: прочности на изгиб ($\sigma_{из}$) и твердости (HRC). Как известно, эти характеристики хорошо коррелируют с такими характеристиками, как горячая твердость и жаропрочность, определяющими работоспособность и долговечность инструмента при горячей обработке давлением. Поэтому при разработке сплава за критерий оценки при определении оптимального состава брались $\sigma_{из}$ и HRC. Оптимизация состава проводилась с привлечением метода математического

планирования эксперимента [25]. Исходной отправной точкой при разработке был выбран сплав с содержанием 62 % TiC, 4 % Fe, 22% Ni, 4 % W и остальное молибден Mo, который имел вполне приемлемый уровень значений контролируемых характеристик ($\sigma_{из}$ =900 МПа, HRC=80).

Таблица 2.3

План оптимизации состава нового спеченного сплава методом крутого восхождения

Факторы № п/п	№ опыта	TiC, %	Ni, %	W, %	Fe, %	$\sigma_{из}$, кгс/мм ²
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	Y
1	Vi	+5	+2			-
2	Vi*		-	-	-	-
3	Шаг	1	-	-	-	-
4	№ 1	56	22	3,5	3,5	-
5	№ 2	57	22	3,5	3,5	-
6	№ 3	58	22	3,5	3,5	110
7	№ 4	59	22	3,5	3,5	-
8	№ 5	60	22	3,5	3,5	-
9	№ 6	61	22	3,5	3,5	-
10	№ 7	62	22	3,5	3,5	115
11	№ 8	63	22	3,5	3,5	-
12	№ 9	64	22	3,5	3,5	-
13	№ 10	65	22	3,5	3,5	-
14	№ 11	66	22	3,5	3,5	106
15	№ 12	67	22	3,5	3,5	-
16	№ 13	68	22	3,5	3,5	-
17	№ 14	69	22	3,5	3,5	-
18	№ 15	70	22	3,5	3,5	98

Используя метод крутого восхождения [23] при оптимизации состава композиции, с помощью которого был определен состав порошковой композиции, принятый за основу при проведении дальнейших исследований и обеспечивал уровень прочности $\sigma_{из}$ =1150МПа и HRC=84. Оптимальный состав порошковой композиции включает: 60–65 % TiC, 20-22% Ni, 3,5 % W, 3,5 % Fe, и остальное молибден Mo (табл.2.3).

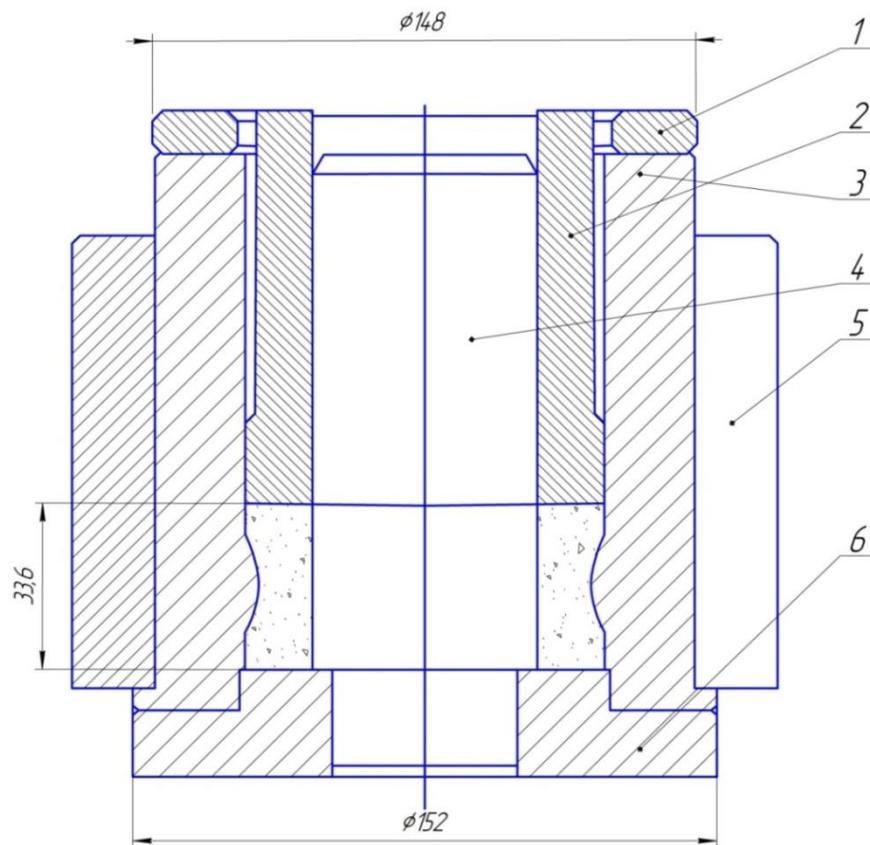
2.3 Методика испытания механических и эксплуатационных свойств формообразующих твердосплавных инструментов

Установлено, что прочностные свойства любых материалов напрямую зависят от их структуры и текстуры. Всегда равномерно мелкозернистые структуры изделий порошковой металлургии обеспечивают большие прочность, твердость, сопротивляемость к физическим нагрузкам, истираемость и другие механические свойства. Наоборот, грубозернистые, неравномернозернистые структуры снижают прочность изделий порошковой металлургии. Массивные текстуры характерны для прочных, а слоистые, пятнистые и полосчатые текстуры – для малопрочных изделий. Для установления причин появления дефектов при производственном использовании некоторых твердосплавных изделий из спеченного порошкового молибденового сплава системы Mo-TiC и Mo-TiC-Ni-W-Fe по заданию заказчика исследовали причину растрескивания некоторых роликов, применяемых в прокатных станах металлургических заводов.

Деформация горячего металла производится при помощи воздействия на них валков прокатной клетки. Прокатка металла до готового профиля выполняется постепенным осаживанием и вытягиванием заготовок в калибрах валков. Валки работают при температуре 1100°C с износом контактных поверхностей во время работы. Износ контактных поверхностей вала происходит от трений качения и скольжения между валком и горячим металлом. Износ валков вызывает ухудшение качества поверхности готового проката. Это приводит к отклонению и изменению размеров заготовки изделия и вынужденной замене валков с остановкой производства.

Валки изготавливаются из двух составных частей. Рабочая часть – твердосплавный бандаж напрессовывается на стальную ось.

Авторамы при содействии с АО «УзКТЖМ» разработаны рабочие чертежи на пресс-форму для получения детали «Ролик вводной коробки клетки №25» (рис.2.2).



**Рис. 2.2. Рабочий чертеж пресс-формы для получения детали
«Ролик вводной коробки клетки №25**

1-кольцо; 2-пуансон; 3-сегмент; 4-стержень; 5-обойма; 6-матрица

Авторамы при содействии с АО «Узметкомбинат» разработаны рабочие чертежи ролика вводной коробки клетки №25 (рис.2.3).

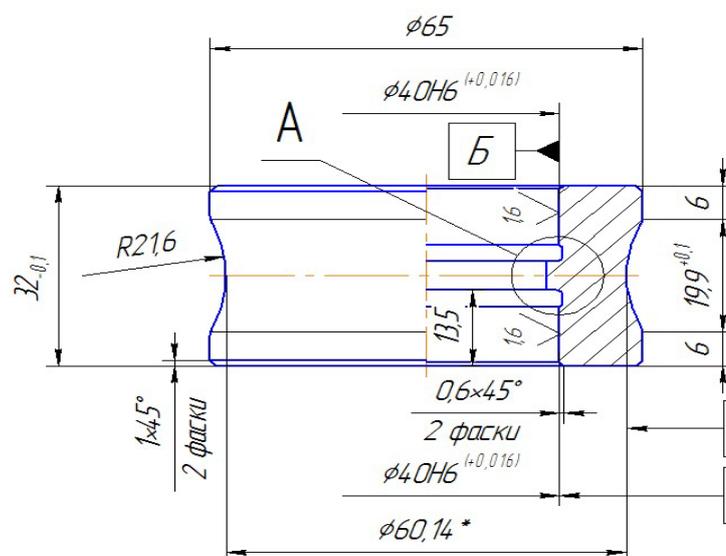


Рис. 2.3. Рабочий чертеж ролика вводной коробки клетки №25

По заданию заказанный образец ролика (рис. 2.3) представляет круглое кольцеобразное изделие из твердосплавного материала с наружным диаметром 650 мм, внутренним диаметром 480 мм. Ширина кольца 32 мм, по обоим краям ролика имеются бортики шириной по 6 мм. Расстояние между бортами 20 мм. На этом расстоянии ролик дугообразный, с высотой углубления около 3 мм. В середине дуги крылья дуги плавно переходят в краевой борт. С внешней стороны бортики ограничены фасками шириной 2 мм, сглаживающими острые углы ролика по окружности. С учетом толщины таких фасок толщина бортиков, ограничивающих ролик с двух сторон, достигает 6 мм.

Изучены результаты исследования бракованных образцов (штабиков), изготовленных из нового спеченного порошкового сплава системы Mo-TiC-Ni-W-Fe с использованием порошков молибдена после спекания.



Рис. 2.4 – Снимки внешнего вида образцов, X 3.0.

1. Результаты испытания на твердость (протокол № 06-10 /114)

Твердость поверхности образцов, измеренная в единицах Роквелла, составляет 71HRC.

При проведении испытания в месте расположения отпечатка образовались радиальные трещины.

2. Результаты исследования микроструктуры (распределения пористости составляющих фаз) в соответствии с ГОСТ 9391-80:

- наблюдаются множественные поры: мелкие, относительно равномерно рассредоточенные, размером от 10 до 20 мкм; крупные видимые поры размером от 30 до 700 мкм - хаотично расположенные, как единичные, так и имеющие групповое расположение (рис. 2.5, 2.6, 2.7).

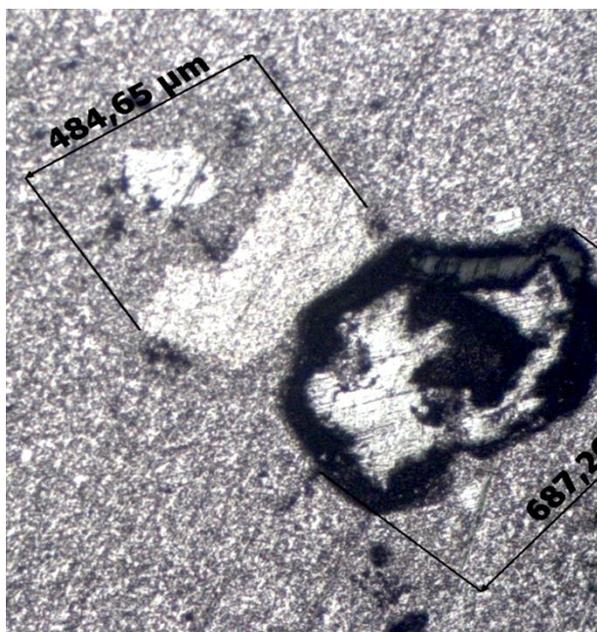


Рис. 2.5 – Микроструктура, X 100. Крупная пора с линейным размером 687мкм, скопления β -фазы (светлые участки)

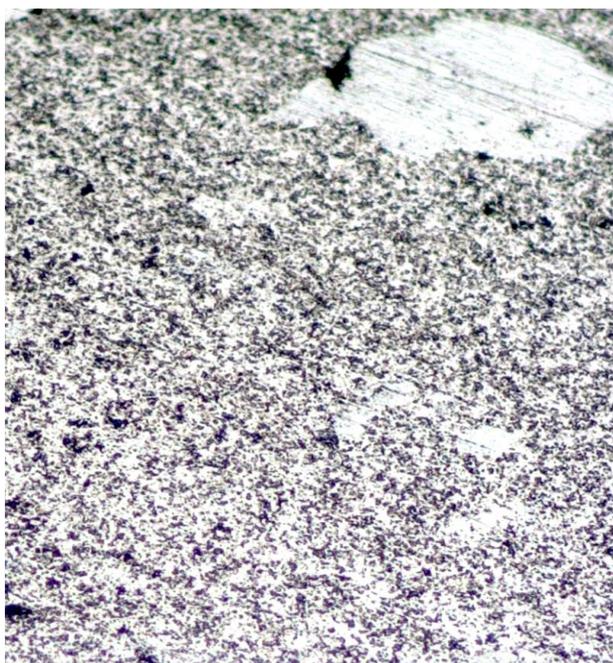


Рис. 2.6 – Микроструктура, X 100. Скопления β -фазы (светлые участки)

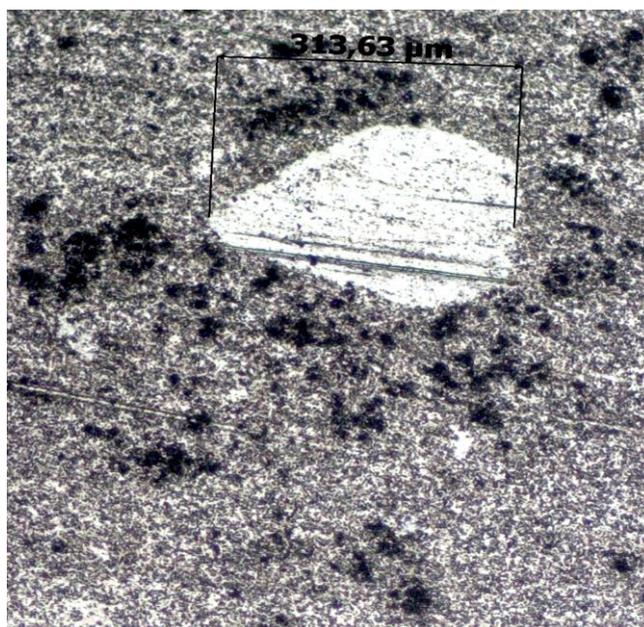


Рис. 2.7 – Микроструктура, X 100. Отдельное крупное зерно α -фазы (светлый)

Микроструктура неравномерная: наблюдаются отдельные крупные зерна α -фазы (карбидов вольфрама), участки скопления β -фазы (связующей основы).

На рисунке видны неравномерная зернистость твердого сплава, изменчивость их формы от ксероморфных до четко ограненных. Связующая компактирующая масса в сплаве хорошо не перемешана с микропорошком твердого сплава, сгустки которого различимы.

В результате указанной выше операции получены более достоверные изображения микроструктуры сплава при увеличениях $\times 100$.

Были получены образцы из новых молибденовых порошков, и их исследовали в научной лаборатории центра «Материаловедение и композиционные материалы» и заводской лаборатории.

Изготовлены следующие партии образцов: ролики вводной коробки клетки №25 и №23 каждый по 2-штуки, формообразующий тяжело нагруженный инструмент (матрица) и штабики (образцы) по 4 штуки (табл.2.4). Также новый сплав используется для пресс-форм прессования порошков, матриц, фильер, измерительных инструментов.

Образцы твердосплавных инструментов из нового молибденового сплава

Наименование изделий и характеристика их испытаний	Изготовленные образцы инструментов
Ролик вводной коробки клетки №25 из нового молибденового сплава системы: Mo-TiC-Ni-W-Fe	
Тяжело нагруженный инструмент (матрица) из нового молибденового сплава системы: Mo-TiC-Ni-W-Fe	
Образцы из нового молибденового сплава системы: Mo-TiC-Ni-W-Fe	
Штабики из нового молибденового сплава системы: Mo-TiC-Ni-W-Fe	

Каждый вариант полученных образцов твердосплавных формообразующих инструментов проходил последовательно три этапа испытаний: а) прочность на изгиб; б) твердость; в) эксплуатационные испытания.

Физико-механические характеристики композиции: плотность, твердость и прочность на изгиб определяли по методикам, установленным Госстандартом для твердых спеченных сплавов: плотность, ρ , г/см³ – методом

гидростатического взвешивания; твердость – на приборе Виккерса; прочность на изгиб $\sigma_{из}$ – на разрывной машине УММ – 5 на функционирующей лаборатории оснащенной необходимым оборудованием на НПО «По производству редких металлов и твердых сплавов» при АО «Алмалыкский ГМК». Учитывая характеристики композиции, брали стандартные образцы размерами 6x6x39 мм (после спекания 5x5x34 мм).

На изготовленных образцах из молибденовых порошков были проведены испытания на твердость, прочность на изгиб и определении их удельных весов и плотностей.

Результаты испытания показали, что твердость опытных образцов в среднем составила 83-84 HRC; плотность ρ в пределах 7,5 - 8,0 г/см³ и прочность на изгиб $\sigma_{из}$ в пределах 105–115 кгс/мм² (табл.2.5).

В результате исследований установлено, что спеченный молибденовый сплав обладает следующими физико–механическими свойствами:

коэффициент линейного расширения, град⁻¹ – $6,0 \times 10^{-6}$;

плотность, г/см³ – 7,5 – 8,0;

твердость, HRC – 83 – 84;

прочность, МПа – 1150.

Одним из важных факторов оценки свойств спеченного молибденового сплава является его обрабатываемость для получения окончательных размеров изделий. На основании проведенных исследований установлены следующие параметры чистовых шлифовальных операций, рекомендуемых для нового спеченного молибденового сплава в условиях СП «SPZ-BEARINGS», где выполнялись обработка, шлифовка и сборка роликов.

1 – ступень:

а) характеристики шлифовального круга 63С16ПСМ16К;

б) режим шлифования: $v=25$ м/мин; $t=0,03$ мм/дв.ход.

2 – ступень:

а) характеристики алмазного круга АСР 125/100 Б2 100%;

б) режимы выглаживания: $v=20$ м/мин; $t=0,0015$ мм/дв.ход.

Завод СП «SPZ-BEARINGS» специализирован по производству подшипников и оснащен необходимым оборудованием и станочным парком. На заводе имеется ОТК, специализированная сертифицированная лаборатория для испытания производимой продукции.

Таблица 2.5

Результаты исследования твердосплавных образцов

№ п/п	Новый спеченный молибденовый сплав системы: Mo-TiC-Ni-W-Fe: 60–65 % TiC, 20-22% Ni, 3,5 % W, 3,5 % Fe, и остальное молибден Mo.					
	<i>Твердость</i> <i>ЗИП модель ТК – 2М ГОСТ 13407 – 67 № 1793</i>					
	Ролик, HRC	Тяжело нагруженный инструмент, HRC	Новый образец, HRC	Штабик, HRC		
1	83,9	83,9	83,8	83,8		
2	84,1	84,0	83,9	83,9		
3	83,9	83,8	84,1	84,0		
	<i>Вес образцов, г</i>					
	Ролик		Тяжело нагруженный инструмент		Фильер	
	в воздухе	в воде	в воздухе	в воде	в воздухе	в воде
4	203,000	199,320	180,150	177,190	16,235	15,965
	Разница весов между замерах в воздухе и воде, г					
5	3,680		2,960		0,27	
	<i>Удельный вес – плотность ρ, г/см³</i> <i>ТУРВА – 33 Nr 67761</i>					
	Ролик		Матрица		Фильер	
6	7,5 г/см ³		8,1 г/см ³		8,0 г/см ³	
7	средняя плотность образцов ρ , 7,86 г/см ³					
	<i>Прочность на изгиб $\sigma_{из}$, кгс/мм²</i>					
	Штабик, новый молибденовый сплав системы: Mo-TiC-Ni-W-Fe		Штабик, стандартный ВК6, ВК8			
8	1050 МПа		1550 МПа			
9	1150 МПа		1600 МПа			
10	1100 МПа		1550 МПа			
11	1150 МПа		1650 МПа			

Результаты испытания показали, что твердость опытных образцов в среднем составила 84 HRC; удельный вес ρ 7,5 - 8,0 г/см³ и прочность на изгиб $\sigma_{изв}$ в пределах 1150 МПа. Оптимальный состав порошковой композиции включает: 60–65 % TiC, 20-22% Ni, 3,5 % W, 3,5 % Fe, и остальное молибден Мо.

Были проведены промежуточные анализы стойкости экспериментальных роликов валковой арматуры из нового спеченного молибденового сплава системы Mo-TiC-Ni-W-Fe.

