

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра «Оборудование и технологии машиностроительного производства»

(наименование)

15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение

машиностроительных производств»

(код и наименование направления подготовки)

Организация машиностроительного производства

(направленность (профиль))

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)

на тему Увеличение ресурса твердосплавного режущего инструмента
методом термогидрохимической обработки

Студент

А.Г. Бачинский

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный

канд. техн. наук, доцент Н.Ю. Логинов

руководитель

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2021

Содержание

	Стр.
Введение.....	3
1 Литературный обзор.....	4
2 Подготовка поверхностей к нанесению на них покрытий.....	34
3 Исследования образцов, упрочненных методом термогидрохимической обработки.....	38
3.1 Трибологические исследования.....	38
3.2 Исследования поверхностного натяжения упрочняющего покрытия.....	41
4 Производственные испытания режущего инструмента с покрытием.....	45
4.1 Испытания сверл малого диаметра.....	45
4.2 Испытания пластин токарных резцов.....	47
5 Контроль качества упрочненной поверхности инструмента.....	53
Заключение.....	62
Список используемой литературы.....	63
Приложение А. Публикации.....	67

Введение

На сегодняшний день в машиностроении очень большое внимание уделяется упрочнению металлорежущего инструмента. Целью этого является повышение износостойкости инструмента. С экономической точки зрения это объясняется тем, что в технологических операциях со снятием стружки большая доля расходов приходится на переточку и замену режущего инструмента. Увеличение же ресурса этого инструмента позволит сократить расходы на покупку или производство инструмента, а также снизить временные затраты, направленные на переточку инструмента на машиностроительном предприятии.

Сейчас в промышленности режущий инструмент изготавливается из трех типов материалов: твердых сплавов, керамики и инструментальных сталей. В нашей работе отдадим приоритет твердым сплавам. Твердые сплавы в инструментальном производстве начали использовать еще в XX веке. В советское время широкое применение нашли твердые сплавы типов ВК, ТК и ТТК. В современном машиностроении широко применяются так называемые везвольфрамовые твердые сплавы, сплавы с мелкозернистой структурой и другие.

Одним из перспективных направлений развития металлообработки резанием является, так называемая сухая обработка, которая осуществляется при отсутствии смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ). Перспективным это направление является ввиду его большей экологичности. В отсутствие СОЖ в машиностроительном цехе не появляются вредные газы, вызванные испарением СОЖ при высокотемпературном процессе резания металлов.

1 Литературный обзор

Существует множество методов повышения износостойкости твердосплавного инструмента. Их условно можно разделить на три группы [1]. Методы с разделением на группы представлены на рисунке 1.

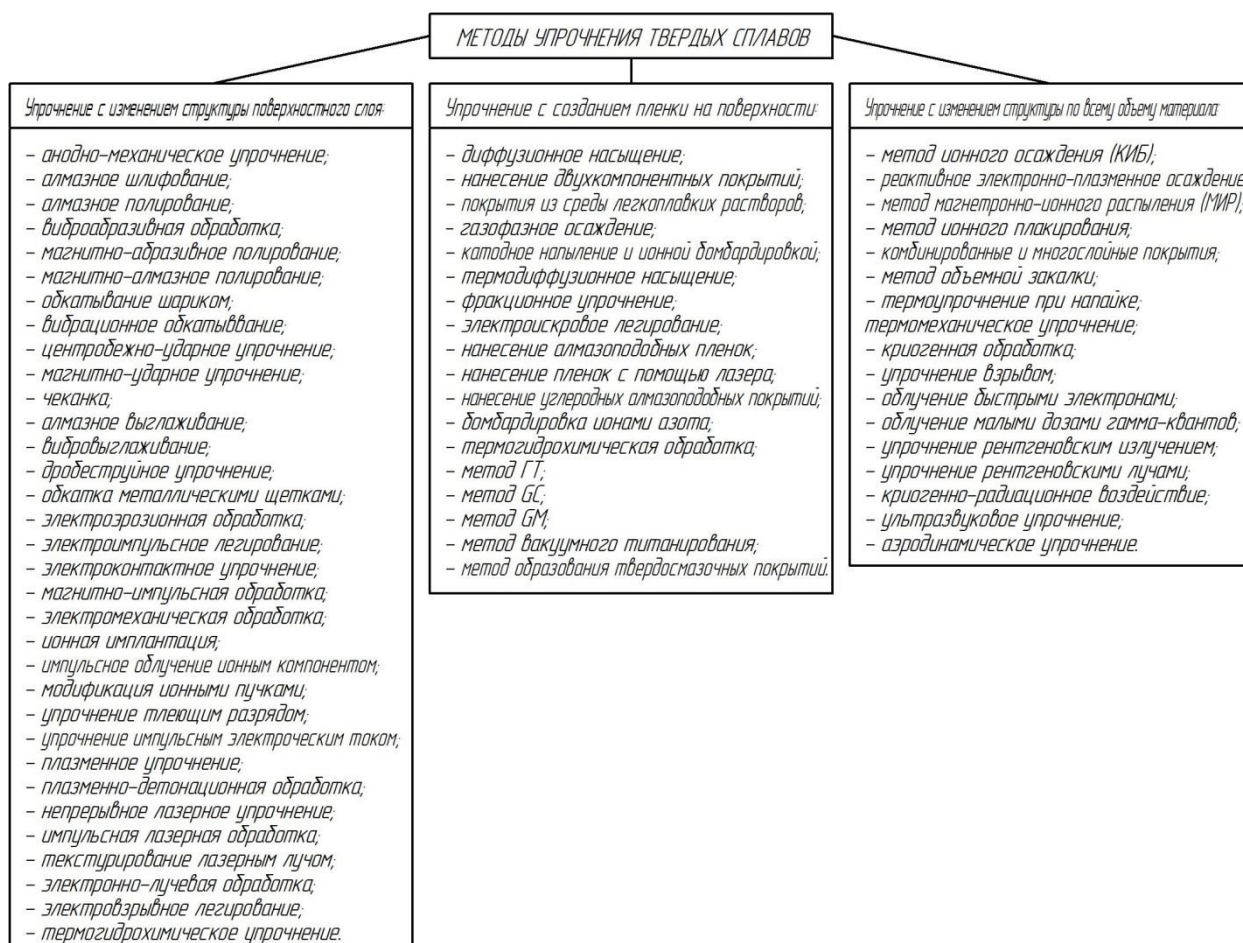


Рисунок 1 – Методы упрочнения твердых сплавов

Из всего многообразия методов увеличения износостойкости твердосплавного режущего инструмента, который работает при отсутствии смазочно-охлаждающих жидкостей, наиболее подходящим является метод термогидрохимической обработки, так как этим методом не изменяются форма и размеры инструмента, этим методом формируются наноструктурированные покрытия, обладающие твердосмазочными

свойствами (сверхпластичностью) и этот метод является низкотемпературным и простым по исполнению.

Методы упрочнения твердосплавного режущего инструмента условно можно разделить на три группы [1]:

- 1) термическая обработка;
- 2) нанесение покрытий;
- 3) механическая обработка (алмазная обработка).

При алмазном шлифовании твердых сплавов (рисунок 2) происходит искажение кристаллической решетки и дробление блоков поверхностного слоя инструмента.

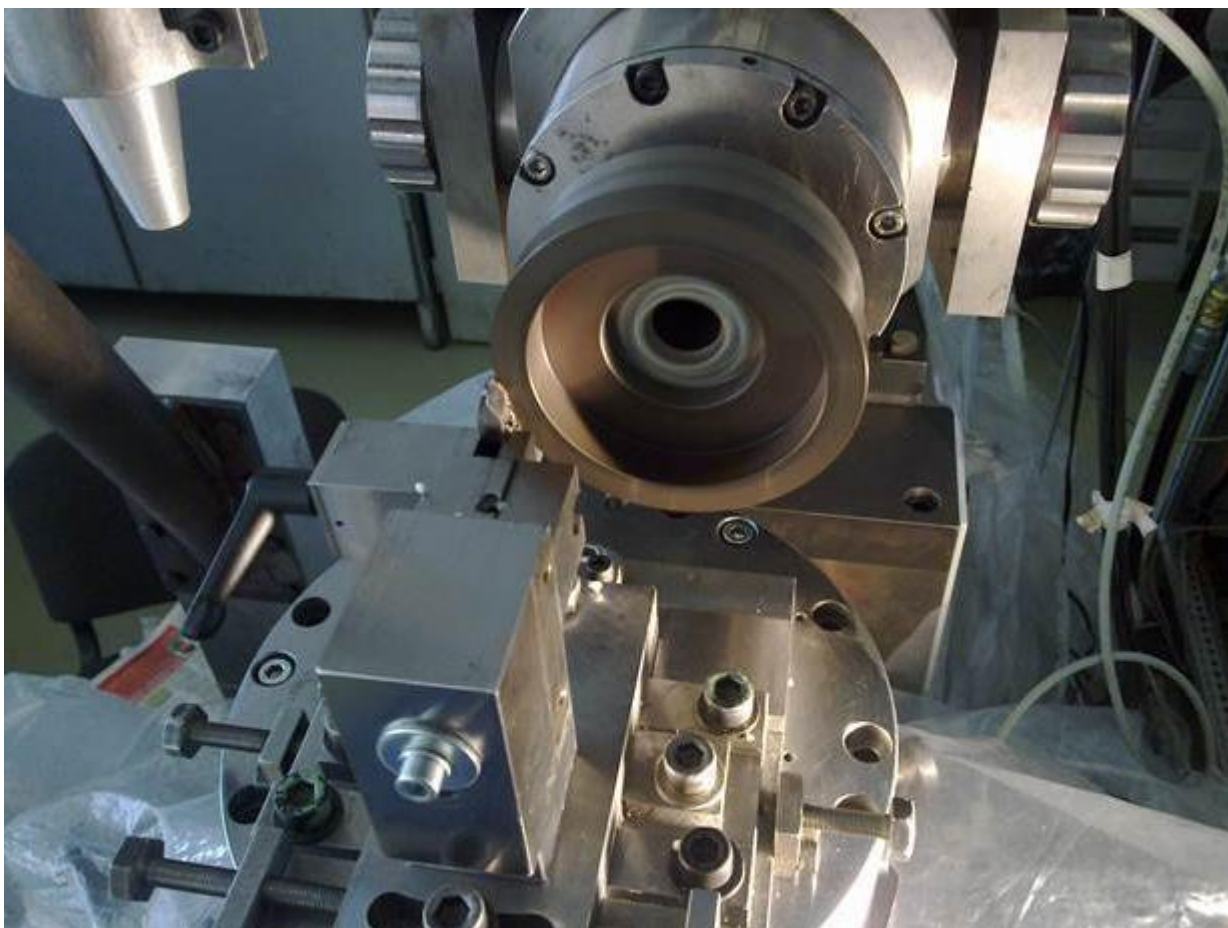


Рисунок 2 – Алмазное шлифование твердосплавного инструмента

Авторами [9] описано, что стойкость режущего инструмента, шлифованного алмазным кругом в 1,7 раза больше, чем стойкость нешлифованного инструмента. Результаты исследования свойств режущего инструмента из различных твердых сплавов представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Результаты исследования свойств режущего инструмента из различных твердых сплавов

Твердый сплав	$\sigma_{изг}$, Н/мм ²		Прирост $\sigma_{изг}$, %	КСУ, Дж/см ²		Прирост КСУ, %
	После шлифования	До шлифования		После шлифования	До шлифования	
ВК25	2670	2320	15	0,64	0,51	25
ВК20	2650	2160	22	0,54	0,44	22
ВК8В	1990	1640	21	0,28	0,26	8
ВК15	2610	1740	50	0,45	0,31	45
ВК8	2000	1870	7	0,36	0,30	20
ВК6	1810	1570	15	0,23	0,18	28

Исследованиями установлено, что при шлифовании с малым припуском происходит значительное искажение кристаллической решетки материала, а также дробление блоков в структуре. [1]

Для увеличения прочности твердых сплавов применяется вибрационная обработка в сочетании с алмазным шлифованием. При определенных условиях $\sigma_{изг}$ увеличивается на 25...50%, что увеличивает эксплуатационную стойкость твердосплавного режущего инструмента в 1,3 раза и оказывает экономический эффект. [8]

Еще одним методом упрочнения твердых сплавов (рисунок 3) является дробеструйная обработка, заключающаяся в бомбардировке обрабатываемой поверхности дробью. Это формирует поверхностный наклеп и упрочняет обрабатываемую поверхность. На поверхности, таким образом, формируются остаточные напряжения сжатия, которые, например, у самой поверхности сплава ВК15 [8] доходят до значений 1800 Н/мм². Для сравнения в состоянии

после спекания у твердого сплава остаточные напряжения на поверхности были 500 Н/мм^2 .



Рисунок 3 – Дробеструйная обработка

Распространены способы увеличения прочности твердого сплава методами термической обработки. Здесь оказывают температурное воздействие, которое приводит к дроблению зерен, что изменяет физико-химические свойства сплавов. В большинстве случаев сплавы термически обрабатывают двумя следующими способами:

- 1) нагревают до температур $800 \dots 1250^\circ\text{C}$ с последующим охлаждением, причем охлаждение проводят в различных средах;
- 2) производят отпуск или отжиг при температурах $600 \dots 1250^\circ\text{C}$ продолжительностью в несколько часов.

Термически возможно воздействовать и на связующий элемент, который скрепляет зерна в твердых сплавах (чаще всего им является кобальт).

Концентрация связующего элемента в сплавах различается в зависимости от способа изготовления сплава.

Качественно улучшенные физико-механические свойства твердых сплавов можно получить, воздействуя на них высококонцентрированными тепловыми источниками, такими как лазеры (рисунок 4). При этом можно достичь более высоких показателей твердости сплавов, их прочности и вязкости.

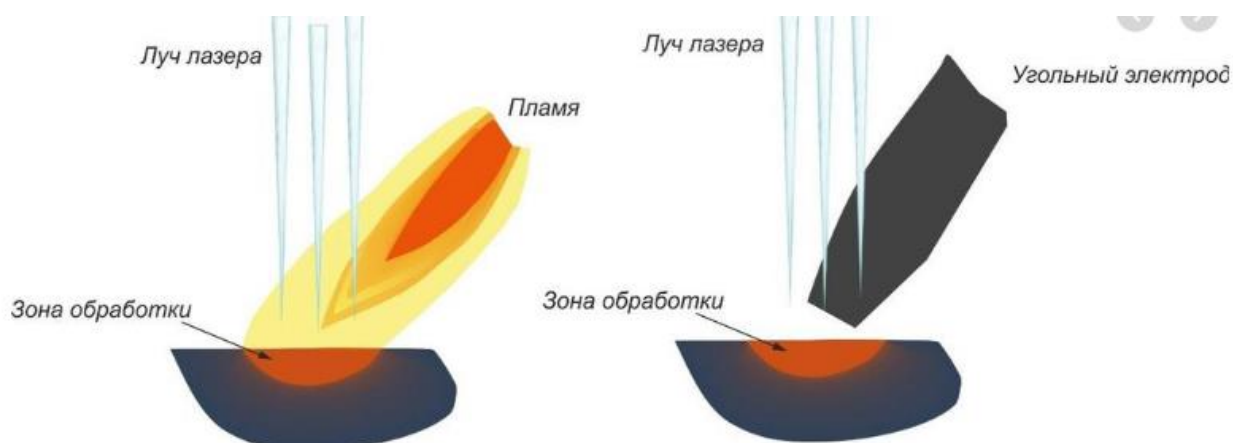


Рисунок 4 – Лазерное упрочнение

При лазерном нагреве поверхностного слоя твердых сплавов изменяется структура только поверхности, тогда как структура основного материала остается прежней. Это в некоторых случаях становится выгодным явлением. [4, 5]

Еще одним, наиболее выгодным способом упрочнения твердых сплавов, является нанесение покрытий.

Авторами [14, 24] обозначено, что наилучшими химическими соединениями, уменьшающими трибологические свойства поверхностного слоя инструмента, являются сульфиды и оксиды. Наиболее предпочтительными являются оксиды, так как они образуются естественным путем на граничных слоях любого материала в воздушной среде. При

определенных условиях создание оксидных пленок на поверхности детали создается поверхностное упрочнение (возникает эффект Роско). В присутствии поверхностно-активных веществ (ПАВ) снижается сопротивление сдвигу при трении. Это так называемый эффект Ребиндера.

В работе [14] исследовались образцы из твердых сплавов ВК6 и Т15К6, подверженных гидрохимической обработке. Сначала образцы подвергались гидрохимической обработке при температуре 95...100°С длительностью 40...120 минут в вододисперсной среде на базе наноразмерных оксидных порошков. Затем образцы подвергались термической обработке при температуре 130...1050°С в течение 30...60 минут. Результаты исследований [14] представлены на рисунках 5 и 6.

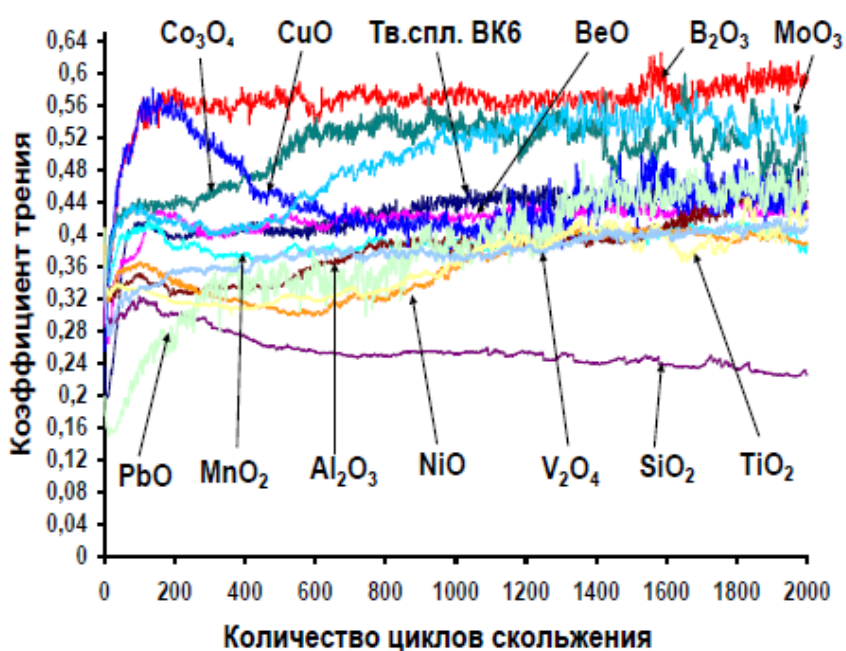


Рисунок 5 – Анализ изменения коэффициента трения образцов из твердого сплава ВК6, подверженных гидрохимической обработке

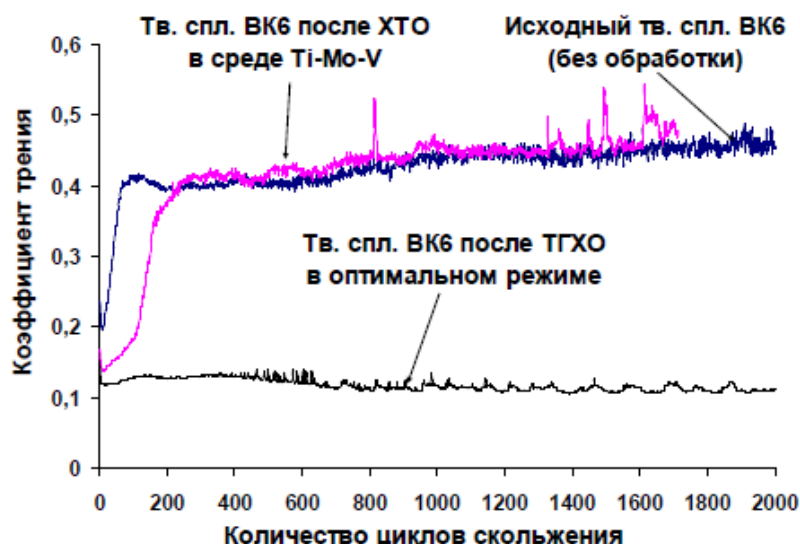


Рисунок 6 – Анализ изменения коэффициента трения образцов из твердого сплава ВК6, от длительности изнашивания до и после ТГХО

В результате проведенных исследований авторами [14] сделан вывод о том, что после проведения ТГХО полученные износостойкие покрытия имеют низкий коэффициент трения ($f = 0,106$).

В таблице 2 представлены результаты рентгеновского анализа образцов из сплавов ВК6 и Т15К6.

Таблица 2 - Данные рентгеновского анализа образцов из сплавов ВК6 и Т15К6

Материал	Режим обработки	2θ , град	Фаза (линия)	σ , МПа	Плотность дислокаций, 10^9 см^{-2}
ВК6	ТГХО	117,25	WC (211) [25-1047]	-210	1,97629
	Исх.	117,30		-71	1,96186
Т15К6	ТГХО	117,26	WC (211) [25-1047]	-235	2,47587
	Исх.	117,30		-120	1,84246

Результаты рентгеновских исследований показали, что после ТГХО количество дислокаций образцов существенно не изменяется.

Таким образом, [14] сделан вывод, что испытания режущих инструментов после ТГХО показали увеличение стойкости в 1,3...4,0 раз.

В источнике литературы [11] описывается, что при термогидрохимической обработке на поверхности инструментов из различных материалов (стали, сплавы) осаждаются антифрикционные твердосмазочные покрытия, способствующие снижению коэффициента трения инструментов об обрабатываемый материал.

