

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки 15.04.01 «Машиностроение»
 Отделение школы (НОЦ) Отделение материаловедения

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследование влияния вида износостойкого покрытия на износ и прочность твёрдосплавных пластин при точении стали

УДК 621.941.1:669.14:621.793-408

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЛМ71	Лю Шэньян		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Отделение материаловедения, доцент	Козлов Виктор Николаевич	К.Т.Н.		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Отделение социально-гуманитарных наук, доцент	Конотопский Владимир Юрьевич	К.Э.Н		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Отделение общетехнических дисциплин, старший преподаватель	Романова Светлана Владимировна			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
15.04.01 Машиностроение	Арляпов Алексей Юрьевич	К.Т.Н.		

Томск – 2019 г

Министерство образования и науки Российской Федерации
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**



Инженерная Школа новых производственных технологий
 Направление подготовки 15.04.01 «Машиностроение»
 Отделение материаловедения школы (НОЦ)

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП

_____ Арляпов А.Ю.
 (Подпись) (Ф.И.О.)
 «___» _____ 2019
 (Дата)

**ЗАДАНИЕ
 на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

магистерской диссертации

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
8ЛМ71	Лю Шэньян

Тема работы:

Исследование влияния вида износостойкого покрытия на износ и прочность твердосплавных пластин при точении стали	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 3658/с от 13.05.19

Срок сдачи студентом выполненной работы:	1.06.2019
--	-----------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Исследование влияния вида износостойкого покрытия на износ и прочность твердосплавных пластин при точении стали. Получение расчётов напряжённо-деформированных состояний режущих пластин и зависимость износа.
---------------------------------	--

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Обзор и анализ научно-технической литературы. Формулирование цели и задач исследования при точении стали и получения оптимальных износостойких покрытий для пластин. Проведение экспериментов для измерений составляющих сил резания и определения стойкости. Исследование распределений контактных нагрузок. Исследование НДС в режущей пластине с покрытием и без него. Определение оптимального износостойкого покрытия при точении стали..
Перечень графического материала	Расчёты НДС и стойкости режущих пластин с разным износостойким покрытиями.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Конотопский В.Ю.
Социальная ответственность	Романова С.В.
Раздел ВКР на иностранном языке	Ажель Ю.П.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Research of the coating kind influence on the wear and strength of cemented carbide inserts in cutting steel.	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	10.10.2017
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Отделение материаловедения, доцент	Козлов В.Н.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЛМ71	Лю Шэньян		

Результаты освоения ООП «Автоматизация технологических процессов и производств в машиностроении» (компетенции выпускников)

Код	Результат обучения*	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
P1	Способность применять гуманитарные, естественнонаучные, математические и инженерные знания при создании новых конкурентоспособных технологий изготовления деталей и сборки машин с применением компьютерных технологий	ОПК-1, ОПК-5, УК-1 ФГОС ВО 3+ и проект ФГОС ВО 3++, СУОС ТПУ Потребности российских предприятий машиностроительного комплекса.
P2	Способность ставить и решать инновационные инженерные задачи с использованием системного анализа и моделирования объектов и процессов машиностроения	ОПК-6, ОПК-8, УК-3 ФГОС ВО 3+ и проект ФГОС ВО 3++, СУОС ТПУ Потребности российских предприятий машиностроительного комплекса.
P3	Способность разрабатывать методики и организовывать проведение теоретических и экспериментальных исследований в области технологии машиностроения с использованием новейших достижений науки и техники.	ОПК-3, ОПК-11, ОПК-12, УК-1, УК-2, УК-3 ФГОС ВО 3+ и проект ФГОС ВО 3++, СУОС ТПУ Потребности российских предприятий машиностроительного комплекса.
P4	Способность проводить маркетинговые исследования, используя знания проектного менеджмента, участвовать в создании или совершенствовании системы менеджмента качества предприятия.	ОПК-7 ФГОС ВО 3+ Потребности российских предприятий машиностроительного комплекса.
P5	Способность работать в многонациональном коллективе над междисциплинарными проектами в качестве исполнителя и руководителя.	УК-4, УК-5 проект ФГОС ВО 3++, СУОС ТПУ Потребности российских предприятий машиностроительного комплекса.
P6	Способность подготавливать научно-технические отчеты, обзоры, методическую документацию, публикации по результатам выполненных исследований в области машиностроения, проводить обучающие семинары, лабораторные или практические занятия со студентами	ОПК-2, ОПК-3, ОПК-4, ОПК-6, ОПК-9, ОПК-10 ФГОС ВО 3+ Потребности российских предприятий машиностроительного комплекса.
P7	Способность выполнять и обосновывать инженерные проекты для создания сложных конкурентоспособных изделий машиностроения и технологий их производства, в том числе с использованием современных CAD/ CAM/ CAE продуктов.	ОПК-5, ОПК-6, УК-1 ФГОС ВО 3+ и проект ФГОС ВО 3++, СУОС ТПУ Потребности российских предприятий машиностроительного комплекса.
P8	Готовность обеспечивать	ОПК-11 ФГОС ВО 3+

	прогрессивную эксплуатацию оборудования и других средств технологического оснащения автоматизированного производства изделий машиностроения, осваивать и совершенствовать технологические процессы изготовления новых конкурентоспособных изделий, обеспечивать их технологичность.	Потребности российских предприятий машиностроительного комплекса. 40.011 Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам. Зарегистрировано в Минюсте России 21 марта 2014 г. N 31692. 40.001 Специалист по патентоведению. Зарегистрировано в Минюсте России 21 ноября 2013 г. N 30435. 28.002 Специалист по контролингу машиностроительных организаций. Зарегистрировано в Минюсте России 23 сентября 2015 г. N 38979. 28.008 Специалист по инжинирингу машиностроительного производства. Зарегистрировано в Минюсте России 21 марта 2017 г. N 46069. 28.001 Специалист по проектированию технологических комплексов механосборочных производств. Зарегистрировано в Минюсте России 10 июля 2015 г. N 37972. 28.003 Специалист по автоматизации и механизации технологических процессов механосборочного производства. Зарегистрировано в Минюсте России 24 сентября 2015 г. N 38991. 40.013 Специалист по разработке технологий и программ для станков с числовым программным управлением. Зарегистрировано в Минюсте России 04 мая 2017 г. N 46603. 40.052 Специалист по проектированию технологической оснастки механосборочного производства. Зарегистрировано в Минюсте России 10 мая 2017 г. N 46667. 40.083 Специалист по компьютерному проектированию технологических процессов. Зарегистрировано в Минюсте России 29 января 2015 г. N 35787. 40.100 Специалист по инструментальному обеспечению механосборочного производства. Зарегистрировано в Минюсте России 13 августа 2015 г. N 38513
--	--	--

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	7
РАЗДЕЛ 1. Основные требования к твёрдосплавным режущим пластинам и износостойким покрытиям для лезвийной обработки	
1.1. Классификация инструментальных материалов и общие требования, предъявляемые к ним.....	8
1.2. Современные конструкции СМП и марки инструментальных материалов, применяемые для изготовления режущих пластин.....	12
1.3. Виды износостойких покрытий для режущих пластин.....	20
1.4. Особенности технологии нанесения износостойких покрытий на режущие пластины.....	27
1.4.1. Методы химического осаждения покрытий.....	27
1.4.2. Методы физического осаждения покрытий.....	30
1.5. Выводы по разделу 1.....	39
РАЗДЕЛ 2. Изучение износа твёрдосплавных пластин с нанесёнными покрытиями	
2.1. Виды износа СМП при точение.....	40
2.2. Исследование процесса стружкообразования.....	42
2.3. Описание методов экспериментальных исследований, используемое оборудование и материалы.....	44
2.4. Влияние вида износостойкого покрытия на стойкость режущих пластин при точении стали.....	59
2.5. Исследование напряжённо-деформированного состояния (НДС) режущей пластины и оценка её прочности.....	66
2.6. Рекомендации по выбору износостойкого покрытия.....	75
2.7. Выводы по разделу 2.....	77
РАЗДЕЛ на иностранном языке.....	78
РАЗДЕЛ «Социальная ответственность».....	91
РАЗДЕЛ «финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».....	105
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	123

Введение

Качество, производительность, точность, и себестоимость изготовления машиностроительных изделий зависят от свойств применяемого инструмента. Повышение работоспособности режущего инструмента, интенсификация режимов резания являются важнейшими резервами повышения эффективности механической обработки.

Одним из методов повышения работоспособности режущих инструментов является нанесение износостойких покрытий. Исследования процесса резания инструментом с износостойкими покрытиями показывают, что выбор состава и конструкции покрытия должен проводиться исходя из условий, в которых работает режущий инструмент, и требований, которые к нему предъявляются в данных условиях резания.

В данной работе представлены результаты исследований токарных резцов со сменными многогранными пластинами, поскольку при точении стабильнее условия резания, проще и точнее можно измерить составляющие силы резания. Полученные результаты могут быть использованы и при других видах обработки, например, при фрезеровании.

В работе рассмотрены физические и технологические основы современных методов нанесения покрытий, исследовано их влияние на физико-механические свойства поверхностного слоя и эксплуатационные показатели режущего инструмента, приведены результаты исследования напряжённо-деформированного состояния сменных многогранных режущих пластин с покрытием и без него.

РАЗДЕЛ 1.

Основные требования к твёрдосплавным режущим пластинам и износостойким покрытиям для лезвийной обработки

1.1. Классификация инструментальных материалов и общие требования, предъявляемые к ним

При изготовлении инструментов, предназначенных для механической обработки различных материалов, в промышленности применяется широкая номенклатура инструментальных материалов, которые условно подразделяются на четыре основные группы (рис. 1.1): I – инструментальные стали; II – твердые сплавы; III – керамика; IV-сверхтвердые материалы.

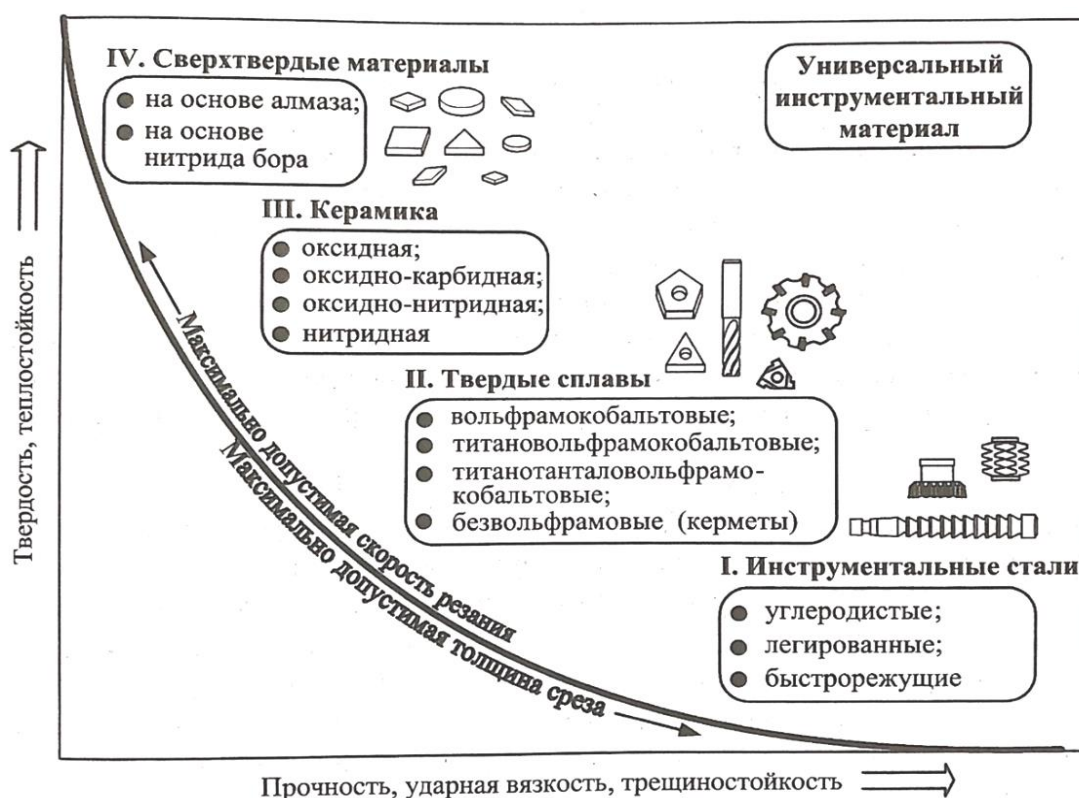


Рис. 1.1. Классификация и основные свойства инструментальных материалов [1, стр.11]

В процессе резания рабочие поверхности инструментов подвергаются интенсивному воздействию высоких контактных давлений и температур, а взаимодействие с обрабатываемым материалом и кислородом из окружающей среды приводит к протеканию интенсивных физико-химических процессов – адгезии, диффузии, окислению. Чтобы инструменты могли сопротивляться этим процессам и действующим на них нагрузкам инструментальные материалы должны соответствовать целому комплексу требований.