На основании договора №14/13 от 24.04.2013 года составленного между АО «Узметкомбинат» и Ташкентским государственным техническим университетом (ТашГТУ), в конце августа 2016 года в Сортопрокатный цех №2 были поставлены ролики привалковой арматуры из сплава молибден-карбид титана в количестве 4 штуки, для определения эксплуатационных характеристик. Ролики были пронумерованы и переданы в вальцетокарное отделение цеха для установки стальных втулок под подшипники.

Перед сборкой ролики подверглись осмотру, в результате, которого были выявлены дефекты в виде трещин на поверхности внутреннего отверстия образцов №3 и №4, которые привели к поломке ролика №4 при установке стальной втулки.

При геометрических замерах роликов на образце №2 были обнаружены отклонения от требований чертежа (присутствовало биение и овальность на наружной рабочей поверхности).

Образцы №1 и №3 были установлены на привалковую арматуру №15 для дальнейшей эксплуатации в линии стана 300.

07.09.2016 года в 17⁰⁰ при прокатке арматуры №12 на клеть №25 левой чистовой группы была установлена вводная роликовая коробка №15 с экспериментальными роликами из нового спеченного молибденового сплава системы Mo-TiC-Ni-W-Fe. 08.09.2016 г. в 19⁰⁰ после прокатки арматуры №12 перешли на прокатку круга Ø12 мм, и продолжили прокатку до 1⁰⁰ 09.09.2016.

За все это время было пропущено 645 т раската через коробку №15.

Далее коробка №15 с экспериментальными роликами была использована:

- при прокатке арматуры №10 с 12⁰⁰ часов 12.09.2016 г. по 15³⁰ часов 13.09.2016 г. За это время было пропущено 685 т раската;

- при прокатке арматуры №12 с 17³⁰ 13.09.2016 по 03⁰⁰ 15.09.2016. За это время было пропущено 877 т раската.

20.09.2016 г. в 16⁰⁰ при прокатке арматуры №12, коробка №15 была установлена на клеть №31 правой чистой группы. Через несколько минут произошла аварийная остановка прокатки на клети №31, образец ролика под номером №3 рассыпался на несколько частей и стал не пригодным к дальнейшей эксплуатации.

В связи с вышеизложенным вводная роликовая коробка №15 с экспериментальными роликами из нового спеченного молибденового сплава системы Mo-TiC-Ni-W-Fe была выведена из эксплуатации.

Итого, общая стойкость пары экспериментальных роликов №1 и №3 по результатам проведенных исследований (по данным на 22.09.2016 г.) составила – 2207 т и испытание продолжались. Съёмки роликов после прокатки 2200 т приведены на рис.2.8.



Рис.2.8. Съёмки роликов после проката заготовок изделий весом 2200 т

Проведенные авторами сравнительные анализы стойкости роликов валковой арматуры стана 300 СПЦ-2, изготовленных из различных материалов, приведены в табл.2.6.

Таблица 2.6

Сравнительный анализ стойкости роликов привалковой арматуры стана 300 СПЦ-2, изготовленных из различных материалов

№ п\п	Наименование изделия	Диаметр, мм	Форма ролика	Материал	Ресурс работы/ количество проката, (т)	Время проведения испытаний, годы
1	Ролик 23 клетки	80	ромб	Сталь 65Г	320	2008 г.
2	- // -	80	овал	Сталь 20ХН	230	2010 г.
3	- // -	80	овал	Тв. спл. (нап.СПЦ-2)	3250	2009 г.
4	- // -	80	ромб	Тв. спл. (нап.СПЦ-2)	3790	2009 г.
5	- // -	80	овал	Чугун	500	2010 г.
6	- // -	80	овал	ВК 6	24000	2011 г.
7	- // -	80	ромб	Сталь 65Г	200	2008 г.
8	- // -	80	ромб	Тв. спл. (нап.СПЦ-2)	3950	2009 г.
9	- // -	80	овал	Тв. спл. (нап.СПЦ-2)	4800	2009 г.
10	- // -	80	овал	Тв. спл. (нап.СПЦ-2)	6270	2014 г.
11	- // -	80	ромб	Сталь 65Г	150	2008 г.
12	- // -	80	ромб	Тв. спл. (нап.СПЦ-2)	1030	2009 г.
13	- // -	80	овал	Тв. спл. (нап.СПЦ-2)	1300	2009 г.
14	- // -	65	овал	ВК15 сборный	20000	2012 г.
15	Ролик 25 клетки	65	овал	Сталь ШХ15	180	2016 г.
16	- // -	65	овал	сплав системы Мо-TiC-Ni-W-Fe	8277, исп. прод.	2016 г.

Визуальный осмотр показал, что на ролике №1 отсутствует выработка и он пригоден к дальнейшей эксплуатации. На основании этого было принято решение установить на привалковую арматуру ролик №1 в комплекте с

роликом №2 для определения полного ресурса работы экспериментальных роликов из сплава молибден-карбид титана (результаты на 22.09.2016 г.).

В целях определения конечной стойкости роликов из сплава молибден-карбид титана (сплав системы Mo-TiC-Ni-W-Fe), нами было принято решение проводить дальнейшие экспериментальные испытания ролика под номером №1 в паре с роликом из твердого сплава ВК-15. Оба ролика были собраны в вводную роликую коробку №15.

08.11.2016 г. в 05⁰⁰ при прокатке арматуры №12 на 31 клеть правой чистовой группы была установлена вводная роликую коробка №15 с экспериментальными роликами сплава системы Mo-TiC-Ni-W-Fe и ВК-15. 10.11.2016 г. в 00³⁵ прокатка арматуры №12 закончилась. Коробка №15 была снята с производства, визуальный осмотр показал, что ролики пригодны к дальнейшей эксплуатации.

За это время было прокатано 2190 т раската через коробку №15.

16.11.2016 г. в 07²⁰ при прокатке арматуры №12 на 31 клеть правой чистовой группы была установлена вводная роликую коробка №15 с экспериментальными роликами сплав системы Mo-TiC-Ni-W-Fe и ВК-15.



Рис.2.9. Съёмки роликов после проката заготовок изделий весом 5547 т

17.11.2016 г. в 12¹⁵ с арматуры №12 перешли на круг Ø12 мм, и коробка №15 была снята для ревизии. Визуальный осмотр показал, что ролики пригодны к дальнейшей эксплуатации. Съёмки роликов после прокатки 5547 т приведены на рис.2.12.

За все это время было прокатано 1150 т раската через коробку №15.

Итого, общая стойкость пары экспериментальных роликов молибден-карбид титана (под номером №1) и из твердого сплава ВК-15 составила – 5547 т.

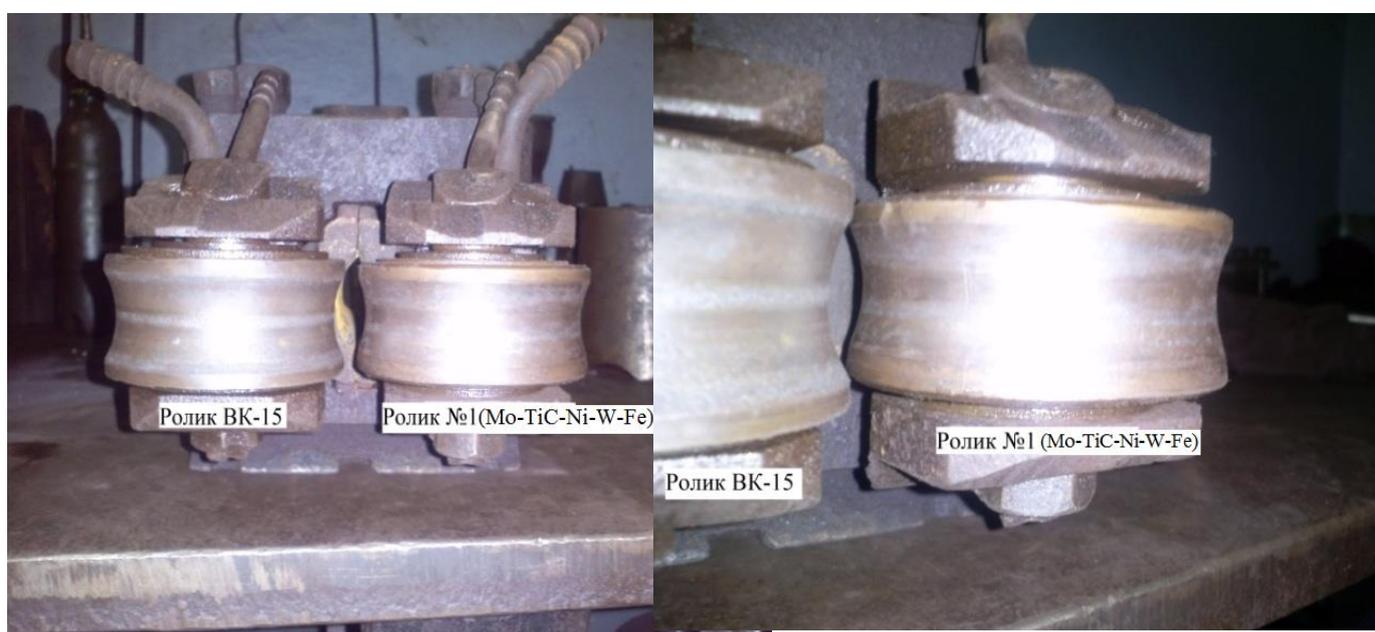


Рис.2.13. Съёмки роликов после проката заготовок изделий весом 8277 т

С начала эксперимента стойкость ролика под номером №1 из нового сплава системы Мо-TiC-Ni-W-Fe составила – 8277 т (результаты на 01.12.2016 г.) и испытание продолжается. Съёмки роликов после прокатки 8277 т приведены на рис.2.13.

Выводы

1. Приведены методы изучения состава, структуры и свойств твердых сплавов, которые производились по новой методике определения объемного количества фаз в образцах;
2. Оптимизация состава сплавов определялась методом крутого восхождения;
3. Микроструктура изучалась с помощью металлографического микроскопа МИМ–8 и на растровом электронном микроскопе РЭМ–200;
4. Измерения технологических и эксплуатационных характеристик порошков и заготовок производились с использованием существующего стандартного измерительного парка приборов;
5. Рассмотрены методы испытания на плотность, твердость и прочность на изгиб металлических композитов;
6. Установлены параметры чистовых шлифовальных операций, рекомендуемых для нового спеченного молибденового сплава.
7. Проведены промежуточные анализы стойкости экспериментальных роликов валковой арматуры из нового спеченного молибденового сплава системы Mo-TiC-Ni-W-Fe.
8. Общая стойкость пары экспериментальных роликов молибден-карбид титана (сплава системы Mo-TiC-Ni-W-Fe) составила – 8277 т (результаты на 01.12.2016 г.) и испытание продолжается.

ГЛАВА 3. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИНСТРУМЕНТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОРОШКОВ МОЛИБДЕНА

3.1 Исследования структуры и свойства спеченной порошковой молибденовой композиции

Микроструктура спеченного молибденового сплава системы Mo-TiC-Ni-W-Fe изучалась с помощью металлографического микроскопа МИМ-8 и на растровом электронном микроскопе РЭМ-200. Приготовление микрошлифов производилось в соответствии с известными методами [85].

Для определения состава примесей применены методы нейтронно-активационного анализа, масс-спектрометрии, спектрального анализа.

Измерения технологических и эксплуатационных характеристик порошков и заготовок (штабиков) производились с использованием существующих стандартных методов и измерительного парка приборов.

В процессе получения порошков в новом реакторе в осадительной камере под реактором практически не обнаружено порошка, это свидетельствует о том, что поступивший оксид металла оказался восстановленным полностью и дисперсные порошки металла попали на фильтры.

Исследование дисперсности полученных порошков показало, что средний размер зерна по Фишеру равен 70 – 90 нм при содержании кислорода и паров влаги 0,5%.

Анализируя результаты научных и технологических исследований усовершенствованного плазмохимического реактора, можно констатировать: повышается степень проработки сырья и управляемость процессом, а также дисперсность порошка; возрастает однородность гранулометрического состава; увеличивается коэффициент полученного действия процесса восстановления.

Технология восстановления молибденового ангидрида принципиально не отличается от технологии восстановления оксидов вольфрама. Поэтому рассмотрены основные принципы восстановления оксидов молибдена. С этой

целью на первом этапе проведен анализ морфологии, структуры, химического и фазового составов молибденсодержащих промпродуктов АО «АГМК» (рис.3.1).

После переработки концентратов образуется большое количество отходов (кеков), которые содержат значительное количество железа (15-20% масс). Разработана технология извлечения порошка железа. Из дисперсных порошков были изготовлены опытные партии формообразующих инструментов, и подано заявка на получения патентана металлокерамический материал.

Грануляция порошков, который соответствовало требованиям изготовления качественных инструментов.производили в смесителе вращающегося своей оси в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Отработка всех режимов отжига, спекания проводилась на производственных условиях и оборудовании цеха №3 АО «УзКТЖМ» (ПУВ–300, ЦЕП–214, СТН–1,6).

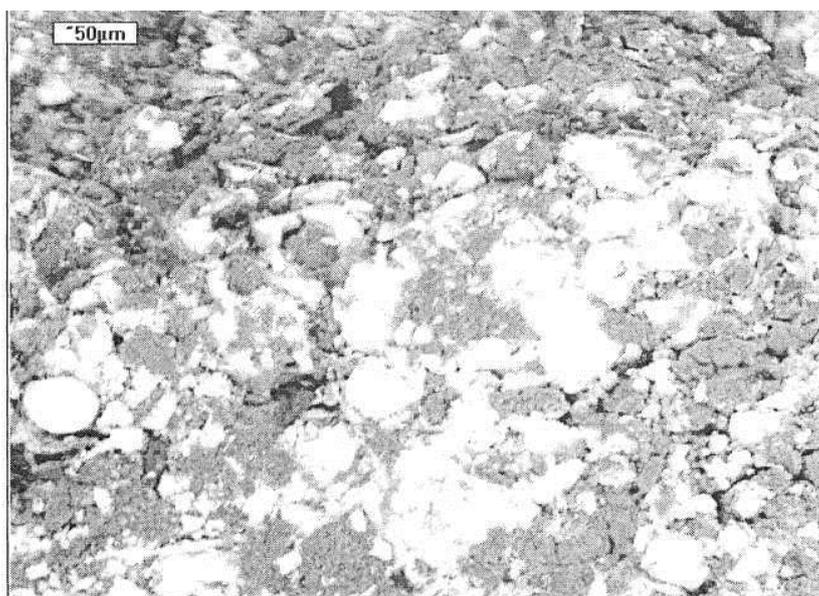


Рис.3.1. Микроструктура промпродукта ППМ-1х300

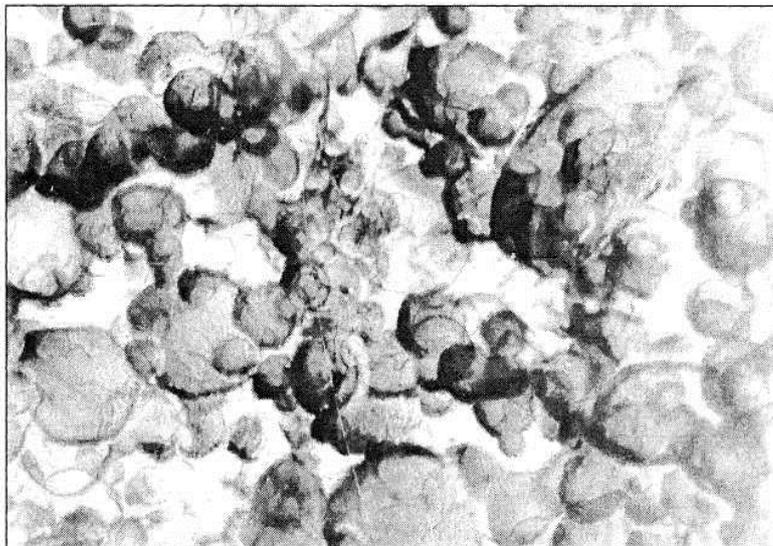
Зависимость технологических характеристик порошков молибдена от природы сырья (Бишкек, Скопино, Степногорск, АО «АГМК») и типа печей восстановления (ОКБ-111А; СТН-1,6; СКБ-5062) соответствовало требованиям изготовления твердых сплавов.

При восстановлении оксидов в печи ОКБ-111А образовался большее количество конгломератов, которые объясняется меньшим удельным расходом водорода.

Происходить рост зародышей новой фазы на границе раздела оксидов и газообразного реагента при восстановлении триоксида молибдена. Изменяется структура и дисперсность реагирующих твердых компонентов. Варьированием условий проведения процесса, таких как температура, состав газовой фазы, концентрация и параметры термообработки компонентов твердой фазы можно достичь заданную степень диспергирования оксидов и обеспечить получение дисперсных порошков молибдена с требуемыми размерами частиц. Рассмотрено технологическое оформление и особенности плазменных восстановительных процессов.

Наиболее распространённым вариантом аппаратного оформления струйно-плазменных процессов является схема проточного реактора, соосно пристыкованного к выходному соплу генератора. В зависимости от расхода оксидов можно получать порошки молибдена со средним размером 20-30 нм. При этом нанопорошки под действием различного рода сил (электрических, дисперсионных, магнитных и др.) могут образовывать конгломераты, которых практически невозможно разделить на исходные частицы даже с использованием современных диспергаторов. Присутствие в порошке конгломератов приводит к образованию структурной неоднородности в спрессованном и спечённом материале. Поэтому требуются предпринимать специальные предохранительные меры.

На рис. 3.2 представлена электронно-микроскопические снимки дисперсных порошков молибдена, сферическая форма которых косвенно свидетельствует о преобладающем вкладе коалесценции в механизме их формирования.



**Рис. 3.2. Электронно-микроскопические снимки дисперсных порошков
Моx100 000**

Для промышленного использования дисперсных порошков Мо содержание кислорода в них не должно превышать 0,2% масс. Поэтому представляет практический интерес исследование процесса отжига порошков в водороде («довосстановление»).

Анализ полученных результатов показывает, что при повышенной температуре наблюдается некоторое уменьшение удельной поверхности дисперсного порошка, хотя конечное его значение более чем на порядок выше, чем у традиционных порошков.

Исследование микроструктуры (рис.3.3) показало, что величина зерен молибдена в спечённых псевдосплавах составляет 0,7-1 мкм, а их структура характеризуется высокой однородностью.

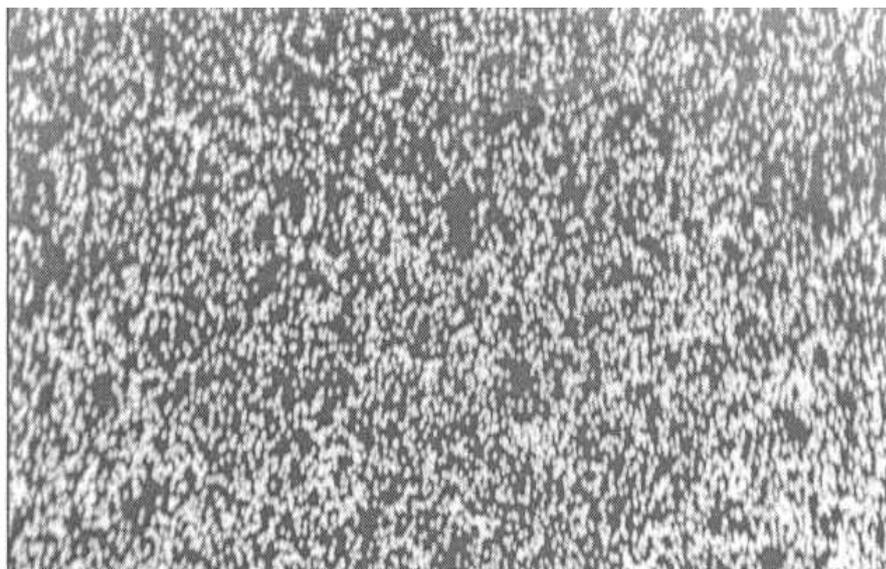


Рис.3.3. Микроструктура псевдосплава Мо-Си на основе нанопорошков молибдена. Светлые участки - зерна Си, тёмные - Мо. X1000.