«Покрyтия приобретают твердосмазочные свойства в случае, когда а) созданы из материалов со слоистой поликристаллической структурой (графит, сульфиды, др.); б) сформированы на основе наноструктурированных тугоплавких и сверхтвердых материалов; в) реализуется теория Берналла, согласно которой любое твердое тело приобретает свойства жидкости, если в кристаллической решетке содержится более 10 % вакансий; г) реализуется эффект Ребиндера, в результате чего происходит пластифицирование поверхностного слоя и создание положительного градиента механических свойств в зоне трения; д) реализуется эффект Киркиндала, который приводит к селективному растворению из сплава легирующих элементов вследствие различия их электрохимических потенциалов и формированию квазижидкой пленки, снижающей коэффициент трения и фрикционный разогрев». [11]

Авторы [11] описывают, что для формирования математической модели процесса ТГХО удобно использовать методологический подход, называемый многомерным проектным синтезом технологической системы. Результаты исследований представлены на рисунках 7 и 8.

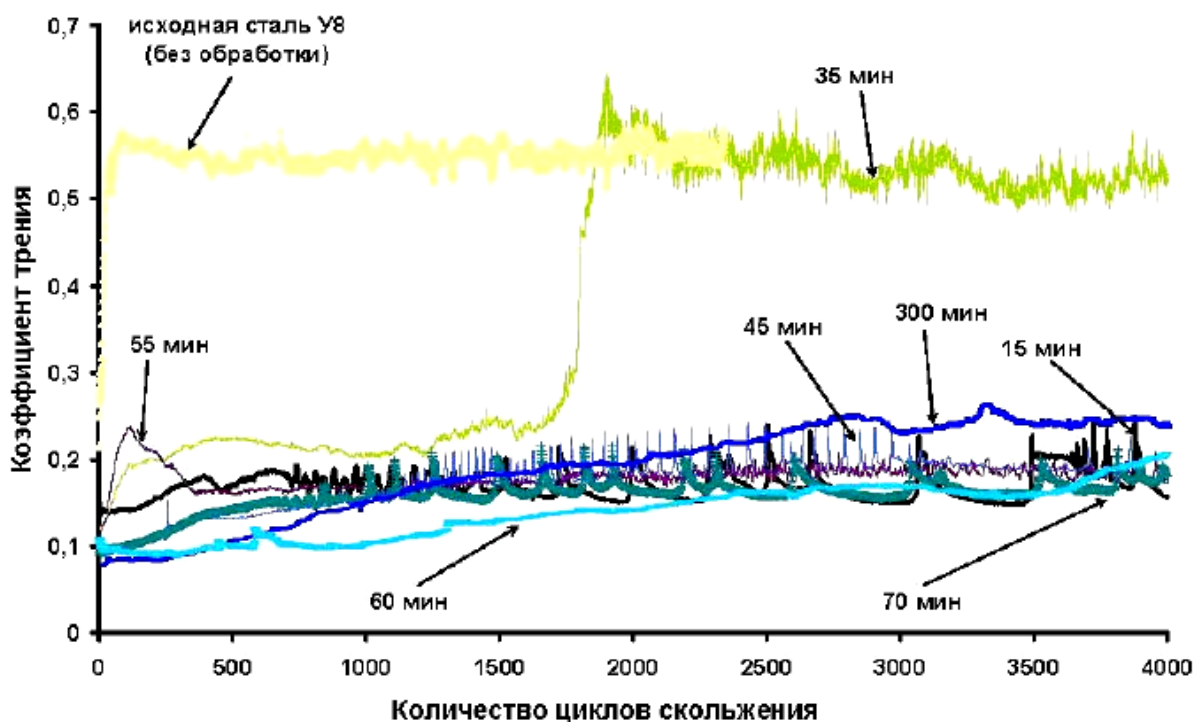


Рисунок 7 - Зависимость коэффициента трения стали У8 от параметров процесса ТГХО без отпуска при температуре 100°C

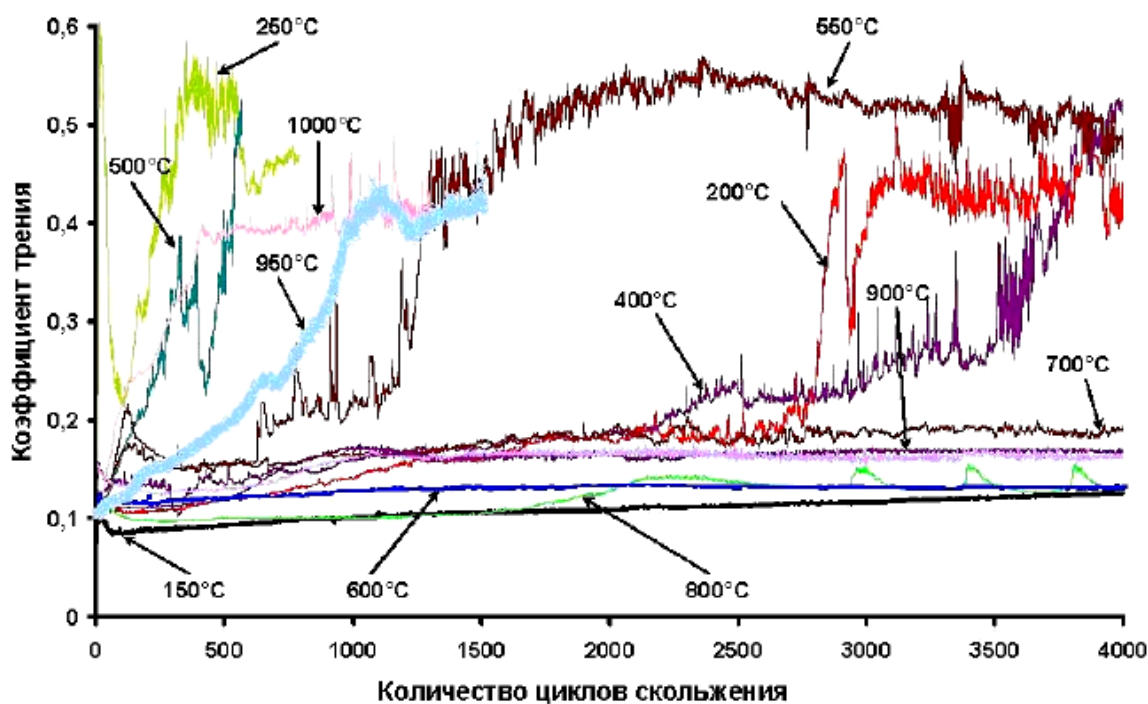


Рисунок 8 - Зависимость коэффициента трения стали У8 от параметров процесса ТГХО с отпуском при температуре 100°C

Результаты трибологических испытаний образцов из стали У8 представлены на рисунке 9.

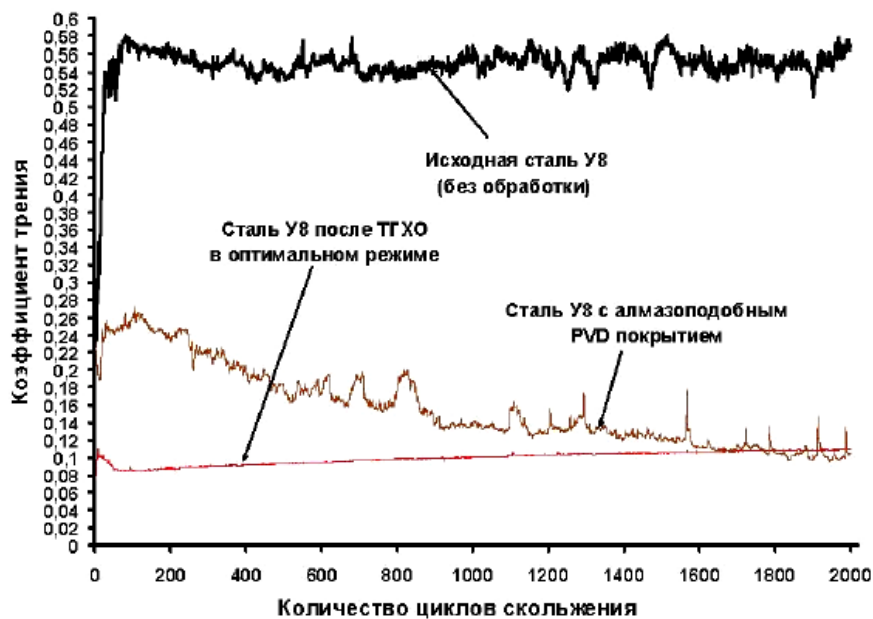


Рисунок 1.9 - Результаты трибологических испытаний образцов из стали У8

Из рисунка 9 видно, что образец, подвергавшийся ТГХО в среде гидрозоля *SiC* имеет наиболее низкий стабильный коэффициент трения в отличие от образцов с алмазоподобным PVD покрытием и образцов без покрытия.

Производственные испытания инструмента представлены в таблице 3.

Таблица 3 - Производственные испытания инструмента с покрытием, выполненным ТГХО

Вид инструмента	Инструментальный материал	Повышение стойкости инструмента K_W
Ножи для обработки стекловолокна	Быстрорежущие стали	1,9...2,2
Фрезы		2...8
Долбяки		1,6...2,1
Резцы		1,3...1,9
Протяжка		2...2,5
Развертки		1,5...2,7
Зенкеры		1,8...3
Сверла		1,8...2,9
Ленточные пилы		2,5...3
Метчики		1,7...4,5

Производственные испытания обработанного ТГХО инструмента показали стабильное увеличение стойкости различного инструмента, поэтому авторами [11] рекомендуется проведение данных мероприятий с целью получения экономической выгоды.

Авторы [21, 22] утверждают, что наилучшими свойствами обладают твердые сплавы с метастабильными микроструктурами. К таким состояниям материалы можно привести двумя путями: созданием избыточной свободной энергии внешней и внутренней поверхности раздела материала инструмента или созданием избыточной свободной энергии материала и окружающей среды.

В работах [16, 25] представлены результаты исследования обработки ТГХО твердого сплава ВК6. Результаты представлены на рисунке 10.

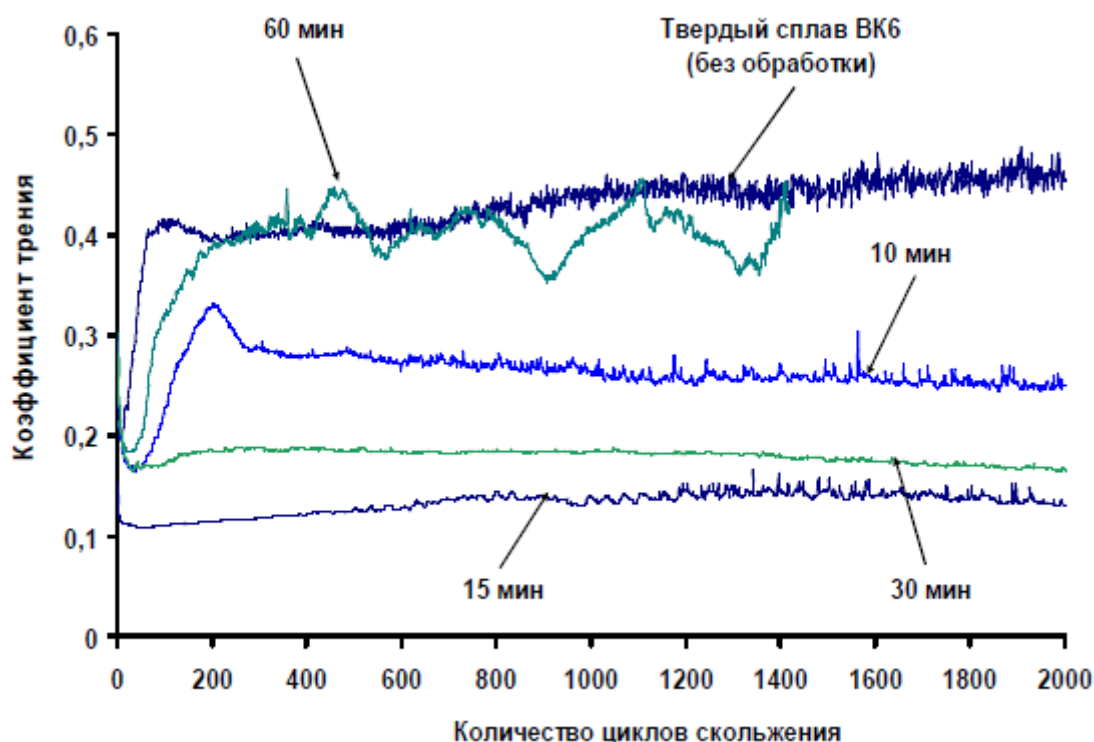


Рисунок 10 – Зависимость коэффициента трения образцов из твердого сплава ВК6 от времени обработки ТГХО при сухом трении

В результате авторами [16] сделан вывод о том, что коэффициент трения образцов из ВК6 снизился с уровня 0,4...0,44 до значения 0,106, что соответствует снижению в 3,8...4,1 раза.

В источнике [2, 11] авторами описывается, что при ТГХО в твердых сплавах формируется два типа композиционной структуры: одна состоит из макроэлементов с различными свойствами (рисунок 11, *а*), а другая является нанокомпозитной (рисунок 11, *б*). Первая образуется при всех режимах ТГХО, а вторая – только после гидрохимического нагрева покрытия до температуры свыше 500°С. В последней сочетаются нанокомпозитные и поликомпозиционные зерна. Такая структура наиболее выгодна, так как при этом стойкость инструмента наибольшая.

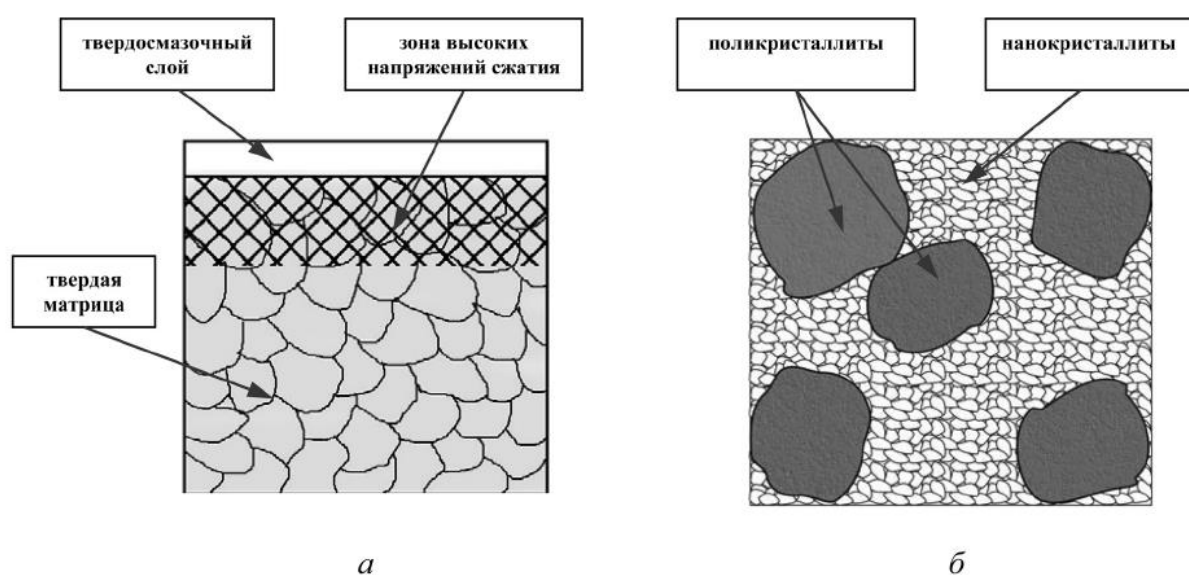


Рисунок 11 – Структуры твердых сплавов после ТГХО: *а* – структура, состоящая из макроэлементов с различными свойствами; *б* – нанокомпозитная структура

В заключении [12] говорится о существенном повышении (в 3,8 раза) стойкости инструмента из твердого сплава ВК6, упрочненного ТГХО на оптимальных режимах. Также указано, что данный процесс внедрен в ведущие действующие машиностроительные предприятия Белоруссии.

Авторами [13, 23] выполнено математическое моделирование процесса ТГХО. В основу создания математической модели положен метод многомерного проектного синтеза технологической системы. Применение этого метода имеет следующие преимущества:

а) он позволяет находить оптимальный вариант, который бы обладал максимальной устойчивостью к действию дестабилизирующих процессов на производстве;

б) применение метода наглядно дает картинку протекания процессов в материале, в итоге можно выбрать области, где процессы протекают наиболее стабильно;

в) выделять области оптимальных режимов протекания процесса ТГХО.

На рисунке 12 представлены результаты математического моделирования процесса ТГХО.

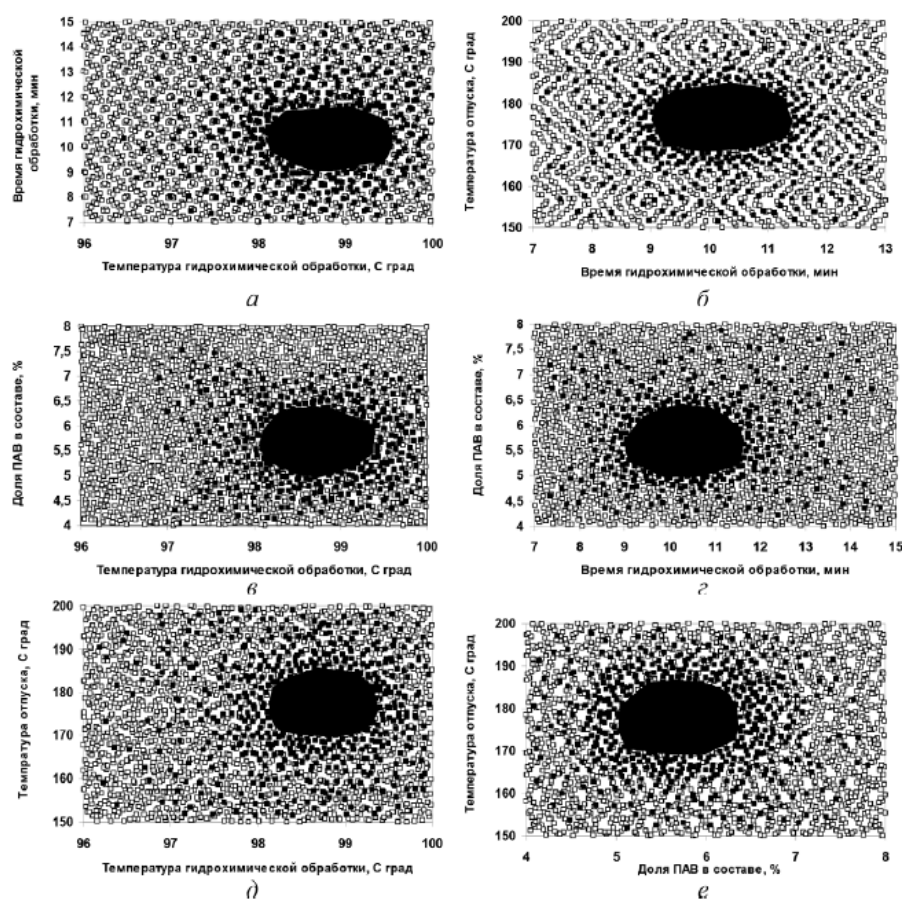


Рисунок 12 - Результаты математического моделирования процесса ТГХО твердого сплава ВК6 с использованием красной глины

На рисунке 12 белыми кругами (○) обозначены варианты системы, которые не обеспечивают заданные свойства материала; темными кругами (●) обозначены варианты, обеспечивающие заданные свойства. На рисунке (а) представлена зависимость температуры ГХО от времени обработки. На

рисунке (б) представлена зависимость температуры отпуска от времени ГХО. На рисунке (в) представлена зависимость температуры ГХО от доли поверхностно-активных веществ (ПАВ) в составе. На рисунке (г) представлена зависимость времени ГХО от доли ПАВ в составе. На рисунке (д) представлена зависимость температуры отпуска от температуры ГХО. На рисунке (е) представлена зависимость доли ПАВ в составе от температуры отпуска.

«Из рисунка 12 видно, что технология ТГХО твердого сплава ВК6 реализуется с высокими свойствами только тогда, когда система попадает в области устойчивости, отмеченные темными точками. Выход одного или нескольких параметров процесса за пределы областей устойчивости в области, отмеченные светлыми точками, свидетельствует о том, что материал покрытия с заданными свойствами в этом случае не будет получен». [13]

Для нанесения покрытий методом ТГХО применимы не только искусственно созданные материалы, но и хорошо распространенные природные биоматериалы, например, речной песок или красная глина [12, 13].

В исследованиях [17] приведены испытания различного твердосплавного режущего инструмента на машиностроительных предприятиях. Результаты представлены в таблице 4.

Из результатов представленных испытаний [17] видно, что метод ТГХО эффективен для нанесения покрытий твердосплавного режущего инструмента.

В исследованиях [15] авторами изучались трибологические свойства покрытий, нанесенных методом ТГХО на твердый сплав ВК6. Испытания показали, что этим методом на твердом сплаве формируется покрытие толщиной до 1 мкм. На образцы наносилось покрытие из наноксидов, нанокарбидов и нанонитридов. Измерения коэффициентов трения образцов показали, что наименьшими коэффициентами обладают образцы с покрытием из наноксидов.

Автором [3] утверждается, что упрочнение твердыми растворами – это процесс, когда в кристаллическую решетку упрочняемого материала путем замещения или внедрения вводится частицы упрочняющего материала. Твердый раствор замещения формируется, если частицы упрочняющего материала замещают частицы основного материала на их законных местах в кристаллической решетке. Такой материал называется твердым раствором замещения.