Твердость. Для того, чтобы инструменты без контактной пластической деформации могли срезать необходимые объёмы обрабатываемых материалов, твердость инструментальных материалов $HV_{им}$ должна значительно (более чем в 2,5 раза) превосходить твёрдость обрабатываемых материалов $HV_{ом}$. Поэтому одним из главных требований, предъявляемых к инструментальным материалам, является их высокая твердость.

Однако чрезмерное увеличение твердости, как правило, приводит к возрастанию хрупкости инструментальных материалов. Поэтому в зависимости от условий обработки существует оптимальное соотношение между твердостью инструментального и обрабатываемого материалов, обеспечивающее приемлемое соотношение твердости и других механических характеристик инструментальных материалов.

Прочность и ударная вязкость. Способность инструментов сопротивляться разнообразным напряжениям (изгибу, кручению, растяжению), а также динамическим нагрузкам без хрупкого разрушения и пластического деформирования определяется их прочностью и ударной вязкостью. Поэтому инструментальные материалы должны обладать достаточными значениями механической прочности при изгибе, растяжении и кручении, а также ударной вязкости.

Теплостойкость, или правильнее, красностойкость. Это свойство

определяет способность режущих инструментов сохранять свою твердость при повышенных температурах, возникающих в процессе резания. Именно от красностойкости инструментальных материалов в первую очередь зависит максимально допустимая скорость резания, с которой могут работать инструменты. С учетом необходимости использования инструментальных материалов в условиях периодического изменения температуры (например, прерывистое резание), инструментальные материалы должны быть малочувствительны и к циклическим изменениям температуры.

Износостойкость. Чтобы режущие инструменты могли сопротивляться удалению частиц с их рабочих поверхностей при взаимодействии с обрабатываемыми материалами, инструментальные материалы должны обладать высокой износостойкостью. Этот показатель является комплексным свойством и зависит от всех вышеперечисленных свойств – твердости, красностойкости, прочности.

Теплопроводность. Способность отводить теплоту с контактных площадок инструмента с целью снижения вероятности перегрева его режущих кромок является важным условием для нормальной работы режущих инструментов. Поэтому инструментальные материалы должны обладать достаточной теплопроводностью.

Сродство к обрабатываемому материал. Необходимым условием достижения высоких режущих свойств инструментов является низкая физико-химическая активность инструментальных материалов по отношению к обрабатываемым. Поэтому кристалло-химические свойства инструментальных материалов должны существенно отличаться от соответствующих свойств обрабатываемых материалов. Степень сродства сильно влияет на адгезионно-усталостные, окислительные процессы, изнашивание рабочих поверхностей инструментов и качество обработанных поверхностей.

Технологичность. Под технологичностью понимается комплекс свойств (например шлифуемость), характеризующих поведение инструментальных материалов при изготовлении режущих инструментов. Технологичность определяет возможность использования марки инструментального материала в конструкции конкретного режущего инструмента. Например, материалы, отличающиеся плохой шлифуемостью, неудобны при изготовлении и переточке сложнопрофильных инструментов, а слишком узкий интервал закалочных температур материала при термообработке может привести к браку и т.д.

Экономичность. Наряду с рассмотренными выше физико-механическими, кристаллохимическими и технологическими свойствами, немаловажной характеристикой инструментальных материалов является их экономичность, которая в основном зависит от химического состава инструментальных материалов. Введение большого количества дорогостоящих легирующих элементов (вольфрама, кобальта и т.д.) существенно увеличивает стоимость инструментальных материалов.

Как видно из данных, представленных на рис. 1.1, каждый из существующих инструментальных материалов не может сочетать в себе весь комплекс требований: высокую твердость, красностойкость, механическую прочность и др. и поэтому является специализированным для конкретных условий обработки. Задача создания универсального инструментального материала, пригодного для самых разных условий обработки, всегда была одной из наиболее актуальных для исследователей металловедов.

1.2. Современные конструкции СМП и марки инструментальных материалов, применяемые для изготовления режущих пластин

В моём исследовании применяются твердые сплавы для изготовления режущих пластин.

Под твердыми сплавами понимают сплавы на основе высокотвердых и тугоплавких карбидов вольфрама, титана, тантала, соединенных металлической связкой, как правило кобальтом. В настоящее время они являются основным инструментальным материалом, обеспечивающим высокопроизводительную обработку материалов.

Несмотря на высокую стоимость, применяемость инструментов, оснащенных твердосплавными пластинами (в том числе с покрытиями), в настоящее время составляет примерно 55 %, а количество стружки, снимаемой этими инструментами, достигает 50...60 % от всего объема снимаемой стружки. Благодаря высоким красностойкости (800...1000 °С), твердости (87...91 HRA) и износостойкости скорость резания твердосплавными инструментами в 4...5 раз выше скоростей резания, достигаемых быстрорежущими инструментами. Однако по прочности на изгиб, которая составляет $\sigma_{\text{и}} = 900...1600$ МПа, твердые сплавы существенно (в 2...3 раза) уступают быстрорежущим сталям (у современных марок субмикронных, ультрамелко- и нанодисперсных твердых сплавов предел прочности при изгибе достигает $\sigma_{\text{и}} = 4000$ МПа и более).

Твердые сплавы изготавливают методом порошковой металлургии. Порошки карбидов смешивают с порошком кобальта, прессуют в изделия необходимой формы и подвергают спеканию при 1400...1550 °С в защитной атмосфере (часто используется азот или водород) или вакууме. При спекании кобальт почти плавится и растворяет часть карбидов, что позволяет получать плотный материал (пористость, как правило, не превышает 5%), состоящий на 80...97% из карбидных частиц,

соединенных кобальтовой связкой. Увеличение содержания связки снижает твердость сплава, но повышает его прочностные характеристики.

Твердые сплавы производят в виде пластин, которыми оснащаются режущие инструменты (резцы, сверла, фрезы и др.). Промышленность выпускает и цельные твердосплавные инструменты: концевые фрезы, сверла и др. Инструменты, изготовленные из твердых сплавов, обладают высокими твердостью 80...92 HRA (74...77 HRC), износо- и красностойкостью (до 800...1000 °С и по многим эксплуатационным свойствам превосходят инструменты из инструментальных сталей (рис. 1.2).

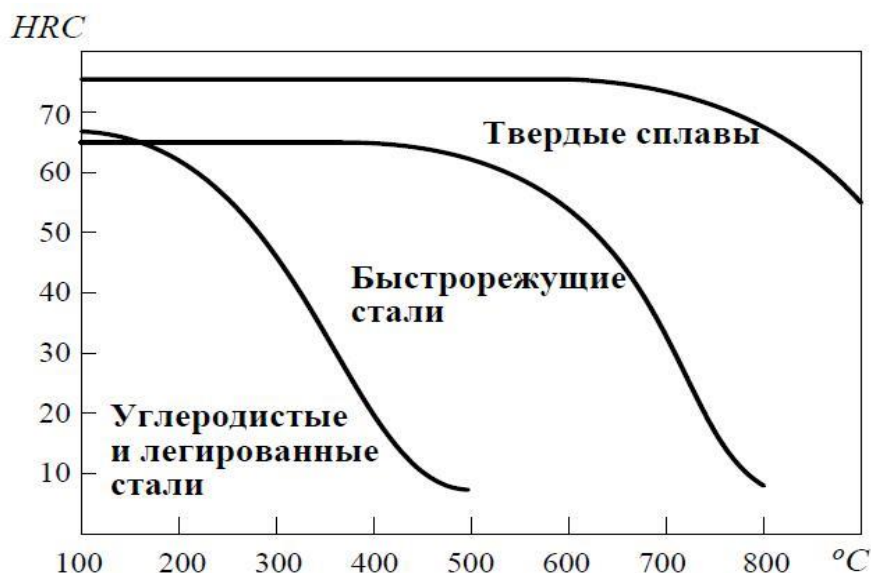


Рис. 1.2. Зависимость твердости различных инструментальных материалов от температуры нагрева [1, стр.24]

Их главными недостатками являются сравнительно низкие прочностные характеристики и сложность изготовления сложнопрофильных инструментов.

Твёрдые сплавы, применяемые для оснащения металлорежущих инструментов, по составу и областям применения условно делят на четыре основные группы:

- 1) однокарбидные вольфрамокобальтовые (ВК);

- 2) двухкарбидные титано-вольфрамовые (ТК);
- 3) трёхкарбидные титано-тантало-вольфрамовые (ТТК);
- 4) безвольфрамовые на основе карбида и карбонитрида титана.

Из этих сплавов наибольшее применение в инструментальной промышленности получили твердые сплавы первых трех групп. Последняя группа твердых сплавов из-за низких прочностных свойств используется относительно редко.

Таблица. 1.2.1. Марки спеченных твёрдых сплавов, их химический состав и характеристики [1, стр.25]

Группа	Марка (ГОСТ 3882-74)	Химический состав, %				Предел прочности при изгибе, МПа	Плотность, г/см ³	Твер- дость HRA
		WC	TiC	TaC	Co			
Вольфрамокобаль- товые	BK3	97	—	—	3	1176	15,0...15,3	89,5
	BK3-M	97	—	—	3	1176	15,0...15,3	91,0
	BK4-B	96	—	—	4	1470	14,9...15,2	88,0
	BK6	94	—	—	6	1519	14,6...15,0	88,5
	BK6-M	94	—	—	6	1421	14,8...15,1	90,0
	BK6-OM	92	—	2	6	1274	14,7...15,0	90,5
	BK8	92	—	—	8	1666	14,4...14,8	88,0
	BK10	90	—	—	10	1764	14,2...14,6	87,0
	BK10- XOM	88	—	2	10	1470	14,3...14,7	89,0
	BK15	85	—	—	15	1862	13,9...14,4	86,0
	BK20	80	—	—	20	2058	13,4...13,7	84,0
Титановольф- рамокобальто- вые	T30K4	66	30	—	4	980	9,5...9,8	92,0
	T15K6	79	15	—	6	1176	11,1...11,6	90,0
	T14K8	78	14	—	8	1274	11,2...11,6	89,5
	T5K10	85	5	—	10	1421	12,4...13,1	88,5
	T8K7	85	8	—	7	1519	12,8...13,1	90,5
Титанотан- ловольфрам- кобальтовые	TT7K12	81	4	3	12	1666	13,0...13,3	87,0
	TT8K6	84	8	2	6	1323	12,8...13,3	90,5
	TT10K8-B	82	3	7	8	1617	13,5...13,8	89,0
	TT20K9	71	8	12	9	1470	12,0...12,5	91

Группа однокарбидных твердых сплавов (WC-Co) содержит четыре основные марки: ВК3, ВК6, ВК8, ВК10. Здесь в обозначении цифрой указано процентное содержание кобальтовой связки, а остальное составляет карбид вольфрама. При этом чем выше содержание кобальта, тем прочнее сплав, но ниже его красно- и износостойкость. Однокарбидные твердые сплавы благодаря хорошим прочностным свойствам используют в основном для обработки хрупких металлов типа чугунов, высоколегированных сталей и титановых сплавов. Для чистовой обработки применяют сплавы марок ВК3 и ВК6.