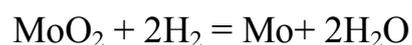
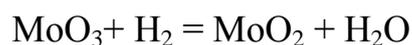
При процессе восстановления триоксида молибдена порошки улавливаются на графитовых или металлотканых фильтрах, установленных в самом реакторе. Это даёт возможность снижения содержания кислорода в молибденовом порошке по установленной норме для изготовления качественного инструмента. Этот способ пассивации позволяет обеспечить непирофорность порошка, однако при повышенных температурах ($800\text{--}1600^{\circ}\text{C}$) может происходить его раскисление парами воды. Первоначально опробован процесс с периодическим прекращением подачи сырья на 5–10 мин, при получении порошка, в течение которых продукт на фильтре термопассивируется в потоке сухого водорода. Определено, что после выгрузки порошка содержание кислорода в нем в течение 10–20 суток достигает уровня 2–2,65 %, после чего не меняется.

3.2 Разработка технологии изготовления применительно к формообразующим инструментам с использованием порошков молибдена

В современном мире восстановление оксидов тугоплавких металлов и в том числе молибдена осуществляется в многозонных трубчатых печах с противоточным пропусканием водорода или плазмохимическим методом. У нас в стране в производстве «НПО» по производству редких металлов и твердых сплавов при АО «Алмалыкский ГМК» имеются плазмохимическая установка «ПУВ-300» и многозонные трубчатые печи с противоточным пропусканием водорода. Технология восстановления оксидов тугоплавких металлов практически не отличаются друг от друга, и в том числе восстановления молибденового ангидрида принципиально не отличается от технологии восстановления оксидов вольфрама.

Как обычно сырьем для получения дисперсных порошков металлов являются оксиды тугоплавких металлов. А для получения порошка молибдена является триоксид молибдена (MoO_3) получаемый в результате окислительного обжига обогащенных молибденовых концентратов. На «НПО» по производству редких металлов и твердых сплавов при АО «Алмалыкский ГМК» триоксид молибдена восстанавливается в плазмохимической установке «ПУВ-300» или многозонных трубчатых печах с противоточным пропусканием водорода.

Ниже приведены химические реакции восстановления триоксида молибдена водородом по режиму в плазмохимической установке «ПУВ-300» (табл.3.1):



При восстановлении триоксида молибдена до двуоксида молибдена в производственных условиях металлургического цеха №3 в многозонных трубчатых печах с противоточным пропусканием водорода сопровождается

значительной потерей термодинамического потенциала, и реакция проходит при низких температурах и высокой влажности водорода.

Оксиды тугоплавких металлов (вольфрама, молибдена и других) восстанавливается по режимам в плазмохимической установке «ПУВ-300» (табл.3.1).

Таблица 3.1

Режимы восстановления молибденового и вольфрамового ангидрида в плазмохимической установке «ПУВ-300»

№ пп	Наименование параметра	Норма
1	Ток дуги, кА	от 0,45 до 0,55
2	Напряжение дуги, В	от 380 до 410
3	Расход водорода через плазматрон, м ³	от 60 до 70
4	Расход водорода для транспортирования вольфрамового ангидрида, м ³ /ч	от 2 до 4
5	Расход воды на плазматрон, м ³ /ч	от 2,15 до 3,6
6	Давление воды в коллекторе высокого давления, Па, кгс/см ²	8,73x10 ⁵ 11,77x10 ⁵ 9-12
7	Разность температур умягченной воды на входе и выходе из плазматрона, °С, не более	20
8	Давление газа в установке, Па, не более кгс/см ²	0,98x10 ⁴ 0,1
9	Давление умягченной воды на входе в водораспределительную гребенку, Па кгс/см ²	78,48x10 ⁴ 8
10	Давление промышленной воды в водопроводе низкого давления, Па кгс/см ²	16,62x10 ⁴ 39,24x10 ⁴ 2-4
11	Давление водорода в газопроводе на входе в газораспределительную гребенку, Па, не менее кгс/см ²	3,9x10 ⁴ 0,4
12	Давление умягченной воды на выходе из плазматрона, Па, не менее кгс/см ²	(-1,76)x10 ⁴ (-1,18)

Привосстановление трехоксида молибдена реакция протекает, уже при температуре 600⁰С и давлении 1,01x10⁵ Па. При этом размеры зерен молибдена получается мельче вольфрама изза низкой температуры в первой стадии восстановления. У вольфрама температура восстановления выше молибдена.

Поэтому размеры зерен вольфрама крупнее чем у молибдена. Порошки вольфрама и молибдена, отвечающие техническим условиям, хранят, во избежание окисления кислородом, в герметичной таре, загруженной доверху, желательно в атмосфере инертного газа.

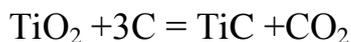
Производство аналогичных спеченных твердых сплавов из дисперсных порошков тугоплавких металлов, в частности молибдена, карбида титана, сажи, методом их переработки включает следующие технологические операции:

1. Приготовление карбида титана;
2. Приготовление молибденовых смесей;
3. Приготовление раствора синтетического каучука в бензине;
4. Замешивание смесей;
5. Прессование ролика прокатного стана;
6. Сушка ролика прокатного стана;
7. Предварительное спекание ролика прокатного стана;
8. Механическая обработка ролика прокатного стана;
9. Спекание ролика прокатного стана;
10. Абразивная обработка и шлифование ролика прокатного стана.

1. Приготовление карбида титана.

Основу металлокерамических твердых сплавов составляют карбиды тугоплавких металлов и в числе, карбид титана является фазой переменного состава с широкой областью гомогенности по углероду. Содержания углерода (С) в карбиде титана (TiC) находится в пределах до 20%. Карбид титана является продуктом используемый в технике и содержит примерно 18 –19,5 % связанного углерода. Получение 20% карбида титана связано со значительными трудностями карбид с недостатком углерода может рассматриваться как твердый раствор TiC – TiO или как карбид титана, в решетке которого часть атомов углерода замещена атомами кислорода.

Получения карбида титана TiC из TiO₂ и углерода в производственных условиях металлургического цеха №3 осуществляется в потоке водорода, CO, вакууме. Протекающая химическая реакция получения карбида титана выглядит так:



Операции процесса производства карбида титана состоит из:

приготовление шихты для карбидизации;

карбидизация; размол карбида;

просев карбида.

Аналогично для получения карбида титана приготавливают шихту, состоящую из металлического порошка титана и сажи. Сажу и титан взвешивают на весах и загружают в мельницу сухого размола. Приготовление шихты для карбидизации титана проводят в шаровой мельнице ударного действия согласно режиму, указанному в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Аналогичные режимы приготoвление шихты для карбидизации титана

№ пп	Оборудование	Загрузка, кг		Размалывающие тела (стальные шары)		Скорость вращения мельницы, об/мин	Продолжительность смешивания, ч
		Ti	C	D, мм в пределах	Масса, кг в пределах		
1	Шаровая мельница V - 380 л	100	20	15÷35	250 ÷ 300	33 ÷ 40	2

После окончание смешивания шихту выгружают в специальный контейнер и передают на карбидизацию. В каждый контейнер вкладывают этикетку с указанием номера партии, количества, даты, фамилии рабочего. Шихта должна быть однородной по цвету и не должен иметь механических включений.

Осуществляется контроль процесса, качества и правильность взвешивания компонентов. Контроль на весах при составлении шихты производит контролер ОТК или производственный мастер -выборочно.

Производственный мастер выборочно контролирует время смешивания, время загрузки и выгрузки шихты. Мастер выборочно-по секундомеру контролирует скорость вращения мельницы. Вес и набор шаров мельницы контролирует мастер 1 раз в квартал путем перебора шаров и взвешивания их на весах. Карбидизацию титана проводят в потоке водорода в электрических печах сопротивления с графитовой трубой.

Шихту загружают в лодочки свободной засыпкой, затем утрамбовывают вручную.

Лодочки последовательно загружают в печь навстречу потоку водорода.

Продвижка лодочек производится - механическим.

Выбран следующий режим карбидизации: продвижка лодочек - 25 мин; температура-1450..1530⁰С; расход водорода - (0,5÷1,5) м³/ч.

Мастер тщательно осматривает поверхность выгруженного карбида титана. При наличии на поверхности налета, его счищают щеткой. Годный карбид выгружают в специальный контейнер и направляют на размол. В каждый контейнер вкладывают этикетку с наименованием номера партии, даты, фамилии рабочего.

При этом карбид титана должен быть однородного цвета.

При помощи потенциометра КСП – 3 постоянно контролируют температуру карбидизации. Контрольный замер проводят при помощи пирометра «Проминь»:

рабочий - 1 раз в час; мастер - 1 раз в смену; контролер ОТК - выборочно.

Температуру карбидизации измеряют через смотровое стекло по наиболее яркому участку, расположенному в зоне максимального нагрева.

Скорость продвижения лодочек контролируют по времени загрузки и выгрузки лодочек из печи по электронным часам; мастер, контролер ОТК - выборочно.

За количеством подаваемого в печь водорода присматривает и контролирует рабочий постоянно, мастер, контролер ОТК - выборочно по показаниям ротаметра.

Сущностью процессаразмола и просева карбида титана является измельчение конгломератов карбида титана до порошкообразного состояния.

Карбид титана размалывают в шаровой мельнице по аналогичному режиму для металлургических цехов, представленному в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Аналогичные режимы размалывания карбида титана

№ пп	Оборудование	Размалывающие тела (стальные шары)		Скорость вращения мельницы, об/мин	Продолжительность размола, ч	Масса загрузки карбида титана, кг
		D, мм	Масса, кг			
1	Шаровая мельница V - 380 л	15÷35	250 ÷ 300	33 ÷ 40	2+0,1	200

После размола карбида титана из шаровой мельницы выгружают его в специальный контейнер и перевозят к ситам для просева. Карбид просеивают через сетку проволочную, тканную с квадратными ячейками из цветных металлов (латунную) №028-045. Просеянный карбид титана собирают в контейнер. В каждый контейнер вкладывают этикетку с указанием номера партии, даты, фамилии рабочего.

Полученные отходы и отсеvy карбида титана размалывают отдельно. Их можно использовать при производстве твердосплавных шаров для мельниц мокрый размол.

Усреднение сырья карбида титана ведут в мельнице ёмкостью 380 литров по режиму, указанному в табл. 3.4

Режимы усреднения сырья карбида титана

№ пп	Оборудование	Масса загрузки карбида титана, кг	Время усреднения, ч	Скорость вращения мельницы, об/мин
1	Шаровая мельница V - 380 л	200	0,5	30-40

После этого усредненную партию карбида титана выгружают в специальный контейнер, в который вкладывают этикетку с указанием номера партии, массы партии, даты, фамилии рабочего.

Каждая усредненная партия карбида титана анализируется на химический состав, дисперсность, качество просева.

Порошок карбида титана должен соответствовать предъявляемым требованиям в которых объемная содержание углерода ($C_{об}$) должно быть в пределах 18 - 19,5 % и с погрешностью $C_{св}$ не более - 0,1 %. Насыпная плотность карбида титана составляет 3,2-4,6 г/см³. При контрольном просеве карбида титана на сетке не должно оставаться отсевов.

Контроль процесса и качества просева каждой партии карбида титана контролирует контролер ОТК- выборочно просевом пробы через сетку проволочную, тканную с квадратными ячейками из цветных металлов (латунную) №028-045.

Время усреднения контролирует мастер, контролер ОТК- выборочно по часам электрическим.

Число оборотов мельницы контролирует по секундомеру мастер, контролер ОТК- выборочно.

Химический анализ карбида титана, дисперсность карбидов методом адсорбции метанола проводит центральная лаборатория комбината (ЦЛК).

Виды брака и методы их устранения. При повышенное или заниженное содержание углерода в карбиде титана необходимо пересчитать шихтовку на содержание общего углерода, принимая за основу результат химического

анализа. Произвести дошихтовку того или другого компонента. Смешивание производится в шаровой мельнице. Перекарбидизацию проводят при температуре 1300-1350⁰С.

2. Приготовление молибденовых смесей.Получение однородной смеси в пределах микрообъемов, состоящих из карбида и связующего металла.

Технология производства молибденовых смесей состоит из следующих операций: мокрый размол; сушка смесей; просев смесей.

В процессе мокрого размола происходит разрушение конгломератов и дробление зерен карбида, измельчение частиц никеля и смешивание частиц карбида и никеля между собой в жидкой среде в шаровой мельнице. Шихту на марку смеси системы Mo-TiC-Ni-W-Fe составляют из карбида титана, из металлических порошков молибдена, никеля, вольфрама и железа.

Взвешенное количество компонентов системы Mo-TiC-Ni-W-Fe загружают в мельницу вручную. В репульпатор заливают спирт, в количестве 50-60 литров и включают мешалку, затем загружают 124 кг карбида титана, 40 кг порошка никеля, по 8 кг порошков вольфрама и железа и 20 кг порошка молибдена. После 10-15 минут перемешивания пульпа придавливается в мельницу сжатым воздухом давлением (2,53-3,04) МПа. Размол ведется в течение 48 часов с загрузкой шаров диаметром 8-10 мм общей массой 700 кг.

При этом следует соблюдать следующие примечание: допустимый износ шаровой загрузки 10 кг; допускается истирание шаров в процессе размола до диаметра 5 мм, количество шаров диаметром менее 5 мм не должно превышать 1,5 % от массы шаров; в продолжительность размола входят время загрузки и выгрузки мельницы, а время перезагрузки не должно превышать 2 часов; наличие шаров в мельнице диаметром менее 3 мм допускается не более 1%; новые размольные шары перед использованием подвергают обкатке с целью очистки поверхности. Обкатку проводят в мельнице в течение 24 часов; вес шаров для обкатки (600-800)кг.

Часто после обкатки шары мельницы контролируют и на них не должно быть расслоя и трещин. При необходимости проводится дозагрузка шаров в мельницу. После окончания размола пульпу направляют на сушку в вертикальный дистиллятор.

При этом пульпа должна быть однородной.

Контроль процесса и качества продукции и взвешивание компонентов системы Mo-TiC-Ni-W-Fe проводит рабочий на весах типа РПШ-13М. За контроль дозировки компонентов при составлении смеси отвечает мастер. Вес и набор шаров мельницы проверяют 1 раз в квартал с последующим взвешиванием и заменой изношенных. Число об/мин барабана мельницы проверяют по секундомеру 1 раз в месяц - мастер, контролер ОТК.

Количество размольной жидкости проверяет мастер при заливке по меткам на барабанах мельницы.

Время загрузки и выгрузки (время размола) регистрируется в цеховом журнале.

Проверку состояния весов проводит представитель центральной лаборатории комбината (ЦЛК) или представитель Госстандарта.

Процесс сушки смесей включает в себя удаление жидкой среды из пульпы мокрого размола. Готовую пульпу из мельницы мокрого размола выдавливают сжатым воздухом и сливают, процеживая через двойную сетку проволочную, тканную с квадратными ячейками из латуни №004 в дистиллятор.

Сушка смеси осуществляется путем подогрева паром, подаваемым в рубашку дистиллятора. Испаряющиеся при этом пары спирта конденсируются в холодильнике. Конденсат собирают в бак для хранения и повторного использования в производстве.

Охлаждение смеси проводят промышленной водой, поступающей в рубашку дистиллятора после отключения пара. В течение всего процесса мешалка дистиллятора должна быть включена. Во время длительного процесса

сушки мешалка дистиллятора должна быть включена, на время охлаждения разрешается мешалку остановить.

Смесь должна быть однородного серого цвета, и состоять из мягких легко рассыпающихся комочков. При выгрузке из дистиллятора, температура смеси не должна превышать 70⁰С.

Сушку готовой смеси проводят по режиму, указанному в табл. 3.5.

Таблица 3.5

Режимы сушки смеси

№ пп	Наименование операции	Давление пара, кГ/см ²	Время, ч
1	Включение на нагрев и выдержка	0,3-0,5	1,5-2
2	Выдержка под давлением	0,5-1	12-16
3	Выдержка под давлением	3-3,5	4-6
4	Перевод дистиллятора на охлаждение и выдержка под охлаждением		22-24

Продолжительность сушки каждой партии смеси контролирует мастер, контролер ОТК- выборочно по электрическим часам.

Давление пара контролирует мастер не реже 2 раз в смену, контролер ОТК- выборочно по показаниям манометра.

За кондиционностью и состоянием поверхности применяемой сетки следить мастер и при необходимости устанавливает новой. Температуру каждой выгружаемой смеси проверяют при помощи термометра мастер, контролер ОТК- выборочно.

Просев смеси производится с целью отделения механических и других посторонних примесей от смеси, а также с целью ее разрыхления и усреднения.

Готовую смесь просеивают на вибрационном сите через латунную сетку проволочную, тканную с квадратными ячейками из латуни № 01-0063 по ГОСТ 6613 или шелковую сетку № 61-76 по ГОСТ 4403 в бачке или контейнере с плотно закрывающимися крышками. В каждый бачок вкладывают этикетку с указанием марки смеси, номера партии, веса, фамилии рабочего.

После просева смеси через шелковую сетку № 61-67 на сетке не должно оставаться отходов и отсеков. Химический состав смесисистемы Mo-TiC-Ni-W-Fe: углерод общий, не менее – 18%; углерод свободный, не более – 0,2%; никель в пределах, - 20 – 22%; кислород, не более, - 0,5%; вольфрам, не более, - 0,4% железо, не более, - 0,4%.

Спеченные при технологическом опробовании образцы должны соответствовать требованиям: твердость не менее – 83HRC; предел прочности при изгибе, не менее – 115 н/мм² (115 кгс/см²); плотность – 7,5 -8,0 г/см³.

Правильность применяемой сетки и состояние сетки проверяет мастер при натяжении новой сетки.

Контроль качества просева каждой партии, смеси системы Mo-TiC-Ni-W-Fe проводят путем просева средней пробы через латунную сетку проволоочную тканную с квадратными ячейками из латуни № 01-0063 или шелковую сетку № 61-76. На сетке не должно оставаться отсеков.

При высокой содержание кислорода (температура смеси при выгрузке из дистиллятора более 70⁰С); необходимо прокалить смесь в среде водорода при температуре 550-600⁰С.

3. Приготовление раствора синтетического каучука в бензине. Растворение синтетического каучука в бензине, до получения однородного раствора определенной концентрации.

При этом синтетический каучук промывают водопроводной водой для отмывки талька. Затем нарезают на кусочки, взвешивают и загружают в реактор. Насосом заливают бензин и включают мешалку.

В производственных условиях металлургического цеха №3 растворение синтетического каучука ведут по режиму: реактор емкостью – 120 л; масса загрузки каучука – 8 кг; количество бензина – 100 л; время растворения – 24 ч; время отстаивания – 24 ч.

Осветленная часть раствора фильтруется через ватный тампон с прослойкой марли. Зольность раствора каучука в бензине должна быть не более 0,07 %.

Для смесей системы Mo-TiC-Ni-W-Fe концентрация раствора синтетического каучука в бензине должна быть от 8,5 до 10,5 %. В растворе не должно быть кусочков не растворившегося каучука и посторонних включений.

4. Процесс замешивания смесей. Введение раствора синтетического каучука в бензине в смесь с целью улучшения текучести смеси, уменьшения трения между частицами, увеличения прочности спрессованных заготовок за счет клеящей способности пластификатора.

Ниже приведены описание технологического процесса первичной подготовки смесей системы Mo-TiC-Ni-W-Fe:

раствор синтетического каучука в бензине (4,5-5) литра подают в шнековый смеситель через сливную воронку (капельницу), установленную напротив отверстия смесителя, в который загружено 40-45 кг смеси марки ВК6;

подача раствора должна проводиться частыми каплями или тонкими струйками. Смесь при замешивании не должна комковаться;

распределение раствора каучука в смеси должно быть равномерным; замешивание ведется в течение 20-30 минут;

смесь из смесителя выгружают на противни равномерным слоем;

Толщина слоя должна быть в пределах 10-20 мм;

после замешивания смесь сушат в паровом шкафу при периодическом перемешивании в течение 30-45 минут;

давление пара 2,0-3,5 кгс/см², что обеспечивает нормальную сушку смеси;

высушенную смесь просеивают на вибрационном сите или механической протирке через сетку проволочную, тканную с квадратными ячейками из латуни № 028-045. Просеянную смесь собирают в контейнер с плотно закрывающейся крышкой;

в каждый контейнер вкладывают этикетку с указанием номера партии, марки смеси, фамилии рабочего и даты;

в таком виде смесь системы Mo-TiC-Ni-W-Fe поступает на повторное замешивание с целью придания пластичности, уменьшения сил трения между частицами, избежание расслоя, микротрещин при прессовке ролика прокатного стана.