Таблица 4 - Результаты испытаний различного твердосплавного режущего инструмента на машиностроительных предприятиях

Вид инструмента	Инструментальный материал	Обрабатываемый материал	Повышение стойкости инструмента K_w
Режущие пластины для черновой токарной обработки	Твердые сплавы CNMG 120401 MS KCU10, CNMG 120404 NMS WSM20	X11H8Д20	2,1-3,6
	Твердые сплавы CNMG 120401 MS KCU10	ЖГр1Д1	1,6-2,0
Режущие пластины для черновой фрезерной обработки	Твердый сплав Т15К6	Сталь ШХ15 и сталь 4Х5МФС	3-4
Волоки	Твердые сплавы	Металлокорд	1,4-1,8
Режущие пластины для чистовой токарной обработки	Твердый сплав МР4	Сталь 3	1,3
Режущие пластины для черновой токарной обработки	Твердый сплав РТ40	Сталь 20	2,6-3,3
Торцовые сборные фрезы	Твердый сплав МК8	Медный сплав М1РО	1,6-2,0
Режущие пластины для чистовой токарной обработки	Твердый сплав Т15К6	Сталь 30ХГТ (НВ 229)	2
Торцовые сборные фрезы	Твердый сплав Т15К6	Конструкционные и инструментальные стали	2,1

Продолжение таблицы 4

Вид инструмента	Инструментальный материал	Обрабатываемый материал	Повышение стойкости инструмента K_w
Резцы галтельные	Твердый сплав Т15К6	Конструкционные и инструментальные стали	2
Режущие пластины для чистовой токарной обработки	Твердый сплав Т15К6	Сталь 20	1,8-1,9
Режущие пластины для чистовой токарной обработки	Твердый сплав Т15К6	Сталь 40Х (НВ 217)	2,0-2,1

«Поликристаллическое тело (рисунок 13) состоит из областей (зерен), каждая из которых представляет собой монокристалл, но эти отдельные монокристаллы повернуты друг относительно друга на некоторый угол (десятки градусов). Границы, разделяющие зерна, называются границами зерен. Наличие границ зерен в поликристалле приводит к его дополнительному упрочнению по сравнению с монокристаллом. С уменьшением среднего размера зерна сопротивление деформированию в большинстве случаев существенно растет». [3]

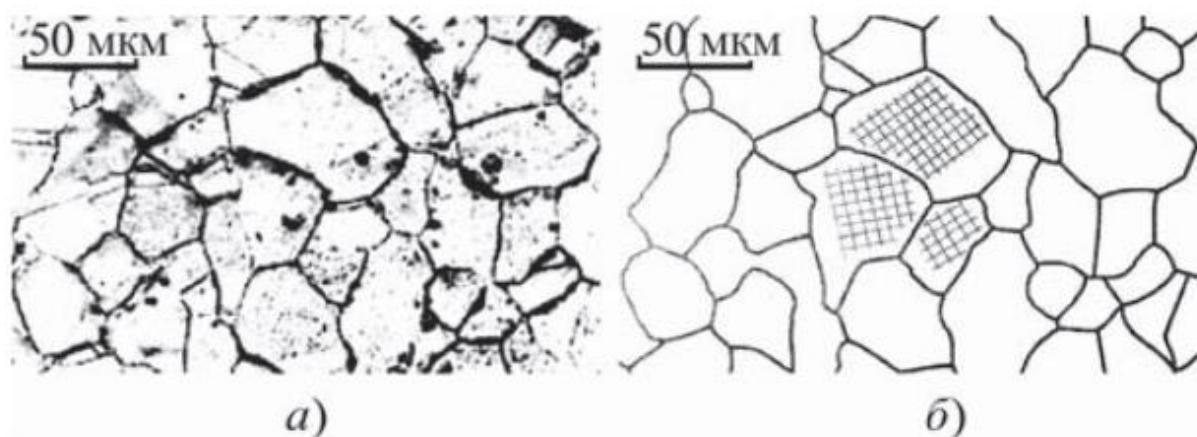


Рисунок 13 – Поликристаллический материал:
а – вид зерен на поверхности через металлографический микроскоп; *б* – схема, представленная графическим способом (здесь штриховка обозначает кристаллическую решетку, которая имеется в зернах)

Мелкозернистая структура твердых сплавов в отличие от крупнозернистой является более прочной вследствие того, что мелкие зерна накапливают на границах большое количество энергии.

Эффекты, которые можно получить, применяя тот или иной метод упрочнения металлорежущего инструмента сведены и представлены на рисунке 14. [3]

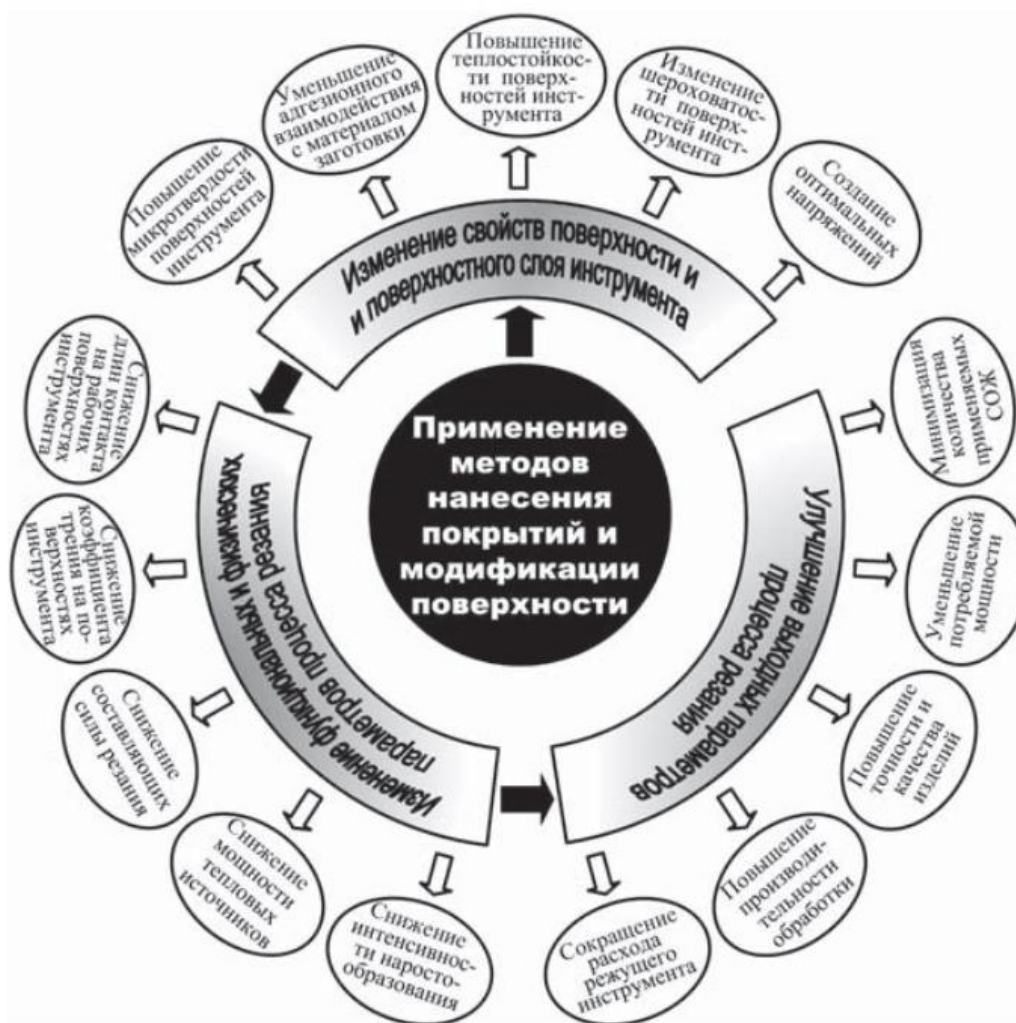


Рисунок 14 - Эффекты, которые можно получить, применяя тот или иной метод упрочнения металлорежущего инструмента

На рисунке 14 представлена взаимосвязь между параметрами процесса обработки резанием и структурными и физико-механическими свойствами модифицированных поверхностей режущего инструмента. Из рисунка видно, что модификация параметров поверхностей режущего инструмента влияет на процесс резания.

В таблице 5 представлены физико-механические свойства химических соединений, которые чаще всего используют для модификации поверхностей металлорежущего инструмента. [3]

Таблица 5 - Физико-механические свойства химических соединений, часто используемых для модификации поверхностей металлорежущего инструмента

Химическое соединение	Коэффициент термического расширения, 10^6 K^{-1}	Модуль Юнга, кН/мм^2	Твердость по шкале Виккерса, ГПа	Температура плавления, $^{\circ}\text{C}$	Плотность, г/см^3
Материалы, имеющие металлическую связь					
<i>WC</i>	3,8...3,9	720	23,5	2776	15,72
<i>W₂B₅</i>	7,8	770	27	2365	13,03
<i>Mo₂C</i>	7,8...9,3	540	16,6	25217	9,18
<i>CrN</i>	2,3	400	11	1050	6,12
<i>CrB₂</i>	10,5	540	22,5	2188	5,58
<i>TaC</i>	7,1	560	15,5	3985	14,48
<i>TaB₂</i>	8,2	680	21	3037	15,58
<i>NbC</i>	7,2	580	18	3613	7,78
<i>NbB₂</i>	8,0	630	26	3036	6,98
<i>VN</i>	9,2	460	15,6	2177	6,11
<i>VC</i>	7,3	430	29	2648	5,41
<i>ZrN</i>	7,2	510	16	2982	7,32
<i>ZrC</i>	7,0...7,4	400	25,6	3445	6,63
<i>ZrB₂</i>	5,9	540	23	3245	6,11
<i>TiN</i>	9,4	590	22	2950	5,40
<i>TiC</i>	8,0...8,6	470	28	3067	4,93
<i>TiB₂</i>	7,8	560	30	3225	4,50
Материалы, имеющие ковалентную связь					
<i>AlN</i>	5,7	350	123	2250	3,26
<i>Si₃N₄</i>	2,5	210	172	1900	3,19
<i>SiB₆</i>	5,4	330	23	1900	2,43
<i>SiC</i>	5,3	480	26	2760	3,22
<i>B</i>	8,3	490	27	2100	2,34
<i>C (алмаз)</i>	1,0	910	80	3800	3,52
<i>BN</i>	-	660	50	2730	3,48
<i>B₄C</i>	4,5 (5,6)	441	30...40	2450	2,52
Материалы, имеющие ионную связь					
<i>MgO</i>	13,0	320	75	2827	3,77
<i>BeO</i>	9,0	390	15	2550	3,03
<i>ThO₂</i>	9,3	240	95	3300	10,0
<i>HfO₂</i>	6,5	-	78	2900	10,2
<i>ZrO₂</i>	11(7,6)	190	12	2677	5,76
<i>TiO₂</i>	9,0	205	11	1867	4,25
<i>Al₂TiO₅</i>	0,8	13	-	1894	3,68
<i>Al₂O₃</i>	8,4	400	21	2047	3,98

Карбиды и бориды являются более твердыми веществами. Это свойство повышает их термодинамическую устойчивость. А нитриды отличаются своей пассивностью (они плохо реагируют с другими соединениями), а также они менее хрупки и более пластичны. Это их свойство делает их выгодными при применении в процессах с повышенными или изменяющимися теплосиловыми нагрузками. [26, 27]

С помощью создания многофазной измельченной наноструктуры материала, а также с помощью насыщения поверхностного слоя материала дефектами кристаллической решетки и частицами легирующих материалов можно добиться повышения свободной энергии поверхности (рисунок 15). [17]

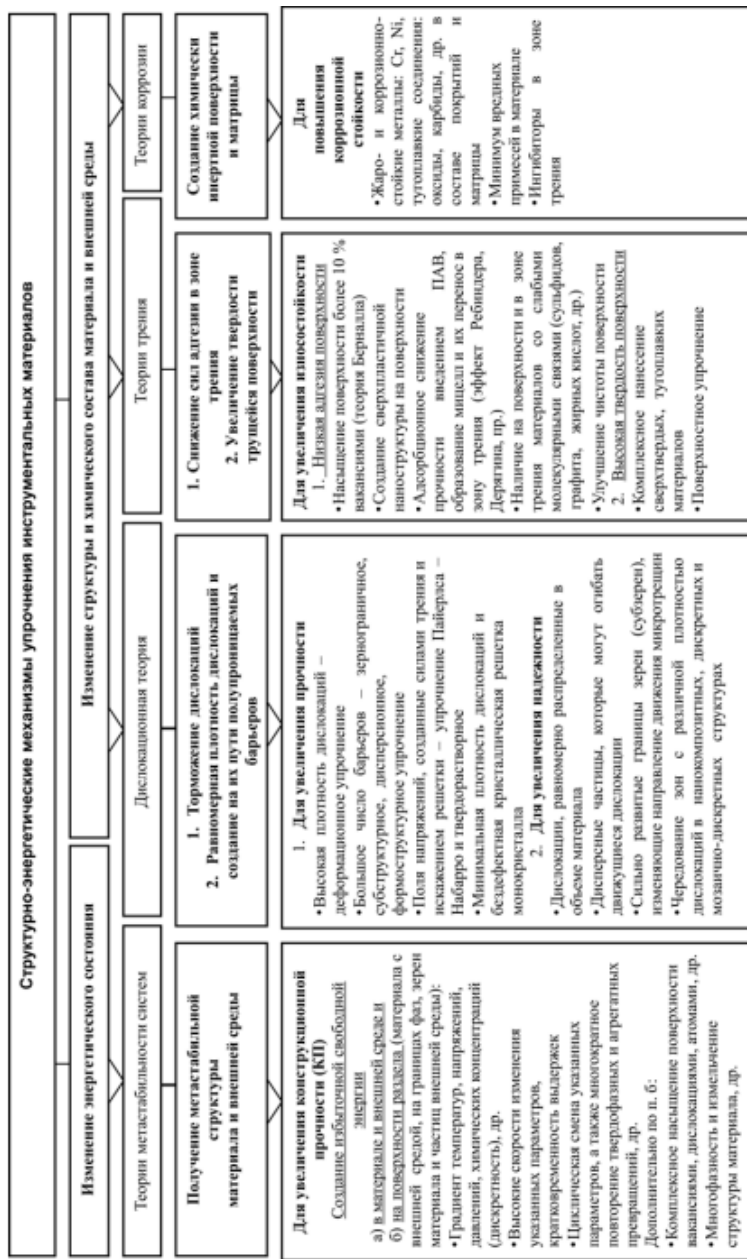


Рисунок 15 – Классификация структурно-энергетических механизмов упрочнения инструментальных материалов

На рисунке 16 представлена классификация способов упрочнения инструментальных материалов. [17]

Методы упрочнения инструментов		
Методы технологической обработки инструментов	Металлургические и другие методы изготовления инструментальных материалов	Конструктивно-эксплуатационные методы
<p style="text-align: center;">Реализация энергетических механизмов упрочнения инструментов</p> <ul style="list-style-type: none"> • Градиенты температур (нагрев лазером, плазмой), напряжений (ИПД), концентраций (ХТО, ХО, ГХО) • Циклические изменения температуры (ТЦО), температуры и напряжений (ТМО) и др. • Измельчение и многофазность структуры (комплексные и нанопокртыя, дисперсионное упрочнение) <p style="text-align: center;">Реализация дислокационной теории упрочнения инструментов</p> <ul style="list-style-type: none"> • Увеличение плотности дислокаций (наклеп дробью, взрывом, накаткой, ТМО и др.) • Создание дислокационных препятствий границами зерен, субзерен (измельчение структуры ТО, ТЦО, ТМО, легированием сплавов, др.), дисперсными частицами вторичной фазы (старение, дисперсионное твердение сплавов, др.), искаженной формой мартенсита, бейнита (завалка на мартенсит, др.) • Образование полей упругих напряжений за счет точечных дефектов и атомов легирующих элементов (С, N, В, Со, др.) в твердом растворе внедрения или замещения (ХТО, легирование сплавов, др.) • Создание полупроводимых барьеров для движения дислокаций, релаксации напряжений путем измельчения зерен и субзерен (рациональное легирование сплавов, ТО, ТЦО, ТМО, др.) • Равномерное распределение дислокаций и частиц в объеме материала (рациональное легирование сплавов, очистка их от примесей ЭШП, ВДП, ЭЛП, др.) <p style="text-align: center;">Реализация механизмов упрочнения инструментов согласно теорий трения</p> <ul style="list-style-type: none"> • Увеличение поверхностной твердости режущей кромки инструмента (все поверхностные методы упрочнения: обработка УЗ, ТВЧ, лазером, ТО, ТЦО, комплексная ХТО, PVD, CVD, наклеп дробью и др.) • Создание слоя с антифрикционными и защитными от схватывания свойствами (твердая смазка, полимерные и керамические покрытия с нанокристаллической и аморфной структурой, др.) • Введение в зону трения жидкой смазки (масла, СОЖ, др.) <p style="text-align: center;">Реализация механизмов упрочнения инструментов согласно теорий коррозии</p> <ul style="list-style-type: none"> • Создание сплошного однородного (однофазного) слоя из тугоплавких соединений, способного сопротивляться окислению и высокотемпературной коррозии (ХТО, защитные PVD, CVD покрытия, др.) • Легирование сплавов коррозионно-стойкими металлами (Cr, Ni, др.) 	<p style="text-align: center;">Рациональное проектирование инструментов по принципу равномерной прочности</p> <ul style="list-style-type: none"> • Исключение надрезов (переломов сечений, глубоких канавок, галтелей малого радиуса) или смягчение концентрации напряжений • Учет масштабов фактора • Оптимальный выбор инструментального материала <p style="text-align: center;">Облегчение условий эксплуатации инструментов</p> <ul style="list-style-type: none"> • Изменение схемы нагруженного состояния инструментов для снижения эксплуатационной нагрузки (механической, тепловой, др.) • Выбор менее интенсивного вида изнашивания и разрушения инструментов • Улучшение чистоты поверхности 	

Рисунок 16 - Классификация способов упрочнения инструментальных материалов

Из рисунка 16 видно, что применение конструкционно-эксплуатационных методов тоже дает возможность повышения конструкционной прочности металлорежущих инструментов.

Поверхностно активные вещества.

В качестве поверхностно активных веществ (ПАВ) при ТГХО применяются 4-8% растворы сульфанола. Сульфанол – это смесь натриевых солей. Он хорошо растворяется в воде. Сульфанол активно используется в нефтедобывающей отрасли для обработки скважин, поэтому не является дефицитным. Также его используют для производства синтетических моющих средств.

«Основные составные части ПАВ получают из нефтехимического и олеохимического исходного сырья (растительного и животного). Последнее обычно относится к «возобновляемому ресурсу» в отличие от веществ на основе нефти, которые таковыми не считаются. Сейчас идет активный спор между теми, кто считает, что материалы должны быть природного происхождения (это позволит не наносить вред окружающей среде), и теми, кто поддерживает исходное сырье на нефтехимической основе. Все «за» и «против» использования материалов олеохимической природы – около 53% мирового потребления моющих средств приходится на мыла на основе олеохимических жирных кислот. Это основной тип ПАВ, который используется в составе стиральных порошков и средств личной гигиены во всех развитых странах. Не смотря на то, что в Северной Америке и Западной Европе наблюдается тенденция к росту потребления веществ олеохимической природы, а качестве исходного сырья для поставщика ПАВ в 80% случаев используется нефтехимическое. Использование линейных алкилбензолов в производстве моющих средств будет увеличиваться». [13]

«Области промышленного применения ПАВ стремительно развиваются, их разнообразие растет, и нельзя недооценивать вклад ПАВ а промышленные процессы. Промышленный рынок ПАВ составляет около 25% от общего

потребления поверхностно-активных веществ в Европе и США, и это наиболее сложная часть их применения. Для многих областей промышленности необходимы ПАВ, обладающими специальными свойствами. Поэтому авторы обращают пользователей ПАВ на возникающие в таких случаях требования к веществу. Часто, новое ПАВ, впервые опробованное на промышленном рынке, сразу же поступает на потребительский рынок, который формально включает все области применения, но по сути ограничен средствами для стирки и товарами личной гигиены». [7]

В металлообработке имеются различные методы, но все они сводятся к разрыву связей металл-металл и к сдвигу границ зерен. Это формирует требования к зачистке обработанных и обрабатываемых поверхностей.

Поверхность металла после механической обработки является очень активной. Если сравнивать коэффициент трения, то у обработанной поверхности он значительно выше, чем у поверхности до механической обработки.

ПАВ применяются в составах растворимых масел и эмульсий в сочетании с водой. На рисунке 17 представлена система циркуляции смазочно-охлаждающих жидкостей, в состав которых входят ПАВ.

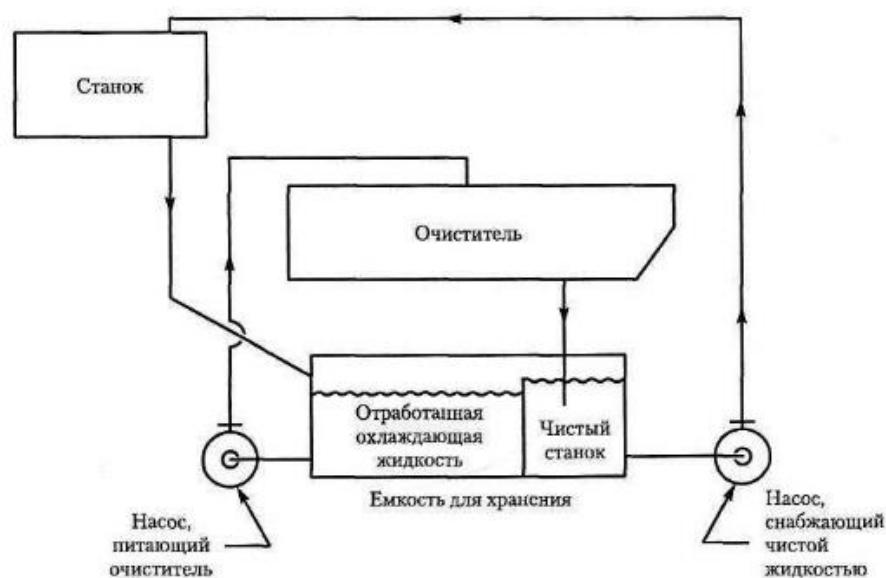


Рисунок 17 – Система циркуляции СОЖ

СОЖ подается в зону обработки на станке, затем она фильтруется, и ее состав может быть дополнен, так как происходит испарение и концентрация полезных веществ в СОЖ со временем изменяется.