Для улучшения износостойкости и прочности твердых сплавов уменьшают размеры зерен карбидов (d_{wc}) – от мелкозернистых (50 % $d_{wc} < 1$ мкм), обозначаемых буквой М, до особо мелкозернистых (50 % $d_{wc} < 1$ мкм), обозначаемых буквами ОМ. К таким сплавам, получившим наибольшее применение в инструментальном производстве, относятся твердые сплавы марок ВК3М, ВК6М, ВК6ОМ, ВК10ОМ, красностойкость которых составляет 800...850 °С.

Для обработки сталей и других материалов (кроме титановых сплавов), образующих при резании сливную стружку, применяют двухкарбидные твердые сплавы (WC-TiC-Co) марок Т30К4, Т14К8, Т15К6, Т5К10. Здесь в обозначении цифра, стоящая после буквы Т показывает процентное содержание карбида титана, после буквы К - кобальта, а остальное - карбида вольфрама.

Наличие карбидов титана повышает сопротивляемость инструментов износу по передней и задней поверхностям. У двухкарбидных твердых сплавов, также как и у однокарбидных твердых сплавов, уменьшение содержания кобальта способствует повышению красно- и износостойкости, но снижает их прочность.

Для чистовой обработки применяют твердые сплавы марок Т30К4 и Т15К6, для получистовой и черновой, а также для прерывистой обработки

и обработки с ударами - твердые сплавы марок Т14К8 и Т5К10. Красностойкость этих твердых сплавов составляет 850...950 °С.

Ещё большие красностойкость (до 1000 °С), прочность и износостойкость при ударных нагрузках показали трехкарбидные твердые сплавы, содержащие кроме карбидов титана еще и карбиды тантала. Так как вольфрам, титан и тантал образуют сложный карбид, то при маркировке таких твердых сплавов цифра, стоящая после буквы Т, указывает суммарное процентное содержание карбидов титана и тантала, после буквы К – кобальта, а остальное – карбида вольфрама.

Из трехкарбидных твердых сплавов (WC-TiC-TaC-Co) наибольшее применение получили сплавы марок ТТ7К12, ТТ8К6, ТТ20К9, обладающие наибольшей прочностью. Поэтому их используют при строгании, фрезеровании и при обработке высоколегированных сталей и сплавов.

Из табл. 1.2.1 видно, что даже при одинаковом содержании кобальта физико-механические свойства твердых сплавов могут существенно отличаться. Это отличие связано с зернистостью карбидной фазы, но в большей степени - со средним размером зерен карбида вольфрама. С уменьшением размера зерна карбидовольфрамовой фазы твердость, износостойкость и, как следствие, сопротивление абразивному износу возрастают. Эта закономерность широко используется для создания сплавов различного назначения с требуемым комплексом свойств. В современных твердых сплавах размер зерен карбидной фазы может изменяться от долей микрометра до 15 мкм.

Наименование новых марок твердых материалов и подгрупп их применения приведены в таблице. 1.2.2.

Таблица. 1.2.2. Новые марки твердых сплавов [3, стр.67]

Марка сплава	Подгруппа применения по ИСО		Сплавы-аналоги, выпускаемые ранее ОАО «КЗТС»
	Основная	Дополнительная	
A10	M10	K10	BK6OM
B20	K20	K30	MC321
B25	K20	—	BK6
B35	K30	M30...M40	BK8
H05	P01	—	T30K4
H10	P10	P20	T15K6
H20	P20	P25	T14K8
H30	P30	—	T5K10
T20	M20	M10	MC221
T25	P25	P20	MC137
T30	P30	P25	TC125
T35	P30	P35	TC1
T40	P40	M30	MC146
T50	P50	—	TT7K12

В настоящее время каждая из фирм-производителей современного твердого сплава использует индивидуальные шифры для маркировки инструмента, в которых, как правило, не раскрывается химический состав сплава, а указывается лишь область его предпочтительного применения. В зависимости от обрабатываемого материала и вида образующейся стружки, в соответствии со стандартом ISO 513-75, твердые сплавы подразделяют на шесть групп резания: P, M, K (основные), N, S, H (дополнительные), каждая из которых обозначается определенным цветом (табл 1.2.3.).

Таблица. 1.2.3. Классификация твердых сплавов по областям применения [1, стр.27]

Группа резания	Основная область применения
Р (синий)	Обработка материалов, дающих сливную стружку (в основном стали)
М (желтый)	Обработка материалов, дающих как сливную стружку, так и стружку скалывания (коррозионностойкие стали и сплавы)
К (красный)	Обработка чугунов, дающих стружку скалывания
N (зеленый)	Обработка алюминиевых и медных сплавов
S (коричневый)	Обработка труднообрабатываемых материалов (жаропрочные стали и сплавы, титан и его сплавы)
Н (серый)	Обработка закаленных и литейных чугунов

В таблице 1.2.4. представлено примерное сопоставление различных марок сменных многогранных пластин (СМП) из твердых сплавов с покрытиями, выпускаемыми отечественными и зарубежными производителями для токарных работ.

Таблица. 1.2.4. Марки твердых сплавов с износостойкими покрытиями для токарных работ [1, стр.32]

Группы резания и применения		ВНИИТС Россия	САН-ДВИК-МКТС Россия	Sandvik Coromant Швеция	KORLOY Корея	KENNA-METAL HERTEL США	ISCAR Израиль	Mitsubishi Carbide Япония	SECO Швеция	WIDIA Германия	Кюсера Япония
Р	P01	-	-	CT 5015	NC 310	-	IC 8048	UE 6005	-	-	CR 7015
	P10	-	CT 15	CT 5015	NC 310	KC 5010	IC 8048	UE 6005	TP100	TN 150	CR 7015
	P15	BT2220	CT 15	GS1525	NC 320	KC 5010	IC 8025	UC 6010	TP100	TN 150	CR 7015
	P20	BT2222	CT 25	GS1525	NC 320	KC 8050	IC 8025	UC 6010	TP200	TN 200	CR 7025
	P25	BT1320	CT 25	GS4015	NC 330	KC 8050	IC 8025	UC 6025	TP200	TN 250	CR 7025
	P30	BT2202	CT 35	GS4025	NC 330	KC 8050	IC 3028	UC 6025	TP300	TN 350	CR 7025
	P40	BT1420	CT 35	GS4035	NC 330	RC 8050	IC 3028	UE 6035	CP500	TN 7035	CR 9025
	P50	-	CU 45	-	-	-	IC 635	-	-	-	CR 9025
М	M01	-	-	GS 2015	-	-	-	-	-	-	-
	M10	-	CT 25	GS 1025	NC 325S	KC 5010	IC 8048	US 7020	TP100	TN 150	CR 7015
	M20	-	CT 35	GS 2025	NC 325S	KC 8050	IS 3028	US 7020	TP200	TN 8025	CR 7015
	M30	-	CU 45	GS 2025	NC 330	KC 8050	IS 3028	US 735	TP300	TN 8025	CR 7015
	M40	-	CU 45	GS 20	-	-	-	US 735	CP500	-	CR 7025
К	K01	-	-	CC 650	NC 305K	-	-	UC 5005	TP100	HK150	PR 660
	K05	-	CK 15	CB 7050	NC 305K	KC 5010	IC 8005	UC 5005	TP100	HK150	CR 7015
	K10	-	CK 15	CC 6090	NC 305K	KC 5010	IC 8005	UE 6005	TX150	HCK10	CR 7015
	K20	BT3222	CK 20	GC 3025	NC 315K	KC 8050	IC 8005	UC 6010	TX150	HK35	CR 7015
	K30	BT3210	CK 20	GC 3025	-	KC 8050	IC 450	-	CP500	HK35	CR 7015
	K50	-	-	-	-	-	IC 450	-	-	-	-

Кроме того, необходимо иметь в виду то, что процесс нанесения покрытия, особенно физическим методом осаждения, увеличивает радиус

округления режущей кромки пластин (до 40 мкм), что несколько ограничивает их применение для финишных операций, при которых требуются острые режущие кромки.

Общим недостатком рассмотренных групп твердых сплавов, помимо низких прочностных свойств, является повышенная дефицитность исходного вольфрамового сырья – основного компонента, определяющего их повышенные физико-механические характеристики. Поэтому иногда более эффективно использовать безвольфрамовые твердые сплавы (БВТС).

В качестве основы БВТС используется карбид или карбонитрид титана, в качестве связки – никель и молибден. Кроме того, в составах некоторых марок БВТС используется карбид ниобия.

В табл. 1.2.5. представлены сведения некоторых марках БВТС, их химическом составе, физико-механических свойствах областях применения.

Таблица. 1.2.5. Физико-механические свойства и области применения БВТС [1, стр.35]

Марка сплава	Содержание основных компонентов, %				Плотность, г/см ³	Предел прочности при изгибе, МПа	Твердость HRA	Группа применения
	Ti(C,N)	NbC	Ni	Mo				
ТН20	79	-	45	6,0	5,5-6,0	1050	91,0	P10...P20 K10...K20
КНТ16	84	-	12,4	3,6	5,5-6,0	1200	89,0	P10...P20 K10...K20
КНТ30	70	-	23,3	6,7	6,0-6,5	1600	89,0	P10...P20 K10...K20
ЦТУ*	56	9	23	12	6,2-6,8	1274	89,5	P20...P30

БВТС отличаются высокой твердостью, окалиностойкостью, имеют низкий коэффициент трения по стали и пониженную склонность к адгезионному взаимодействию с обрабатываемым материалом, что уменьшает износ инструментов по передней и задним поверхностям и обеспечивает низкую шероховатость обработанных поверхностей, высокую размерную точность.

В то же время БВТС имеют более низкий, чем у стандартных твердых сплавов, модуль упругости, и, следовательно, сопротивление упругим деформациям, меньшую теплопроводность и ударную вязкость, поэтому хуже сопротивляются ударным и циклическим тепловым нагрузкам.

1.3. Виды износостойких покрытий для режущих пластин

Современные технологические процессы позволяют синтезировать покрытия на основе одинарных, двойных и тройных соединений тугоплавких металлов IV – VI групп Периодической системы элементов (карбиды, нитриды, бориды, оксиды и их смеси). Толщина каждого слоя таких покрытий может составлять нескольких нанометров, что позволяет не только предельно уменьшить количество различных дефектов, но и реализовать «теоретическую» прочность материала покрытия. Использование инструментов с подобными покрытиями позволяет эффективно решить целый ряд задач для широкой гаммы технологических операций резания, связанных с повышением производительности, точности и качества обработки, снижением расхода дорогостоящих инструментальных материалов, возможностью реализации экологически безопасного резания без применения смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС).

Рассмотрим требования, предъявляемые к износостойким покрытиям.

Исходя из общих эксплуатационных требований, покрытие должно быть: устойчивым против коррозии и окисления; сохранять свои свойства при высоких температурах; не иметь дефектов (пор, включений); обладать высоким пределом выносливости.