Ниже описаны технологические процессы повторного замешивания смесей системы Mo-TiC-Ni-W-Fe:

в шнековый смеситель загружают 15 кг высушенной, просеянной смеси и 25 кг сырой смеси (замешанной) через сливную воронку добавляют раствор синтетического каучука в бензине 4,5-5 литров. Замешивание ведется в течение 20-30 минут;

после замешивания смесь сушат в паровом шкафу при периодическом перемешивании в течение 20-45 минут.

Процесс сушки и просева идентичен для смеси, прошедшей первичную подготовку. Просеянную смесь собирают в тележки-контейнеры с плотно закрывающимися крышками. В каждый контейнер вкладывают этикетку с указанием марки смеси, номера партии, фамилии рабочего, даты. В таком виде смесь поступает на прессование на гидравлических прессах. Замешенная смесь должна быть однородная по цвету и не иметь комков. Смесь не должна пылить и прилипать к отполированной поверхности лопатки из нержавеющей стали.

Виды брака и методы их устранения. Пересушенная смесь пылит: перезамешивается в шнековом смесителе с увлажнением бензином. Режим перезамешивания определяется технологом цеха.

Сырая смесь: смесь дополнительно подсушивается в паровом шкафу при тщательном перемешивании.

5. Процесс прессования ролика прокатного стана. Изготовление изделий определенной формы в пресс-форме под воздействием внешней нагрузки.

Прессование осуществляется на гидравлическом прессе усилием 3200 МПа. Расчетную навеску смеси системы Mo-TiC-Ni-W-Fe (по режимной карте) взвешивают на технических весах для каждого изделия, помещают в зажатую пресс-форму. Уплотнение навески в пресс-форме ведется с применением электрического вибратора, разравнивание с нержавеющей пластиной.

Прессование осуществляется за счет приложения давления 110-115 атм. в вертикальном направлении на верхний пуансон пресс-формы. Спрессованные изделия аккуратно укладывают на графитовые противни (формы) по 2 штуки.

Технические требования.

Спрессованные изделия должны иметь прочность, обеспечивающую возможность проведения последующих технологических операций.

Спрессованные изделия должны иметь форму и размер, соответствующие требованиям чертежа с учетом коэффициента усадки.

Изделия не должны иметь расслоя, непрессовки, загрязнений, трещин, выкраиваний, налипания, заусенцев, размеров с отклонениями от чертежа.

Виды брака и методы их устранения.

1. Трещины возникают в результате высоких давлений, неодинаковой плотности прессования отдельных частей изделия, перекоса, неравномерного размещения смеси в гнезде пресс-формы:

- уменьшить давление прессования, добиться равномерного разравнивания смеси в гнезде пресс-формы.

2. Расслой появляется в местах с очень высокой плотностью, вследствие большой скорости нарастания давления, неравномерного распределения порошка в гнезде пресс-формы. А также плохой текучести порошка, сырая или пересушенная смесь:

- добиться равномерного распределения порошка в гнезде пресс-формы, улучшить текучесть смеси, уменьшить число ходов верхнего пуансона в минуту.

3. Загрязнения:

Строго соблюдать технологический процесс и не допускать на оборудовании и таре наличия грязи, масла.

Нельзя использовать тару не по назначению.

Неправильные размеры изделия- тщательно контролировать навеску.

Бой, выкашивания возникают из-за недостаточной прочности спрессованного изделия, а также из-за неосторожного обращения с сырыми изделиями.

Повысить прочность изделий за счет увеличения в допустимых пределах навески, обращаться осторожно, исключить тряску изделий во время транспортировки.

6. Процесс сушки ролика прокатного стана. Сущность этого процесса - упрочнение изделий и частичное удаление пластифицирующего вещества под воздействием температуры.

Сушку спрессованных изделий «ролика привалковой арматуры №25» проводят в паровом шкафу в течение 48 часов при давлении пара 3-3,5 кгс/см². Высушенные изделия проходят разбраковку и передаются на первое спекание. Высушенные изделия должны иметь прочность, обеспечивающую последующие технологические операции.

Виды брака и методы их устранения.

Изделия недосушенные: повторить процесс сушки.

7. Предварительное спекание ролика прокатного стана. В процессе спекания происходит частичное растворение карбида титана в расплавленном никеле с перекристаллизацией зерен карбида титана: формирование компактного спеченного твердого сплава, сопровождающееся усадкой (уменьшением линейных размеров) и упрочнением спрессованных заготовок.

При спекании протекает ряд побочных процессов: выгорание каучука, удаление кислорода и другие.

На дно лодочки засыпается подсыпка корракса толщиной 3-5 мм, поверхность которой разравнивается. Уложенные в лодочку изделия покрывают графитовой пластинкой.

Изделия «ролика привалковой арматуры №25» не должны касаться стенок лодочек и между собой. Спекание ведется в электрических печах в одну стадию. Подвижка лодочек механическая.

Режим спекания: I зона 290-300⁰С; II зона 690-700⁰С; III зона 1080-1100⁰С;

Подвижка 1 лодочка/ч; Расход водорода 3-3,5 м³/ч.

Спеченные изделия направляют на технический контроль и токарную обработку. Каждую лодочку с изделиями сопровождают сертификатом с указанием номера партии, номера изделия, даты спекания, фамилии спекальщика. Спеченные изделия должны иметь прочность, обеспечивающую последующие технологические операции.

Контроль процесса и качества продукции.

1. Контроль качества спеченных изделий проводит ОТК.
2. Качество подсыпки (корракса) проверяют путем просева через сетку с отверстиями диаметром 3 мм и сетку № 045. Мастер один раз за 8-10 суток.
3. Контроль над укладкой изделий в лодочки осуществляют путем визуального осмотра мастер 1-2 раза в смену. Контролер ОТК - выборочно.
4. Постоянный контроль над температурой спекания в I и II зонах осуществляют электронным автоматическим потенциометром КСП-3 и термоэлектрическим преобразователем (термопарой): мастер, рабочий 1-2 раза в смену. Контролер ОТК - выборочно. В III зоне контрольный замер температуры проводит спекальщик при помощи оптического пирометра «Проминь», ОТК 1 раз в сутки. Температуру измеряют через смотровое стекло по наиболее яркому участку, расположенному в зоне максимального нагрева. Нить переменного накала пирометра должна исчезнуть, слиться с яркостью

зоны максимального нагрева. При этом учитывают погрешность на смотровое стекло по пирометру.

5. Скорость подвижки лодочек контролируют по времени загрузки и выгрузки лодочек из печи. Мастер 1 раз в смену, контролер ОТК выборочно.

6. Расход водорода контролируют по ротаметру РС-5, мастер 1-2 раза в смену, контролер ОТК – выборочно.

Виды брака и методы их устранения.

Недопекание – строго соблюдать режим спекания по температуре и скорости подвижки лодочек.

Пережог – брак является окончательным.

Коробление – связано с неравномерной плотностью спрессованного изделия и является результатом различной усадки, либо прогибом изделия под действием своей массы.

8. Механическая обработка ролика прокатного стана.

Механическая обработка ролика прокатного стана производится цехом № 10 или в производственных условиях других предприятий.

9. Окончательное спекание ролика прокатного стана. При окончательном спекании происходит полное уплотнение заготовок «ролика привалковой арматуры №25» за счет перекристаллизации через жидкую фазу и формирование структуры сплава, обладающего заданными физико-механическими свойствами.

Заготовки, прошедшие токарную обработку, укладывают горизонтально в графитовые лодочки, предварительно засыпанные корраксом примерно на 1/3 высоты, по 2 заготовки в лодочку. Расстояние между изделиями должно быть не менее 10 мм.

Спекание заготовок «ролика привалковой арматуры №25» проводят по режиму: I зона 290-300⁰С; II зона 690-700⁰С; III зона 1530⁰С; Скорость подвижки 1 лод/ч; Расход водорода 2,8-3,0 м³/ч.

Температура III зоны печи при спекании определяется технологом цеха, исходя из технических характеристик полученного изделия.

Спеченные изделия отделяют от корракса и направляют на операцию шлифовки.

Примечание: при окончательном спекании изделия можно укладывать на двойной слой бумаги и закрывать изделия также двойным слоем бумаги, которая в процессе спекания сгорает, образуя зольную (углеродную) засыпку.

Технические требования.

1. Химический состав и физико-механические свойства должны соответствовать требованиям ГОСТ 3882.

2. Спеченные изделия по форме и размерам должны соответствовать требованиям чертежа.

Контроль процесса и качества продукции.

1. Контроль спеченных роликов привалковой арматуры №25 проводит ОТК;

2. Качество корракса проверяют путем просева через сетку с отверстиями диаметром 3 мм и сетку №045, мастер 1 раз за 8-10 суток;

3. Контроль за правильной укладкой ролика привалковой арматуры №25 в лодочки осуществляют путем визуального осмотра, мастер 1-2 раза в смену, контролёр ОТК – выборочно;

4. Постоянный контроль над температурой спекания в I и II зонах осуществляют электронными автоматическим потенциометром КСП – 3 и термоэлектрическим преобразователем (термопарой), мастер 1-2 раза в смену, контролёр ОТК – 1 раз в сутки. Температуру измеряют через смотровое стекло по наиболее яркому участку, расположенному в зоне максимального нагрева. Нить переменного накала пирометра должна исчезнуть, слиться с яркостью зоны максимального нагрева. При этом учитывают погрешность смотрового стекла и пирометра;

5. Скорость подвижки лодочек контролируют по времени загрузки и выгрузки лодочек из печи, мастер 1 раз в смену, контролёр- выборочно;

Виды брака и методы их устранения.

- Недопекание – образуется вследствие несоблюдения режима спекания по температуре и скорости подвижки лодочек в печи. Результат недопекания – занижение физико-механических свойств: плотности при изгибе. Ролик привалковой арматуры №25 необходимо перепечь по режиму, указанному технологом цеха;

- Пережог – является результатом сильного завышения температуры против установленного режимом, признаки – пузыри, вздутия, раковины, высокая пористость. Брак является окончательным.

10. Абразивная обработка и шлифование ролика прокатного стана.

На основании проведенных исследований установлены следующие параметры чистовых шлифовальных операций, рекомендуемых для нового спеченного молибденового сплава в условиях СП «SPZ-BEARINGS», где выполнялись обработка, шлифовка и сборка роликов.

1 – ступень:

а) характеристики шлифовального круга 63С16ПСМ16К;

б) режим шлифования: $v=25$ м/мин; $t=0,03$ мм/дв.ход.

2 – ступень:

а) характеристики алмазного круга АСР 125/100 Б2 100%;

б) режимы выглаживания: $v=20$ м/мин; $t=0,0015$ мм/дв.ход.

Завод СП «SPZ-BEARINGS» специализирован по производству подшипников и оснащен необходимым оборудованием и станочным парком. На заводе имеется ОТК, специализированная сертифицированная лаборатория для испытания производимой продукции.

Характеристика готовой продукции - ролика прокатного стана приведены в табл. 3.6.

Характеристика готовой продукции ролика прокатного стана

Марка сплава и состав смеси, %	Физико-механические свойства		
	Предел прочности при изгибе, $\sigma_{\text{изг}}$ кГ/мм ²	Плотность, ρ г/см ³	Твердость, HRC
Сплав системы: Мо-TiC-Ni-W-Fe (состав сплава: Мо-16%, TiC-62%, Ni-20%, W-4%, Fe-4%)	115	7,5-8,0	84

Определение твердости готовых изделий (ролик привалковой арматуры №23) по ГОСТУ 20017.

Размеры готовых изделий (ролик привалковой арматуры №23) по ГОСТ 166.

Осмотр поверхности готовых изделий изделий (ролик привалковой арматуры №23) визуально.

Изготовлены образцы из ВДП молибдена и исследованы их механические характеристики:

1) по металлокерамическому материалу:

- твердость – 90 HRC;
- прочность на изгиб – 800 МПа;
- ударная вязкость – 0,58 кГм/см²;

2) по твердому сплаву ВК6:

- твердость – 89 HRC;
- прочность на изгиб – 1200 МПа;
- ударная вязкость – 0,57 кГм/см².

3) по спеченному молибденовому сплаву системы Мо-TiC-Ni-W-Fe:

коэффициент линейного расширения, град⁻¹ – $6,0 \times 10^{-6}$;

плотность, г/см³ – 7,5 – 8,0;

твёрдость, HRC – 83 – 84;

прочность на изгиб, МПа – 1150.

Разработаны рабочие чертежи на пресс-формы для получения детали «Ролик вводной» коробки клетки № 25».

Результаты научно-исследовательских работ применялись для разработки технологии и изготовления комплекта твердосплавных бандажей прокатных валков, а также при локализации производства деталей «Ролик вводной коробки клетки № 25», «Ролик вводной коробки клетки № 23» и других, эксплуатирующихся на АО «Узметкомбинат».

Развитие и совершенствование технологических процессов [113] неразрывно связаны с применением твердых сплавов, что способствует существенному повышению эксплуатационных характеристик инструмента и производительности труда.

Одним из перспективных направлений совершенствования твердых сплавов является разработка технологии [113], обеспечивающей одновременное улучшение таких свойств, как вязкость и износостойкость, прочность и пластичность, в сравнении со стандартными. Именно сочетание этих свойств обеспечивает долговечность инструмента.

Требуемым сочетанием свойств будет обладать сплав с повышенной полидисперсностью составляющей. Предполагается, что крупные зерна - фазы обеспечат пластичность, а мелкие зерна – повышенную износостойкость сплава. Повышение твердости характеризуется возрастанием пределов текучести и прочности при сжатии, при этом увеличивается доля мелких зерен в структуре сплава.

Предел прочности при изгибе практически не зависит от изменения соотношения крупных и мелких зерен в смеси и сплаве и лишь немного снижается при наибольшем содержании мелких зерен. Предельная пластическая деформация с увеличением доли мелкой фракции, зерен карбида

титана в смеси до 40 % практически не меняется, а с увеличением до 60 % снижается незначительно (10%). Анализ полученных данных показывает, что наиболее выгодным сочетанием пластичности и износостойкости обладают сплавы с соотношением крупной и мелкой фракций 60:40.

Для выбора основы сплава предлагается использовать предположение, что твердость химического соединения изменяется пропорционально числу электронов атомов – акцепторов и пропорционально общему числу электронов атомов – доноров (за вычетом электронов связи). Прочность соединения увеличивается с ростом число электронов металлов. При этом, уровень прочности повышается у соединений, образованных металлами с меньшим числом электронов и большим числом электронов связи. Избыточный электрон осуществляет металлическую связь и повышает пластичность соединения.

Выполнена разработка состава спеченного порошкового молибденового сплава системы Mo-TiC-Ni-W-Fe для производства ролика вводной коробки клетки №25. Одной из основных задач данной работы являлась разработка состава и технологии получения новой спеченной порошковой молибденовой композиции. Помимо основных компонентов Mo и TiC в состав композиции вводились с целью улучшения технологических и эксплуатационных характеристик Ni, Fe, и W.

Предварительные эксперименты показали, что создать эвтектические сплавы путем спекания порошковой композиции того же состава не удастся, так как спеченный сплав не отвечал требованиям ни по одному параметру. Поэтому разработка сплава - заменителя велась, с одной стороны, в направлении увеличения содержания TiC, а с другой стороны, в направлении введения дополнительных присадок тугоплавких металлов, улучшающих технологические и эксплуатационные характеристики сплава. На рисунках 3.4 - 3.8 приведены зависимости экспериментальных значений прочности на изгиб ($\sigma_{из}$) с изменением содержаний TiC, Ni, W, Fe и Mo.

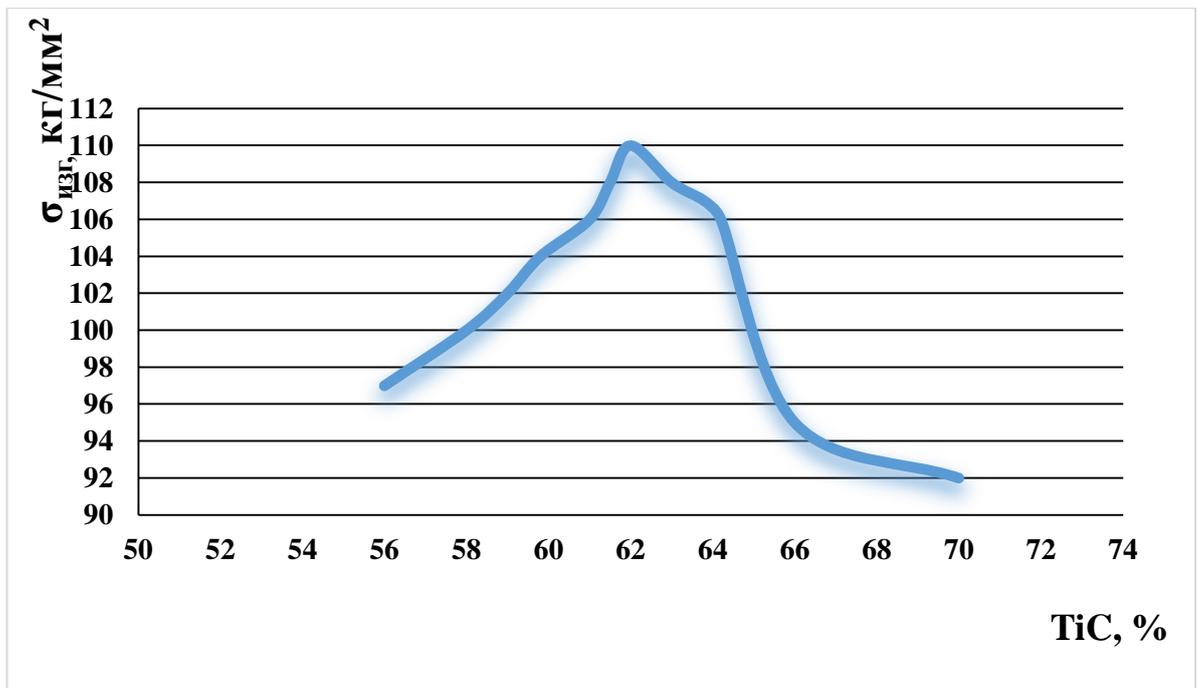


Рис.3.4. Зависимость экспериментальных значений предела прочности на изгиб ($\sigma_{изг.}$) от изменения содержания TiC

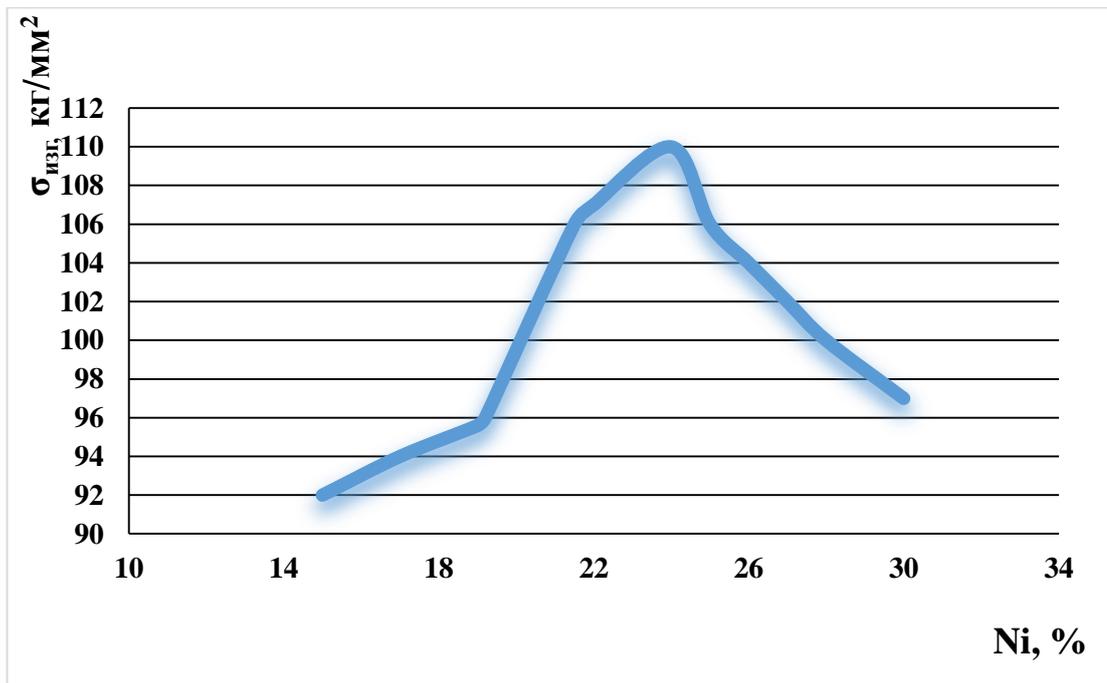


Рис.3.5. Зависимость экспериментальных значений предела прочности на изгиб ($\sigma_{изг.}$) от изменения содержания Ni