«Очевидно, что помимо традиционного снижения поверхностного натяжения и детергентности, ПАВ в процессе обработки металлов исполняют множество других функций. Металлообработка была бы неэффективным и дорогостоящим процессом без вклада ПАВ в основные функции смазочно-охлаждающих средств, такие как охлаждающие, антифрикционные, детергентное действие и другие». [7]

Химический состав и основные свойства твердых сплавов, имеющих в своем составе вольфрам, приведены в таблице 6. [3]

Таблица 6 - Химический состав и основные свойства твердых сплавов

Марка твердого сплава	Твердость, HRA	Плотность, г/см ³	Предел прочности при изгибе, МПа	Химический состав материала, %			
				Карбид вольфрама (WC)	Карбид титана (TiC)	Карбид тантала (TaC)	Кобальт (Co)
Вольфрамкобальтовые твердые сплавы							
ВК20	84	13,4...13,7	2058	80	-	-	20
ВК15	86	13,9...14,4	1862	85	-	-	15
ВК10-ХОМ	89	14,3...14,7	1470	88	-	2	10
ВК10	87	14,2...14,6	1764	90	-	-	10
ВК8	88	14,4...14,8	1666	92	-	-	8
ВК6-ОМ	90,5	14,7...15	1274	92	-	2	6
ВК6-М	90	14,8...15,1	1421	94	-	-	6
ВК6	88,5	14,6...15	1519	94	-	-	6
ВК4-В	88	14,9...15,2	1470	96	-	-	4
ВК3-М	91	15...15,3	1176	97	-	-	3
ВК3	89,5	15...15,3	1176	97	-	-	3
Титановольфрамкобальтовые							
Т8К7	90,5	12,8...13,1	1519	85	8	-	7
Т5К10	88,5	12,4...13,1	1421	85	5	-	10
Т14К8	89,5	11,2...11,6	1274	78	14	-	8
Т15К6	90	11,1...11,6	1176	79	15	-	6
Т30К4	92	9,5...9,8	980	66	30	-	4

Продолжение таблицы 6

Марка твердого сплава	Твердость, HRA	Плотность, г/см ³	Предел прочности при изгибе, МПа	Химический состав материала, %			
				Карбид вольфрама (WC)	Карбид титана (TiC)	Карбид тантала (TaC)	Кобальт (Co)
Титанотанталовольфрамкобальтовые							
ТТ20К9	91	12...12,5	1470	71	8	12	9
ТТ10К8- Б	89	13,5...13,8	1617	82	3	7	8
ТТ8К6	90,5	12,8...13,3	1323	86	6	2	6
ТТ7К12	87	13...13,3	1666	81	4	3	12

Химический состав и основные свойства твердых сплавов, не имеющих в своем составе вольфрам, приведены в таблице 7. [3]

Износ твердосплавного режущего инструмента чаще всего происходит по передней и задней поверхности, поэтому он оценивается по размерам лунки износа на передней поверхности или величиной фаски износа по задней поверхности (рисунок 18). [3]

Таблица 7 - Химический состав и основные свойства безвольфрамовых твердых сплавов

Марка твердого сплава	Твердость, HRA	Плотность, г/см ³	Предел прочности при изгибе, МПа	Химический состав материала, %			
				Каро- нитрид титана (TiCN)	Карбид ниобия (NbC)	Никель (Ni)	Молибден (Mo)
ЦТУ	89,5	6,2...6,8	1274	56	9	23	12
КНТ30	89	6...6,5	1600	70	-	23,3	6,7
КНТ16	89	5,5...6	12000	84	-	12,4	3,6
ТН20	91	5,5...6	1050	79	-	45	6

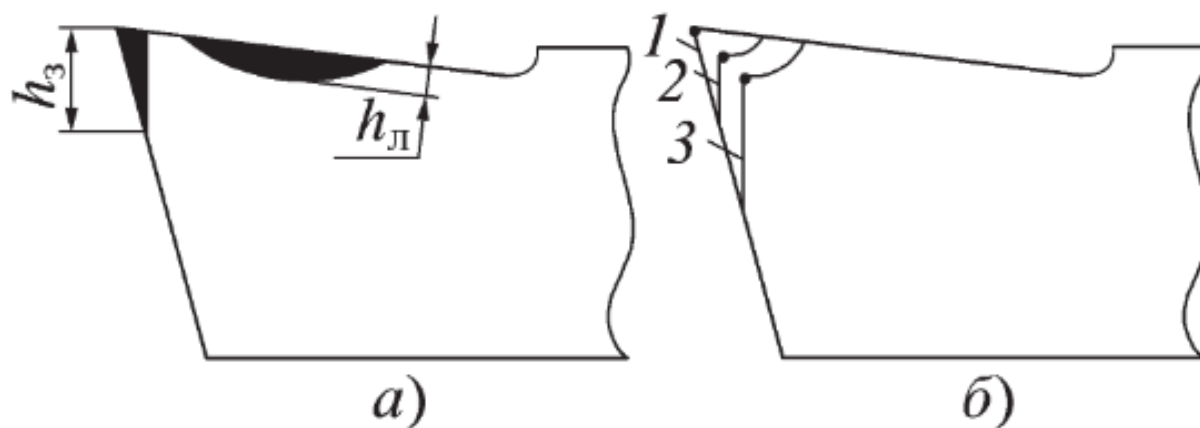


Рисунок 18 – Очаги износа режущего инструмента

Также для режущего инструмента из твердых сплавов характерным износом является выкрашивание режущего клина (рисунок 19). [3]

На рисунке 19 представлены варианты типов выкрашивания резца, оснащенного твердосплавной пластиной. Такой износ может быть скалыванием вершины резца (а), разрушением режущей кромки (б) или выкрашиванием передней поверхности (в).

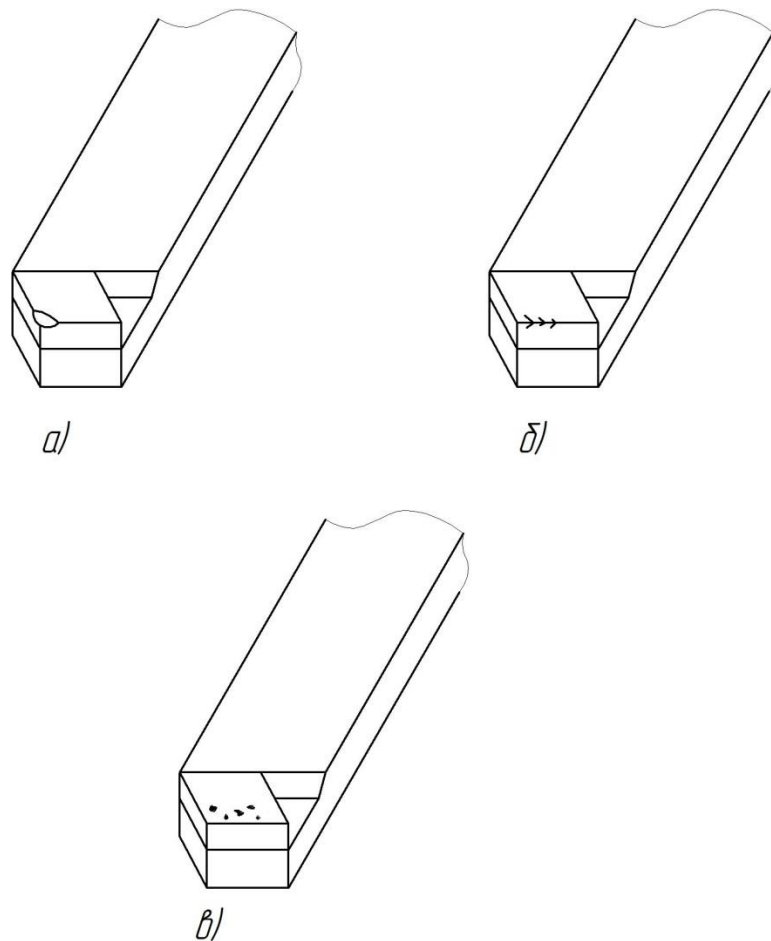


Рисунок 19 – Выкрашивание пластины из твердого сплава

Статистика отказов твердосплавных проходных резцов в результате обработки конструкционной стали приведена на рисунке 20.

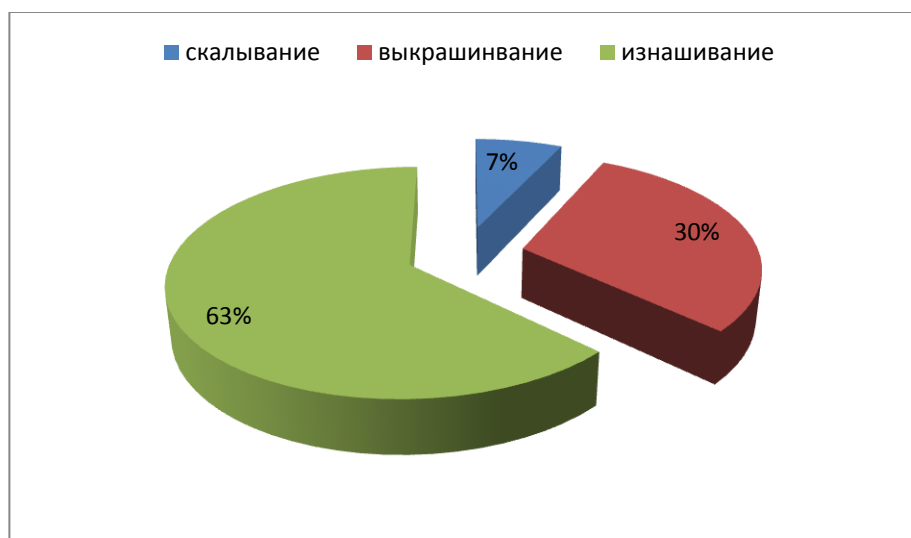


Рисунок 20 - Статистика отказов твердосплавных проходных резцов в результате обработки конструкционной стали

Статистика отказов твердосплавных отрезных резцов в результате обработки конструкционной стали приведена на рисунке 21.

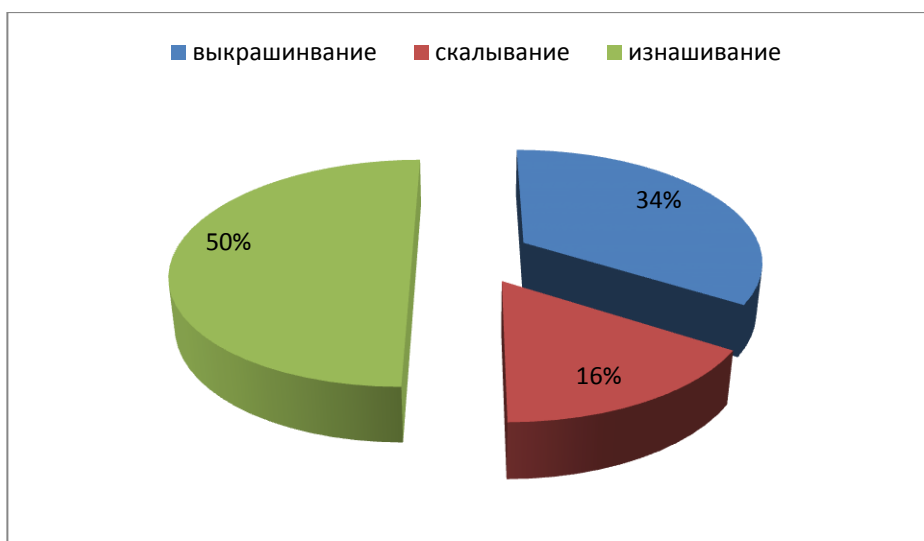


Рисунок 21 - Статистика отказов твердосплавных отрезных резцов в результате обработки конструкционной стали

Статистика отказов торцовых фрез, оснащенных твердосплавными пластинами, в результате обработки конструкционной стали приведена на рисунке 22.

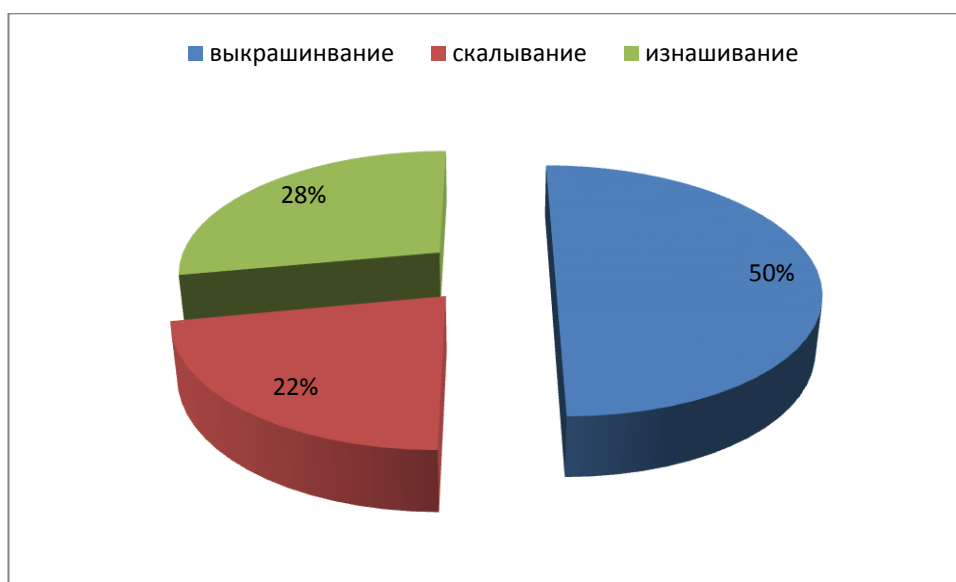


Рисунок 22 - Статистика отказов торцовых фрез, оснащенных твердосплавными пластинами, в результате обработки конструкционной стали

Классификация отказов представлена на рисунке 23. [3]



Рисунок 23 - Классификация отказов режущего инструмента

При изготовлении инструмента из безвольфрамовых твердых сплавов (БВТС) более целесообразно наносить износостойкие покрытия ввиду их меньшей прочности и более высокой хрупкости.

Таким образом, процесс термогидрохимического упрочнения является наиболее дешевым и эффективным способом упрочнения твердосплавного режущего инструмента.

Случаи, когда покрытие приобретает твердосмазочные свойства:

- 1) если они созданы из материалов, имеющих слоистую поликристаллическую структуру, которой характерны слабые молекулярные связи;
- 2) если оно создано на основе сверхтвердых и тугоплавких наноструктурированных материалов;
- 3) если в кристаллической решетке получаемого покрытия содержится более, чем 10% вакансий, то есть твердое тело приобретает свойства жидкости (теория Берналла);

4) если поверхностный слой пластифицируется и создается положительный градиент механических свойств в зоне трения (эффект Ребиндера);

5) если из-за различия электрохимических потенциалов происходит селективное растворение легирующих элементов из сплава, что формирует квазижидкостную пленку, которая в свою очередь снижает фрикционный нагрев и коэффициент трения.

2 Подготовка поверхностей к нанесению на них покрытий

Важным аспектом в получении качественного инструмента с покрытием является подготовка поверхности к нанесению этого покрытия. От этого зависит физико-химическая связь покрытия с материалом основы.

Перед нанесением покрытия необходимо провести очистку от пленки загрязнений и адсорбционных пленок, имеющих на поверхности режущего инструмента. А их наличие зависит от условий изготовления, хранения, транспортировки инструмента (рисунок 24). [3]

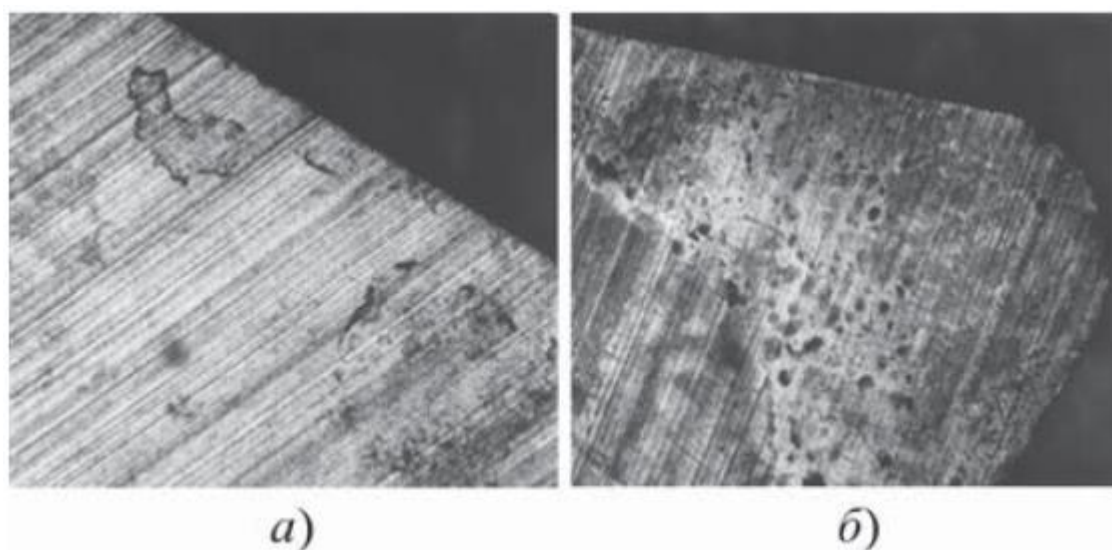


Рисунок 24 – Загрязненные поверхности режущих пластин:
а – органические загрязнения; *б* – оксидные пленки.

Как правило, первым этапом комплекса мероприятий, направленных на подготовку поверхности к нанесению покрытия является химическая очистка. Здесь удаляются видимые грубые загрязнения: остатки масел, смазочные материалы, красители, жировые пятна и так далее. В этом процессе применяют органические растворители, такие как ацетон, бензин, этиловый спирт и так далее.

Для удаления с поверхности грубых загрязнений, таких как остатки стружки, пыль и так далее часто используется ультразвуковой метод. Эффективность этого метода очистки поверхности определяется частотой

колебаний. Так этот метод позволяет удалять грубые загрязнения, то обычно после него проводят обезжиривание поверхностей в средах органических растворителей.

После проведения очистки поверхностей необходимо просушить эти поверхности. На этом этапе важно не нанести повторно загрязнения на просушиваемые поверхности. Просушивают поверхности в чистой печи или в паровом очистителе прогретым отфильтрованным воздухом или азотом. При этом используемая оснастка и транспортировочная система должна быть совершенно чистой, а воздушная среда – очищенная от загрязнений, присущих загрязнениям воздуха.

На последующем этапе выполняют промывку поверхностей деионизированной водой. Важно, чтоб после промывки на поверхности оставалось как можно меньше остатков воды, потому что капли воды при высыхании оставляют пятна. Для этого поверхности продувают или подвергают центрифугированию.

Часто для очистки поверхностей до нанесения покрытия применяют виброабразивную обработку. На рисунке 25 представлен общий вид установки для виброабразивной обработки «Вибринд». [3]

Очистка поверхностей на таких установках осуществляется путем удаления загрязнений абразивными частицами в присутствии вибрации.

Сложным оказывается процесс удаления с подготавливаемой к нанесению покрытия поверхности оксидных пленок. Часто этот процесс выполняют комплексным путем, включающим механическую обработку (рисунок 26).