В связи со служебным назначением покрытия должны иметь: твердость в 1,5-2 раз превышающую твердость инструментального материала; низкую склонность к адгезии с обрабатываемым материалом; минимальную способность к диффузионному растворению в обрабатываемом материале.

Кристаллохимические и физико-механические свойства покрытия и инструментального материала должны быть достаточно близкими и совместимыми для улучшения прочности сцепления. В связи с этим желательно иметь: минимальное отличие физико-механических и теплофизических свойств; минимальную вероятность возникновения твердофазных диффузионных реакций при температуре резания.

Производственный опыт показывает, что наибольший интерес в качестве износостойких покрытий или их слоев на сегодняшний день представляют следующие соединения:

1) Карбиды, нитриды, карбонитриды и другие соединения тугоплавких металлов (керамические покрытия): TiN , $TiCN$, $(Ti,Cr)N$, $(Ti,Zr)N$, $(Ti,Al)N$, $(Ti,Al)CN$, Al_2O_3 и др.;

2) Тугоплавкие металлы: Ti , Cr , Zr и др.;

3) Алмазоподобные соединения (углеродные покрытия):

$Me-C:H$, $a-C:H$ и др.

В таблице 1.3.1. приведены физико-механические свойства соединений, которые потенциально могут быть использованы в качестве покрытий для режущего инструмента.

Таблица 1.3.1. физико-механические свойства соединений
с различными типами химической связи [1, стр.84]

Соединение	Плотность, г/см ³	Температура плавления, °С	Твердость по Виккерсу*, ГПа	Модуль Юнга, кН/мм ²	Коэффициент термического расширения, 10 ⁻⁶ К ⁻¹
материалы с металлической связью					
TiB ₂	4,50	3225	30	560	7,8
TiC	4,93	3067	28	470	8,0-8,6
TiN	5,40	2950	22	590	9,4
ZrB ₂	6,11	3245	23	540	5,9
ZrC	6,63	3445	25,6	400	7,0-7,4
ZrN	7,32	2982	16	510	7,2
VC	5,41	2648	29	430	7,3
VN	6,11	2177	15,6	460	9,2
NbB ₂	6,98	3036	26	630	8,0
NbC	7,78	3613	18	580	7,2
TaB ₂	15,58	3037	21	680	8,2
TaC	14,48	3985	15,5	560	7,1
CrB ₂	5,58	2188	22,5	540	10,5
CrN	6,12	1050	11	400	(2,3)
Mo ₂ C	9,18	2517	16,6	540	7,8-9,3
W ₂ B ₅	13,03	2365	27	770	7,8
WC	15,72	2776	23,5	720	3,8-3,9
материалы с ковалентной связью					
B ₄ C	2,52	2450	30-40	441	4,5 (5,6)
BN (куб)	3,48	2730	50	660	
C (алмаз)	3,52	3800	80	910	1,0
B	2,34	2100	27	490	8,3
SiC	3,22	2760 (разл)	26	480	5,3
SiB ₆	2,43	1900	23	330	5,4
Si ₃ N ₄	3,19	1900	172	210	2,5
AlN	3,26	2250 (разл).	123	350	5,7
материалы с ионной связью					
Al ₂ O ₃	3,98	2047	21	400	8,4
Al ₂ TiO ₅	3,68	1894	-	13	0,8
TiO ₂	4,25	1867	11	205	9,0
ZrO ₂	5,76	2677	12	190	11(7,6)
HfO ₂	10,2	2900	78	-	6,5
ThO ₂	10,0	3300	95	240	9,3
BeO	3,03	2550	15	390	9,0
MgO	3,77	2827	75	320	13,0

По данным, представленным на рис. 1.3.1, можно проследить качественные закономерности изменения основных физико-механических свойств нитридных, карбидных и боридных покрытий.

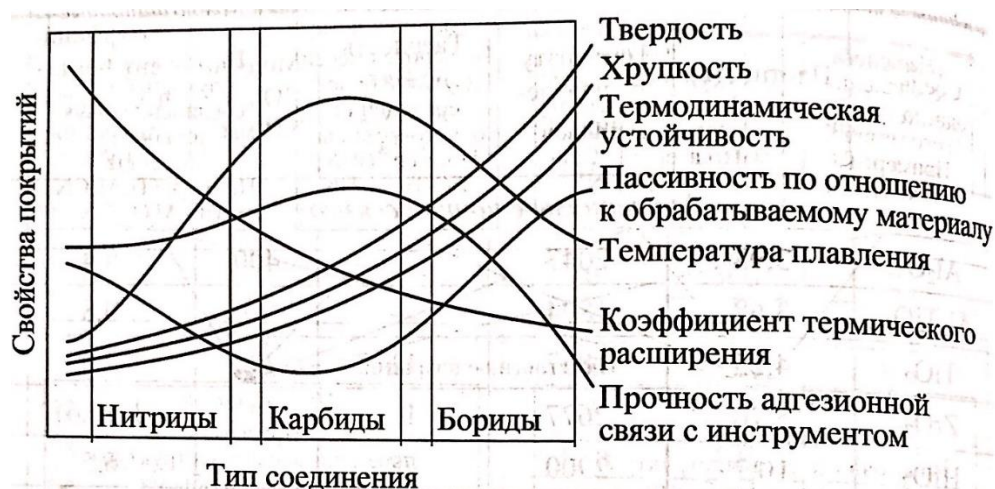


Рис. 1.3.1. Сравнение физико-механических свойств боридов, карбидов и нитридов [1, стр.86]

Из рис. 1.3.1. видно, что бориды и карбиды являются более твердыми покрытиями и обладают более высокой термодинамической устойчивостью по сравнению с нитридами. В то же время нитриды характеризуются достаточно высокой пассивностью по отношению к большинству обрабатываемых материалов, сильно отличаются от них кристаллохимическим строением, а также более пластичны и менее хрупки. Это является их преимуществом при использовании в условиях повышенных тепловых и силовых нагрузок.

На рис. 1.3.2. представлены фотографии наноструктурного покрытия TiN, полученные с помощью высокоразрешающих и обычных просвечивающих электронных микроскопов.

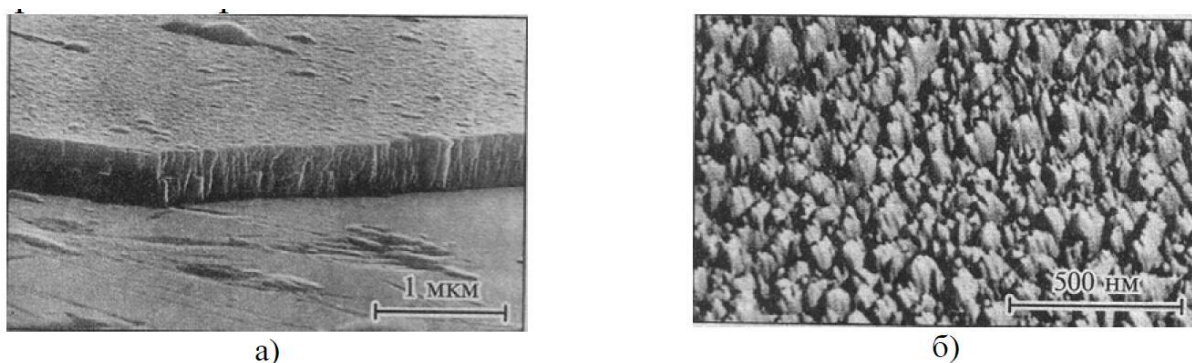


Рис. 1.3.2. Микрофотографии нанопокрyтия:
а) излом покpытия TiN; б) поверхность покpытия TiN [1, стр.134]

Все покpытия, использующиеся для нанесения на режущий инструмент (рис. 1.3.3), условно можно классифицировать по составу (одноэлементные, многоэлементные, многокомпонентные и композиционные) и строению (однослойные и многослойные).

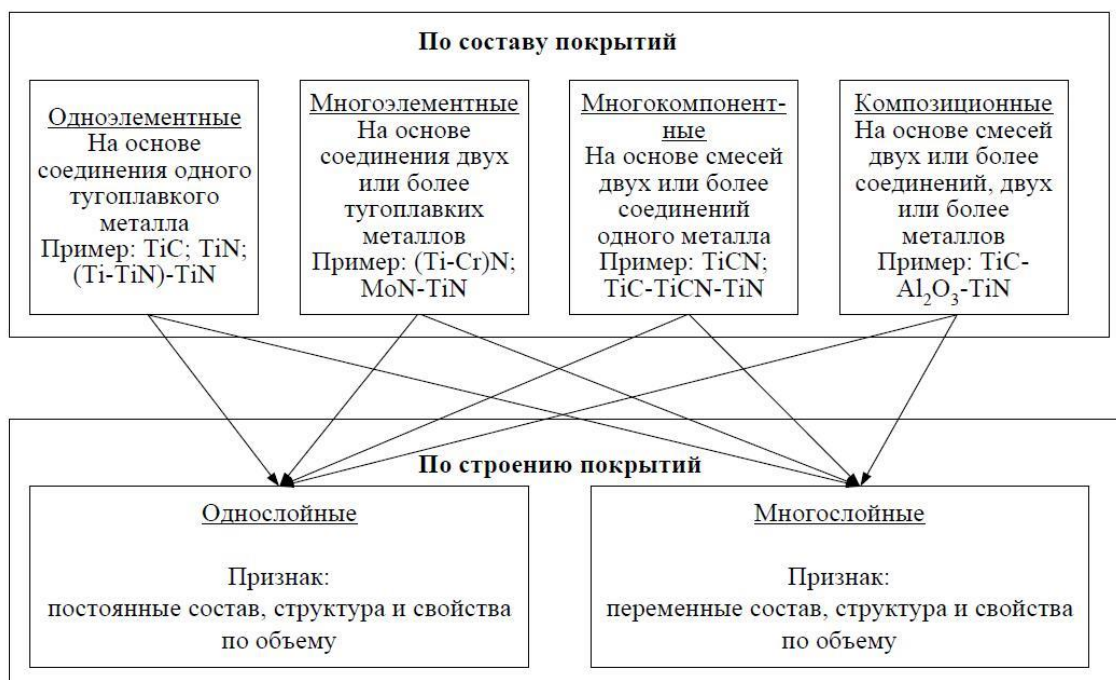


Рис. 1.3.3. Классификация износостойких покpытий для режущего инструмента по составу и строению [1, стр.87]

В последнее время повышенный практический интерес вызывают композиционные многослойные покрытия, в составе которых появляется возможность использовать даже весьма хрупкие не совместимые с инструментальным материалом соединения (например, Si_3N_4 , HfB_2 , Al_2O_3 и др.), обладающие повышенной термодинамической устойчивостью и характеризующиеся большой пассивностью по отношению к гамме обрабатываемых материалов.

Схема строения покрытий композиционно-многослойного типа представлена на рис. 1.3.3.