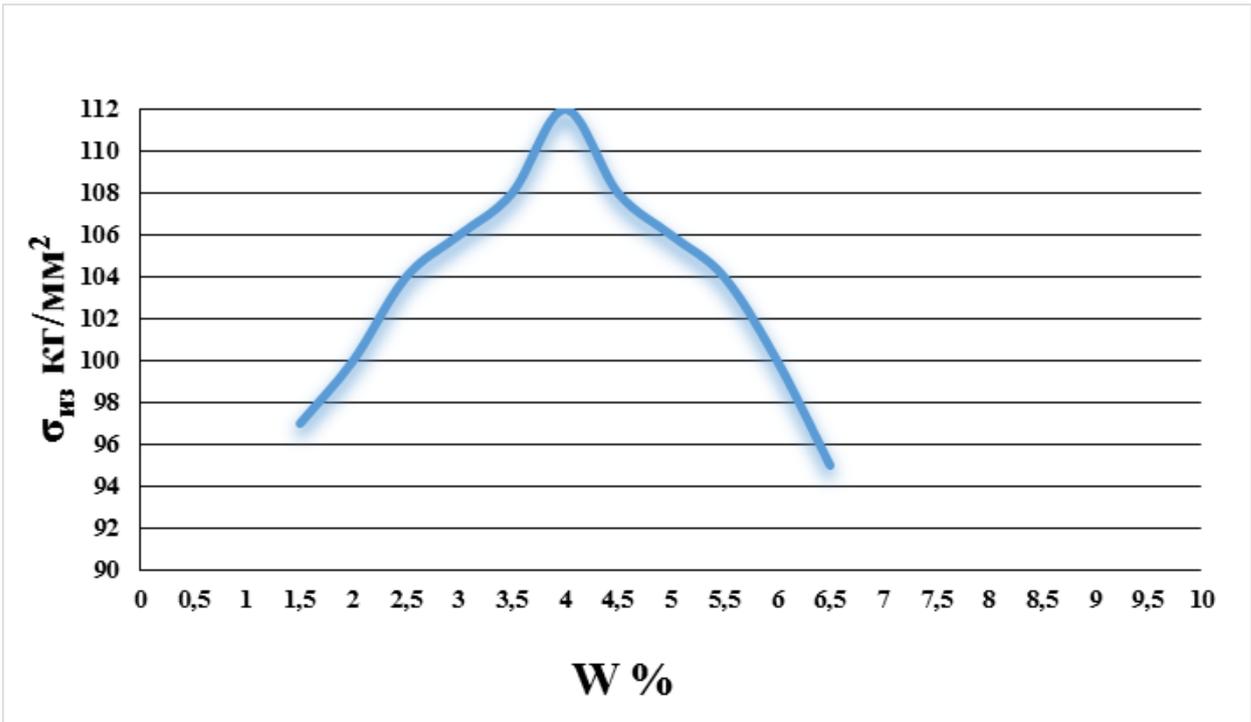


Рис.3.6. Зависимость экспериментальных значений предела прочности на изгиб ($\sigma_{из}$) от содержания W

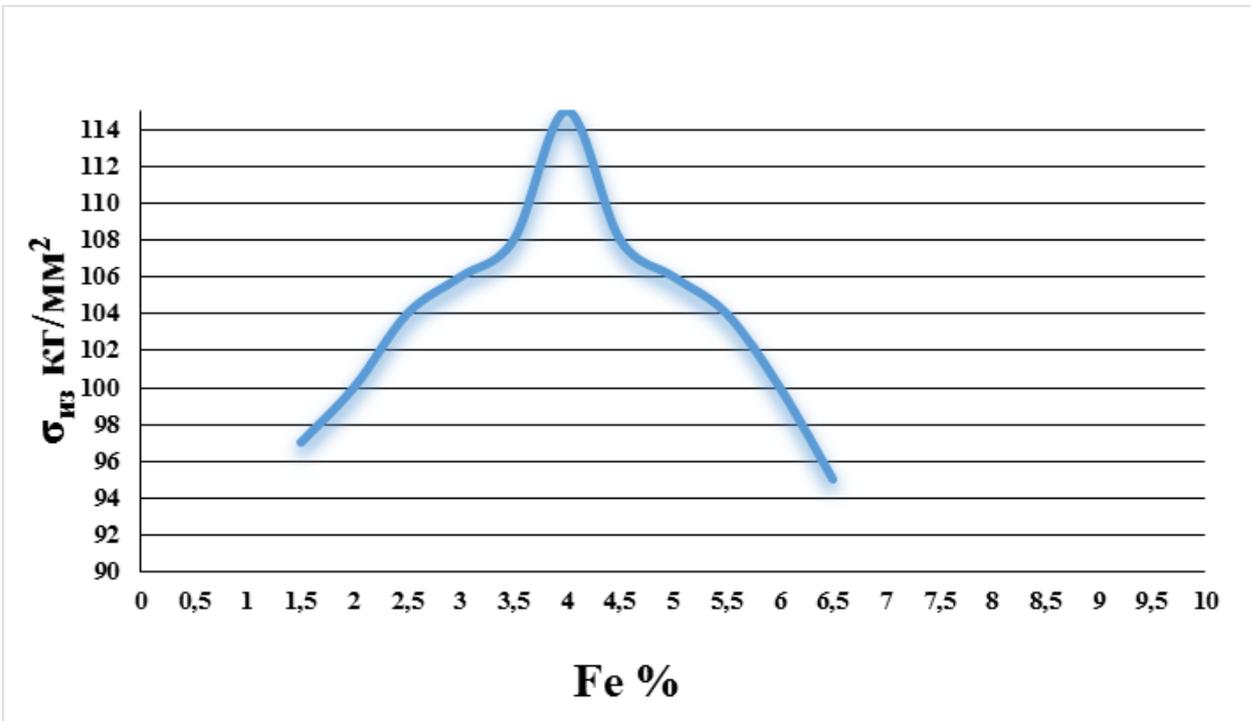


Рис.3.7. Зависимость экспериментальных значений предела прочности на изгиб ($\sigma_{из}$) от содержания Fe

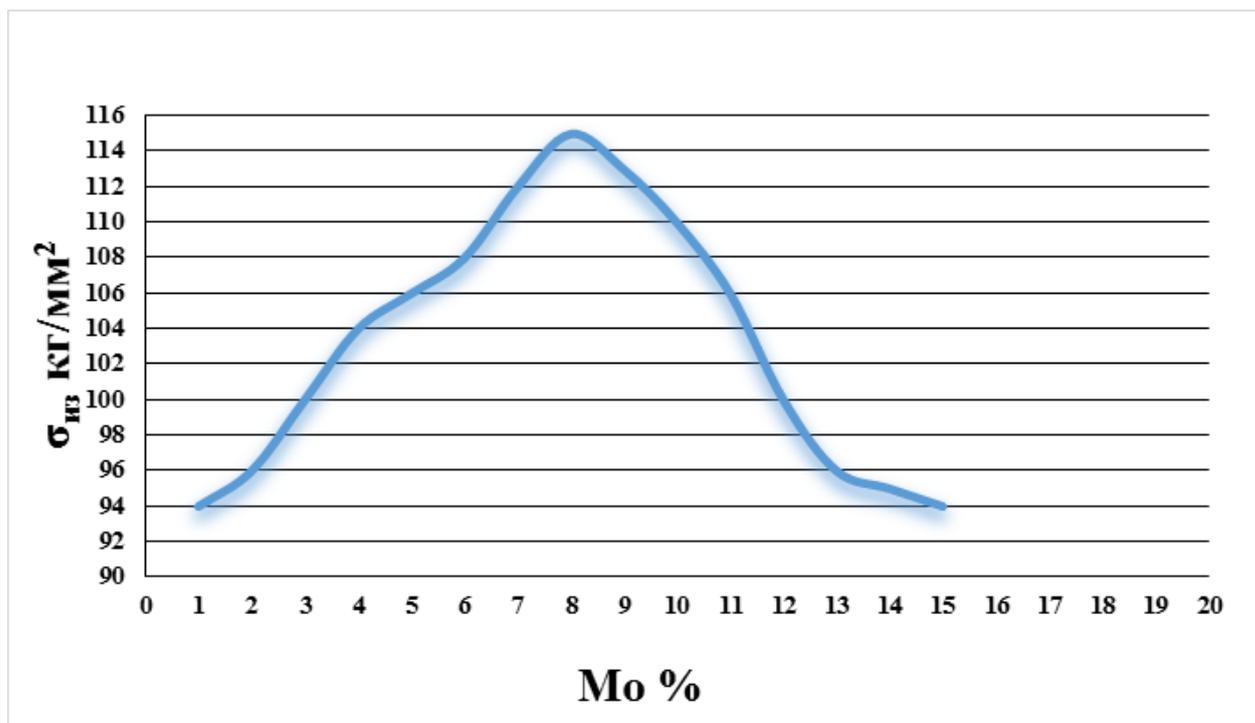


Рис.3.8. Зависимость экспериментальных значений предела прочности на изгиб ($\sigma_{из}$) от содержания Мо

Сравнительная оценка сплава проводилась по двум характеристикам: прочности на изгиб ($\sigma_{из}$) и твердости по Роквеллу (HRC). Как известно, эти характеристики, хорошо коррелируют с такими характеристиками, как горячая твердость и жаропрочность, определяющими работоспособность и долговечность инструмента при горячей обработке давлением. Поэтому при разработке сплава за критерий оценки при определении оптимального состава брались $\sigma_{из}$ и HRC.

3.3 Исследование влияния на свойства инструментов технологических параметров (режимы прессования и спекаемость)

Разработана усовершенствованная технология получения спеченного молибденового сплава системы Mo-TiC-Ni-W-Fe. Немаловажную роль для достижения высокого уровня свойств играет технология подготовки композиции и режимы её спекания. Подготовка порошковой смеси велась в лабораторных и малогабаритных шаровых мельницах при соотношении

объемов смеси к объему шаров диаметром 20–40 мм из твердого сплава ВК6 1:4. Входящие в состав композиции компоненты делились на две группы: в первую входили Ni, W и Mo, во вторую TiC. Обе группы компонентов загружались в разные мельницы и проходили предварительное смешивание в среде этилового спирта в течение 10–12 часов. Далее составы соединялись, и окончательное смешивание продолжалось ещё 6–8 часов. Затем смесь просушивалась в дистилляторе при температуре 100–120 °С в течение 8–12 часов. Высушенная смесь замешивалась на пластификаторе 8% раствора каучука в бензине, затем вновь проходила сушку в сушилке при температуре 100–120 °С в течение 20–30 минут. Готовая смесь прессовалась в формах под давлением 100 кгс/мм² на пресс – агрегате П4626. После прессования изделия сушатся в паровом шкафу при температуре 100–120 °С в течение 18–24 часов, затем подвергаются предварительному спеканию в атмосфере водорода при температуре 1000–1100 °С с выдержкой 1 час. Режим окончательного спекания выбирается в зависимости от назначения изделия. Так, для формообразующего инструмента, работающего при высоких температурах и давлениях, спекание проводится по режиму: среда–вакуум не ниже 10⁻³ мм. рт. ст; температура спекания при температуре 1450–1500 °С с выдержкой 1-0,5 ч; время спекания 2–3 часов. Первоочередной задачей после завершения первого этапа исследований было проведение оценки состава, уровня физико-механических и технологических характеристик полученного сплава.

Разработан состав нового спеченного порошкового сплава системы Mo-TiC-Ni-W-Fe, включающего: 60–65 % TiC, 20-22% Ni, 3,5 % W, 3,5 % Fe, и остальное молибден Mo.

Были получены следующие образцы из новых молибденовых порошков, и их исследовали в научной лаборатории: центр «Материаловедение и композиционные материалы» и заводской лаборатории. Изготовлены следующие партии образцов: ролики вводной коробки клетки №25 и №23 каждый по 2-штуки, формообразующий тяжело нагруженный инструмент

(матрица) и штабики (образцы) по 4 штуки. Также новый сплав используется для пресс-форм прессования порошков, матриц, фильер, измерительных инструментов. Сравнение состава и свойств ролика вводной коробки клетки №25 из сплавов ВК6, Мо-TiC и сплава системы Мо-TiC-Ni-W-Fe приведены в таб.3.7.

Таблица 3.7

Сравнение состава и свойств ролика вводной коробки клетки №25 из сплавов ВК6, Мо-TiC и сплава системы Мо-TiC-Ni-W-Fe

№ п/п	Сплав	Коэффициент линейного расширения, град ⁻¹	Плотность, г/см ³	Твердость, HRC	Прочность, МПа
1	ВК 6	$5,5 \times 10^{-6}$	14,8 – 15,0	88 – 89;	1550.
2	Мо-TiC	$6,61 \times 10^{-6}$	6,4 – 6,6	85 – 86;	800.
3	Предлагаемый сплав системы: Мо-TiC-Ni-W-Fe	$6,0 \times 10^{-6}$	7,5 – 8,0	83 – 84;	1150.

Изготовленные образцы из молибденовых порошков были подвергнуты испытаниям на твердость, прочность на изгиб и определение их удельных весов и плотностей. Результаты испытания показали, что твердость опытных образцов в среднем составила 83-84 HRC; плотность ρ в пределах 7,5 - 8,0 г/см³ и прочность на изгиб $\sigma_{из}$ в пределах 112–115 кгс/мм².

Результаты испытания показали, что твердость опытных образцов в среднем составила 84 HRC; удельный вес ρ 7,5 - 8,0 г/см³ и прочность на изгиб $\sigma_{из}$ в пределах 1150 МПа. Оптимальный состав порошковой композиции включает: 60–65 % TiC, 20-22% Ni, 3,5 % W, 3,5 % Fe, и остальное молибден Мо.

Образцы молибденовых твердосплавных инструментов изготовлены в количестве 2 штуки каждая в рамках Инновационного проекта ИОТ-2015-7-8 и хоздоговоров 41/10 от 12.04.2013 г. и 25/10 от 12.04.2012 г. с АО «УзКТЖМ» и

проходят испытания в СПЦ - 2 АО «Узметкомбинат» и ООО «TURONABRAZIVE».

В результате проведенных предварительных испытаний на образцах из нового спеченного порошкового сплава системы Mo-TiC-Ni-W-Fe стойкость инструментов оказалась выше по сравнению со стандартными (со стальными роликами в 8–10 раз, с графитовыми роликами в 6 – 8 раз), и не уступающими дорогостоящим твердым сплавам BK6 и BK15. Также были испытаны прессы для прессования порошков, формообразующих инструментов, матриц и фильер.

Таким образом, предложены новый способ и режимы термообработки твердосплавного инструмента, значительно повышающие ресурс работы и эксплуатационную надежность.

3.4 Рекомендации по изготовлению инструментов с использованием порошков молибдена

Данное исследование относится к области металлургии, а именно к получению сплавов на основе молибдена, используемых для изготовления формообразующих инструментов высокотемпературного прессования.

Известен сплав на основе молибдена, содержащий, масс. %: В-0,01-0,03; Ti-0,4-0,5; Ni-3-4; Co-3-4; Fe-0,1-0,3; Mo-остальное, который используется для улучшения свариваемости сплавов и не может быть применен для получения формообразующих изделий высокотемпературного прессования [115]. Существует сплав на основе молибдена, содержащий карбид титана и технологические добавки с вольфрамом. В состав сплава входят, масс. %: Mo - 85%, TiC-10,5%, W-1,0%, Zr-0,6%.

К недостаткам указанного выше сплава относится нестабильность технологических свойств, сплава и его высокая себестоимость, из-за введения большого количества дорогостоящего молибдена [115].

Наиболее близким аналогом по технической сущности является металлокерамический материал на основе молибдена, содержащий карбид титана и вольфрам, и, дополнительно, никель, железо и гексаборид лантана, при следующем соотношении компонентов, масс %: карбид титана-45-48%, никель 1,5-2,5%, вольфрам 1,0-1,5%, железо 4,0-5,0%, гексаборид лантана-0,15-0,25%, молибден-остальное [116].

Недостатком этого металлокерамического материала является наличие в составе редкого и дорогого элемента-гексаборида лантана, также его достаточно высокая плотность и пониженная степень твердости и прочности на изгиб формообразующих инструментов, что снижает износостойкость и надежность инструмента, работающего в экстремальных условиях.

Создание металлокерамического материала для изготовления роликов на его основе, повышающего их износостойкость при работе в экстремальных условиях, за счет снижения их плотности, повышения твердости и прочности на изгиб.

Поставленная задача решается тем, что в металлокерамическом материале на основе молибдена, с содержащем карбида титана, вольфрама, никеля и железа, нового спеченного порошкового сплава системы Mo-TiC-Ni-W-Fe компоненты находятся при следующем соотношении, мас. %: карбид титана 39-42%, никель 11-12%, вольфрам 3-4 %, железо-3-4%, молибден - остальное.

Сущность состоит в том, что металлокерамический материал на основе молибдена содержит карбида титана 39-42%, никеля 11-12%, вольфрама 3-4%, железа 3-4%, молибден-остальное. Существенным отличием и новизной являются измененные количественные соотношения компонентов, позволяющие получить новое качество изделий из предлагаемого состава металлокерамического материала, с улучшенными свойствами. В предлагаемом составе в отличие от аналога было уменьшено количество карбида титана и увеличено количество связующих металлов. Экспериментально было

установлено, что уменьшение количества карбида титана до 39-42%, при получении металлокерамического материала способствует снижению температуры спекания сплава и энергетических затрат на операцию спекания, при этом, никель, титан и железо, являясь легирующими элементами, в предложенном соотношении способствуют сохранению деформируемости и однородности структуры материала с равномерным распределением элементов, усиливая также их синергическое взаимодействие с карбидом титана, являющегося модификатором, которое приводит к улучшению структурообразования. Это позволяет получить из металлокерамического материала твердые сплавы более высокого качества по технологическим показателям с плотностью-5,5-6,1 г/см³, твердостью-82-84 HRC и прочностью на изгиб-1080-1150 МПа, превышающие по вышеуказанным технологическим показателям, за счет изменения состава металлокерамического материала, показатели аналога в 1,2-1,3 раза, что свидетельствует о достижении технической задачи, поставленной в изобретении, и наличии причинно-следственной связи между изобретением и поставленной технической задачей.

Металлы, находящиеся в составе предлагаемого металлокерамического материала на основе молибдена, нового спеченного порошкового сплава системы Mo-TiC-Ni-W-Fe в процессе высокотемпературного спекания проявляют себя следующим образом:

Никель, введенный в композицию в пределах 11-12%, активирует горячее спекание и, при выбранной нами температуре технологического процесса и заданном количестве компонента, происходит максимальное покрытие поверхности частиц обтекание вольфрама никелем и за счет значительной растворимости вольфрама в никеле, происходит перекристаллизация частиц вольфрама, способствующая повышению пластичности, следовательно, и прессуемости металлокерамического материала и уплотнению твердых сплавов, что приводит к улучшению эксплуатационных показателей, таких как износостойкость и надежность, получаемых из него изделий.