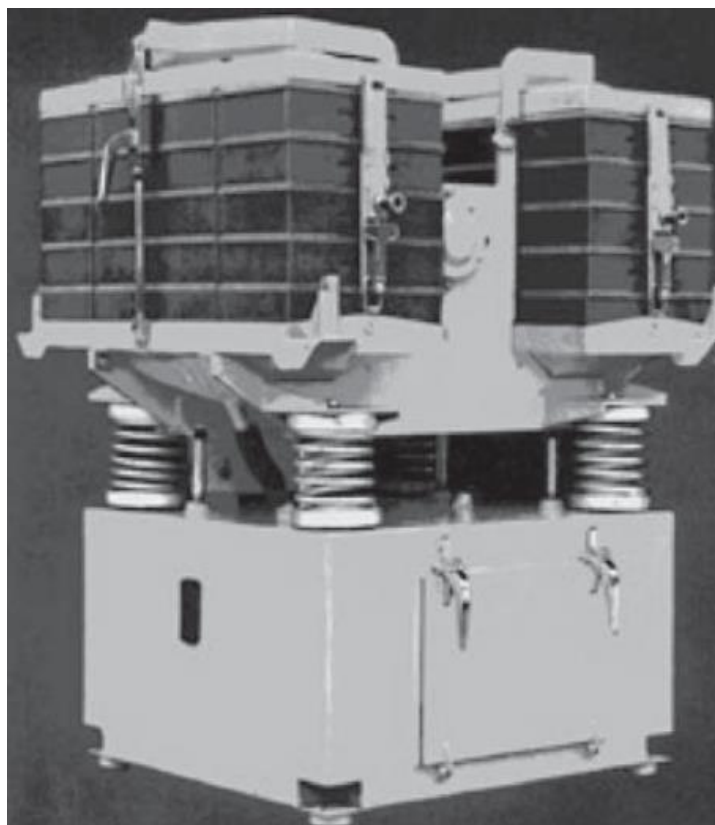


Рисунок 25 – Общий вид установки «Вибринд»

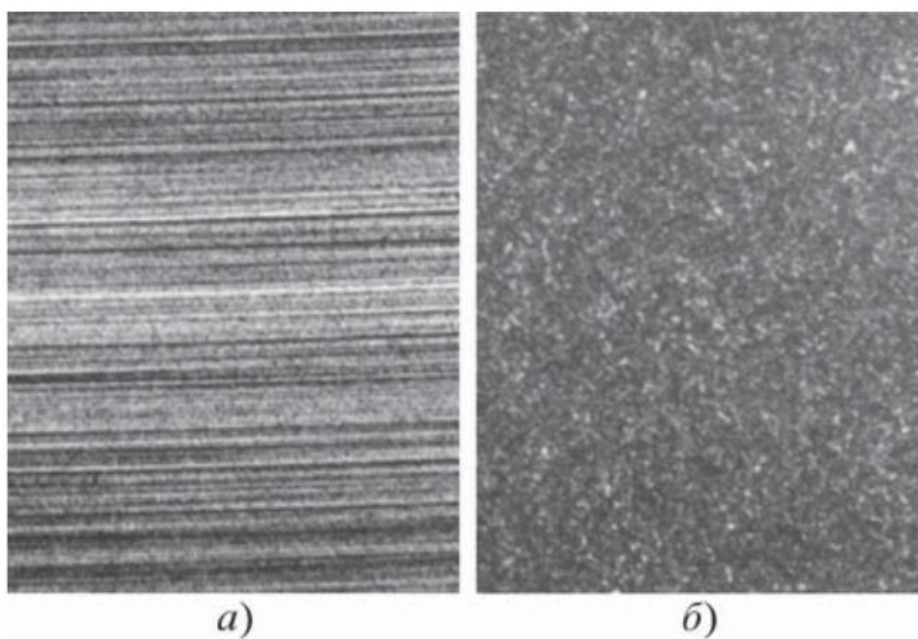


Рисунок 26 – Поверхности режущих платин с оксидными пленками:
a – поверхность, прошедшая обезжиривание в спирте, ультразвуковую мойку, травление раствором ортофосфорной кислоты; *б* - поверхность, прошедшая обезжиривание в спирте, пескоструйную обработку, ультразвуковую мойку, сушку

На рисунке 27 представлен типовой процесс подготовки поверхностей пластин из твердого сплава к нанесению покрытий.



Рисунок 27 - Типовой процесс подготовки поверхностей пластин из твердого сплава к нанесению покрытий

Применение химической очистки поверхностей ограничено вследствие его сильного негативного воздействия на окружающую среду, поэтому для очистки поверхностей иногда вынужденно приходится применять другие методы.

3 Исследования образцов, упрочненных методом термогидрохимической обработки

3.1 Трибологические исследования

Исследованию подвергались образцы из твердого сплава ВК6, на которые термогидрохимическим методом наносилось износостойкое покрытие. Образцы подвергались гидрохимической обработке в ванне с водой и речным песком при температуре близкой к 100°C в течение 10...20 минут. Для активизации среды в ванну добавлялось поверхностно-активное вещество 4-8% раствор сульфанола. Далее образцы подвергались термической обработке при температурах 450...500°C. Согласно [13] при этих условиях на поверхности ВК6 формируется оптимальное износостойкое твердосмазочное покрытие.

Испытания проводили при изменении времени выдержки образцов в водном растворе. Также изменялась концентрация поверхностно активного вещества. Далее изменяли время термообработки.

В таблице 8 представлены результаты испытания образцов на трение.

Таблица 8 - Результаты испытания образцов на трение

№ опыта	Параметры оптимизации	Факторы			
		ГХО			ТО
	Коэффициент трения f	Температура, °C	Время, мин	Концентрация, %	Температура, °C
Условное обозначение	Y	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄
Нижний уровень (-1)		96	10	4	450
Верхний уровень (+1)		100	20	8	500
Основной уровень (0)		98	15	6	475
Интервал варьирования		2	5	2	25
1	0,116	+	+	+	+
2	0,133	-	+	+	-

Продолжение таблицы 8

№ опыта	Параметры оптимизации Коэффициент трения f	Факторы			
		ГХО			ТО
		Температура, °С	Время, мин	Концентрация, %	Температура, °С
3	0,104	+	-	+	+
4	0,105	-	-	+	+
5	0,115	+	+	-	+
6	0,136	-	+	-	-
7	0,127	+	-	-	-
8	0,106	-	-	-	+
9	0,130	0	0	0	0
10	0,129	0	0	0	0
11	0,127	0	0	0	0

После проведения измерений оптимальными условиями оказались следующие значения изменяемых параметров процесса:

- а) температура ГХО: $97 \pm 1,1$ °С;
- б) время ГХО: $11 \pm 0,6$ мин;
- в) концентрация ПАВ: $7 \pm 0,6$ %;
- г) температура отпуска: $492 \pm 0,5$ °С.

Математическая модель процесса можно аппроксимировать следующей функцией

$$Y = -2,15 + 0,05X_1 - 1,62 \cdot 10^{-2} X_2 + 3,38 \cdot 10^{-2} X_3 - 6,27 \cdot 10^{-4} X_4 - 2,48 \cdot 10^{-4} X_1^2 + 3,25 \cdot 10^{-4} X_2^2 - 3,53 \cdot 10^{-3} X_3^2 - 2,47 \cdot 10^{-7} X_4^2 + 9,99 \cdot 10^{-5} X_1 X_2 + 1,5 \cdot 10^{-5} X_3 X_4$$

Данную функцию можно использовать для нахождения оптимальных параметров ТГХО.

Математическое моделирование процесса ТГХО твердого сплава ВК6 было выполнено в среде компьютерной программы СИНТЕЗ МК. [13] Графическое изображение результатов моделирования представлено на рисунке 28.

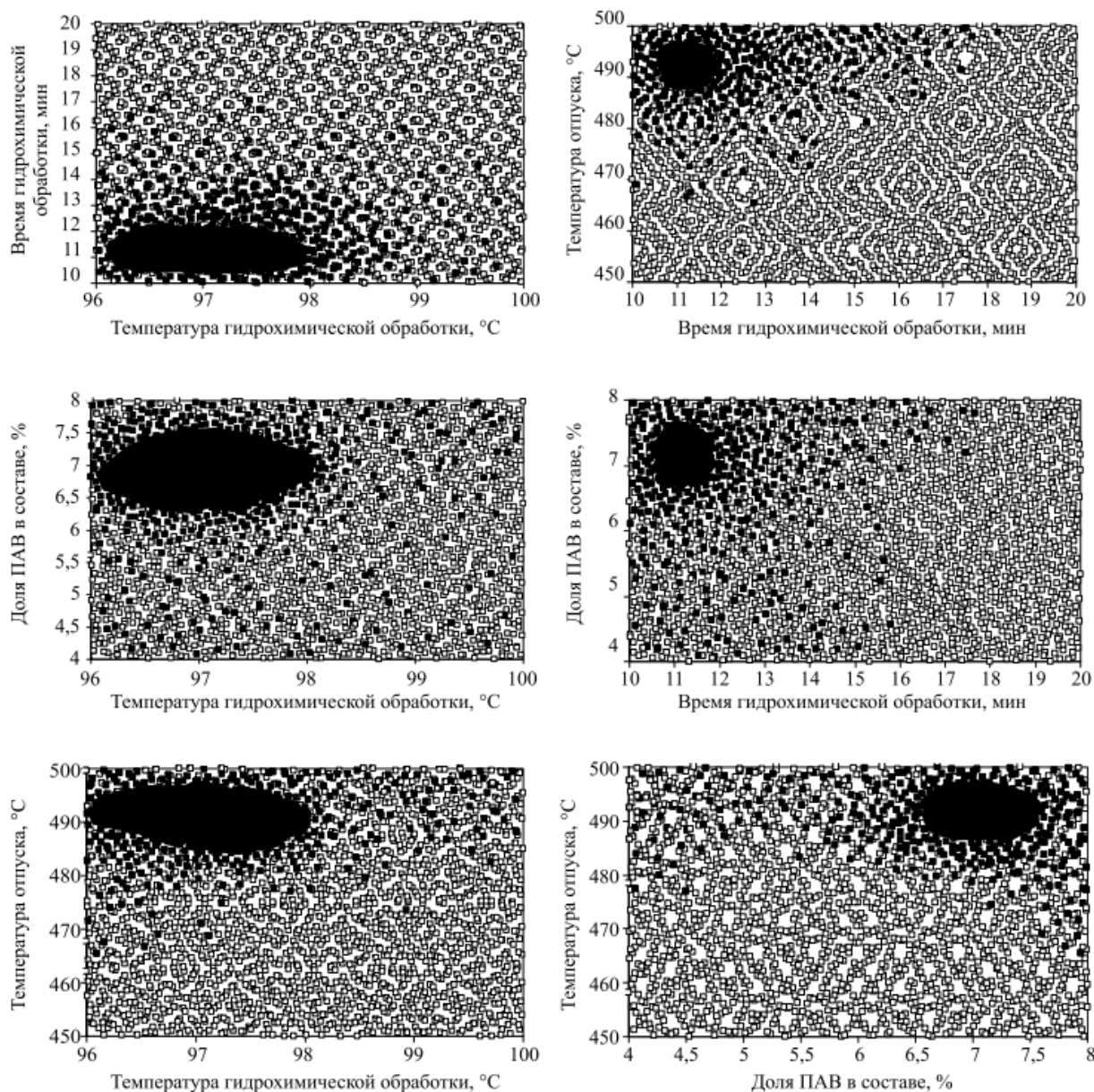


Рисунок 28 – Графическое изображение моделирования оптимальных режимов проведения ТГХО для твердого слава ВК6

На рисунке 28 белыми кругами (○) обозначены варианты системы, которые не обеспечивают заданные свойства материала; темными кругами (●) обозначены варианты, обеспечивающие заданные свойства. На рисунке (а) представлена зависимость температуры ГХО от времени обработки. На рисунке (б) представлена зависимость температуры отпуска от времени ГХО. На рисунке (в) представлена зависимость температуры ГХО от доли поверхностно-активных веществ (ПАВ) в составе. На рисунке (г) представлена зависимость времени ГХО от доли ПАВ в составе. На рисунке

(d) представлена зависимость температуры отпуска от температуры ГХО. На рисунке (e) представлена зависимость доли ПАВ в составе от температуры отпуска.

Таким образом, по графическому изображению математической модели необходимо выбрать точку в темной области (рисунок 28). Это будет означать, что все три переменных параметра процесса находятся в состоянии устойчивости.

3.2 Исследования поверхностного натяжения упрочняющего покрытия

Исследованию подвергались наиболее широко применяемые покрытия на основе нитрида титана.

Микротвердость исследуемых образцов измерялась на микротвердомере «ISOSCAN OD» (рисунок 29). На металлографическом микроскопе «ЭПИКВАНТ» (рисунок 30) проводились замеры толщины формируемого покрытия. [20]



Рисунок 29 - Микротвердомер



Рисунок 30 - Металлографический микроскоп

Зависимость микротвердости осаждаемого покрытия от его толщины описывается формулой:

$$\mu = \mu_0 \left(1 - \frac{d}{h} \right),$$

где μ – микротвердость осаждаемого покрытия;

μ_0 – микротвердость материала основы;

h – толщина формируемого покрытия;

d – параметр, связанный с поверхностным натяжением σ .

$$d = \frac{2\sigma V}{RT},$$

где σ – поверхностное натяжение основного материала;

V – объем одного моля;

R – газовая постоянная;

T – температура.

Проведенные исследования показали, что уменьшение прочности с увеличением твердости отдельного зерна до некоторого критического значения наблюдалось у всех кристаллических материалов. Предел текучести σ_T , согласно уравнению Холла-Петча, связан обратно пропорциональной зависимостью со средним размером зерна d . Формула Холла-Петча имеет место для большинства наноматериалов до определенного минимального значения размера зерна. При более малых значениях d твердость снижается при снижении размера зерен.

Зависимость электропроводности осаждаемого покрытия Ω от толщины описывается аналогичной формулой:

$$\Omega = \Omega_0 \left(1 - \frac{d}{h} \right),$$

где Ω_0 – электропроводность материала основы.

Исследования покрытий из нитрида титана представлены на рисунке 31.

Нитрид титана имеет $V=11.44 \text{ см}^3/\text{моль}$.

Таким образом, при формировании покрытия с толщиной $h=1,3 \text{ мкм}$ получаем $\sigma=0,474 \text{ Дж/м}^2$.

Из экспериментальных данных для $d=1,4 \text{ мкм}$ соответствует $\sigma=0,479 \text{ Дж/м}^2$, что подтверждает справедливость выведенной зависимости.

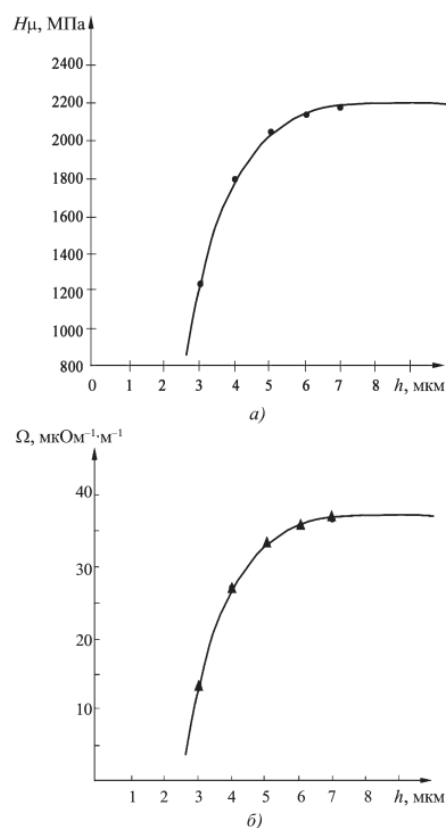


Рисунок 31 – Зависимость микротвердости (а) и электропроводности (б) от толщины h покрытия из нитрида титана на стали X12

В таблице 9 представлены величины поверхностного натяжения для других покрытий.

Таблица 9 - Величины поверхностного натяжения для покрытий.

Покрытие	Поверхностное натяжение, Дж/м ²		Электропроводность, мкОм ⁻¹ м ⁻¹	Микротвердость, ГПа	Температура плавления, °С
	Металла	Покрытия			
TaN	3,014	0,735	18	17,5	3360
NbN	2,741	0,670	78	14,0	2320
HfN	2,503	0,610	32	22,0	3330
ZrN	2,125	0,518	18	16,0	2955
TiN	1,933	0,474	40	20,0	2945

Из таблицы 9 видно, что величина поверхностного натяжения покрытия меньше величины поверхностного натяжения металла примерно в 4 раза. Так воздействует азот при вступлении в химическую связь с металлом.

4 Производственные испытания режущего инструмента с покрытием

4.1 Испытания сверл малого диаметра

При производстве печатных плат необходимо выполнить несколько отверстий малого диаметра [1]. Для повышения производительности процесса сверление отверстий выполняется у комплекта плат, собранных в стопку. Таким образом, мы имеем длинное отверстие малого диаметра, где

$$L/d \approx 20.$$

Сверла малого диаметра и большой длины имеют малую изгибную жесткость. Это приводит к уводу сверла и неточностью выполнения отверстия (рисунок 32). Таким образом, мы имеем проблему, которую можно решить, увеличив изгибную жесткость сверл. Это можно выполнить, применив технологии нанесения покрытия.

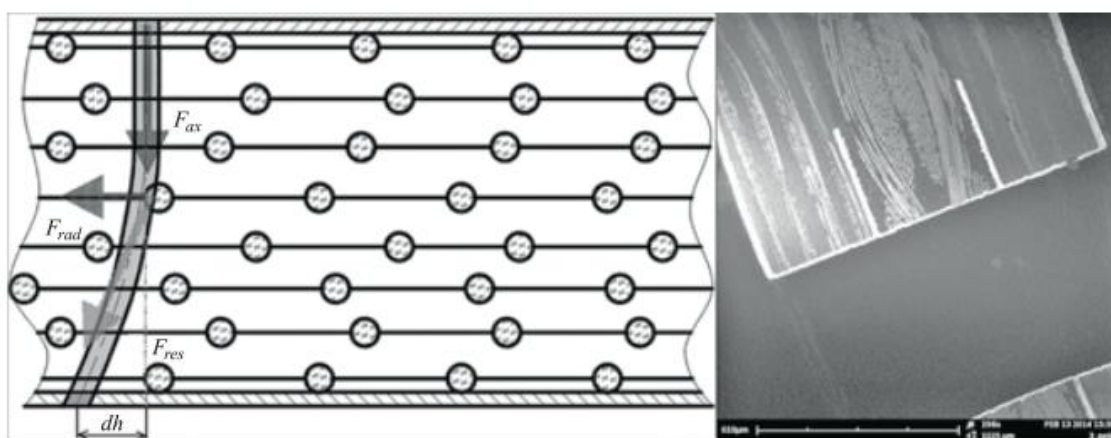


Рисунок 32 – Увод оси сверла

При нанесении покрытия на сверла в покрытии возникают поверхностные сжимающие напряжения, что положительно сказывается на жесткость системы «сверло-покрытие».

Результаты испытаний сверл диаметром 0,105 мм с твердосмазочным покрытием показали, что при нанесении покрытия толщиной около 2 мкм изгибная жесткость сверл повысилась на 21,6% (с 2,036 до 2,475 мН/мкм) (рисунок 33).

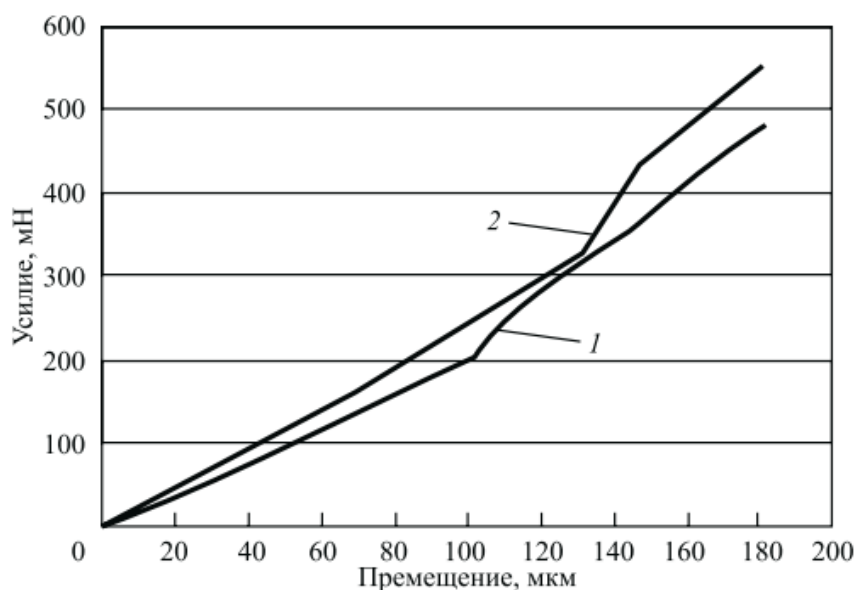


Рисунок 33 - Зависимость получаемого усилия от движения кончика сверла: 1 – не покрытое сверло; 2 – сверло с покрытием

Из графика видно, что у сверла с покрытием уменьшается его восприимчивость к радиальным нагрузкам, что играет положительную роль.

Методом сканирования фотографий с высоким разрешением были получены результаты измерения реальных точек – центров просверленных отверстий (рисунок 34).

За итоговую погрешность взят диаметр окружности, описывающей все точки на графиках.

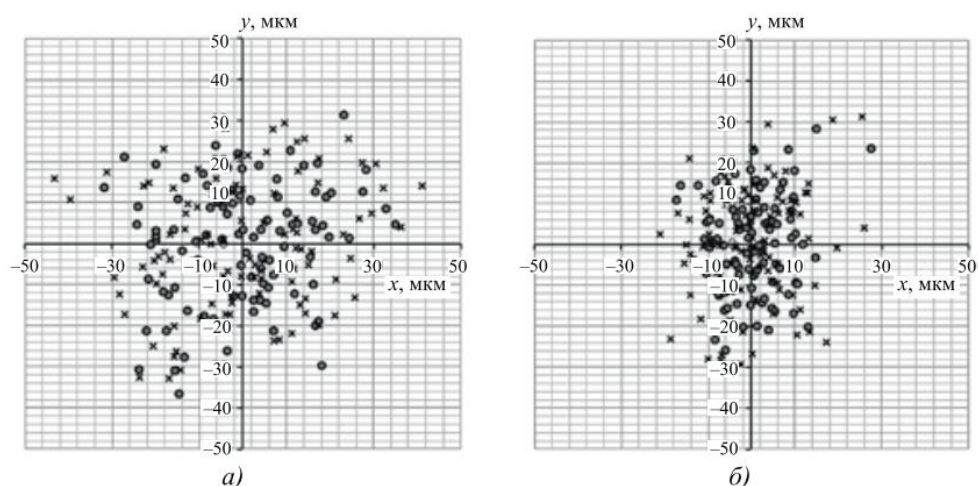


Рисунок 34 - Результаты измерений отклонения координат (x, y) центров полученных отверстий от номинальных положений (при диаметре сверла 0,3 мм): а – не покрытое сверло; б – сверло с покрытием).

В итоге точность выполнения отверстий сверлами с нанесенным покрытием на 28,9% получилась выше, чем у сверла без покрытия (рисунок 33).