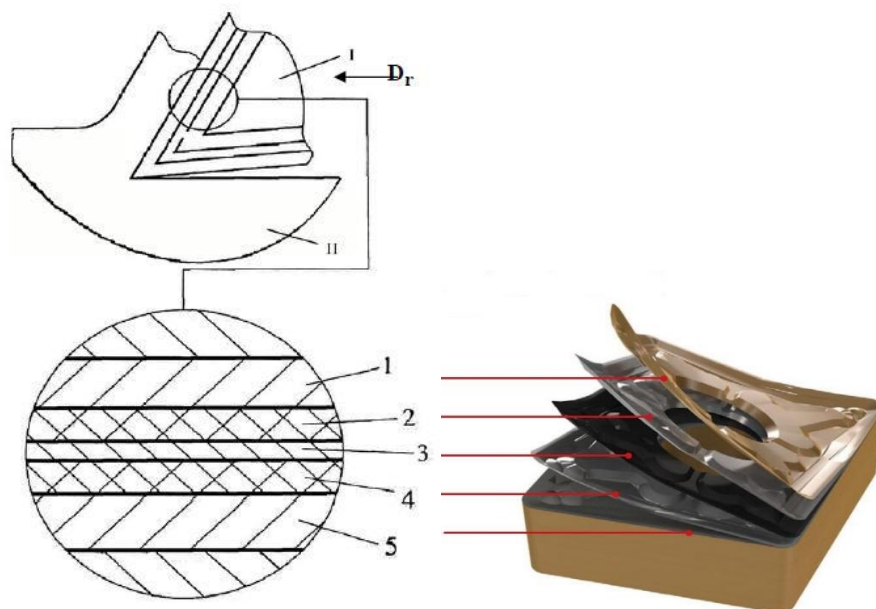


Рис. 1.3.4. Идеализированная схема многослойного покрытия:
I – режущий инструмент, II – заготовка [1, стр.90]

Композиционное покрытие содержит несколько слоев, каждый из которых имеет собственное функциональное назначение.

Слой 5, непосредственно примыкающий к инструментальной основе, должен обеспечивать прочную связь между покрытием и инструментальным материалом. Поэтому кристаллохимическое строение этого слоя и инструментального материала должно быть максимально

идентично. Вместе с тем при эксплуатационных температурах на границе раздела данного слоя и инструментального материала не должно образовываться хрупких металлоидов или декарбидизирующих фаз, снижающих прочность адгезии покрытия и инструментального материала. Необходимо также обеспечение минимальной разницы тепло- и физико-механических свойств материалов покрытия и инструмента (коэффициента термического расширения, коэффициента Пуассона, модуля упругости Юнга и т.д), так как в противном случае при эксплуатационных термомеханических нагрузках концентрация напряжений приведет к разрушению покрытия на границе раздела «покрытие - инструментальная основа».

Основную функцию выполняет слой 1, непосредственно контактирующий с обрабатываемым материалом. При выборе свойств материала слоя 1 необходимо, чтобы его кристаллохимическое строение максимально отличалось от соответствующего строения обрабатываемого материала. В этом случае уменьшается склонность к физико-химическому взаимодействию инструментального и обрабатываемого материалов и, прежде всего, уменьшается склонность к адгезии между ними. Кроме того, варьируя составом, структурой и строением слоя 1 можно изменять его свойства и таким образом управлять контактными процессами и стружкообразованием при резании.

Слой 3 может выполнять барьерные функции, например, существенно замедлять интердиффузионные процессы между инструментальным и обрабатываемым материалами, снижать интенсивность теплового потока в инструмент и т.д. Промежуточные слои 2 и 4 с переменными свойствами осуществляют связь между слоями 1, 3 и 3, 5.

Наиболее эффективно свойствами композиционного инструментального материала с покрытием можно управлять за счет

варьирования химическим составом покрытия, его структурой и типом связи с инструментальным материалом.

1.4. Особенности технологии нанесения износостойких покрытий на режущие пластины

Чрезвычайно важной задачей разработки инструментального материала с покрытием является выбор метода нанесения покрытий. Наибольшее распространение для нанесения износостойких покрытий на режущий инструмент получили методы химического осаждения покрытий (ХОП) или CVD (Chemical Vapour Deposition), термодиффузионное насыщение поверхности (ТДН) и физическое осаждение покрытий в вакууме (ФОП) или PVD (Physical Vapour Deposition).

1.4.1. Методы химического осаждения покрытий

Высоко- и среднетемпературные методы химического осаждения обозначаются аббревиатурой HT-CVD и MT-CVD соответственно.

В общем случае CVD-процессы основаны на протекании гетерогенных химических реакций в парогазовой среде, окружающей инструменты, в результате которых образуется износостойкое покрытие. Получение покрытий из тугоплавких соединений путем осаждения их из газовой фазы основано на восстановлении летучих соединений металлов водородом в присутствии активных составляющих газовой смеси, которые, взаимодействуя с выделяющимся в свободном виде металлом, образуют соответствующие тугоплавкие соединения.

На рис. 1.4.1.1 представлена принципиальная схема процесса химического осаждения покрытий из газовой фазы (CVD). Конденсация покрытий в HT-CVD-процессах осуществляется на поверхности инструмента, нагретого до необходимой температуры 900... 1200 °C при давлении близком или равном атмосферному.

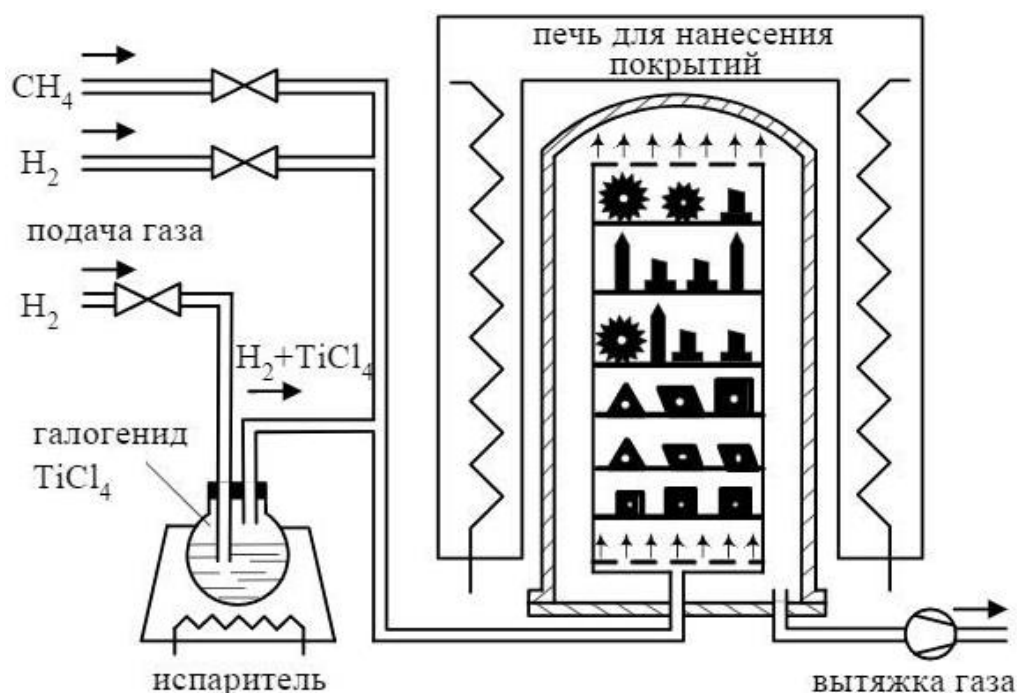


Рис. 1.4.1.1. Принципиальная схема процесса химического осаждения покрытий из газовой фазы на твердосплавные инструменты [1, стр.100]

Для получения покрытий на основе карбидов тугоплавких металлов в качестве активной (науглероживающей) составляющей газовой смеси обычно используются углеводороды, при необходимости получения покрытий на основе нитридов – азот, а при осаждении карбонитридов – метан. Осаждение покрытий в основном проводят на неподвижные подложки.

Однако известны конструкции установок, в которых подложки перемешаются вдоль реакционной зоны, качаются или вращаются в ней, а также находятся в подвешенном состоянии.

Для выполнения CVD-процессов используются специализированные реакторные установки, состоящие из трех основных компонентов:

- системы подачи и смешивания реагентов;

- камеры для осаждения покрытий с системой нагрева;
- системы повторного использования и удаления реагентов.

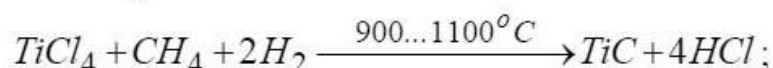
Нагрев инструмента при проведении CVD-процессов, как правило, осуществляется следующим образом: прямым контактом с тепловым источником, индукционным и радиационным способами. Фотография одной из таких установок представлена на рис. 1.4.1.2.



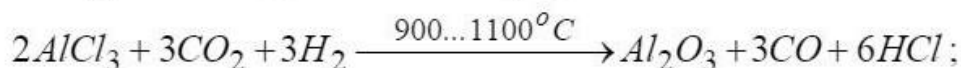
Рис. 1.4.1.2. Общий вид реактора BERNEX BPX для реализации процессов CVD [1, стр.100]

Уравнения химических реакций при формировании покрытий высокотемпературным методом химического осаждения (HT-CVD) имеют следующий вид:

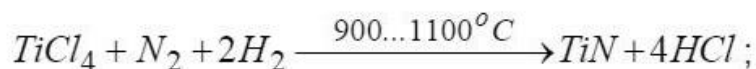
при осаждении карбида титана TiC:



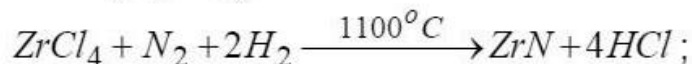
при осаждении оксида алюминия Al₂O₃:



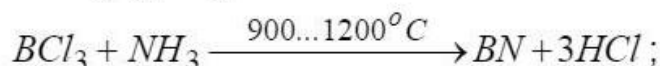
при осаждении нитрида титана TiN:



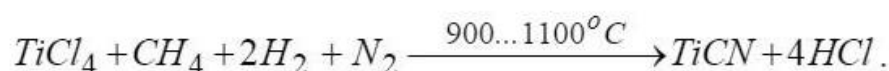
при осаждении нитрида циркония ZrN:



при осаждении нитрида бора BN:



при осаждении карбонитрида титана TiCN:



Имеется возможность методами CVD наносить покрытия как на основе чистых тугоплавких металлов, так и на основе их нитридов, карбидов, оксидов и карбонитридов. Кроме того, с их помощью наносятся покрытия с алмазоподобной структурой. Наибольшее распространение в инструментальном производстве получили следующие соединения, формируемые CVD-процессами: TiN, TiC, TiCN, Al₂O₃. Указанные соединения применяются как в качестве однослойных покрытий, так и в роли отдельных слоев многослойного покрытия. Типичные многослойные покрытия, предлагаемые ведущими мировыми производителями твердосплавных инструментов: Sandvik Coromant, Kennametal, Iscar и др., а также микроструктура представлена на рис. 1.4.1.3.

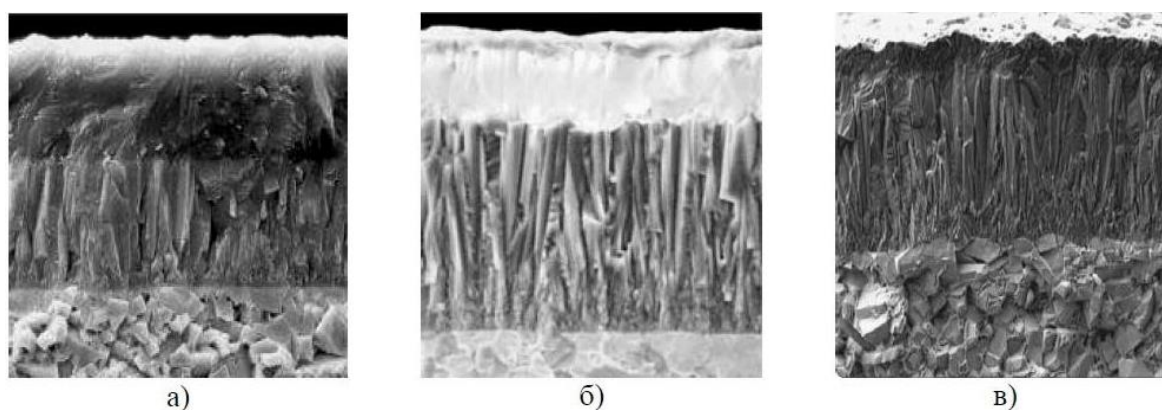


Рис. 1.4.1.3. Микроструктура поверхностного слоя инструмента с различными CVD-покрытиями: а – твердый сплав + TiN-Al₂O₃; б – твердый сплав + (TiCN- Al₂O₃-TiN; в – твердый сплав + TiCN-TiN.
увеличение 8000х [1, стр.102]

1.4.2. Методы физического осаждения покрытий

В данной работе применяются СМП с покрытиями PVD-методом. Для всех методов физического осаждения покрытий генерация наносимого вещества осуществляется в результате термического перевода твердого вещества в парообразное (испарением, вакуумной дугой или ионным

распылением), а дополнительное повышение средней энергии осаждаемых частиц производится за счет их ионизации, осуществляемой различными способами (наложением тлеющего, дугового или высокочастотного разряда или подмешиванием ионов, получаемых от автономных источников).