Повышение содержания вольфрама в композиции до 3-4%, способствует упрочнению молибденовой основы и получению более высокой по сравнению с аналогом твердости сплава. Кроме того, в результате обработки карбида титана железом концентрации 3-4%, на поверхности частиц карбида титана происходит восстановления окислов и полное усвоение титаном молибдена и, как следствие, - упрочнение материала и повышение пластичности, вследствие того, что молибден хорошо поддается обработке давлением.

Содержание карбида титана, являющегося модификатором, в металлокерамической композиции количестве 39-42% при взаимодействии с остальными вышеприведенными легирующими компонентами в увеличенном количестве, позволяет обеспечить оптимальное физико-химическое взаимодействие компонентов при более низкой температуре спекания, что обеспечивает достижение более высоких технологических показателей по плотности и твердости, а также пластичности металлокерамического материала, благодаря которой, материал хорошо поддается обработке в твердых сплавах.

Приводим характеристику элементов, входящих в состав металлокерамического материала:

- Карбид титана имеет мелкозернистую структуру, высокую стабильность, тугоплавкость, малую пластичность. Применяется в металлургии для модифицирования сплавов. Повышает износостойкость.

- Никель-металл серебристо-белого цвета, ковкий, пластичный. Устойчив на воздухе и в воде. Применяется в виде порошка при изготовлении твердых и сверхтвердых материалов в качестве связующего.

- Вольфрам имеет цвет от серого до черного, тяжелый, тугоплавкий металл. Химически актив, применяется в металлургической и химической промышленности. Является восстановителем.

- Молибден - тугоплавкий металл, светло-серого цвета, отличается высокой пластичностью, ковкостью и низким коэффициентом расширения при

высокой температуре, $T_{пл.}=2625^{\circ}\text{C}$. Применяется в металлургии в жаропрочных сплавах. Является восстановителем.

- Железо-блестящий, серебристо-белый металл, $T_{пл.}=1539^{\circ}\text{C}$. Оно пластично, легко куется, поддается прокатке, волочению. Способность растворять углерод и другие элементы служит основой для получения разнообразных сплавов, способных выдерживать высокие и низкие температуры, высокие давления и т.д.

Изобретение реализуется следующим образом.

По известной методике производится подготовка шихты из порошков для получения металлокерамического материала путем отдельного измельчения в разных малогабаритных шаровых мельницах одной части смеси, в которую входит навеска из заданных количеств никеля, вольфрама, железа и молибдена и второй части смеси, которую составляет карбид титана.

Далее составы объединяются, и окончательное смешивание продолжается также в мельнице в течение ещё 6-8 часов. После чего, смесь просушивается в дистилляторе при температуре $100-120^{\circ}\text{C}$ в течение 8-12 часов и замешивается на пластификаторе 8%-го раствора каучука в бензине, затем вновь проходит сушку в течение 20-30 минут при такой же температуре. Готовая смесь прессуется в формах под давлением 100 кгс/мм^2 на пресс-агрегате П4626.

После прессования изделия сушатся в паровом шкафу в течение 18-24 при температуре $100-120^{\circ}\text{C}$ часов, затем подвергаются предварительному высокотемпературному спеканию ($1000-1100^{\circ}\text{C}$), в атмосфере водорода с выдержкой в 1 час. Режим окончательного спекания выбирается в зависимости от назначения изделия. По завершении процесса проводятся замеры показателей плотности, твердости, прочности на изгиб на стандартных образцах по методикам, установленным Госстандартом РУз для твердых сплавов, на следующих аппаратах:

- плотность (уд. вес), ρ , г/см^3 - методом гидростатического взвешивания в аппарате 33 № 67761.

- твердость, HRC - на приборе Виккерса-ЗИП модель ТК-2М, ГОСТ, 13407-67 № 1793;

- прочность на изгиб, $\sigma_{из}$ - на разрывной машине УММ -5.

Пример 1. Подготовку металлокерамического материала, нового спеченного порошкового сплава системы Mo-TiC-Ni-W-Fe в виде порошковой смеси, для изготовления ролика вводной коробки клетки №25, проводили в малогабаритных шаровых мельницах при соотношении объемов смеси к объему шаров из твердого сплава ВК6, диаметром 30 мм, равном 1:4.

Для достижения указанного выше навеску входящих в состав композиции компонентов разделили на две группы: в первую группу вошла навеска из Ni-11% (1100 г), W-3% (300 г), Fe-3%(300 г), Mo-41% (4100 г), а во вторую - TiC-42% (4200 г).

Навеску порошка из никеля, вольфрама, железа и молибдена в количестве 5800 г загрузили в шаровую мельницу, в которой провели предварительное смешивание в среде этилового спирта, при расходе 1,2 л этилового спирта на 1 кг порошка, в течение 11 часов. Навеску карбида титана весом 4200 г загрузили в другую мельницу и также произвели смешивание в среде этилового спирта. Далее составы объединили в одной мельнице и провели совместное смешивание ещё в течение 7 часов.

Полученную смесь просушили в дистилляторе при температуре 110°C в течение 10 часов, затем, замешали на пластификаторе – в 8%-ном растворе каучука в бензине и вновь провели сушку в сушилке при температуре 110°C в течение 30 минут. Готовую смесь спрессовали в заданных формах, на пресс – агрегате П4626, под давлением 100 кгс/мм².

После прессования изделия сушили в паровом шкафу при температуре 110°C в течение 20 часов с выдержкой в 1 час, затем формообразующие изделия подвергали предварительному спеканию в атмосфере водорода при температуре 1100°C, с выдержкой 1 час.

Далее была проведена окончательная операция высокотемпературного спекания, которая проводилась в режиме среда–вакуум 10^{-3} мм рт. ст. в течение 2,5 часов, при этом, температура спекания составляла 1400°C при выдержке 1 час.

Режим окончательного спекания изделий выбирается в зависимости от назначения изготавливаемого изделия.

После завершения процесса спекания, с целью определения технологических показателей полученного твердо- спеченного материала, брали стандартные образцы - штабики, подвергшиеся спеканию, размером $5 \times 5 \times 34$ мм, на которых проводились замеры по методикам, установленным Госстандартом РУз для твердых спеченных сплавов.

Пример 2. По технологии примера 1 для сравнения физико-механических показателей изобретения с аналогом, из металлокерамического материала аналога, состава, мас. %: TiC- 45-48; Ni-1,5-2,5; W-1,0-1,5; Fe- 4,0-5,0; LaB_6 - 0,15-0,25 Мо-остальное, и при температуре спекания 1450°C был проведен эксперимент по технологии аналога с получением твердого сплава, из которого был также, в виде штабика, изготовлен образец для испытаний.

По образцу аналога получены следующие результаты замеров технологических показателей: плотность- $6,5 \text{ г/см}^3$, твердость-80 HRC, прочность на изгиб- 800 МПа (табл.3.8).

Кроме приведенных в примерах изделий, по аналогичной технологии из металлокерамического материала, нового спеченного порошкового сплава системы Mo-TiC-Ni-W-Fe, были изготовлены и испытаны еще и другие образцы: формообразующий инструмент, Форма 8- ГОСТ9457-75, формы 07,67- ГОСТ25426-86, формы 110114-110 408- ГОСТ190 65-80, формы 02, 114-100608- ГОСТ19048-8.

Результаты замеров технологических показателей этих изделий были в пределах результатов образцов примера 1. Результаты экспериментов приведены в табл. 3.8.

Таблица 3.8

Физико-механические свойства образцов из металлокерамического материала, нового спеченного порошкового сплава системы Mo-TiC-Ni-W-Fe в зависимости от его состава, температура спекания 1400⁰C

№ пп	Компоненты сплава, масс. %						Свойства		
	TiC	Mo	Ni	W	Fe	LaB ₆	Плотность, ρ , г/см ³	Твердость, HRC	Прочность, $\sigma_{изг}$, МПа
Аналог									
	46	47,0	1,5	1,0	4,5	0,2	6,5	80	800
Предлагаемый металлокерамический материал									
1	39	44	11	3	3	-	5,6	82,0	970
2	41	41	10	4	4	-	5,5	82,5	980
3	40	42	11	3	4	-	5,5	83,5	1000
4	40	41	11	4	4	-	5,5	83,8	1030
5	42	41	11	3	3	-	5,5	84,0	1045
6	42	39	12	4	3	-	5,5	84,0	1050
7	45	38	11	3	3	-	5,6	82,0	980
8	45	35	12	4	4	-	5,6	82,0	970

Как видно из табл. 3.8, наилучшие показатели по уровню твердости, плотности и прочности на изгиб, изготовленных образцов деталей, диссертантом были получены при использовании компонентов металлокерамического материала, нового спеченного порошкового сплава системы Mo-TiC-Ni-W-Fe в количестве, мас. %: TiC-39-42, Ni-11-12, W-3-4, Fe-3-4, Mo- 39-42.

Оптимальный состав композиции включает: TiC-42%; Ni-12,0%; W-4,0%; Fe-3,0%, Mo-39,0%. При изменении количества компонентов

металлокерамического материала в сторону уменьшения или увеличения от заданных количеств, улучшения физико-механических показателей не наблюдалось.

Результаты испытаний показали, что предел твердости опытных образцов составил 82-84, HRC; плотности - 5,5-6,5 (удельный вес), г/см³ и прочности на изгиб $\sigma_{из}$ -1000-1050 МПа.

Как следует из табл.3.8, показатели по плотности, твердости и прочности на изгиб превосходят показатели аналога в 1,2-1,3 раза, что подтверждает достижение поставленной технической задачи.

Все вышеперечисленные образцы из предложенного нового спеченного порошкового сплава системы Mo-TiC-Ni-W-Fe были изготовлены в рамках хоздоговоров с АО «УзКТЖМ» и прошли опытно-промышленные испытания на плотность, твердость, прочность на изгиб, на опытно-промышленной базе ООО «TURONABRAZIVE» и в условиях СП «SPZ-BEARINGS», в период 2015-2016 гг.

В результате проведенных опытно-промышленных испытаний образцов формообразующих изделий из предложенного металлокерамического материала установлено, что за счет повышения пластичности, характеризующейся повышением прочности на изгиб, и твердости, износостойкость инструментов увеличилась, по сравнению с аналогом в 1,5 раза, а за счет снижения плотности, снизился удельный вес изделий, который способствовал снижению веса в 1,2 раза механизмов и улучшению условий труда, по сравнению с аналогом. Кроме того, за счет снижения температуры спекания на 100⁰С, снизились энергетические затраты на проведение процесса спекания.

Выводы

1. Разработан новый сплав системы Mo-TiC-Ni-W-Fe, изготовленный методом порошковой металлургии с повышенными эксплуатационными характеристиками, особое значение при этом приобретает, и актуальность разработки, которая заключается во внедрении новых материалов, получаемых высокотехнологичными способами, в частности материалы в высокодисперсном состоянии, полученные плазмохимической технологией.

2. Произведена замена в технологическом процессе переработки крупных порошков на высокодисперсные, позволяющие уменьшить температуру спекания заготовок и дающих возможность получения более однородной и мелкозернистой структуры спечённых изделий.

3. Исследованы и установлены состав и свойства нового спеченного сплава системы Mo-TiC-Ni-W-Fe, изготавливаемого методом порошковой металлургии.

4. Наиболее оптимальным вариантом получения качественного порошка молибдена является его получение восстановлением водорода.

ГЛАВА 4. ПРИМЕНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА ТВЕРДОСПЛАВНОГО ИНСТРУМЕНТА И ОЦЕНКИ ИХ ТЕХНИКО - ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

4.1 Применение результатов исследования при производстве формообразующих твердосплавных инструментов

Разработка технологических процессов производства твердосплавного формообразующего инструмента базируется на общих принципах и закономерностях технологии получения спеченного сплава металлургии, рассмотренных в курсе «Основы технологии производства твердосплавных инструментов». Наряду с этим, в технологии производства твердосплавных инструментов имеются специфические особенности, связанные с применением дорогостоящих и дефицитных инструментальных материалов, предусматривающих обработку заготовок высокой твердости и прочности, обработку сложных поверхностей с высокими требованиями к точности размеров, геометрической форме и шероховатости поверхности, с особенно высокими требованиями к физико–механическим свойствам материала готового твердосплавного инструмента.

При изготовлении твердосплавного формообразующего инструмента с оптимальным сочетанием прочности и пластичности из нового спеченного молибденового сплава и композиционных материалов применяют некоторые специфические технологические приемы. Широко внедряется обработка методами горячей и холодной пластической деформации (прессование, редуцирование и др.), снижающая расход инструментальных материалов.

Авторами разработана технология производства ролика вводной коробки клетки №25 и фильер для волочения проволоки из новых металлических композитов. Новый спеченный молибденовый сплав системы: Mo-TiC-Ni-W-Fe

должен обеспечить высокую работоспособность формообразующего твердосплавного ролика. Оптимизация технологических параметров и состава нового спеченного сплава системы: Mo-TiC-Ni-W-Fe проводилась с привлечением метода математического планирования экспериментов. Формообразующий твердосплавный ролик и оснастка, особенно для работы на изгиб при высоких температурах и давлениях, во многом определяют эффективность производства проката в металлургии. Вот почему разработка новых спеченных порошковых материалов и технологий, призванных снизить трудоемкость производства проката и сокращать расход дефицитных вольфрамовых инструментальных материалов – актуальная проблема современной металлургии. [9].

В связи с вышеизложенным был разработан новый молибденовый сплав системы Mo-TiC-Ni-W-Fe, технология изготовления которого базируется на методах порошковой металлургии, что, несомненно, экономичнее и технологичнее чем традиционных сплавов той же системы. Состав нового спеченного сплава системы: Mo-TiC-Ni-W-Fe включает: 60–65 % TiC, 20–22% Ni, 3,5 % W, 3,5 % Fe, и остальное молибден Mo. Меньшее содержание Mo в сплаве делает его немного дороже, но, с другой стороны, большое содержание TiC в сплаве делает его немного дешевле, а получение нового сплава системы Mo-TiC-Ni-W-Fe является трудоемким и энергоемким процессом [9]. В разработанном спеченном молибденовом сплаве соотношение Mo и TiC – 15/85%. Кроме этого, в сплав вводились следующие добавки: Fe, Ni, и W для улучшения эксплуатационных и технологических свойств. Физико-механическими, технологическими и другими свойствами спеченный молибденовый сплав системы Mo-TiC-Ni-W-Fe превосходит традиционный сплав той же системы. На основании результатов проведенных исследований состава, структуры, физико-механических свойства спеченного молибденового сплава системы Mo-TiC-Ni-W-Fe можно рекомендовать его в качестве формообразующего твердосплавного инструмента, работающего в экстремальных условиях.

За последнее время в связи с возрастающим дефицитом на инструментальные материалы, особенно на вольфрамовые, которые в Узбекистане производятся только на одном предприятии, а закупка из-за рубежа приводит к большим валютным затратам, наблюдается повышение интереса к получению качественных формообразующих инструментов из твердых сплавов с использованием современных технологий.

Сплавы изготавливают спеканием смеси порошков Mo, TiC, Ni, W и Fe при температуре 1000–1100⁰С с выдержкой 1 час. Режим окончательного спекания выбирается в зависимости от назначения изделия. Так для формообразующего инструмента, работающего при высоких температурах и давлениях, спекание проводится по режиму: среда–вакуум не ниже 10⁻³ мм. рт. ст; температура спекания при температуре 1450–1500⁰С с выдержкой 1-0,5 ч; время спекания 2–3 часа. Первоочередной задачей после завершения первого этапа исследований было проведение оценки состава, уровня физико-механических и технологических характеристик полученного сплава.

На практике нередко в спеченных твердосплавных изделиях присутствует еще одна фаза: свободный углерод (графит), количество которого, допускаемое государственными стандартами, зависит от марки сплава и не должно превышать 0,5% для высококобальтовых сплавов. Графит снижает прочность и износостойкость твердых сплавов. Поэтому для получения высококачественных твердосплавных изделий на производстве организуют технологии спекания таким образом, чтобы получить двухфазные сплавы.

С увеличением содержания связующей фазы в сплавах до 20–25% повышаются прочностные характеристики, тогда как износостойкость снижается и, наоборот, сплавы с небольшим содержанием связующей фазы (2–5%) отличаются высокой износостойкостью при сравнительно низких значениях прочности и ударной вязкости.

4.2 Расчет годового экономического эффекта от внедрения технологии производства и спекания инструментов с применением молибдена

Расчет экономической эффективности произведен в соответствии с методикой определения экономической эффективности использования новой техники в промышленности.

Технико-экономические показатели внедрения новой технологии по сравнению с существующей определяли по следующей формуле:

$$\mathcal{E} = (C_1 * A) - \frac{C_2 * A}{E}$$

где \mathcal{E} – годовой экономический эффект, в сумах;

C_1 и C_2 – себестоимость единицы продукции, производимой, соответственно, с помощью базовой и новой техники, сум;

E – повышение долговечности формообразующих инструментов с применением порошков молибдена в условиях эксплуатации в 2–3 раза;

A – годовой объем формообразующих инструментов с применением порошков молибдена, шт.

В связи с отсутствием в базовом варианте капитальных сопоставимых затрат формула (1) может быть представлена в следующем виде:

$$\mathcal{E} = (2000 * 50000) - \frac{2000 * 60000}{2} = 100000000 - 60000000 = 400 \text{ тыс. сум}$$

Таким образом, ожидаемый годовой экономический эффект от внедрения новой технологии изготовления формообразующих инструментов из порошков молибдена составляет 40 млн. сум.

4.3 Расчет ожидаемого экономического эффекта от внедрения технологии производства твердосплавного ролика с использованием нового спеченного сплава системы Mo-TiC-Ni-W-Fe, изготавливаемого методом порошковой металлургии

Первоочередной задачей после завершения первого этапа исследований было проведение оценки состава, уровня физико-механических и технологических характеристик полученного сплава.

Сравнение состава ролика вводной коробки клетки №25 из сплавов ВК6, Mo-TiC и предлагаемого нового сплава системы Mo-TiC-Ni-W-Fe приведены в табл.4.1.

Таблица 4.1

Сравнение состава ролика вводной коробки клетки №25 из сплавов ВК6, Mo-TiC и сплава системы Mo-TiC-Ni-W-Fe

№ п/п	Сплав	Коэффициент линейного расширения, град ⁻¹	Плотность, г/см ³	Твердость, HRC	Прочность, МПа
1	ВК 6	$5,5 \times 10^{-6}$	14,8 – 15,0	88 – 89;	1550.
2	Mo-TiC	$6,61 \times 10^{-6}$	6,4 – 6,6	85 – 86;	800.
3	Предлагаемый новый сплав системы: Mo-TiC-Ni-W-Fe	$6,0 \times 10^{-6}$	7,5 – 8,0	83 – 84;	1150.

В результате проведенных предварительных испытаний на образцах из нового спеченного порошкового сплава системы Mo-TiC-Ni-W-Fe стойкость инструментов оказалась больше по сравнению со стандартными (со стальными роликами в 8–10 раз, с графитовыми роликами в 6 – 8 раз), и соответствовала дорогостоящим твердым сплавам ВК6 и ВК15.

А также испытаны пресс-формы для прессования порошков, формообразующие инструменты, матрицы и фильеры.

Таким образом, были предложены новый способ и режимы спекания твердосплавных инструментов, значительно повышающие ресурс работы и эксплуатационную надежность изделий.

Разработана технология производства формообразующих и других инструментов различного назначения с применением порошков молибдена. В табл. 4.2 приведены потребность стана - 300 СПЦ-2 на АО «Узметкомбинат» в роликах с учетом запасов.