4.2 Испытания пластин токарных резцов

Испытаниям подвергались образцы из твердого сплава T15K6, на которые наносились покрытия, состоящие из трех компонентов хром-ванадий-молибден. Эти образцы выдерживали в герметичном контейнере, в который был наполнен водным раствором со смесью насыщающих поверхности компонентов. Данный контейнер, загруженный образцами, выдерживали в печи при температуре 1100°C в течение 6 часов. [15, 19]

Смесь насыщения получали самораспространяющимся высокотемпературным синтезом (СВС).

Поверхностный слой исследовали методами микроструктурного и микрорентгеноспектрального анализа. Образца исследовали на

износостойкость при точении стали 40Х ($V = 100$ м/мин, $S_0 = 0,2$ мм/об, $t = 1$ мм). Износостойкость оценивали по формуле

$$K_w = \frac{t_1}{t_2},$$

где t_1 – период работы пластин без покрытия до достижения лунки износа размера в 0,8 мм;

t_2 - период работы пластин с нанесенным покрытием до достижения лунки износа размера в 0,5 мм.

Исследования на износостойкость твердосплавного инструмента из Т15К6 проводились в трехкомпонентной системе покрытия $Cr_2O_3-V_2O_5-MoO_3$, причем исследовались образцы с однокомпонентными, двухкомпонентными и трехкомпонентными покрытиями. Результаты испытаний представлены на рисунке 35.

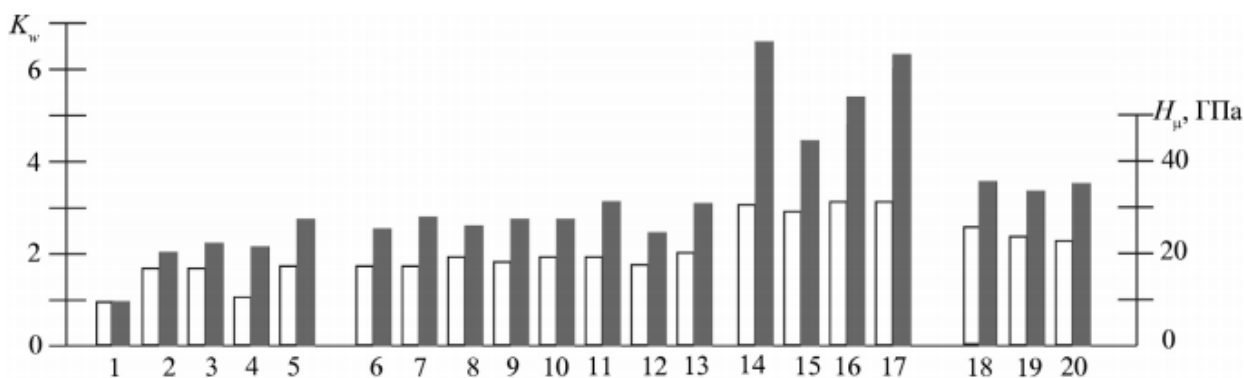


Рисунок 35 – Результаты испытания на микротвердость (белый цвет) и износостойкость (серый цвет) образцов из Т15К6 с нанесенными покрытиями:

1 – Мо; 2 – Cr; 3 – Nb; 4 – Ti; 5 – V; 6 – Cr+Мо; 7 – V+Мо; 8 – Cr+Ti; 9 – Cr+Nb; 10 – Cr+V; 11 – Ti+V; 12 – Ti+Мо; 13 – V+Nb; 14 – Cr+V+Мо; 15 – Cr+Ti+V; 16 – Cr+V+Nb; 17 – Cr+Ti+Мо; 18 – TiC; 19 – TiN; 20 – MoN

Из графика видно, что трехкомпонентные карбидные покрытия (14-17) по микротвердости и износостойкости превосходят остальные.

На рисунке 36 представлены исследования относительной стойкости и микротвердости покрытий на твердом сплаве Т15К6 из карбидов в системе Cr-V-Mo при химико-термической обработке.

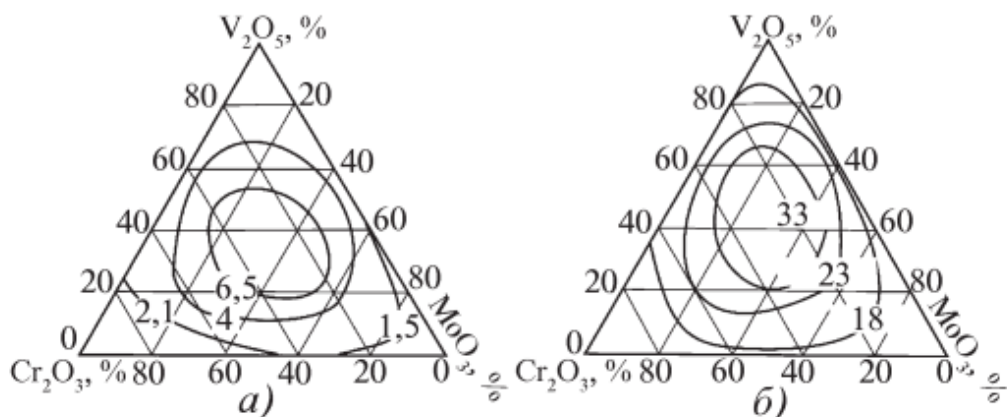


Рисунок 36 - Исследования относительной стойкости (а) и микротвердости (б) покрытий на твердом сплаве Т15К6 из карбидов в системе Cr-V-Mo при химико-термической обработке ($\tau = 6\text{ч}$; $T = 1100^\circ\text{C}$)

На рисунке 37 представлены исследования оптимального сочетания карбидов в покрытии, при котором стойкость повышается более чем в 6,5 раз, а микротвердость повышается до уровня приблизительно 33 ГПа. Процентное содержание оксидов в оптимальном покрытии, имеющим гетерогенную структуру: 25% Cr₂O₃, 50% V₂O₅; 25% MoO₃ (рисунок 37).

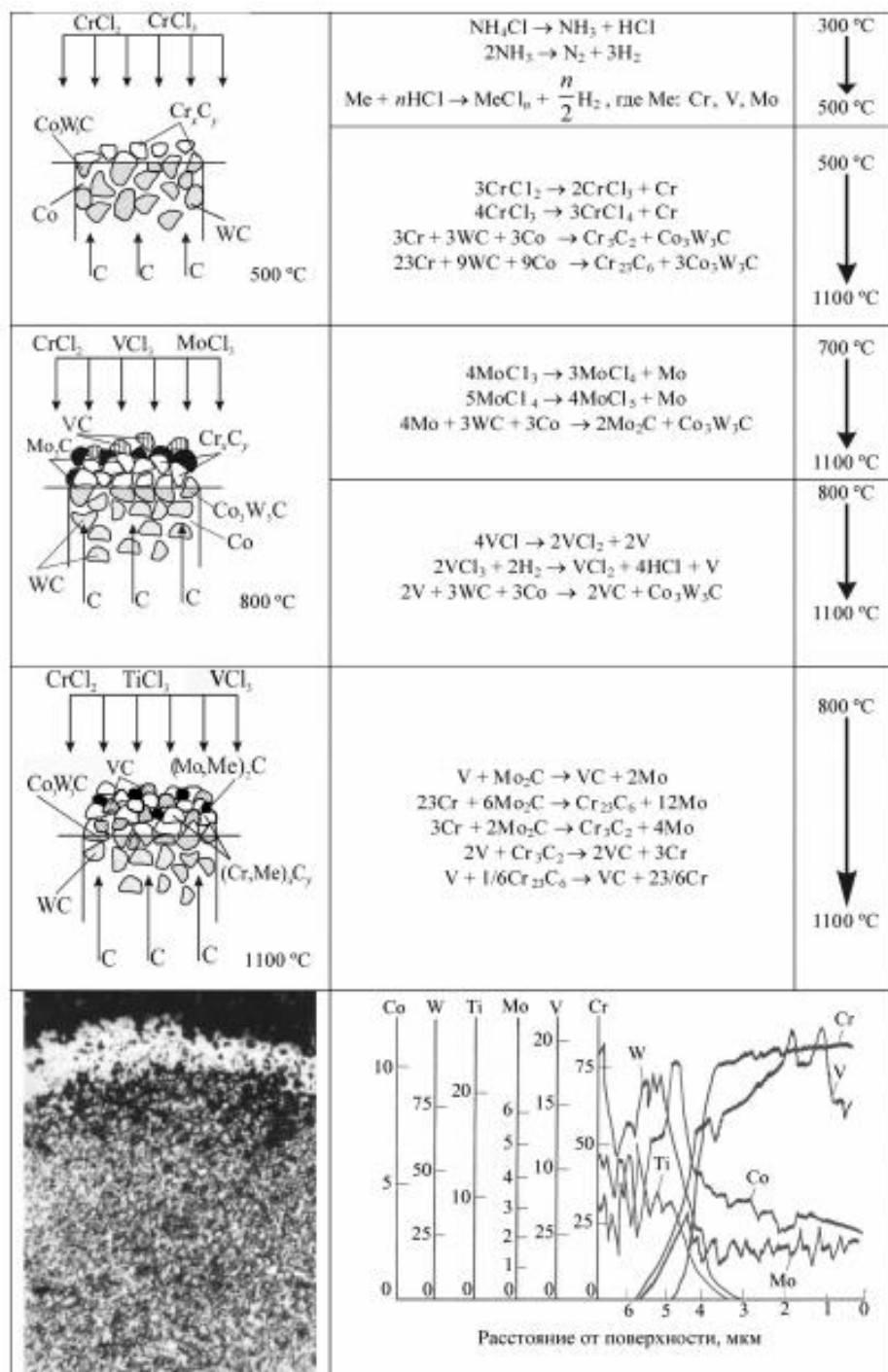
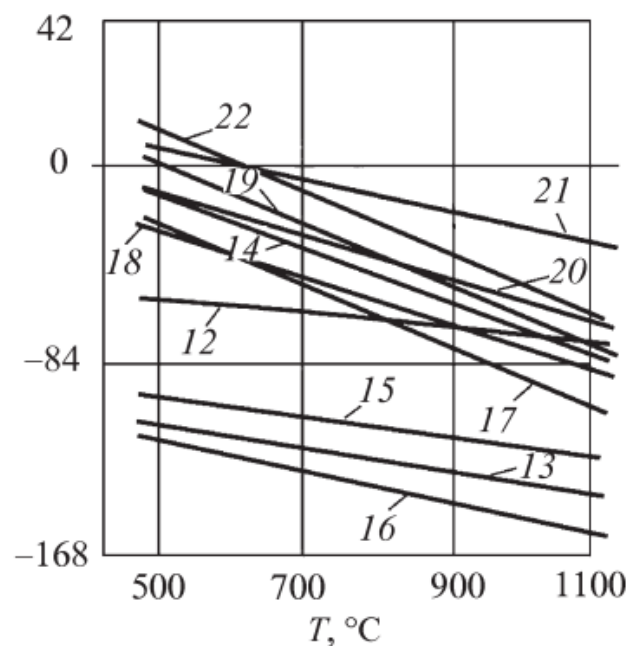
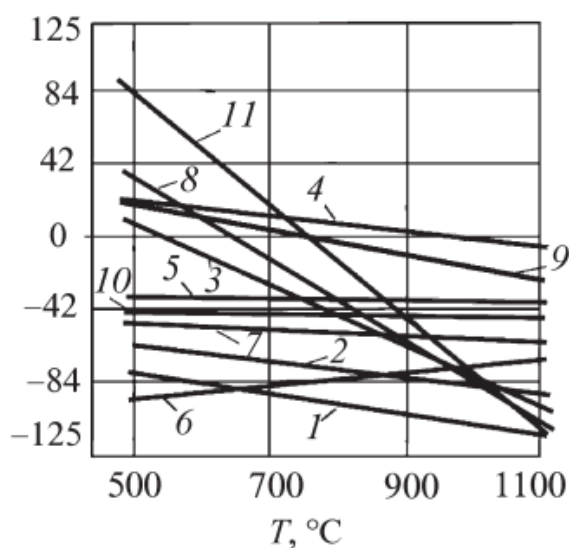


Рисунок 37 – Схема получения оптимального по составу Cr-V-Mo покрытия на материале Т15К6

Методом термодинамического анализа определяли [15, 29] карбидообразование на поверхности опытных образцов. На рисунке 38 представлены результаты образования карбидов.



№ п/п	Химическая реакция
1	$4\text{CrCl}_3 \rightarrow 3\text{CrCl}_4 + \text{Cr}$
2	$3\text{CrCl}_2 \rightarrow 2\text{CrCl}_3 + \text{Cr}$
3	$3\text{Cr} + 3\text{WC} + 3\text{Co} \rightarrow \text{Cr}_3\text{C}_2 + \text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$
4	$23\text{Cr} + 9\text{WC} + 9\text{Co} \rightarrow \text{Cr}_{23}\text{C}_6 + 3\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$
5	$14\text{Cr} + 9\text{WC} + 9\text{Co} \rightarrow 2\text{Cr}_7\text{C}_3 + 3\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$
6	$4\text{MoCl}_3 \rightarrow 3\text{MoCl}_4 + \text{Mo}$
7	$5\text{MoCl}_4 \rightarrow 4\text{MoCl}_5 + \text{Mo}$
8	$4\text{Mo} + 3\text{WC} + 3\text{Co} \rightarrow 2\text{Mo}_2\text{C} + \text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$
9	$4\text{VCl} \rightarrow 2\text{VCl}_2 + 2\text{V}$
10	$2\text{VCl}_3 + 2\text{H}_2 \rightarrow \text{VCl}_2 + 4\text{HCl} + \text{V}$
11	$2\text{V} + 3\text{WC} + 3\text{Co} \rightarrow 2\text{VC} + \text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$

a)

№ п/п	Химическая реакция
12	$2\text{V} + \text{Cr}_3\text{C}_2 \rightarrow 2\text{VC} + 3\text{Cr}$
13	$\text{V} + 1/6\text{Cr}_{23}\text{C}_6 \rightarrow \text{VC} + 23/6\text{Cr}$
14	$4\text{V} + \text{Cr}_3\text{C}_2 \rightarrow 2\text{V}_2\text{C} + 3\text{Cr}$
15	$2\text{V} + 1/6\text{Cr}_{23}\text{C}_6 \rightarrow \text{V}_2\text{C} + 23/6\text{Cr}$
16	$\text{V} + \text{Mo}_2\text{C} \rightarrow \text{VC} + 2\text{Mo}$
17	$23\text{Cr} + 6\text{MoC} \rightarrow \text{Cr}_{23}\text{C}_6 + 6\text{Mo}$
18	$7\text{Cr} + 3\text{MoC} \rightarrow \text{Cr}_7\text{C}_3 + 3\text{Mo}$
19	$3\text{Cr} + 2\text{MoC} \rightarrow \text{Cr}_3\text{C}_2 + 2\text{Mo}$
20	$23\text{Cr} + 6\text{Mo}_2\text{C} \rightarrow \text{Cr}_{23}\text{C}_6 + 12\text{Mo}$
21	$7\text{Cr} + 3\text{Mo}_2\text{C} \rightarrow \text{Cr}_7\text{C}_3 + 6\text{Mo}$
22	$3\text{Cr} + 2\text{Mo}_2\text{C} \rightarrow \text{Cr}_3\text{C}_2 + 4\text{Mo}$

б)

Рисунок 38 – Схема термодинамических реакций образования карбидов (а) и их восстановления насыщающими металлами (б)

Исследования [28, 30] показали, что при достижении температуры 1100°C происходит образование более термодинамически устойчивых карбидов титана и ванадия.

В результате проведенных исследований опытным путем получен оптимальный состав изучаемых покрытий, который включает 25% Cr₂O₃,

50% V_2O_5 ; 25% MoO_3 . Также опытным путем установлено, что достаточным для карбидообразования является нагрев системы до $1100^\circ C$.

Производственные испытания показали, что процесс ТГХО эффективен для увеличения износостойкости твердосплавного металлорежущего инструмента. Так у сверл малого диаметра при обработке отверстий в печатных платах точность месторасположения отверстий повысилась на 28,9%. При исследовании работы режущих твердосплавных пластин проходных токарных резцов с нанесенным методом ТГХО покрытием износостойкость инструмента повысилась в 6,5 раз, а микротвердость увеличилась до уровня приблизительно 33 ГПа.

5 Контроль качества упрочненной поверхности инструмента

Важным аспектом при нанесении износостойких покрытий является прочность связи покрытия с материалом основы. Это так называемая адгезионная связь. Ее можно оценить несколькими методами. Например, оценить силу отрыва $F_{отр}$ работу отрыва $A_{отр}$. Механизмы отрыва представлены на рисунке 39. [3]

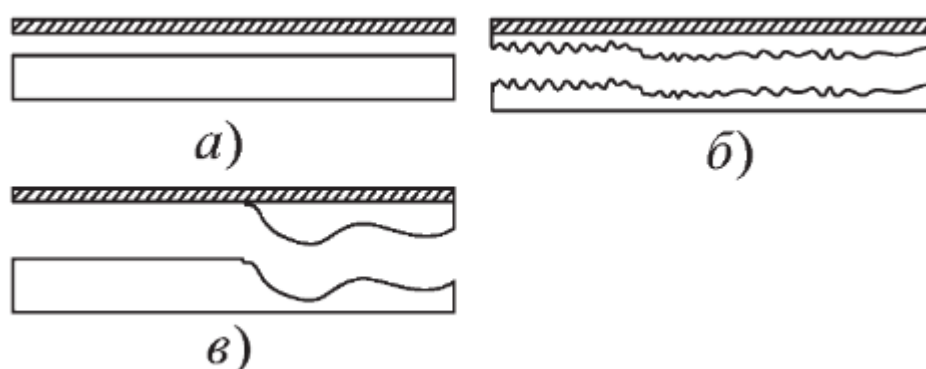


Рисунок 39 – Механизмы отрыва:

a – адгезионный отрыв; *б* – когезионный отрыв; *в* – смешанный отрыв

Адгезионный отрыв – это когда исключительно покрытие отделяется от подложки (рисунок 38, *a*). Когезионный отрыв происходит по контактирующим материалам (рисунок 38, *б*). Также такое разрушение может быть смешанным.

При оценке важно иметь информацию о природе разрушения (рисунок 40).

Для оценки природы разрушения чаще всего применяют металлографические микроскопы.



Рисунок 40 – Методы измерения и адгезионных связей покрытия с основой

Одним из распространённых методов оценки адгезионной связи покрытия с основой является штифтовой метод. Он заключается в том, что в коническое отверстие шайбы с натягом помещают штифт (рисунок 41). [3]

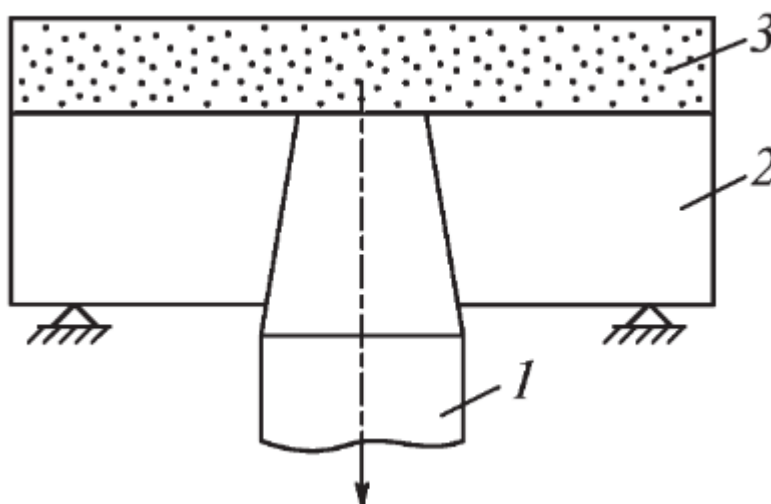


Рисунок 41 – Штифтовой метод оценки адгезионной связи покрытия с основой:

1 – штифт; 2 – шайба; 3 – покрытие.

Поверхность шайбы и штифта обрабатывается, подготавливается и на него наносят покрытие. После этого штифт извлекают из отверстия, как показано на рисунке. В этом методе оценивают силу, с которой извлекают штифт. Она и дает представление об адгезионных связях покрытия с основой. На рисунке 42 представлен график зависимости усилия извлечения штифта от его перемещения.

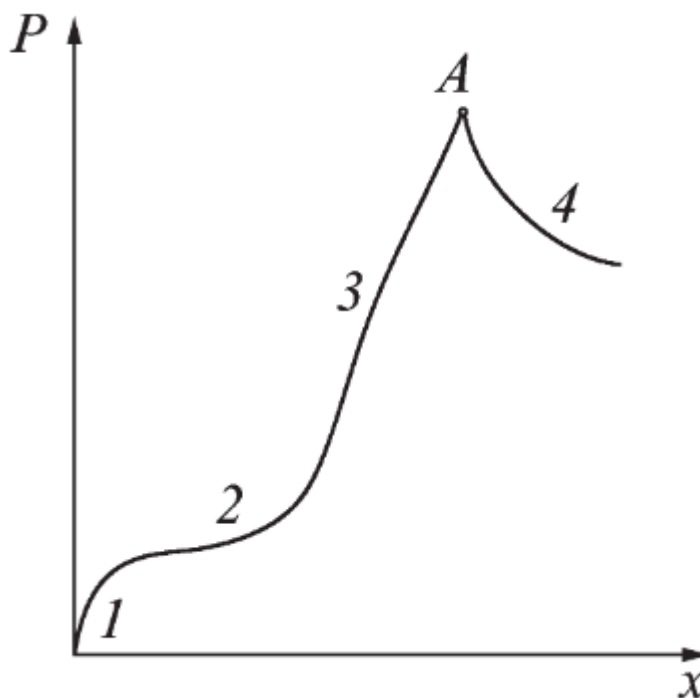


Рисунок 42 - График зависимости усилия извлечения штифта от его перемещения

На рисунке 42 точка A означает отрыв штифта от нанесенного покрытия.