На рис. 1.4.2.1. представлены принципиальные схемы установок, реализующих три наиболее распространенных механизма вакуумно-плазменного осаждения покрытий: (а) электронно

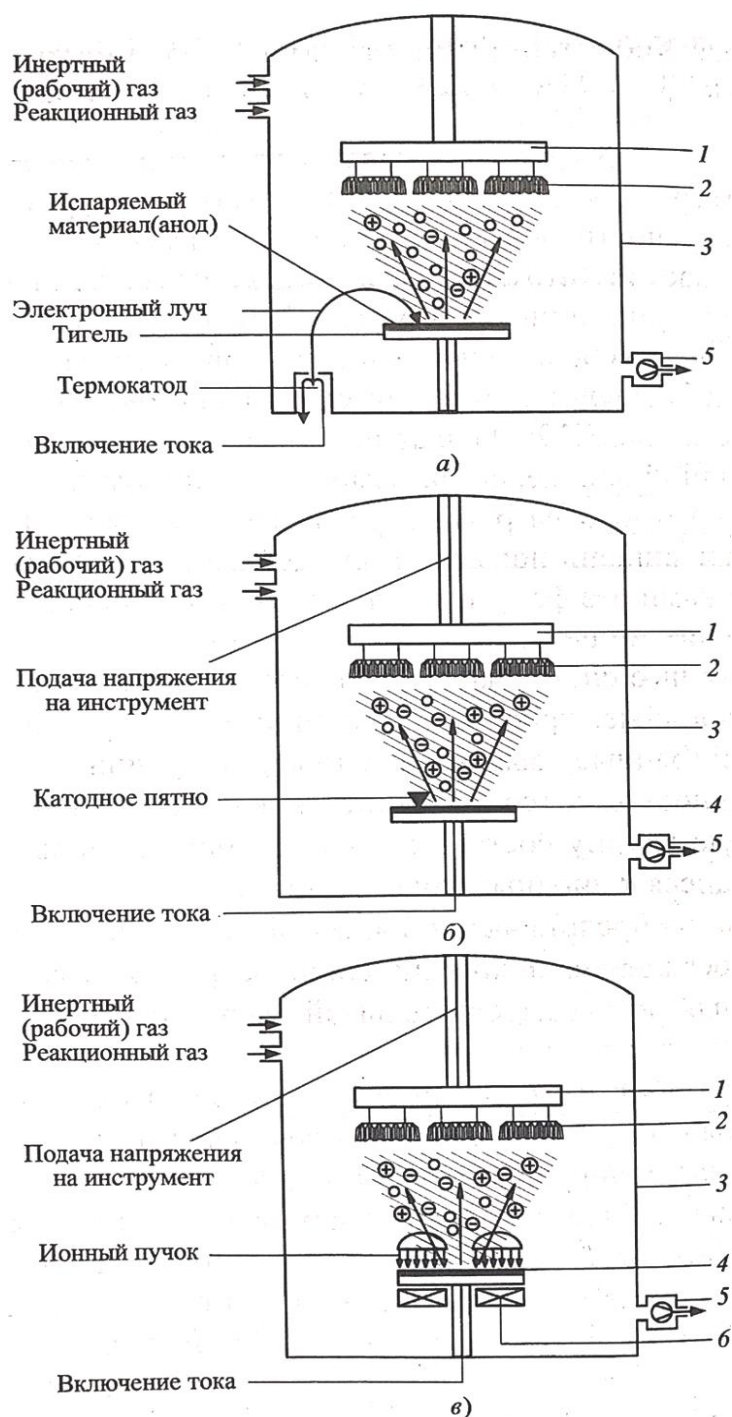


Рис.1.4.2.1. Принципиальные схемы нанесения покрытий на режущие инструменты PVD-методами: а – электронно-лучевое; б – электродуговое; в – магнетронное. 1 – держатель инструментов; 2 – инструменты; 3 – вакуумная камера; 4 – осаждаемый материал; 5 – вакуумный насос; 6 – магнитная система для магнетронного распыления [1, стр.116]

термических -лучевое испарение; (б) являющееся представителем ионно-методов; электродуговое испарение; (в) магнетронное распыление, являющееся разновидностью распылительных методов.

На первой из представленных схем перевод твердого вещества в металлический пар осуществляется в результате его испарения в тигле электронным лучом, во втором случае – в результате испарения материала катодным пятном вакуумной дуги, а в третьем – в результате магнетронного распыления материала.

Методы физического осаждения покрытий универсальны с позиции получения гаммы одно- и многослойных покрытий практически любого состава, в том числе с алмазоподобной и наноразмерной структурами. Они позволяют реализовывать процессы нанесения при температурах 500...600 °С, что обеспечивает возможность их применения для твердых сплавов, керамики, БВТС и даже быстрорежущих сталей (БРС).

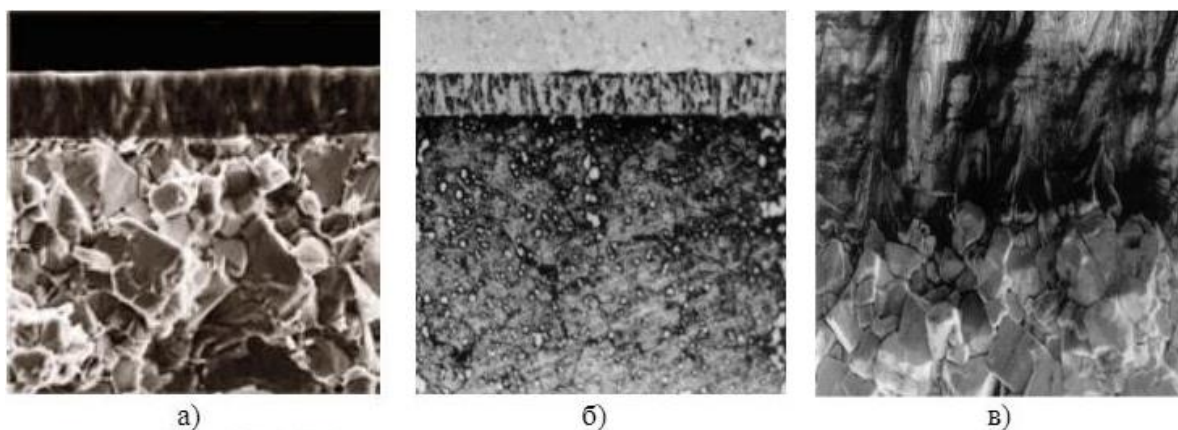


Рис. 1.4.2.2. Микроструктура поверхностного слоя инструмента с различными PVD-покрытиями: а – твердый сплав + TiN; б – быстрорежущая сталь + (Ti,Cr)N; в – твердый сплав + алмазоподобное покрытие.

На рис. 1.4.2.2. представлены микрофотографии поверхности инструментов из БРС и твёрдого сплава с различными PVD – покрытиями.

В табл. 1.4.2.1. приведены некоторые рекомендации по выбору составов и применению различных покрытий. На самом деле их ассортимент намного шире. Примером могут служить покрытия, состоящие из более чем пяти слоев: Ti-(Ti,Cr)N-TiN-(Ti,Al)N-TiN-(Ti,Cr)N или Cr-CrN-(Ti,Cr)N-TiN-(Ti,Cr)N и др.

Таб. 1.4.2.1. Рекомендации по применению некоторых PVD-покрытий [1, стр.110]

Обрабатываемый материал	Точение	Фрезерование	Сверление, зенкерование	Нарезание резьбы	Развертывание, протягивание
Сталь	TiN (Ti,Al)N (Ti,Al,Zr)N	(Ti,Cr)N	TiN TiCN (Al,Ti)N	(Nb,Zr)N TiCN (Al,Ti)N	(Ti,Al)CN (Al,Ti)N
Чугун	(Ti,Zr)N (Ti,Al)N	(Ti,Cr)N (Ti,Al)N	(Ti,Al)N (Ti,Zr)N	(Al,Ti)N (Nb,Zr)N	(Al,Ti)N
Алюминиевые сплавы	(Nb,Zr)N TiCN (Hf,Zr,Cr)N	MoS ₂ (Ti,Cr)N (Ti,Cr)N+MoS ₂	TiN TiCN MoS ₂ (Ti,Cr)N (Ti,Cr)N+MoS ₂	MoS ₂ (Ti,Cr)N+MoS ₂	(Ti,Mo)N TiCN
Титановые сплавы	(Hf,Zr,Cr)N (Al,Mo)N+Al ₂ O ₃	(Hf,Zr,Cr)N CrN (Al,Cr)CN	MoS ₂ (Al,Ti)N (Cr,Al)N +MoS ₂ (Hf,Zr,Cr)N	MoS ₂ TiCN+MoS ₂	(Hf,Zr,Cr)N
Никелевые сплавы	(Ti,Nb,Al)N (Hf,Zr,Cr)N (Al,Ti)N+Al ₂ O ₃ (Ti-Cr)N	(Ti,Cr)N (Hf,Zr,Cr)N	(Al,Ti)N	(Ti,Zr)N	(Ti,Nb,Al)N
Медь	CrN	CrN	CrN	CrN	(Ti,Cr)N
Латунь, бронза	TiCN (Al,Ti)N (Nb,Zr)N	TiCN (Al,Ti)N (Ti,Cr)N	TiCN (Al,Ti)N (Nb,Zr)N	TiCN	TiCN
Пластик	TiCN (Ti,Al)N	TiCN (Ti,Al)N	TiCN (Ti,Al)N	TiCN (Ti,Al)N	TiCN (Ti,Al)N

В табл. 1.4.2.2. представлены свойства и применение покрытий PVD фирмы EIFELER. Покрытия обрабатываются методом электродугового испарения.