Таблица 4.2

Потребность стана «300» СПЦ-2 в роликах с учетом запасов

№ пп	Вид прокатываемой продукции	Производство за 2015 год, (т)	Потребность в чугуновых роликах со стойкостью одной пары роликов 700 т, (шт)		Потребность в твердосплавных роликах со стойкостью одной пары роликов 20 000 т, (шт)	
			Основная	Запас	Основная	Запас
1.	Арматура №8	3 500	12	12	12	12
2	Арматура №10	71 000	202	15	15	15
3.	Арматура №12	130 000	372	8	14	8
.	Арматура №14	75 500	218	15	15	15
5.	Арматуры №15 и №18	123 000	352	8	12	8
Итого:		404 000	1156	50	70	50

Технико-экономические показатели внедрения новой технологии формообразующих роликов с использованием предлагаемого молибденового сплава системы Mo-TiC-Ni-W-Fe по сравнению с существующими определяли по следующей формуле:

$$\mathcal{E} = [(C_1 * A_1) - (C_2 * A_2)], \quad (5.1)$$

где \mathcal{E} – годовой экономический эффект, сум;

C_1 и C_2 – себестоимость единицы продукции, производимой соответственно с помощью базовой и новой техники, сум;

A_1 и A_2 – годовой объем формообразующих инструментов, соответственно, с помощью базовой и новой техники соответственно, шт.

В виде базовой продукции в расчет были взяты данные по чугунным роликам, изготовленным на АО «Узметкомбинат».

Стоимость ролика базового варианта C_1 равна 50 тыс. сум за 1 шт.

Стоимость ролика по новой технике C_2 равна 60 тыс. сум за 1 шт.

Формула (1) может быть представлена в следующем виде:

$$\mathcal{E} = [(50000 * 1156) - (60000 * 70)] = 57800000 - 4200000 = 53600000 \text{ сум}$$

Таким образом, ожидаемый экономический эффект от внедрения новой технологии формообразующих инструментов с использованием предлагаемого молибденового сплава системы Mo-TiC-Ni-W-Fe составил 53,6 млн. сум.

Опытные промышленные партии роликов и формообразующих инструментов с использованием порошков тугоплавких металлов прошли испытания в производственных условиях АО «УзКТЖМ», АО «Узметкомбинат», СП «SPZ-BEARINGS» и ООО «TURONABRAZIVE».

Экспериментальные ролики привалковой арматуры №25 прошли испытания в производственных условиях АО «Узметкомбинат» и было прокатано свыше 10 000 тонн проката без дефектов.

Практическая реализация результатов исследования по данным АО «УзКТЖМ» и АО «Узметкомбинат» за 2016 год составила соответственно 6,9 млн. сум и 8,0 млн. сум в год. Ожидаемый экономический эффект от внедрения результатов исследования составляет более 70,3 млн. сум в год, с учетом затрат на сырье и технологии по ценам 2015 года. По результатам исследования из нового спеченного сплава системы Mo-TiC-Ni-W-Fe составила более 53,6 млн. сум в год, с учетом затрат на сырье и технологии по ценам 2016 года.

Ожидаемый общий экономический эффект от внедрения результатов исследования составляет 125,9 млн. сум в год.

Результаты научно-исследовательских работ внедрены в учебной процесс по дисциплине «Материаловедение и технология конструкционных материалов» в объеме 6 часов, «Неметаллические материалы» в объеме 4 часа, всего 10 часов для бакалавров по направлению 5520500, а также по дисциплине «Композиционные материалы» в объеме 20 часов и «Порошковой металлургии» в объеме 10 часов, всего 30 часов для магистров по специальности 5А520510 (акты от 02.04.2014 и 11.02.2016 года). Изданы два учебника и два методических указания, в соответствующие главы которых вошли материалы, изложенные в монографии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По итогам проведенных теоретических и экспериментальных исследований и анализа полученных результатов предложены комплексные научно-технические и технологические приемы и рекомендации, позволяющие определить дальнейшие пути развития высокотехнологических процессов в машиностроении, способствующие развитию и расширению научных исследований, а также имеющие важное значение для отраслей экономики в целом.

На основе проведенных исследований по настоящей работе представлены следующие выводы:

1. Разработаны режимы прессования (115 кгс/мм^2) и спекания (по режиму: среда–вакуум не ниже 10^{-3} мм. рт. ст; температура спекания при $1450\text{--}1500^\circ\text{C}$ с выдержкой 0,5 -1ч; время спекания 2–3 часа) твердосплавных инструментов из нового спеченного сплава системы Mo-TiC-Ni-W-Fe, изготовленного методом порошковой металлургии. Эти режимы служат, правильно выбрать оптимальные режимы прессования и спекания в сфере производства.

2. С целью увеличения срока службы разработан твердосплавный ролик вводной коробки клетки №23 методом порошковой металлургии. Полученные результаты служат повышению экономической эффективности.

3. Разработана технология изготовления ролика вводной коробки клетки №25 и формообразующих инструментов с использованием нового спеченного сплава системы Mo-TiC-Ni-W-Fe, изготовленного методом порошковой металлургии. Это служит улучшению технологических и эксплуатационных характеристик роликов и формообразующих инструментов.

4. Получен новый спеченный сплав системы Mo-TiC-Ni-W-Fe, изготовленный методом порошковой металлургии из порошков тугоплавких металлов. Эти показатели по плотности, твердости и прочности на изгиб превосходят показатели аналогов в 1,2-1,3 раза, что подтверждает достижение поставленной технической задачи.

5. Экономический эффект от практического применения результатов исследования по данным АО «Узметкомбинат» составил 40,3 млн. сумм (Справка АО «Узметкомбинат» №01-1/606 от 28 апреля 2017 года).

6. Опытные промышленные партии роликов и формообразующих инструментов с использованием порошков тугоплавких металлов прошли испытания в производственных условиях АО «УзКТЖМ», АО «Узметкомбинат», СП «SPZ-BEARINGS» и ООО «TURONABRAZIVE».

7. Экспериментальные ролики привалковой арматуры №23 и №25 прошли испытания в производственных условиях СПЦ-2 АО «Узметкомбинат» и соответственно прокатано свыше 24 000 и 12 000 тонн проката без браковочных дефектов.

8. Применение научных результатов позволило увеличить срок службы роликов по сравнению со стандартными (со стальными роликами в 8–10 раз, с графитовыми роликами в 6–8 раз), и соответствуют дорогостоящим твердым сплавам ВК6 и ВК15.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

Научная значимость результатов исследования определяется выбором металлического порошка, величина и характер частиц которого зависит от эффективности структурообразования.

Практическая значимость работы состоит в использовании новых технологий производства инструментов из нового спеченного сплава системы Mo-TiC-Ni-W-Fe, изготовленного методом порошковой металлургии.

Усовершенствована технология производства инструментов на основе порошков тугоплавких металлов, что свидетельствует о практической значимости результатов исследования.

На основе проведённых исследований по PhD докторской диссертации на тему «Разработка технологии производства твердосплавного ролика вводной коробки клетки методом порошковой металлургии» представлены следующие

основные выводы:

1. Проанализирована структура, состав и свойства нового спеченного сплава системы Mo-TiC-Ni-W-Fe, изготовленного методом порошковой металлургии;

2. Определены режимы прессования (115 кгс/мм^2) и спекания (по режиму: среда–вакуум не ниже 10^{-3} мм. рт. ст; температура спекания при температуре $1450\text{--}1500^{\circ}\text{C}$ с выдержкой 0,5 -1ч; время спекания 2–3 часов) твердосплавных инструментов из нового спеченного сплава системы Mo-TiC-Ni-W-Fe, изготовленного методом порошковой металлургии;

3. Разработана технология изготовления роликов вводной коробки клетки №23 и №25 и формообразующих инструментов с использованием нового спеченного сплава системы Mo-TiC-Ni-W-Fe, изготовленного методом порошковой металлургии.

4. Получен новый спеченный сплав системы Mo-TiC-Ni-W-Fe, изготовленный методом порошковой металлургии из порошков тугоплавких металлов (Справка 16/22 от 11 марта и акты 3 августа 2016 г. АО «УзКТЖМ»).

5. Опытные промышленные партия роликов и формообразующих инструментов с использованием порошков тугоплавких металлов прошли испытания в производственных условиях АО «УзКТЖМ», АО «Узметкомбинат», СП «SPZ-BEARINGS» и ООО «TURONABRAZIVE».

6. Экспериментальные ролики привалковой арматуры №23 и №25 прошли испытания в производственных условия СПЦ-2 АО «Узметкомбинат» и соответственно прокатано свыше 24 000 и 12 000 тонн проката без дефектов.

7. Применение научных результатов позволило увеличить срок службы роликов по сравнению со стандартными (со стальными роликами в 8–10 раз, с графитовыми роликами в 6–8 раз), и почти сравнять ресурс с дорогостоящими твердыми сплавами ВК6 и ВК15.

8. Результаты исследования прошли испытания в производственных условиях АО «Узметкомбинат» и внедрении в производство. Общий экономический эффект от внедрения результатов исследования составляет 40,3 млн. сум в год (прилагается акт внедрения).

Кроме этого:

получен патент Агентства по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан на разработанную конструкцию плазмохимического реактора для получения тугоплавких дисперсных материалов «Плазмохимический реактор», №IAP04732 (26.06.2013). Усовершенствованная конструкция плазмохимического реактора позволяет получать высокодисперсные порошки тугоплавких металлов;

поданы две заявки на патент АИС № IAP 20160056 (от 24.02.2016 г.) и № IAP 20130555 (от 30.12.2013 г.), которые нашли практическое применение. Разработанный метод порошковой металлургии позволил создать из местного сырья новые импортозамещающие инструменты;

Практическая реализация результатов исследования по данным АО «УзКТЖМ» и АО «Узметкомбинат» за 2016 год составила соответственно 6,9 и 8,0 млн. сум в год. Ожидаемый экономический эффект от внедрения

результатов исследования составляет более 70,3 млн. сум в год, с учетом затрат на сырье и технологии по ценам 2014 года. По результатам исследования из нового спеченного сплава системы Mo-TiC-Ni-W-Fe составляет более 55,0 млн. сум в год, с учетом затрат на сырье и технологии по ценам 2016 года.

Общий экономический эффект от внедрения результатов исследования составляет 40,3 млн. сум в год.

Результаты диссертационной работы внедрены в учебный процесс по дисциплине «Материаловедение и технология конструкционных материалов» в объеме 6 часов, «Неметаллические материалы» в объеме 4 часа, всего 10 часов для бакалавров по направлению 5520500, а также по дисциплине «Композиционные материалы» в объеме 20 часов и «Порошковой металлургии» в объеме 10 часов, всего 30 часов для магистров по специальности 5A520510 (акты от 02.04.2014 и 11.02.2016 года). Изданы два учебника и два методических указания, в соответствующие главы которых вошли материалы, изложенные в диссертационной работе.

Таким образом, на основе теоретического обобщения и по этапный практической реализации изложенных в диссертации новых научных положений, технических и технологических приемов и средств решена научно - техническая проблема по созданию нового высокоэффективного твердосплавного ролика прокатного стана методом порошковой металлургииис использованием порошков тугоплавких металлов, имеющих важное значение для машиностроительной промышленности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида. - Т.:2017 йил 7 февраль, ПФ-4947-сонли Фармони.
2. “Ўзбекистон Республикаси Президенти Шавкат Мирзиёевнинг Олий Мажлисга Мурожаатномаси”24 январь2020 й. 30 бет.
3. Мирзиёев Ш.М. Эркин ва фаровон, демократик Ўзбекистон давлатини биргаликда барпо этамиз. Ўзбекистон Республикаси Президентининг лавозимида киришиш тантанали маросимида бағишланган Олий Мажлис палаталарининг қўшма мажлисидаги нутқи. –Т.: “Ўзбекистон” НМИУ, 2016. – 56 б.
4. Мирзиёев Ш.М. Қонун устуворлиги ва инсон манфаатларини таъминлаш – юрт тараққиёти ва халқ фаровонлигининг гарови. Ўзбекистон Республикаси Конституцияси қабул қилинганининг 24 йиллигига бағишланган тантанали маросимдаги маъруза 2016 йил 7 декабрь. – Т.: “Ўзбекистон” НМИУ, 2016. – 48 б.
5. Мирзиёев Ш.М. Буюк келажакимизни мард ва олижаноб халқимиз билан бирга қурамиз. - Т.: “Ўзбекистон” НМИУ, 2017. – 488 б.
6. Каримов И.А. Мыслить и работать по–новому–требование времени.– Ташкент: Узбекистан, 1997.–Т.5.–382 с.
7. Каламазов Р.У. Нанокристаллические структуры в материаловедении.– Ташкент:ТашГТУ, 2004.–98 с.
8. Gleiter H. Nanostructured materials: basic concepts and microstructure. //Acta mater., 2000. V.48. P.1–29.
9. Новые материалы. Под ред. Ю.С. Карабасова–М.: МИСИС, 2002.–735 с.
10. J.Gurland and J.D.Knox, “From Sintered Tungsten to Cemented Tungsten Carbide – A Historical Review of Two Related Technologies”, Tungsten Refract. Met. 3-1995, Proc. Int. Conf., 3rd 1995 (Pub. 1996), 219-228. Edited by Bose, Animesh; Dowding, R.J.Metal Powder Industries Federation: Princeton, N.J.

11. R.Telle, "Boride and Carbide Ceramics", in Structure and Properties of Ceramics", Vol. 11, Ed. M.V.Swain, VCH, New York, 1994
- A. Cottrell, "Chemical Bonding in Transition Metal Carbides", The Institute of Materials, London, 1995, pp77.
12. P.Craig, "Behind the Carbide Curtain", Cutting Tool Engineering, August 1997, 26-41.
13. J.J.Stiglich, C.C.Yu and T.S.Sudarshan, "Synthesis of Nano WC/Co for Tools and Dies", 3-1995, Proc. Int. Conf., 3rd 1995 (Pub. 1996), 229-236. Edited by Bose, Animesh; Dowding, R.J.Metal Powder Industries Federation: Princeton, N.J.
14. Y.Zhang and J.Zhang, "Nanometer WC-Co Carbide", Xiyou Jinshu Cailiao Yu Gongcheng, 1995, 24(2), 18-21 (Chinese).
15. "High Temperature Synthesis of WC in a CH₄/H₂ Gas Atmosphere", Poroshk. Metall. (Kiev) 1995 (9-10) 21-26 (Russian).
16. L.Gao and B.H.Kear, "Synthesis of Nanophase WC Powder by a Displacement Reaction Process", NanoStructured Materials, 9, 205-208, 1997.
17. L.Gao, B.H.Kear, "Low Temperature Carburization of High Surface Area Tungsten Powders", NanoStruct. Mater. 1995 5(5), 555-569.
18. B.H.Kear, P.R.Strutt, "Chemical Processing and Applications for Nanostructured Materials", NanoStruct. Mater. 1995 6(1-4), 227-236.
19. N.C.Angastiniotis, B.H.Kear, "Bulk Synthesis of Novel Nanocrystalline and Amorphous Tungsten-Base Materials", Mater. Sci. Forum 1995, 179-181, 357-362.
20. R.S.Polizzotti, L.E.McCandish, E.L.Kugler, "Metal Article and Method for Producing the Same", U.S.Patent 5,441,553, Aug. 15, 1995.
21. C.Conner, "Meeting the Needs of the End-User Through Ultrafine Powder Technology", Presented at 7th Int. Tung. Symp., Goslar, Germany, 1996.
22. S. Wahlberg, I.Grenthe, and M.Muhammed, "Nanostructured Hard Material Composites by Molecular Engineering 1.Synthesis from Soluble Tungstate Salts", NanoStructured Materials, 9, 105-108, 1997.

23. S.Eidelman and X.Yang, "Three Dimensional Simulation of HVOF Spray Deposition of Nanoscale Materials", NanoStructured Materials, 9, 79-84, 1997.

24. R.Porat, S.Berger and A.Rosen, "Dilatometric Study of the Sintering Mechanism of Nanocrystalline Cemented Carbides", NanoStructured Materials, 7, 429-436, 1996.

25. Новик Ф.С. Математические методы планирования экспериментов в металловедении. 1–часть. – М.: 1979. – 95 с.

26. Лошак М.Г. Упрочнение твердых сплавов термической обработкой и поверхностным деформированием. Дис. д-ра техн. наук.. Институт сверхтвердых материалов АН Украины, 1992. – 499 с.

27. Чекуров В.В. Теоретические и технологические основы формирования структуры и свойств литых биметаллических композитов для инструментов различного целевого назначения. Дис. д-ра техн. наук. – Ташкент, 1991. – 375 с.

28. Херсонский А.К. Исследование и разработка технологии термической обработки изделий из твердых сплавов WC–Co, полученных методом порошковой металлургии. Дис. канд. техн. наук. – М., 1983. – 212 с.

А. Лошак М.Г. Прочность и долговечность твердых сплавов. – Киев: Наукова думка, 1984. – 328 с.

29. Нурмурадов С.Д., Чекуров, В.В., Мирсолиев М.М. Куйма биметалл матрицалар. "Электр энергиясини ишлаб чиқариш муаммолари ва машинасозлик саноатида ҳамда халқ хўжалигининг бошқа сохаларида энерготехнология" масалалари бўйича Республика илмий–техникавий анжумани. 1992. 75 – 76 б.

30. Нурмурадов С.Д. Ўта қаттиқ материалларни олишда ишлатиладиган куйма биметалл матрицалар. Ёшларнинг изланишлари ва ишлаб чиқаришнинг истиқболи". илмий мақолалар тўплами. Тош. Дав. Дорил., 1993. 3 – 4 б.

31. Гаффаров И., Нурмурадов С.Д. Литые биметаллические матрицы для прессования твердосплавных пластин: Материалы Республиканской научно-

технической конференции "Студенческий потенциал вузовской науки", 1993. С. 43.

32. Патент № 2133 от 20.01.94. Каламазов Р.У., Пирматов Э.А., Асадов И.С. и др. Способ получения металлического порошка. Бюлл. №4. Ташкент, 1994.

33. Патент № 2348. М.М. Мирсолиев, В.В. Чекуров, С.Д. Нурмуродов, Ф.Р. Норхуджаев (21) ИН DP 9400493, 1 (22) 07.05.94 (45) 30.03.95, Бюлл. № 1. (54) Каттик котишмали асбобга киздириб ишлов бериш усули.

34. Патент № 2351. В.В. Чекуров, М.М. Мирсолиев, А.М. Богомолов, Л.Г. Кабакова, Ф.Р. Норхуджаев, С.Д. Нурмуродов (21) ИН DP 9400508, 1 (22) 12.07.94 (45) 30.03.95, Бюлл. № 1. (54) Металл–сополли материал.

35. Патент № 4189 от 31.03.97. Каламазов Р.У., Пирматов Э.А., Асадов И.С. и др. Способ получения антифрикционного материала. Бюлл. № 1. Ташкент. 1997.

36. Патент №IAP 04531. 27.05.2012. Нурмуродов С.Д. и др. Способ термической обработки инструментов из быстрорежущей стали.

37. Патент №IAP 04732. 25.05.2013. Расулов А.Х., Нурмуродов С.Д. и др. Плазмохимический реактор.

38. Патент №IAP 04728. 05.05.2013. Нурмуродов С.Д. и др. Способ изготовления биметаллического режущего и штампового инструмента.

39. Асадов И.С. Применение нанопорошков молибдена для изготовления твердых сплавов и лигатур. //Техника и технология. – М, 2008. № 5. С.50–54.

40. Асадов И.С. Влияние внешних факторов на изменение фазового состава нанопорошков молибдена. //Кимёвий технология назорат ва бошқарув. 2009. № 2.

41. Асадов И.С. Разработка и техническое оформление установки для регенерирования водорода на УзКТЖМ. // Вестник ТашГТУ, 2009. № 1.

42. Асадов И.С. Применение нанопорошков молибдена для изготовления твердых сплавов и лигатур. // Техника и технология. – М., 2008. № 5. С.50–54.

43. Нурмуродов С. Мамаражабов Х. Разработка и освоение процессов восстановления окислов вольфрама на плазменной установке //Кимёвий технология, назорат ва бошқарув. –Ташкент, 2009, № 5. С. 29–32.

44. Нурмуродов С. Современное состояние проблемы получения и освоения новейших технологий производства материалов на основе нанокристаллических структур //ТошДТУ хабарлари. –Ташкент, 2010, № 1. С. 6-8.

45. Нурмуродов С., Шевлякова С. Новые композиции для обработки труднообрабатываемых материалов //ТошДТУ хабарлари. –Ташкент, 2010, № 1.С. 80–84.

46. Нурмуродов С.Д. Новейшие технологии производства материалов на основе нанокристаллических структур. Сборник научных статей.Международная научно–практическая конференция "Инновация–2009". – Ташкент, 2009. С. 98–99.