Следующим методом изучения прочности связи покрытия с материалом основы является метод сдвига. Он заключается в нанесении покрытия на плоский образец и воздействием на него ножом (рисунок 43).

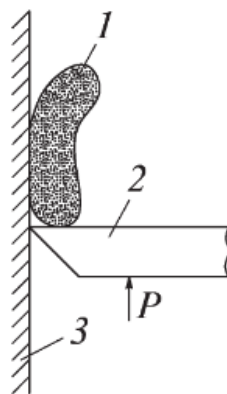


Рисунок 43 – Схема метода сдвига:
1 – покрытие; 2 – нож; 3 – материал основы

При оценке адгезионной связи покрытия с материалом основы критерием является отношение силы воздействия на покрытие P и площади выполненного покрытия, то есть площади контакта.

Еще одним методом оценки адгезионных связей является склерометрический метод. Его иногда называют методом царапания. Она заключается в том, что на материал с покрытием воздействуют иглой, создавая несколько борозд различной глубины (рисунок 44).

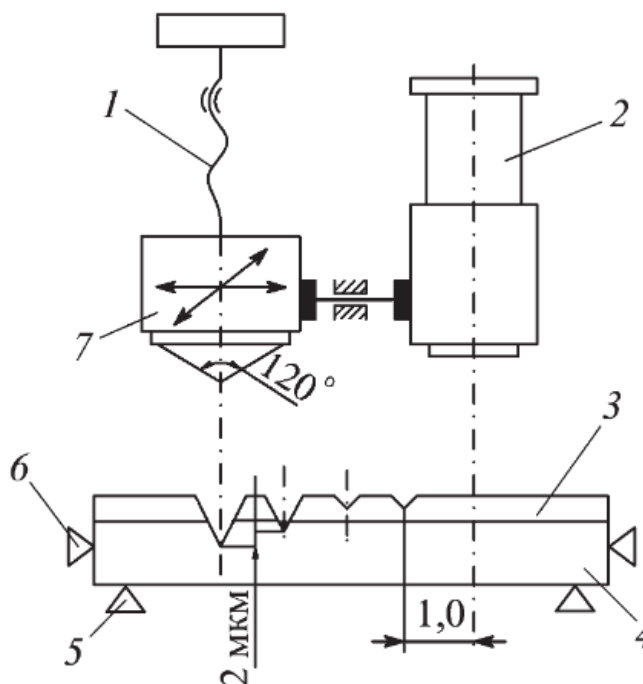


Рисунок 44 - Склерометрический метод оценки адгезионных связей

В автоматизированном склерометрическом методе оценки борозды на поверхности образца выполняют алмазным конусом. Этим инструментом выполняют несколько параллельных борозд различной глубины до отрыва покрытия от основного материала.

На минимальных глубинах скрайбирования наблюдается пластическая деформация покрытия. При больших глубинах внедрения пирамиды наблюдается механическое снятие покрытие и отделение его от материала основы (рисунок 45).

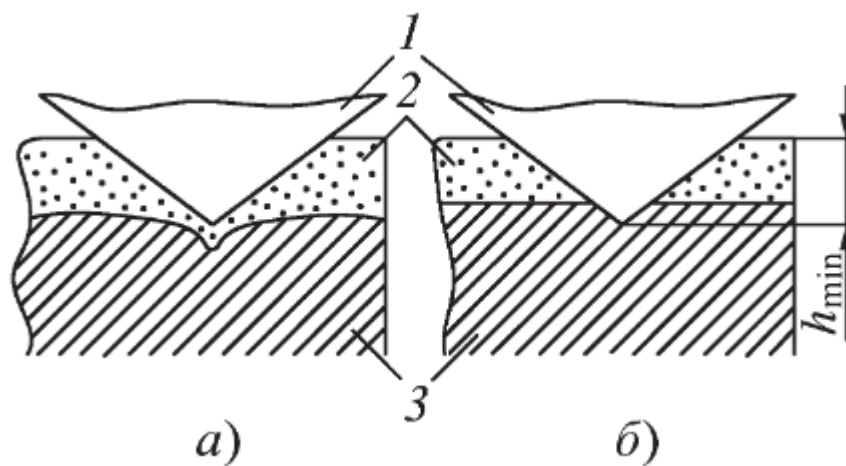


Рисунок 45 – Внедрение индентора при скрайбировании:
1 – алмазная пирамида; 2 – материал покрытия; 3 – материал основы

Этот метод можно проводить с фиксацией звука при процессе, тогда в схему устанавливается датчик акустоэмиссионного сигнала. Этот датчик фиксирует звук разрушения покрытия и по этим звукам определяется пластическая деформация или отслоение материала покрытия от основы.

Для определения адгезионных связей покрытия с подложкой возможно использовать метод вдавливания. Он заключается в том, что в поверхность с покрытием с помощью прибора Роквелла вдавливают пирамиду, имеющую алмазный наконечник. Она под воздействием силы давления пробивает покрытие и оставляет след на тестируемой поверхности (рисунок 46). Далее с пирамиды снимают нагрузку и металлографическим способом исследуют оставленный на поверхности след. Количественную оценку выполняют, измеряя след оставленного на поверхности отпечатка (рисунок 47).

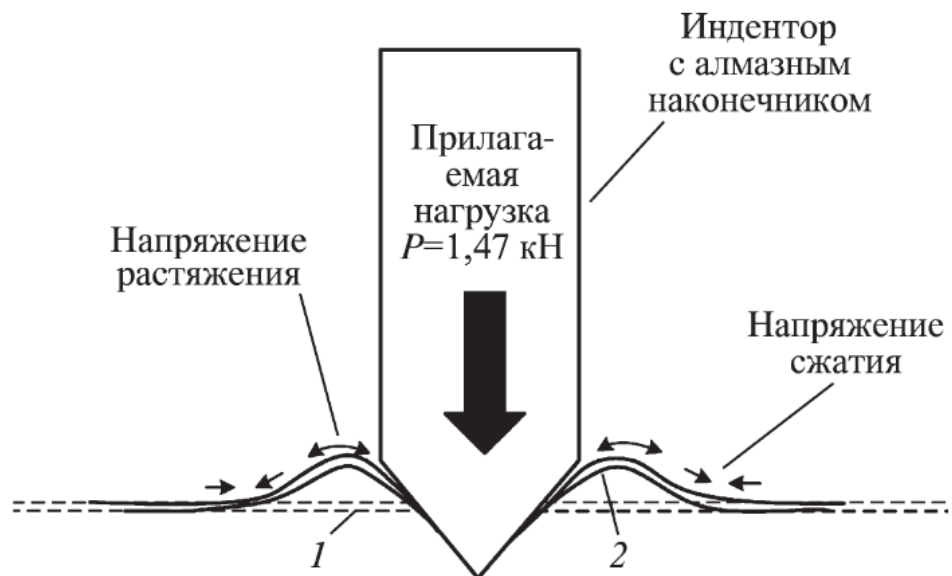


Рисунок 46 – Метод определения адгезионных связей давлением:
1 – поверхность основного материала; 2 – покрытие

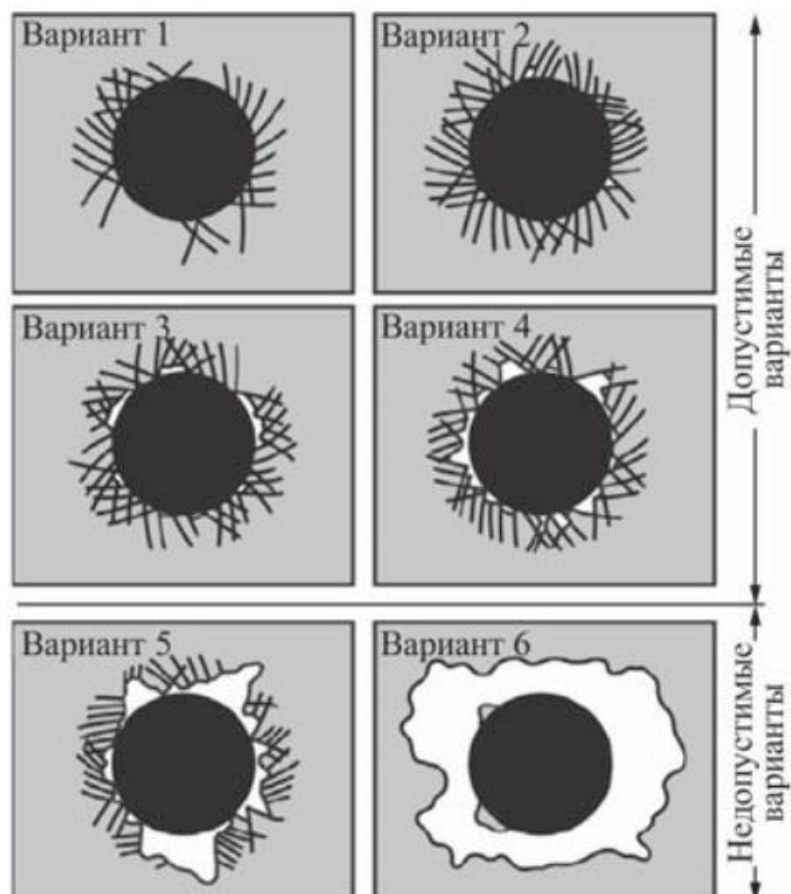


Рисунок 47 – Возможные варианты разрушения покрытия после метода вдавливания прибором Роквелла

Методы контроля остаточных напряжений подразделяют на разрушающие и неразрушающие.

На поверхности материалов остаточные напряжения создают микродеформации. Эти микродеформации фиксируют с помощью специальных приборов, называемых дифрактометрами. На рисунке 48 представлена схема данного вида измерения остаточных напряжений. Этот метод получил название рентгеновский.

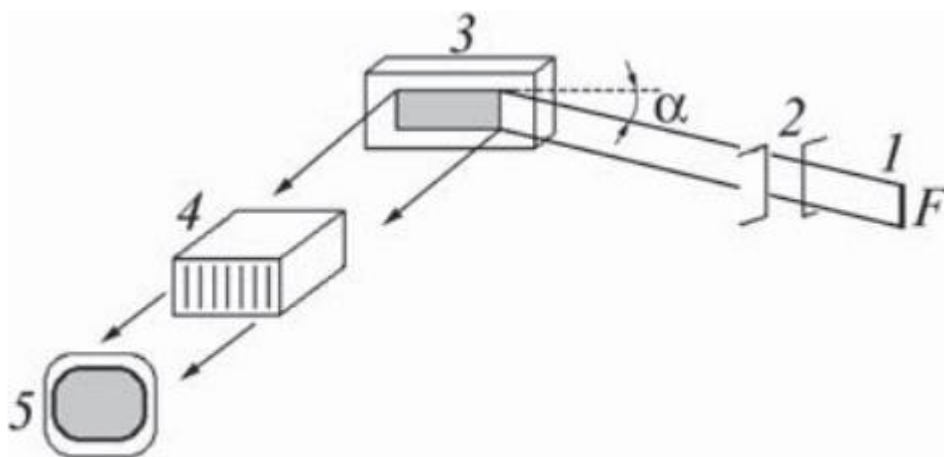


Рисунок 48 – Схема рентгеновского метода контроля остаточных напряжений

Рентгеновским методом измеряют остаточные напряжения тонких и сверхтонких пленок.

Разрушающие методы контроля остаточных напряжений можно свести к единому принципу. Этот принцип заключается в том, что в измеряемом теле остаточные напряжения уравновешены. Это значит, что их равнодействующая равна нулю. Но если начать воздействовать на тело с определенным усилием, то это равновесие нарушается и возникают упругие деформации. Измерив эти деформации можно получить картину об остаточных напряжениях, имеющихся в теле. На рисунке 49 представлена классификация разрушающих методов контроля остаточных напряжений.



Рисунок 49 - Классификация разрушающих методов контроля остаточных напряжений

Небольшие деформации определяют при помощи тензометрических датчиков.

На рисунке 50 представлены эпюры распределения остаточных напряжений в режущем клине твердосплавного инструмента.

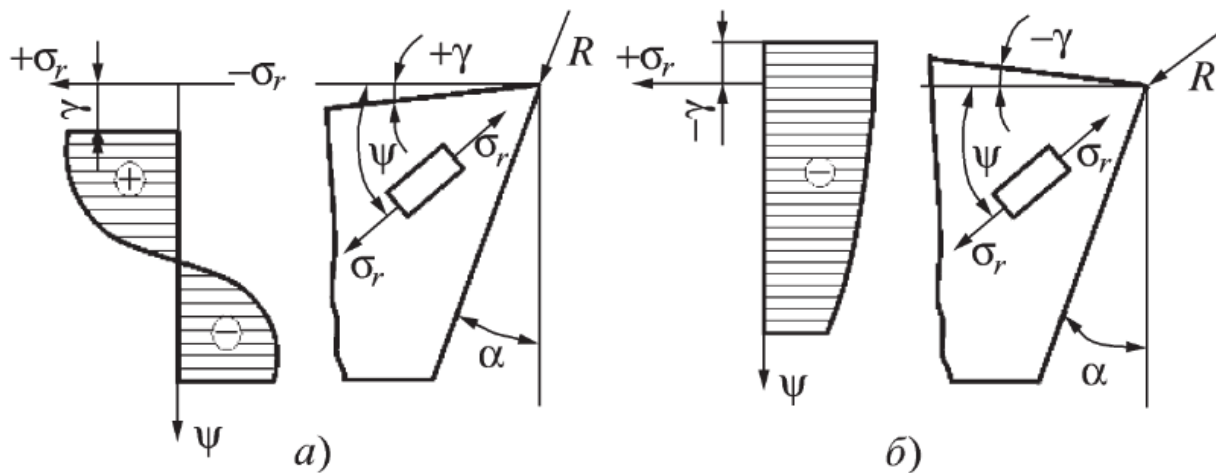


Рисунок 50 - Эпюры распределения остаточных напряжений в режущем клине твердосплавного инструмента

Из рисунка 50 видно, что при создании отрицательного переднего угла в геометрии режущего инструмента возможно исключение растягивающих остаточных напряжений, что сказывается на стойкости режущего инструмента.

Заключение

В результате проведенной работы нами предложено для упрочнения твердосплавного режущего инструмента применить термогидрохимическую обработку. Данный метод относительно других наиболее прост и не требует больших затрат.

Первая глава работы посвящена литературному обзору. Здесь рассматриваются вопросы повышения износостойкости режущего инструмента различными методами. Приводятся данные о нанесении различных покрытий на инструмент, получаемая структура различных покрытий, данные по типу износа инструмента, конечные цифры изменения стойкости после упрочняющих операций. Здесь же приводятся сведения по выбору именно термогидрохимической обработки для упрочнения режущего инструмента.

Во второй главе работы рассматриваются мероприятия по подготовке поверхностей к нанесению износостойких покрытий. Представлены данные о том, почему необходимо выполнять эту подготовку.

В третьей главе описаны исследования опытных образцов, упрочненных термогидрохимической обработкой. Описаны эксперименты по измерению трибологических свойств упрочненного инструмента, исследовано поверхностное натяжение упрочненного слоя, представлены результаты математического моделирования свойств получаемых покрытий.

Четвертая глава работы посвящена производственным испытаниям упрочненного инструмента методом термогидрохимической обработки. Приводятся сведения о испытаниях сверл с покрытием и упрочненных режущих пластин токарных резцов.

В пятой главе работы представлены различные методы контроля качества сформированного покрытия. Приводятся сведения для применения каждого из методов контроля.

Список используемой литературы

1. Богодухов С.И. Упрочнение твердых сплавов / С.И. Богодухов, Е.С.Козик, Е.В. Свиденко // Упрочняющие технологии и покрытия. 2015. №11. С. 3-9.
2. Витязь П.А. Упрочнение твердого сплава методом термогидрохимической обработки / П.А. Витязь, А.А. Шматов, О.Г.Девойно // Доклады Национальной академии наук Беларуси. 2013. Т. 57. № 1. С. 113-117.
3. Григорьев С.Н. Методы повышения стойкости режущего инструмента : учебник для студентов вузов. – М. : Машиностроение, 2009. – 368 с.
4. Григорьянц А.Г. Основы лазерной обработки материалов. М. : Машиностроение. 1989. – 304 с.
5. Григорьянц А.Г. Технологические процессы лазерной обработки / А.Г.Григорьянц, И.Н. Шиганов, А.И. Мисюров // М. : Изд-во МШТУ им. Н.Э.Баумана. 2006. – 664 с.
6. Жигалов А.Н. Методы упрочнения твердосплавного инструмента / А.Н. Жигалов, А.А. Жолобов, О.Н. Кляус // В сборнике: Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии. Материалы Международной научно-технической конференции. 2019. С. 39-40.
7. Ланге К.Р. Поверхностно-активные вещества: синтез, свойства, анализ, применение / К.Р.Ланге; под науч. ред. Л.П. Зайченко. – СПб : Профессия, 2004. – 240 с.
8. Лошак М.Г. Прочность и долговечность / Киев : Наукова думка. 1984. – 148 с.
9. Хаэт Г.Л. Сборный твердосплавный инструмент / Г.Л. Хаэт, В.М.Гах, К.Г. Громаков // М.: Машиностроение. 1989. – 360 с.
10. Шматов А.А. Компьютерное проектирование процесса получения на стали твердосмазочного покрытия на базе речного песка / А.А. Шматов,

А.Е.Соломянский, О.М. Колбасенко // Материаловедение. 2018. № 4(253). С. 41-48.

11. Шматов А.А. Компьютерное проектирование процесса ТГХО для получения на стали У8 твердосмазочного SiC покрытия / А.А. Шматов, О.В.Жилинский, С.И. Марочкина, А.Е. Соломянский // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. 2014. №3. С. 53-61.

12. Шматов А.А. Компьютерное проектирование процесса ТГХО для формирования твердосмазочных покрытий на инструментальной стали У8 // А.А. Шматов, О.В.Жилинский, С.И. Марочкина, Г.К. Жавренко, А.Е.Соломянский // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. 2010. № 2. С. 139-146.

13. Шматов А.А. Многомерное проектирование технологии упрочнения твердого сплава в вододисперсном речном песке / А.А. Шматов, А.Е.Соломянский // Упрочняющие технологии и покрытия. 2018. Т. 14. №9. С. 418-425.

14. Шматов А.А. Многомерное проектирование технологии упрочнения твердого сплава в гидрозолье красной глины / Материаловедение. 2019. № 6. С. 41-48.

15. Шматов А.А. Моделирование процесса оптимального формирования карбидного слоя при химико-термической обработке твердого сплава / А.А.Шматов, С.В. Побережный // Упрочняющие технологии и покрытия. 2012. №2. С. 32-39.

16. Шматов А.А. Модифицирование твердого сплава методом ТГХО / А.А. Шматов, О.Г. Девойно, Ю.О. Лисовская // Ползуновский вестник. 2012. №1-1. С. 359-364.

17. Шматов А.А. Реализация механизмов упрочнения инструментальных материалов при термогидрохимической обработке / Упрочняющие технологии и покрытия. 2014. №12. С. 37-48.

18. Шматов А.А. Термогидрохимическая обработка твердых сплавов в вододисперсных оксидных средах // А.А. Шматов, О.Г. Девойно // Вестник Брестского государственного технического университета. Машиностроение. 2011. № 4 (70). С. 19-25.
19. Шматов А.А. Упрочняющий эффект термогидромеханической обработки инструментальных материалов / Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. 2014. № 11. С. 112-120.
20. Юров В.М. Поверхностное натяжение упрочняющих покрытий / В.М. Юров, В.Ч. Лауринас, С.А. Гученко, О.Н. Завацкая // Упрочняющие технологии и покрытия. 2014. №1. – С. 33-35.
21. Loginov, N. Y., Gulyaev, V. A., Kozlov, A. A., & Voronov, D. Y. (2019). Testing of the mathematical model application of the wear coating electro-spark method. Paper presented at the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, , 537(2) doi:10.1088/1757-899X/537/2/022006
22. Martin, J.W. Stability of microstructure in metallic systems / J.W. Martin, R.D. Doherty. – London, New York, Melbourne: Cambridge University Press, 1978. – 280 p.
23. Shmatov, A. A. (2006). Low-temperature and high-temperature thermochemical hardening technologies for hard alloys. Paper presented at the Proceedings of 8th Biennial ASME Conference on Engineering Systems Design and Analysis, ESDA2006, 2006 doi:10.1115/esda2006-95092
24. Shmatov, A. A. (2020). Multidimensional design of the technology of strengthening of a hard alloy in a hydrosol of red clay. Inorganic Materials: Applied Research, 11(1), 164-171. doi:10.1134/S2075113320010335
25. Shmatov, A. A. (2006). Strengthening thermo-cycling heat treatment process of high-speed steels. Paper presented at the Proceedings of 8th Biennial ASME Conference on Engineering Systems Design and Analysis, ESDA2006, 2006 doi:10.1115/esda2006-95093

26. Shmatov, A. A. (2020). Multidimensional design of the technology of strengthening of a hard alloy in a hydrosol of red clay. *Inorganic Materials: Applied Research*, 11(1), 164-171. doi:10.1134/S2075113320010335
27. Shmatov, A. A., Soos, L., & Krajny, Z. (2017). New technology for hardening ready-made tools in aqueous dispersed media. *Acta Metallurgica Slovaca*, 23(1), 87-92. doi:10.12776/ams.v23i1.844
28. Shmatov, A., Soos, L., & Krajny, Z. (2019). Computer-aided design of technology for producing solid lubricating coating on tool steel. *MM Science Journal*, 2019(December), 3549-3554. doi:10.17973/MMSJ.2019_12_2019041
29. Shmatov, A., Soos, L., & Krajny, Z. (2020). Multidimensional design of technology for obtaining solid lubricant coating on tool hard alloy. *MM Science Journal*, 2020(November), 4164-4169. doi:10.17973/MMSJ.2020_11_2020055
30. Shmatov, A., Soos, L., & Krajny, Z. (2019). Process for producing diamond-like carbide coatings on hard alloys. *MM Science Journal*, 2019(June), 2887-2890. doi:10.17973/MMSJ.2019_06_201812

Приложение А
Публикации

ISSN 2587-9189



СибАК
www.sibac.info

СБОРНИК СТАТЕЙ ПО МАТЕРИАЛАМ LXIII МЕЖДУНАРОДНОЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В СОВРЕМЕННОЙ НАУКЕ



№3(57)

г. НОВОСИБИРСК, 2021

Продолжение Приложения А



ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В СОВРЕМЕННОЙ НАУКЕ

*Сборник статей по материалам
LXIII международной научно-практической конференции*

№ 3 (57)
Март 2021 г.