Таб. 1.4.2.2. Покрытия PVD фирмы EIFELER. Свойства и применение [По данным EIFELER]

	TiN	TiCN	CrN CrCN	EXXTRAL® EXXTRAL® PLUS
Материал	Titan-Nitrid	Titan-Carbo-Nitrid	Chrom-Nitrid, Carbo-Nitrid	Aluminium-Titan-Nitrid
	TiN	TiCN (многослойный)	CrN CrCN	AlTiN (однослойный) AlTiN (степлажный)
Технология	Arc (арк)	Arc (арк)	Arc (арк)	Arc (арк)
Микротвердость по Викерсу HV _{0.05}	2300 ± 300	3500 ± 500	2000 ± 200 2300 ± 200	3300 ± 300
Коэффициент трения к 100Cr6 сталь	0,6	0,2	0,3 - 0,4 0,2 - 0,3	0,7
Толщина покрытия ¹⁾ [µm]	2 - 4	2 - 4	2 - 6	2 - 4
Максимльная температура эксплуатации	500°C 900°F	400°C 750°F	600°C 1100°F	800°C 1470°F
Цвет	золотой	сине-серый (антрацит)	серебристо-серый	антрацит
Общие характеристики	Универсальное покрытие, биосовместимое	Высокая твердость, великолепное сопротивление износу, улучшенная вязкость	Низкое растяжение, высокая адгезионная прочность, высокое сопротивление коррозии	Высокая твердость, высокая стойкость к окислению, низкий коэффициент теплопроводности
Предпочтительное применение	• Обработка / резание материалов на основе железа • Пластическая деформация металла • Формование пластмассы	• Резание сплавов стали, тяжело поддающихся обработке • Резание с высокой производительностью, при не возникновении у режущих кромок слишком высоких температур. • Великолепно для пластической деформации (напр. высококачественной стали)	• Резание меди и других цветных металлов • Пластическая деформация металла • Формование пластмассы (улучшенное извлечение) • Литье под давлением алюминия и магния	• Обработка закаленных сталей • Высокопроизводительное резание, со смазкой, полусухое, либо сухое. • Резание при условиях, когда другие покрытия достигают границы термической и механической допустимой нагрузки
¹⁾ в зависимости от размера инструмента, для микроинструментов, так же меньше 2 µm				

Большинство методов электродугового испарения, часто называемого вакуумно-дуговым, основано на испарении наносимого материала катодными пятнами вакуумной дуги, в которых плотность потока энергии составляет $10^6 \dots 10^7$ Вт/см², ионизации металлического пара и последующей конденсации чистого металла либо его соединения с реакционным газом на рабочих поверхностях режущего инструмента. Для реализации указанных процессов могут использоваться различные комбинации электрических и магнитных полей, способы генерации плазмы (анодный и катодный) и её ускорения – электростатическое или холловское. Эффект Холла – это явление возникновения поперечной разности потенциалов (называемой также **холловским напряжением**) при помещении проводника с постоянным током в магнитное поле. Кроме того, вакуумно-дуговое испарение может осуществляться в импульсном или непрерывном режимах.

Под вакуумно-дуговым разрядом понимается сильноточный низковольтный разряд, реализуемый в высоком вакууме и развивающийся в парах материала эродирующего электрода. Стабильное горение дугового разряда поддерживается испарением материала электродов, в частности катода, который может быть либо холодным (охлаждаемым), либо горячим. В первом случае на поверхности катода образуются отдельные катодные пятна, которые эмитируют электроны и из которых происходит интенсивное испарение материала катода. Катодные пятна перемещаются по поверхности катода и их диаметр не превышает нескольких микрон, а плотность тока в них составляет $10^6 \dots 10^7$ А/см². Во втором случае дуга горит на всей поверхности, а его температура может приближаться к температуре плавления материала.

К тлеющим разрядам относятся разряды, в которых первичные электроны выбиваются из катода под воздействием бомбардировки

быстрыми ионами, а также вследствие фотоэмиссии, обусловленной попаданием на катод излучения из разряда и с анода.

Несамостоятельными разрядами принято считать разряды, в которых проводимость газа поддерживается ионизацией с помощью внешнего источника (сильного нагревания, различных видов излучения, быстрых электронов или ионов). В самостоятельных разрядах напротив – проводимость газа поддерживается электрическим полем без внешних воздействий.

Особенностями метода электродугового испарения, выгодно отличающими его от других, являются универсальность спектра наносимых покрытий, высокая производительность процесса (скорость осаждения до 40 мкм/ч) и высокая прочность адгезионной связи покрытия с инструментальной основой. Последнее обеспечивается за счет наличия на границе раздела «инструментальный материал-покрытие» переходного металлического подслоя, формируемого при очистке поверхности инструмента бомбардировкой ионами материала катода. Самым главным недостатком этого метода является наличие в генерируемом плазменном потоке большого количества микрокапель испаряемого материала (катода), что ухудшает качество и эксплуатационные показатели формируемого покрытия. Для устранения капельной фазы в вакуумно-дуговые установки вводятся дополнительные узлы для сепарации плазменного потока, что существенно их усложняет и удорожает.

Отличительной чертой методов распыления, в первую очередь магнетронных систем, является формирование высококачественных покрытий, не имеющих дефектов в виде капель и мелких частиц, нарушающих сплошность покрытия. В то же время этим методам свойственен один серьезный недостаток, сдерживающий их более широкое распространение в инструментальном производстве – это низкая скорость осаждения покрытий.

Все PVD-процессы независимо от их технологических особенностей и применяемого оборудования включают в себя следующие стадии: прогрев и очистка поверхности режущего инструмента ионами газа или металла, генерация плазмы и формирование ионного потока, ускорение и доставка ионного потока к поверхности режущего инструмента, конденсация покрытия на поверхности режущего инструмента.



Рис. 1.4.2.2. Структурно-функциональная схема процессов нанесения PVD-покрытий различными методами

Представленная на рис. 1.4.2.2. структурно-функциональная схема процессов нанесения PVD-покрытий различными методами, наглядно демонстрирует, что работоспособность инструмента зависит от различных характеристик покрытий - толщины (h), микротвердости (HV),

остаточных напряжений ($\sigma_{\text{ост}}$) и др., являющихся выходными параметрами любого процесса. Указанные характеристики в свою очередь являются функциями входных факторов (условий) процессов нанесения покрытий: напряжения на режущем инструменте (U), давления газа в камере (p), тока (I), времени нанесения (τ) и др.

Среди условий нанесения покрытий необходимо разделять зависимые и независимые переменные. Например, температура процесса нанесения покрытия и плотность тока влияют на выходные параметры процесса (характеристики покрытий), но сами при этом являются зависимыми переменными (параметрами), так как напрямую зависят от напряжения на инструменте, тока, материала катода или мишени и других входных факторов, которые устанавливаются технологом.

Необходимо понимать, что покрытие, нанесённое на режущий инструмент, приводит к ожидаемому увеличению какого-либо из выходных параметров процесса резания только в том случае, если будут правильно подобраны режимы и условия его нанесения. Одно и то же покрытие в зависимости от условий его осаждения может иметь широкий спектр физико-механических характеристик. В качестве примера можно рассмотреть широко используемое покрытие (Ti,Al)N. В зависимости от химического состава катода или мишени его микротвердость может варьироваться от 10 до 40 ГПа.

1.5. Выводы по разделу 1

В процессе резания рабочие поверхности инструментов подвергаются интенсивному воздействию высоких температур и контактных давлений. Чтобы инструменты могли сопротивляться этим процессам и действующим на них нагрузкам, инструментальные материалы должны соответствовать целому комплексу требований: высокую твердость, теплостойкость, механическую прочность и др..

Инструменты, изготовленные из твердых сплавов, обладают высокими твердостью 80...92 HRA (74...77 HRC), износо- и красностойкостью (до 800...1000 °C) и по многим эксплуатационным свойствам превосходят инструменты из инструментальных сталей.

Из большого многообразия методов повышения работоспособности режущих инструментов следует выделить методы нанесения износостойких покрытий, которые в последние годы находят все более широкое применение. Нанесение износостойких покрытий на режущий инструмент позволяет существенно повысить его работоспособность и интенсифицировать режимы обработки.

Наибольшее распространение для нанесения износостойких покрытий на режущий инструмент получили методы химического осаждения покрытий (ХОП) или CVD (Chemical Vapour Deposition), физическое осаждение покрытий в вакууме (ФОП) или PVD (Physical Vapour Deposition) и термодиффузионное насыщение поверхности (ТДН).

Метод физического осаждения покрытий в вакууме даёт более качественное покрытие, происходит при более низких температурах, поэтому более предпочтителен.

РАЗДЕЛ 2.

Изучение износа твёрдосплавных пластин с нанесёнными покрытиями

2.1. Виды износа СМП при точение

1) ОБРАЗОВАНИЕ НАРОСТА НА РЕЖУЩЕЙ КРОМКЕ

Описание и причины:

Речь идет о схватывании обрабатываемого материала с режущей кромкой и передней поверхностью инструмента. Нарост носит характер наплавленного металла на инструменте в начальной области контакта его со стружкой. При его срыве может произойти выкрашивание режущей кромки инструмента. Данное явление характеризуется снижением качества обрабатываемой поверхности.

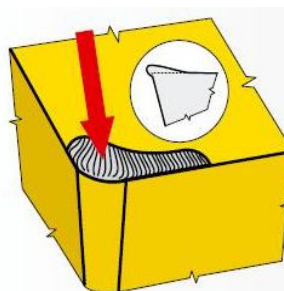


Рис. 2.1.1. Образование нароста на режущей кромке

Рекомендации:

1. увеличить скорость резания;
2. увеличить подачу;
3. применить инструменты с покрытием или из другой марки твёрдого сплава;
4. применить иную геометрию резца, желательно с большим передним углом;
5. применить охлаждающую жидкость с более высоким действием против образования нароста (при её отсутствии), либо, наоборот, отказаться от охлаждения.

2) ИЗНОС ПО ЗАДНЕЙ

ПОВЕРХНОСТИ

Описание и причины:

износ по задней поверхности является одним из главных критериев, характеризующих срок службы СМП. он возникает в результате контакта материала СМП и обрабатываемого материала в процессе резания. Его размер (интенсивность) можно только снизить.

Рекомендации:

1. применить более износостойкий тип твердого сплава;
2. снизить скорость резания;
3. увеличить подачу (в случае, если подача меньше, чем 0,1 мм/зуб);
4. применить охлаждающую жидкость или повысить интенсивность охлаждения



Рис.2.1.2. Износ по задней поверхности h_z
(hf)

3) ЛУНКА НА ПЕРЕДНЕЙ ПОВЕРХНОСТИ

описание и причины:

Лункообразование – это износ, наиболее ярко проявляющийся у СМП без стружеломающих канавок. Однако он не ограничен только данным типом пластин. При обработке мягких материалов

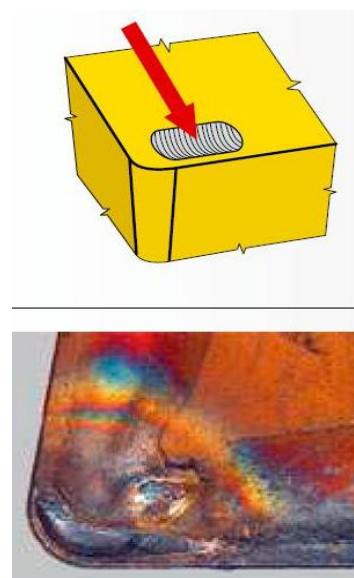


Рис.2.1.3. Лунка на передней

образуется более широкая и мелкая лунка, и, наоборот, при обработке более твердых материалов образуется узкая и глубокая лунка.

Рекомендации:

1. Применить более износостойкий тип твердого сплава;
2. применить твердый сплав с покрытием, в первую очередь, MT-CVD;
3. снизить скорость резания;
4. применить иной, более положительный, тип геометрии резания;
5. применить охлаждающую жидкость или повысить интенсивность охлаждения.

2.2. Исследование процесса стружкообразования

Металл, срезанный с заготовки режущим инструментом, называется стружкой. Процесс резания (стружкообразование) является одним из сложных физических процессов, при котором возникают и упругие и пластические деформации; этот процесс сопровождается большим трением, тепловыделением, наростообразованием, завиванием и усадкой стружки, повышением твердости деформируемых слоев металла и износом режущего инструмента.

Процесс стружкообразования представляет собой процесс упругопластического деформирования (сжатия) срезаемого слоя.