47. Нурмуродов С., Алимов З., Исламов Ш. Определение марки сплавов для изготовления магнитов к плазменной установке восстановительной. Сборник научных статей. Международная научно–практическая конференция «Проблемы формирования и внедрения инновационных технологий в условиях глобализации». – Ташкент, 2010. С.84–88.

48. Норкулов А., Шевлякова С. Твердые сплавы из нанопорошков для обработки труднообрабатываемых материалов: Материалы Республиканской научно–технической конференции «Композиционные материалы на основе техногенных отходов и местного сырья». – Ташкент, 15–15 апреля 2010 г. С. 303–304.

49. Нурмуродов С.Д. Производство вольфрамового порошко-плазменного восстановления: Материалы международной научно–технической конференции«Современные техника и технологии горно–металлургической отрасли и пути их развития».– Навои, 12–14 мая 2010 года. С. 254–255.

50. Нурмуродов С. Д, Алимов З.Б. Қийин эрийдиган металллар карбидлари асосидаги қаттиқ қотишмалар ишлаб чиқариш технологиялари. Ҳалқаро илмий анжуман илмий мақолалар тўплам. "Инновация–2010". – Ташкент, 2010. 120–123 б.

51. Нурмуродов С. Д. Исследование струйно–плазменного процесса восстановления триоксида вольфрама на укрупненной установке. Материалы международной научно–технической конференции "Современное материаловедение и нанотехнологии". – Комсомольск–на–Амуре, 2010. С 114-115.

52. Нурмуродов С., Норкулов А. Теплофизические основы структурообразования в литых биметаллических композитах: Монография. – Ташкент: Фан ва технология, 2010.-160 с.

53. Норкулов А, Нурмуродов С. Технология металлов: Ўқув қўлланма.– Ташкент: Молия ва иқтисод, 2010.-192 с.

54. Нурмуродов С.Д. Кукун қаттиқ қотишмаларидан буюмлар тайёрлаш технологияси ва уларнинг хоссалари. Ўқув қўлланма.–Тошкент, ТошДТУ, 2009.10 б.

55. Нурмуродов С.Д., Норхуджаев Ф.Р., Тилабов Б.К. Литые биметаллические композиции для штампового инструмента различного назначения.//Вестник ТашГТУ, –Ташкент, 2001. С.71-73.

56. Нурмуродов С.Д., Исломов Ш.У. Усовершенствование технологии производства буровых инструментов и пути повышения их долговечности. Республиканская научно – практическая конференция. Ташкент, 2010. С. 146-148.

57. Нурмуродов С.Д., Расулов А.Х. Исследование мелкодисперсных порошков тугоплавких металлов. //Химия и химическая технология. – Ташкент, 2012 г, №3, С.55–58.

58. Нурмуродов С.Д., Расулов А.Х. Исследование механических свойств биметаллических матриц для синтеза технических алмазов. //Химия и химическая технология. – Ташкент, 2012г, №4, С.62 – 64 .

59. Нурмуродов С.Д., Расулов А.Х. Об особенностях структуры алмаза и графита. //Композиционные материалы. – Ташкент, 2012 г, №3, С. 23 – 25 .

60. Нурмуродов С.Д., Расулов А.Х. Испытания высокопрочных металлорежущих и формообразующих инструментов в производстве. //Вестник ТашГТУ. – Ташкент, 2013г, №2 С.105 – 108.

61. Нурмуродов С.Д., Расулов А.Х. Усовершенствование технологии производства матриц для синтеза искусственных технических алмазов. //Узбекский химический журнал. – Ташкент , 2012г. №4. С.51 – 54.

62. Нурмуродов С.Д., Расулов А.Х. Внедрение технологии производства породоразрушающих инструментов из порошков карбидов и нитридов тугоплавких металлов. Международная научная конференция. «Иноватция – 2013» .–Ташкент, 2013 г, С 117–118.

63. Заявка на Патент № IAP 20130555. 30.12.2013г. А.Х. Расулов, С.Д. Нурмуродов и другие. Способ термической обработки литого биметаллического твердосплавного инструмента.

64. Y.V. Blagoveshchenskiy, A.V. Samokhin, Y.V. Tsvetkov, N.V. Alexeev, N.V. Isaeva, S.A. Kornev , Y.I. Melnik. Nanopowders of WC-Co system with different inhibitor additions manufacturing by plasmochemical process. 17 Plansee Seminar – International Conference on High Perfomance P/M Materials. Reutte, Austria, May 25-2-, 2009, Vol.3, GT 23/1-5.

65. Samokhin A.V., Alexeev N.V., Kornev S.A., Tsvetkov Yu.V., W-C nanosized composition synthesis and characterization, 19th International Symposium on Plasma Chemistry (ISPC-19), Bochum, Germany, July 25 - 31, 2009.

66. Цветков Ю.В., Самохин А.В., Алексеев Н.В., Благовещенский Ю.В. Физикохимия и технология плазмохимического синтеза нанопорошков элементов и соединений. II-й международный форум по нанотехнологиям, Москва, 5-8 октября, 2009 г., с.498-500.

67. Цветков Ю.В., Самохин А.В. Плазменная нанопорошковая металлургия, "Мир Техники и Технологий", №7 (2009)., с.40 - 43.

68. Николаев А.В., Цветков Ю.В., Николаев А.А., Кирпичёв Д.Е. Системные факторы индустриального развития, определяющие перспективу металлургии будущего. Сборник докладов III Международной конференции «Металлургия – ИНТЕХЭКО – 2010», М., ООО «ИНТЕХЭКО», 2010, с. 4 – 5.

69. Нурмуродов С.Д. Нанокукунлар ишлатиладиган янги конструкция материаллар. “Замонавий машинасозликнинг илмий-техник муаммолари” Республика илмий-амалий анжумани.–Тошкент, 2010. 26 б.

70. Нурмуродов С.Д. Взаимодействие лазерного излучения с веществом. Тепловой расчет плазменного реактора. Международная научно – техническая конференция. “Современное состояние и перспективы развития энергетики” Ташкент, 2011.С.117-121.

71. Нурмуродов С. Д. и др. Основы порошковой металлургии. Методические указания. –Ташкент, ТашГТУ, 2013. -23 с.

72. Расулов А.Х., Нурмуродов С.Д. и др. Композиционные материалы. Методическое пособие. –Ташкент, ТашГТУ, 2014. -38 с.

73. Нурмуродов С. Д., Алимов З.Б. Мини-плазма-ёй курилмасида янги конструкция материаллар олиш технологияси. Ҳалқаро илмий анжуман илмий мақолалар тўплам. "Инновация–2011". – Ташкент, 2010. 190–192 б.

74. Нурмуродов С. Д., Расулов А.Х. Сунъий техник олмос олишда ишлатиладиган матрицалар учун Мо-TiC-сталь 40ХНМФЛ композицияси бириктириш қисми параметрларини оптималлаш. Ҳалқаро илмий анжуман илмий мақолалар тўплам. "Инновация–2012". – Ташкент, 2012. 35–40 б.

75. Нурмуродов С.Д., Расулов А.Х. Внедрение технологии производства породоразрушающих инструментов из порошков карбидов и нитридов тугоплавких металлов. Международная научная конференция. «Инновация – 2013» .–Ташкент, 2013. С. 117–118.

76. Нурмуродов С. Д. Нанокукунлар ишлатилган янги конструкция материаллар. Республика илмий-амалий анжумани илмий мақолалар тўплам. – Ташкент, 2010. 26–27 б.

77. Нурмуродов С.Д. Взаимодействие лазерного излучения с веществом. Тепловой расчет плазменного реактора. Сборник трудов. Международная научно-техническая конференция «Современное состояние и перспективы развития энергетики» Том II. – Ташкент, 2011.С. 117-121.

78. Расулов А.Х., Нурмуродов С.Д. Создание конструкционных материалов с использованием ультрадисперсных порошков вольфрама: Монография - Ташкент, ТашГТУ, 2015. 168 с.

79. Alisher K. Rasulov, Salokhiddin D. Nurmurodov, Nodir D. Turahadjaev, Kudratkhon G. Bakhadirov. Development of New Structural Materials with Improved Mechanical Properties and High Quality of Structures through New Methods Canadian Journal of Materials Science Research, Vol. 5, No. 3, 2016, pp 52 - 58. [Амерка мамлакатлари №5].

80. Alisher K. Rasulov, Salokhiddin D. Nurmurodov, Nodir D. Turahadjaev, Kudratkhon G. Bakhadirov. Development of New Structural Materials with Improved Mechanical Properties and High Quality of Structures through New Methods Using New Type of Plasma Chemical Reactor. American Journal of Materials Engineering and Technology Vol. 3, No. 3, 2015, pp 58 -62. . [Амерка мамлакатлари №5].

81. А.Х. Расулов, С.Д. Нурмуродов, Қ.Ф. Баходиров. Материалшунослик ва конструкцион материаллар технологияси. Дарслик. – Тошкент, «Fan va texnologiya» nashriyoti, 2015 й. 243 бет.

82. А.Х. Расулов, С.Д. Нурмуродов, Қ.Ф. Баходиров. Конструкцион материаллар технологияси. Дарслик. – Тошкент, «Fan va texnologiya» nashriyoti, 2015 й. 270 бет.

83. Расулов А.Х. Технология изготовления твердосплавного инструмента с оптимальным сочетанием прочности и пластичности. //Вестник ТашГТУ. – Ташкент, 2015 г Спец. выпуск. С. 127 – 133. [Миллий нашр №16].

84. А.Х. Расулов, С.Д. Нурмуродов, Х.Н. Эшматов. Вольфрамнинг ультрадисперс кукунларидан қаттиқ қотишмали буюмлар ишлаб чиқариш

технологияси. “Композицион материаллар” журнали “Фан ва тараққиёт” ДУК 2015 йил № 3 сони 58 – 60 бетлар.[Миллий нашр №13].

85. А.Х. Расулов. Экстремал шароитда ишлайдиган Mo-TiC-Ni-W-Fe системали қотишмалардан асбоблар ишлаб чиқариш технологиясини тадбиқ қилиш.// Вестник ТашГТУ. –Ташкент, 2015 г.№2. С. 160 – 164. [Миллий нашр №16].

86. Расулов А.Х., Нурмуродов С.Д. Технология изготовления спирального сверла с каналами подвода смазочно-охлаждающей жидкости.//Вестник ТашГТУ. –Ташкент, 2014. № 3. С. 103-107. [Миллий нашр №16].

87. Расулов А.Х. Технологии производства литых биметаллических композиций и увеличение их долговечности путём выбора оптимальных режимов термической обработки. // Композиционные материалы. – Ташкент, 2014 г, №3, С. 30 – 32. [Миллий нашр №13].

88. S.D. Nurmurodov, A.X. Rasulov, U.N. Ruziev. / Ekstremal sharoitlarda ishlatiladigan qattiq qotishmali metall kompozitlar va ularni termik ishlash: Monografiya - Toshkent, ToshDTU, - 180 b.

89. А.Х. Расулов. Создание модельного аппарата, позволяющего качественно и количественно определять дисперсность получаемого металлического порошка. // Вестник ТашГТУ. – Ташкент, 2016 г. № 1. С. 105-109. [Миллий нашр №16].

90. А.Х.Расулов, С.Т. Джалолова, С.Юлдашев. Методы получения композиционных материалов. // Композиционные материалы. – Ташкент, 2016 г, №3, С. [Миллий нашр №13].

91. А.Х. Расулов, С.Д. Нурмуродов. Сунъий техник олмос олишда ишлатиладиган матрицалар учун Mo-TiC-сталь 40XHMФЛ композицияси бирикиш қисми параметрларини оптималлаш. Ҳалқаро илмий анжуман илмий мақолалар тўплам. "Инновация–2012". – Ташкент, 2012 г. 35–40 б.

92. Расулов А.Х. Технология производства ролика вводной коробки клетки. Материалы научно-практической конференции. Композиционные материалы. Ташкент, 26-27 сентября 2012 г. Стр.117-118.2-бет

93. Расулов А.Х., Нурмуродов С.Д. Технология восстановления изношенных деталей почвообрабатывающих машин. Материалы XX–ой международной научно-практической конференции. «Инновация-2015».Ташкент,23-24 октября 2015 г. Стр. 141-142.

94. ¹R.N.Saidahmedov prof., ²K.G.Bahadirov senior researcher, A.Kh. Rasulov senior researcher. Powder metallurgy and its application to asymmetric rolling machines. ТошкентХалқаро ИнновационФоруми 2015 йил 19-21 май VIII Респуб. Ярмаркаси тўплами. 160-165 бетлар.

95. Расулов А.Х. и другие. Разработка технологии производства нового спеченного сплава Мо-TiC. Материалы VМеждународной студенческой научно-практической конференции. Омск, 4-10 апреля 2016г. Стр. 138-142.

96. Расулов А.Х. и другие. Способ термической обработки литого биметаллического твердосплавного инструмента. Материалы VМеждународной студенческой научно-практической конференции. Омск, 4-10 апреля 2016г. Стр. 432-436.

97. А.Х. Расулов, Қ.Ғ. Баходиров. Минералокерамик ва металллокерамик материаллар тайёрлаш технологияси.Республиканская научно-техническая конференция.–Андижан, 15-16 апреля 2016 г, 506-509 бет.

98. А.Х. Расулов, Қ.Ғ. Баходиров. Қаттиқ қотишмаларни тайёрлаш технологияси. Техника ва технологиянинг долзарб муаммолари, уларнинг энерготежамкор ва инновацион ечимлари ”Республика илмий-техник анжумани материаллари,I-қисм,Фарғона 2016 йил 20-22 апрель, 51-53 бет.

99. Бахадиров К.Г., Расулов А.Х., Халимжонов Т.С. (ТашГТУ).Оценки расчета данным симметричной и асимметричной прокатки на участке выплавки и разливки. // Композиционные материалы. – Ташкент, 2016 г, №2, С. [Миллий нашр №13].

100. Заявка на Патент № IAP 20160056. 24.02.2016 г, Расулов А.Х. и другие, Металлокерамический материал.
101. Расулов А.Х., Нурмуродов С.Д., Бахадиров К.Г. Внедрение технологии производства резцов типа РС-14 проходческо-очистных комбайнов. Материалы XXI-ой международной научно-практической конференции. «Иновация-2016».Ташкент,23-24 октября 2016. С. 152 - 153.
102. P.W. Lee, “Powder Metal Technologies and Applications”, ASM Handbook Vol. 7, 2007.
103. Introduction to Powder Metallurgy http://www.epma.com/New_non_members/selecting_pm.htm. Retrieved on 15th October, 2009.
104. Demand drop from automakers still cutting shipments this year. http://www.purchasing.com/article/307676Metal_powder_shipments_dropped_to_25_year_low_in_2008.php. Retrieved on 15th October 2009.
105. O. Coovattanachai, et al. Analysis of compaction and sintering of stainless steel powders – Chiang Mai J. Sci. 2006; 33(2) : 293 – 300.
106. G.S.Upadhyaya, Powder metallurgy technology, Cambridge Intl, 2002.
107. L. K. Suk-Joong; Sintering: Densification, Grain growth and Microstructure, Elsevier, oxford, 2005.
108. Inagaki &Kang, Materials Science and Engineering of Carbon: Fundamentals, 2nd Edition, Elsevier 2014.
109. Callister William D., Materials science and engineering, Wiley and Sons UK, 2015.
110. T. Fischer, Materials Science for Engineering Students, 1st Edition, Elsevier 2008.
111. E.Machlin, An Introduction to Aspects of Thermodynamics and Kinetics Relevant to Materials Science, 3rd Edition, Elsevier Science 2007.
112. Alisher K. Rasulov, Kudratkhon G. Bakhadirov,Umarov Erkin Adilovich. Implementation of technology production of composite tools of super-hard materials.

European Sciences review. Vol. № 5-6. 2016.Pp 25-27.Vienna (Австрия). [Европа мамлакатлари (05.00.00. №3)].

113. Alisher K. Rasulov, Kudratkhon G. Bakhadirov, Umarov Erkin Adilovich. Features of sheet metals” symmetrik and asymmetric rolling. European Sciences review. Vol. № 7-8. 2016.Pp 24-25.Vienna (Австрия). [Европа мамлакатлари (05.00.00. №3)].

114. Нурмуродов С.Д., Расулов А.Х., Умаров Э.А., Зиямухамедова У.А. Создание модельного аппарата позволяющего качественно и количественно предсказывать дисперсность получаемого спеченного порошкового молибденового сплава системы Мо-Tiс-Ni-W-Fe. Журнал Вестник гражданских инженеров Санкт Петербург (Россия) –№ 4, 2016. 162-166 стр. (05.00.00. №)

115. Авторское свидетельство № 1430132, В 21С25/02, 1988 г.

116. Авторское свидетельство № 2351, С22С 27/04, оп.30.03.95 БИ №1.

117. Расулов А.Х., Халимжонов Т.С. Технологии производства породоразрушающих инструментов извысокодисперсных порошков тугоплавких металлов.// Композиционные материалы. – Ташкент, 2017 г, № 4. Стр. 80-81.

118. Расулов А.Х., Нурмуродов С.Д., Алланазаров А.А. Оғир шароитда ишлайдиган қаттиқ қотишма ва нитрид бор асосида композитлар. КОМПОЗИТСИОН МАТЕРИАЛЛАР ilmiy-texnikaviy va amaliy jurnali №3/2018 102-103 б.

119. Аманова Ш.Л., Расулов А.Х. Выбор метода плазменно-искрового спекания для получения медно графитовых композитов. Техника юлдузлари ТошДТУ, 2019 йил, 5 бет.

120. Расулов А.Х., Нурмуродов С.Д., Алланазаров А.А., Нормуродов У.Э. Инструментальные сверхтвердые композиционные материалы. SCIENCE, RESEARCH, DEVELOPMENT, Barselona, April 2019, pp 305 -307.

121. Rasulov. A Kh., Allanazarov A.A., Rasulova Sh. A. Manufacturing of Forming Tools with the Combination of Strength and Plasticity by Using Powders of Fused Metals Working in Extreme Conditions. International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology Vol. 6, Issue4, April 2019, pp 8839 -8843.

122. Аманова Ш.Л., Расулов А.Х. Шакл берувчи асбобларни тайёрлаш учун металлларнинг нанокристалл карбид ва оксидларини киритиш билан қаттиқ қотишмалар олиш технологиясини ишлаб чиқиш. “МАШИНАСОЗЛИК” илмий хабарномаси. Андижон, 2019 йил №2 сони 95-100 бетлар.

123. Расулов А.Х., Халимжонов Т.С., Расулова Ш.А., Икромов Ж.Т., Бекжонова В.Б. Создание математической модели, позволяющей предсказывать дисперсность получаемого порошка тугоплавкого металла. I-ая Международная научно-практическая конференция ЛИТЬЕ И МЕТАЛЛУРГИЯ. 15-16 ноября 2018 года. Стр. 108-109.

124. Нурмуродов С.Д., Расулов А.Х., Рузиев У.Н., Алланазаров А.А., Нормуродов У.Э. МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ. Заявка на Патент № IAP 20190154. 18.04.2019 г.

125. Расулов А.Х., Икромов Ж. Янги таркибли қаттиқ қотишмалар олиш технологияларини ишлаб чиқаришга жорий этиш. “Фан ва техника тараққиётида интеллектуал ёшларнинг ўрни” Республика илмий-техникавий анжумани МАЪРУЗАЛАР ТЎПЛАМИ Тошкент 2019 йил, 264-265 бетлар.

Расулов Алишер Хакимович
Нурмуродов Салоҳиддин Дусмурадович
Алланазаров Акмал Абдурразакович

**ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ТВЕРДОСПЛАВНЫХ
ФОРМООБРАЗУЮЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ МЕТОДОМ
ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ**

Редактор: А.С. Григорьянц

Технический редактор: С.Б. Абдукаримова

Подписано к печати _____ 2020г. Формат 60x84 1/16.

Объем 8.0 п.л. Тираж 50 экз. Заказ № ____.

Отпечатано в типографии ТГТУ. Г. Ташкент. ул. Талабалар 54.