Издается с августа 2017 года

Новосибирск
2021

Продолжение Приложения А

УДК 08
ББК 94
Э41

Председатель редколлегии: д-р психол. наук, канд. мед. наук Дмитриева Наталья Витальевна.

Редакционная коллегия:

канд. юрид. наук Л.А. Андреева,
канд. пед. наук, доц. Е.Л. Антифеева,
д-р юрид. наук, проф. Л.И. Антонова
канд. техн. наук Р.М. Ахмеднабиев,
д-р техн. наук С.М. Ахметов,
канд. юрид. наук О.А. Бахарева,
канд. мед. наук В.П. Волков,
канд. пед. наук М.Е. Виговская,
канд. тех. наук, д-р пед. наук О.В. Виштак,
канд. филос. наук Т.А. Гужавина,
д-р филол. наук Е.В. Грудева,
канд. техн. наук Д.В. Елисеев,
канд. юрид. наук В.Н. Жамулдинов,
канд. физ.-мат. наук Т.Е. Зеленская,
канд. хим. наук Ж.А. Ибатаев,
канд. пед. наук С.Ю. Иванова,
канд. филос. наук В.Е. Карпенко,
канд. филос. наук Т.М. Карпенко,
д-р психол. наук В.С. Карапетян,
канд. экон. наук В.Л. Ковнер,
д-р хим. наук В.О. Козьминых,
канд. геол.-минерал. наук Н.Г. Корвет,
канд. физ.-мат. наук В.С. Королев,
канд. экон. наук, канд. филол. наук
С.Ю. Костылева,

канд. ист. наук К.В. Купченко,
д-р культурологии, проф. И.А. Купцова
д-р биол. наук, проф. М.В. Ларионов,
канд. мед. наук Е.А. Лебединцева,
канд. пед. наук Т.Н. Ле-ван,
канд. филол. наук Ж. Н. Макушева,
д-р мед. наук О.Ю. Милушкина,
канд. филол. наук Т.В. Павловец,
д-р социол. наук И.В. Попова,
д-р техн. наук, канд. физ.-мат. наук
П.П. Рымкевич,
канд. биол. наук Г.М. Рысмамбетова,
канд. психол. наук Н.В. Сидячева,
д-р ист. наук И.С. Соловенко,
канд. ист. наук А.Н. Сорокин,
д-р филос. наук, канд. хим. наук
Е.М. Сүлеймен,
PhD по специальности «Физика»
Р.Н. Сүлеймен,
д-р филос. наук Я.В. Тарароев,
канд. биол. наук В.Е. Харченко,
д-р пед. наук, проф. Н.П. Ходакова,
д-р филол. наук Л.Н. Чурилина,
канд. ист. наук В.Р. Шаяхметова,
канд. пед. наук С.Я. Якушева.

Э41 Экспериментальные и теоретические исследования в современной науке /
Сб. ст. по материалам LXIII междунар. науч.-практ. конф. № 3 (57).
Новосибирск: Изд. ООО «СибАК», 2021. 64 с.

Учредитель: ООО «СибАК»

Статьи сборника «Экспериментальные и теоретические исследования в современной науке» размещаются в полнотекстовом формате на сайте научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU.

При перепечатке материалов издания ссылка на сборник статей обязательна.

ISSN 2587-9189

© ООО «СибАК», 2021

Оглавление

Секция «Биология»	5
ЗНАЧЕНИЕ КУКУРУЗЫ В ПРОИЗВОДСТВЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ Гасымов Джейхун Фаиг оглы	5
Секция «Информационные технологии»	9
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ БЕСПРОВОДНЫХ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ Липская Марина Анатольевна Меркібай Фаби Жумағазыұлы Телебай Ақнұр Асқанбайқызы	9
Секция «Междисциплинарные исследования»	18
ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ В УСЛОВИЯХ ПОДЗЕМНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА Сударикова Александра Александровна	18
Секция «Педагогика»	23
ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОННОГО КОНТЕНТА В РАМКАХ ТЕХНОЛОГИИ «ЭДЬЮТЕЙНМЕНТ» ПРИ ОБУЧЕНИИ АНГЛИЙСКОМУ ЯЗЫКУ Мжачева Марина Владимировна	23
Секция «Психология»	29
ВЗАИМОСВЯЗЬ СОЦИАЛЬНО-ПСИХОЛОГИЧЕСКОЙ АДАПТАЦИИ КАК КРИТЕРИЯ ПСИХИЧЕСКОГО ЗДОРОВЬЯ И ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО СТРЕССА У РАБОТНИКОВ ТОРГОВЛИ Щербенко Нина Петровна Чекина Лариса Федоровна	29
Секция «Социология»	33
МЕРОПРИЯТИЯ ПО ОПТИМИЗАЦИИ СОЦИАЛЬНОЙ ПОЛИТИКИ НА ПРЕДПРИЯТИИ Завадько Александра Константиновна	33

Секция «Технические науки»	39
СРАВНЕНИЕ РАБОТЫ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ТРЕХ МОДЕЛЕЙ (GRNN, LVQ, RBF) НА ПРИМЕРЕ РЕАЛИЗАЦИИ СПОРТИВНОГО ПРОГНОЗА Крутиков Александр Константинович	39
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ НА ИЗМЕНЕНИЕ СТОЙКОСТИ ТВЕРДОСПЛАВНОГО ИНСТРУМЕНТА Логинов Николай Юрьевич Бачинский Александр Геннадьевич	45
УЗКИЕ МЕСТА ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ОБЪЕМОВ В РАКЕТОСТРОЕНИИ Ширшов Евгений Олегович Козлов Сергей Вадимович Сугак Евгений Викторович	51
Секция «Физика»	55
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ САМОРАСПРОСТРАНЯЮЩЕГОСЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО СИНТЕЗА ФЕРРИТОВ Никитюк Иван Владимирович Доценко Ольга Александровна	55

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ
УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ НА ИЗМЕНЕНИЕ
СТОЙКОСТИ ТВЕРДОСПЛАВНОГО ИНСТРУМЕНТА**

Логинов Николай Юрьевич

*канд. техн. наук,
зав. кафедрой оборудования и технологий
машиностроительного производства, доц.,
Тольяттинский государственный университет,
РФ, г. Тольятти
E-mail: loginovnik@mail.ru*

Бачинский Александр Геннадьевич

*студент,
Тольяттинский государственный университет,
РФ, г. Тольятти
E-mail: rsi-tgu@iltsu.ru*

**INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF VARIOUS
TYPES OF HARDENING TREATMENT ON THE CHANGE
IN THE WEAR RESISTANCE OF CARBIDE TOOLS**

Nikolay Loginov

*Candidate of Technical Sciences,
Togliatti State University,
Russia, Togliatti*

Alexandr Bachinskiy

*Togliatti State University,
Russia, Togliatti*

АННОТАЦИЯ

В статье приводится литературный обзор исследований увеличения стойкости твердосплавного режущего инструмента различными методами обработки. Сравниваются затраты на внедрение в технологический процесс изготовления инструмента различного рода упрочняющих методов и результаты производственных испытаний такого рода инструмента.

ABSTRACT

The article provides a literature review of studies on increasing the durability of carbide cutting tools by various processing methods. The costs of introducing various strengthening methods into the technological process of tool manufacturing and the results of production tests of such tools are compared.

Ключевые слова: режущий инструмент; износостойкость; твердый сплав.

Keywords: cutting tool; wear resistance; hard alloy.

На сегодняшний день в машиностроении очень большое внимание уделяется упрочнению металлорежущего инструмента. Целью этого является повышение износостойкости инструмента. С экономической точки зрения это объясняется тем, что в технологических операциях со снятием стружки большая доля расходов приходится на переточку и замену режущего инструмента.

Сейчас в промышленности режущий инструмент изготавливается из трех типов материалов: твердых сплавов, керамики и инструментальных сталей. В нашей работе отдадим приоритет твердым сплавам.

Одним из перспективных направлений развития металлообработки резанием является, так называемая сухая обработка, которая осуществляется при отсутствии смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ). Перспективным это направление является ввиду его большей экологичности. В отсутствие СОЖ в машиностроительном цехе не появляются вредные газы, вызванные испарением СОЖ при высокотемпературном процессе резания металлов.

Существует множество методов повышения износостойкости твердосплавного инструмента. Методы упрочнения твердосплавного режущего инструмента условно можно разделить на три группы [1]:

- 1) термическая обработка;
- 2) нанесение покрытий;
- 3) механическая обработка (алмазная обработка).

При алмазном шлифовании твердых сплавов происходит искажение кристаллической решетки и дробление блоков поверхностного слоя инструмента.

Авторами [2] описано, что стойкость режущего инструмента, шлифованного алмазным кругом в 1,7 раза больше, чем стойкость нешлифованного инструмента.

Исследованиями установлено, что при шлифовании с малым припуском происходит значительное искажение кристаллической решетки материала, а также дробление блоков в структуре. [1]

Для увеличения прочности твердых сплавов применяется вибрационная обработка в сочетании с алмазным шлифованием. При определенных условиях $\sigma_{изг}$ увеличивается на 25...50%, что увеличивает эксплуатационную стойкость твердосплавного режущего инструмента в 1,3 раза и оказывает экономический эффект [3].

Еще одним методом упрочнения твердых сплавов является дробеструйная обработка, заключающаяся в бомбардировке обрабатываемой поверхности дробью. Это формирует поверхностный наклеп и упрочняет обрабатываемую поверхность. На поверхности, таким образом, формируются остаточные напряжения сжатия, которые, например, у самой поверхности сплава ВК15 [3] доходят до значений 1800 Н/мм². Для сравнения в состоянии после спекания у твердого сплава остаточные напряжения на поверхности были 500 Н/мм².

Распространены способы увеличения прочности твердого сплава методами термической обработки. Здесь оказывают температурное воздействие, которое приводит к дроблению зерен, что изменяет физико-химические свойства сплавов. В большинстве случаев сплавы термически обрабатывают двумя следующими способами:

- 1) нагревают до температур 800...1250°C с последующим охлаждением, причем охлаждение проводят в различных средах;
- 2) производят отпуск или отжиг при температурах 600...1250°C продолжительностью в несколько часов.

Термически возможно воздействовать и на связующий элемент, который скрепляет зерна в твердых сплавах (чаще всего им является кобальт). Концентрация связующего элемента в сплавах различна в зависимости от способа изготовления сплава.

Качественно улучшенные физико-механические свойства твердых сплавов можно получить, воздействуя на них высококонцентрированными тепловыми источниками, такими как лазеры. При этом можно достичь более высоких показателей твердости сплавов, их прочности и вязкости.

При лазерном нагреве поверхностного слоя твердых сплавов изменяется структура только поверхности, тогда как структура основного материала остается прежней. Это в некоторых случаях становится выгодным явлением. [4, 5]

Еще одним, наиболее выгодным способом упрочнения твердых сплавов, является нанесение покрытий.

Авторами [6] обозначено, что наилучшими химическими соединениями, уменьшающими трибологические свойства поверхностного слоя инструмента являются сульфиды и оксиды. Наиболее предпочтительными являются оксиды, так как они образуются естественным путем на граничных слоях любого материала в воздушной среде. При определенных условиях создание оксидных пленок на поверхности детали создается поверхностное упрочнение (возникает эффект Роско). В присутствии поверхностно-активных веществ (ПАВ) снижается сопротивление сдвигу при трении. Это так называемый эффект Ребиндера.

В работе [6] исследовались образцы из твердых сплавов ВК6 и Т15К6, подверженных термогидрохимической обработке. В результате проведенных исследований авторами сделан вывод о том, что после проведения ТГХО полученные износостойкие покрытия имеют низкий коэффициент трения ($f = 0,106$).

Результаты рентгеновских исследований показали, что после ТГХО количество дислокаций образцов существенно не изменяется.

Таким образом, [2] сделан вывод, что испытания режущих инструментов после ТГХО показали увеличение стойкости в 1,3...4,0 раз.

В источнике литературы [7] описывается, что при термогидрохимической обработке на поверхности инструментов из различных материалов (стали, сплавы) осаждаются антифрикционные твердосмазочные покрытия, способствующие снижению коэффициента трения инструментов об обрабатываемый материал.

Авторы [7] описывают, что для формирования математической модели процесса ТГХО удобно использовать методологический подход, называемый многомерным проектным синтезом технологической системы.

Производственные испытания обработанного ТГХО инструмента показали стабильное увеличение стойкости различного инструмента, поэтому авторами [7] рекомендуется проведение данных мероприятий с целью получения экономической выгоды.

Авторы [8] утверждают, что наилучшими свойствами обладают твердые сплавы с метастабильными микроструктурами. К таким состояниям материалы можно привести двумя путями: созданием избыточной свободной энергии внешней и внутренней поверхности раздела материала инструмента или созданием избыточной свободной энергии материала и окружающей среды.

Авторами [9] сделан вывод о том, что коэффициент трения образцов из ВК6 снизился с уровня 0,4...0,44 до значения 0,106, что соответствует снижению в 3,8...4,1 раза.

В источнике [10] авторами описывается, что при ТГХО в твердых сплавах формируется два типа композиционной структуры: одна состоит из макроэлементов с различными свойствами, а другая является нанокомпозитной. Первая образуется при всех режимах ТГХО, а вторая – только после гидрохимического нагрева покрытия до температуры свыше 500°C. В последней сочетаются нанокомпозитные и поликомпозитные зерна. Такая структура наиболее выгодна, так как при этом стойкость инструмента наибольшая.

В заключении [10] говорится о существенном повышении (в 3,8 раза) стойкости инструмента из твердого сплава ВК6, упрочненного ТГХО на оптимальных режимах. Также указано, что данный процесс внедрен в ведущие действующие машиностроительные предприятия Белоруссии.

В исследованиях [11] авторами изучались трибологические свойства покрытий, нанесенных методом ТГХО на твердый сплав ВК6. Испытания показали, что этим методом на твердом сплаве формируется покрытие толщиной до 1 мкм. На образцы наносилось покрытие из наноксидов, нанокарбидов и нанонитридов. Измерения коэффициентов трения образцов показали, что наименьшими коэффициентами обладают образцы с покрытием из наноксидов.

Автором [12] утверждается, что упрочнение твердыми растворами – это процесс, когда в кристаллическую решетку упрочняемого материала путем замещения или внедрения вводится частицы упрочняющего материала. Твердый раствор замещения формируется, если частицы упрочняющего материала замещают частицы основного материала на их законных местах в кристаллической решетке. Такой материал называется твердым раствором замещения.

Таким образом, процесс термогидрохимического упрочнения является наиболее малозатратным и эффективным способом упрочнения твердосплавного режущего инструмента, при котором возможно повысить стойкость инструмента до 8 раз. Качество поверхности при этом не изменяется, поэтому инструмент не требует дополнительной механической обработки.

Список литературы:


1. Богодухов С.И., Козик Е.С., Свиденко Е.В. Упрочнение твердых сплавов // Упрочняющие технологии и покрытия. 2015. №11. С. 3-9.
2. Хагет Г.Л., Гах В.М., Громаков К.Г. Сборный твердосплавный инструмент. – М.: Машиностроение. 1989. – 360 с.
3. Лошак М.Г. Прочность и долговечность. – Киев : Наукова думка. 1984. – 148 с.

4. Григорьянц А.Г. Основы лазерной обработки материалов. – М.: Машиностроение. 1989. – 304 с.
5. Григорьянц А.Г., Шиганов И.Н., Мисюров А.И. Технологические процессы лазерной обработки. – М.: Изд-во МШТУ им. Н.Э.Баумана. 2006. – 664 с.
6. Шматов А.А., Девойно О.Г., Лисовская Ю.О. Модифицирование твердого сплава методом ТГХО // Ползуновский вестник. 2012. №1-1. С. 359-364.
7. Шматов А.А., Жилинский О.В., Марочкина С.И., Соломянский А.Е. Компьютерное проектирование процесса ТГХО для получения на стали У8 твердосмазочного SiC покрытия // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. 2014. №3. С. 53-61.
8. Martin J.W., Doherty R.D. Stability of microstructure in metallic systems. – London, New York, Melbourne: Cambridge University Press, 1978. – 280 p.
9. Шматов А.А. Упрочняющий эффект термогидромеханической обработки инструментальных материалов / Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. 2014. № 11. С. 112-120.
10. Витязь П.А., Шматов А.А., Девойно О.Г. Упрочнение твердого сплава методом термогидрохимической обработки // Доклады Национальной академии наук Беларуси. 2013. Т. 57. № 1. С. 113-117.
11. Шматов А.А. Девойно О.Г. Термогидрохимическая обработка твердых сплавов в вододисперсных оксидных средах // Вестник Брестского государственного технического университета. Машиностроение. 2011. № 4 (70). С. 19-25.
12. Григорьев С.Н. Методы повышения стойкости режущего инструмента: учебник для студентов вузов. – М.: Машиностроение, 2009. – 368 с.

Продолжение Приложения А

eLIBRARY ID: 45689384

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ НА ИЗМЕНЕНИЕ СТОЙКОСТИ ТВЕРДОСПЛАВНОГО ИНСТРУМЕНТА

ЛОГИНОВ НИКОЛАЙ ЮРЬЕВИЧ ¹, БАЧИНСКИЙ АЛЕКСАНДР ГЕННАДЬЕВИЧ¹

¹ Тольяттинский государственный университет, РФ, г. Тольятти

Тип: статья в сборнике трудов конференции Язык: русский Год издания: 2021

Страницы: 45-50

ИСТОЧНИК:

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В СОВРЕМЕННОЙ НАУКЕ
Сборник статей по материалам LXIII международной научно-практической конференции.
Новосибирск, 2021
Издательство: Общество с ограниченной ответственностью "Сибирская академическая книга"
(Новосибирск)

КОНФЕРЕНЦИЯ:

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В СОВРЕМЕННОЙ НАУКЕ
Новосибирск, 29 марта 2021 года













КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

РЕЖУЩИЙ ИНСТРУМЕНТ, ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ, ТВЕРДЫЙ СПЛАВ

АННОТАЦИЯ:

В статье приводится литературный обзор исследований увеличения стойкости твердосплавного режущего инструмента различными методами обработки. Сравниваются затраты на внедрение в технологический процесс изготовления инструмента различного рода упрочняющих методов и результаты производственных испытаний такого рода инструмента.

БИБЛИОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ:

- | | |
|--|---|
|  Входит в РИНЦ®: нет |  Цитирований в РИНЦ®: 0 |
|  Входит в ядро РИНЦ®: нет |  Цитирований из ядра РИНЦ®: 0 |
|  Входит в Scopus®: |  Цитирований в Scopus®: |
|  Входит в Web of Science®: |  Цитирований в Web of Science®: |
|  Норм. цитируемость по направлению: |  Дециль в рейтинге по направлению: |
|  Тематическое направление: нет | |
|  Рубрика ГРНТИ: нет (добавить) | |

Продолжение Приложения А



ООО «СибАК» ИНН 5402054157 КПП 540201001
Адрес: г.Новосибирск, ул. Красный проспект, 165, офис 5
Телефон: +7 (383)-312-14-32
Р/с 40702810902980002865 в АО "АЛЬФА-БАНК" г. Москва
к/с 3010181020000000593
БИК 044525593

СПРАВКА

22.03.2021 г. № 26768

Логинов Николай Юрьевич,
Бачинский Александр Геннадьевич

ООО «СибАК» подтверждает, что Ваша статья «ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ НА ИЗМЕНЕНИЕ СТОЙКОСТИ ТВЕРДОСПЛАВНОГО ИНСТРУМЕНТА» принята к публикации в сборнике XXXVII Международной научно-практической конференции «Вопросы технических и физико-математических наук в свете современных исследований». Сборник будет опубликован на сайте <https://sibac.info>. 01.04.2021 г. Почтовая рассылка сборников авторам состоится 06.04.2021 г.

Генеральный директор

ООО «СибАК»

Ю.В. Юдакова





СЕРТИФИКАТ участника

XXXVII Международной научно-практической
конференции «Вопросы технических и физико-
математических наук в свете современных исследований»

Настоящий сертификат подтверждает участие в
конференции и публикацию статьи в сборнике трудов

**Логинов Николай Юрьевич,
Бачинский Александр Геннадьевич**

«ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ
УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ НА ИЗМЕНЕНИЕ
СТОЙКОСТИ ТВЕРДОСПЛАВНОГО ИНСТРУМЕНТА»

Председатель оргкомитета
канд. мед. наук, д-р психол. наук
профессор, академик
Международной академии наук
педагогического образования



Н.В. Дмитриева

Новосибирск
2021 год