В зависимости от условий обработки срезанный слой (стружка) может быть различных видов [4]. При резании пластичных материалов образуется сплошная стружка

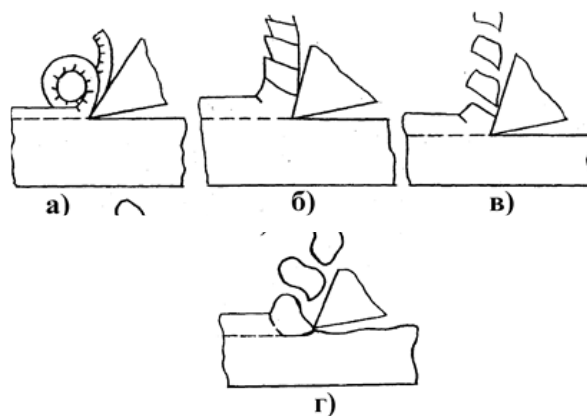


Рис. 2.2. Типы стружки

без разрывов и больших трещин, то в этом случае она называется сливной стружкой (рис. 2.2. а). Иногда сливная стружка состоит из отдельных элементов, но которые так прочно соединены (приварены) друг с другом, что только после обработки боковой стороны шлифованием и травления с на микроскопе видны отдельные элементы. Такой тип стружки чаще всего образуется при резании вязких, пластичных материалов.

При резании не очень пластичных материалов имеет место интенсивное трещинообразование, происходит разделение стружки на элементы, имеющие определенную правильную форму. Под действием высокой температуры и большого давления эти элементы свариваются друг с другом. Поэтому при их образовании не происходит полного разделения на элементы, трещины заканчивают свое развитие в толще стружки, не выходя на её прирезцовую поверхность – она гладкая и блестящая. Другая же поверхность стружки (внешняя, наружная) имеет выраженный зубчатый характер. Такой тип стружки называется суставчатой стружкой или стружкой скалывания, псевдосливной, т.к. имеет признаки и сливной, и элементной стружки (рис. 2.2. б).

При резании хрупких материалов (чугуна, бронзы и т.п.) образуются стружки, не имеющие четко выраженных границ. При их образовании происходит полное разделения на элементы, хотя иногда по прирезцовой поверхности они соединены друг с другом тонким слоем, но легко разделяются на элементы. Такие стружки называют элементными, или ступенчатыми (рис.2.2. в).

При резании очень хрупких материалов (стекла, керамических материалов др.) происходит вырывание отдельных частиц поверхностного слоя заготовки режущей частью инструмента. Такой тип стружек носит название стружек надлома (рис. 2.2. г).

2.3. Описание методов экспериментальных исследований, используемое оборудование и материалы

При проведении стойкостных экспериментов фиксировались данные, пример которых приведён в таблица 2.3.1.

Табл. 2.3.1. Экспериментальный сбор данных при проведении стойкостных испытаний пластин с покрытием (Сталь 40Х – СМП WNMG080404-ТМ)

1. D = 57 мм , n = 2000 об/мин , V ≈ 360 м/мин , S = 0,13 мм/об , t = 1мм.			
T, мин	D, мм	V, м/мин	hз, мм
0	57	358	0
1'26"	54	339	0
2'49"	51	320	0,03
4'10"	49	308	0,07
5'31"	47	295	0,07
6'49"	45	283	0,08
8'07"	43	270	0,12
9'24"	41	258	0,18
10'44"	39	245	0,18
12'01"	37	232	0,2
2. (1) D = 57 мм , n = 1000 об/мин , V ≈ 180 м/мин , S = 0,13 мм/об , t = 1мм.			
T, мин	D, мм	V, м/мин	hз, мм
0	57	180	0
15"	54	173	0
46"	51	160	0
1'27"	49	153	0
2'07"	47	148	0,01
2'53"	45	141	0,02
(2) D = 45 мм , n = 1250 об/мин , V ≈ 180 м/мин , S = 0,13 мм/об , t = 1мм.			
3'37"	43	169	0,02
4'22"	41	161	0,03
5'08"	39	153	0,04
5'56"	37	145	0,06
6'43"	35	137	0,06
(3) D = 35 мм , n = 1600 об/мин , V ≈ 180 м/мин , S = 0,13 мм/об , t = 1мм.			
9'19"	33	166	0,07
11'57"	31	156	0,07
14'34"	29	146	0,07
16'35"	27	136	0,07
(4) D = 27 мм , n = 2000 об/мин , V ≈ 180 м/мин , S = 0,13 мм/об , t = 1мм.			

18'35"	25	157	0,07
20'11"	23	146	0,07
21'46"	21	132	0,07
(5) D = 58 мм , n = 1000 об/мин , $V \approx 180$ м/мин , S = 0,13 мм/об , t = 1мм.			
25'01"	56	176	0,07
28'19"	54	170	0,07
31'35"	52	163	0,07
34'44"	50	157	0,07
(6) D = 58 мм , n = 1000 об/мин , $V \approx 180$ м/мин , S = 0,13 мм/об , t = 1мм.			
36'44"	56	176	0,07
37'24"	54	170	0,08
38'02"	52	163	0,08
38'41"	51	160	0,08
39'41"	50	157	0,08
43'11"	48	151	0,08
46'52"	46	146	0,08
50'14"	44	138	0,08
(7) D = 44 мм , n = 1250 об/мин , $V \approx 180$ м/мин , S = 0,13 мм/об , t = 1мм.			
53'01"	42	165	0,09
55'47"	40	157	0,09
58'33"	38	149	0,09
61'18"	36	141	0,09
(8) D = 36 мм , n = 1600 об/мин , $V \approx 180$ м/мин , S = 0,13 мм/об , t = 1мм.			
63'26"	34	171	0,11
65'25"	33	166	0,11
66'08"	32	161	0,11
68'01"	30	151	0,13
70'04"	28	141	0,14
(9) D = 28 мм , n = 2000 об/мин , $V \approx 180$ м/мин , S = 0,13 мм/об , t = 1мм.			
71'37"	27	163	0,16
(9) D = 58 мм , n = 1000 об/мин , $V \approx 180$ м/мин , S = 0,13 мм/об , t = 1мм.			
73'40"	56	176	0,16+0,01=0,17
75'22"	54	170	0,16+0,03=0,19
78'36"	52	163	0,17+0,03=0,20
81'23"	51	160	0,17+0,05=0,22
84'29"	50	157	0,17+0,07=0,24
87'34"	49	154	0,17+0,07=0,24
90'42"	47	148	0,17+0,09=0,26
93'43" Появление плохой стружки	46	145	0,17+0,09=0,26
(9) D = 46 мм , n = 1250 об/мин , $V \approx 180$ м/мин , S = 0,13 мм/об , t = 1мм.			
96'11"	44	173	0,18+0,09=0,27

			(-5° перед. угол)
98'35"	42	165	$0,17+0,1=0,28$
101'01"	40	157	$0,15+0,14=0,29$
102'20"	38	149	$0,13+0,18=0,31$ (-10° перед. угол)

Оборудование и материалы

- 1) Станок универсальный токарно-винторезный модели 1К62.
- 2) Трёхкомпонентный токарный динамометр фирмы Kistler с интерфейсом для подключения к персональному компьютеру.
- 3) Микроскопа БМИ-1.
- 4) Прутки из стали марки 40Х, твёрдостью 210-220 НВ.
- 5) Державка токарная с набором твёрдосплавных сменных многогранных пластин (не менее 8 шт).
- 6) Расходные материалы для отбора проб стружки.



Рис. 2.3.1. Станок универсальный токарно-винторезный модели 1К62

Далее приведены подробные данные по материалам и оборудованию.

- а) Технические данные и характеристики токарно-винторезного станка 1К62.

Табл. 2.3.2. Технические данные и характеристики станка 1К62

Наименование параметра	
Основные параметры станка 1К62	Показатели
Класс точности по ГОСТ 8-82	Н
Наибольший диаметр заготовки над станиной, мм	400
Наибольший диаметр заготовки над суппортом, мм	220
Наибольшая длина заготовки (РМЦ), мм	750, 1000, 1500
Наибольшая масса заготовки в патроне, кг	500
Наибольшая масса заготовки в центрах, кг	1500
Шпиндель	
Диаметр сквозного отверстия в шпинделе, мм	47
Наибольший диаметр прутка, мм	45
Число ступеней частот прямого вращения шпинделя	24
Частота прямого вращения шпинделя, об/мин	12,5..2000
Число ступеней частот обратного вращения шпинделя	12
Частота обратного вращения шпинделя, об/мин	19..2420
Размер внутреннего конуса в шпинделе, М	Морзе 6
Конец шпинделя по ГОСТ 12593-72	6К
Коробка подач. Суппорт	
Наибольшая длина хода каретки, мм	640, 930, 1330
Наибольший поперечный ход суппорта, мм	250
Наибольший ход верхнего суппорта, мм	140
Число ступеней продольных подач	49
Пределы рабочих подач продольных, мм/об	0,07..4,16
Число ступеней поперечных подач	49
Пределы рабочих подач поперечных, мм/об	0,035..2,08
Скорость быстрых перемещений суппорта, продольных, м/мин	3,4
Скорость быстрых перемещений суппорта, поперечных, м/мин	1,7
Электрооборудование	
Количество электродвигателей на станке	4
Мощность электродвигателя главного привода, кВт	10
Мощность электродвигателя быстрых перемещений, кВт	0,8
Мощность электродвигателя гидростанции, кВт	1,1
Мощность электродвигателя насоса охлаждения, кВт	0,125
Габариты и масса станка	
Габариты станка (длина ширина высота) (РМЦ = 1000), мм	2812 × 1166 × 1324
Масса станка (РМЦ = 1000), кг	2140

Б) Динамометр фирмы Kistler

На силы резания влияют многие факторы и силы не постоянны в процессе резания, поэтому расчёт силы резания по формуле даст большую погрешность.

Для того чтобы измерить реальные силы резания и получить их

величины, меняющиеся во время обработки, используем измерительную систему (рис. 2.3.2.) с трехкомпонентным динамометром Kistler модели 9257B (рис. 2.3.3.).



Рис. 2.3.2. Схема подключения измерительной системы



Рис. 2.3.3. Внешний вид динамометра Kistler модели 9257B

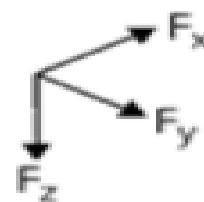


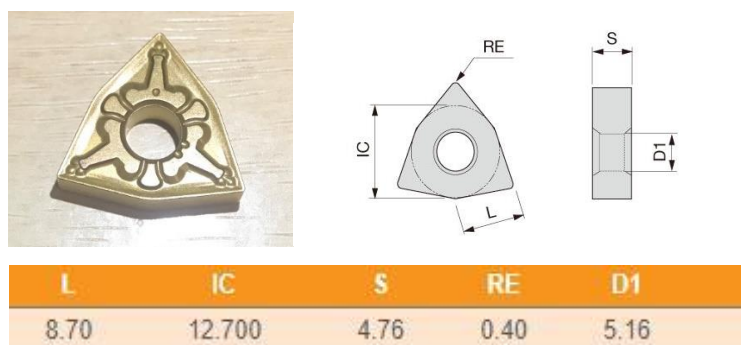
Рис. 2.3.4. Направление составляющих сил резания, измеряемых на динамометре Kistler

При измерении сил резания при точении вектор силы резания, действующей на инструмент, динамометр непосредственно раскладывает на три ортогональные составляющие, изображенные на рис. 2.3.4.

В) Информация о СМП

1. Выбор режущих твёрдосплавных пластин фирмы TUNGTURN для эксперимента

Обозначение: WNMG080404-TM (рис.2.3.5)



L - длина режущей кромки (мм), IC - диаметр вписанной окружности (мм), S - толщина пластины (мм), RE - радиус при вершине (мм), D1 - диаметр отверстия (мм)

Рис.2.3.5. СМП-WNMG080404-TM

Материал пластины: **T15K6**; Покрытие: **TiN**.

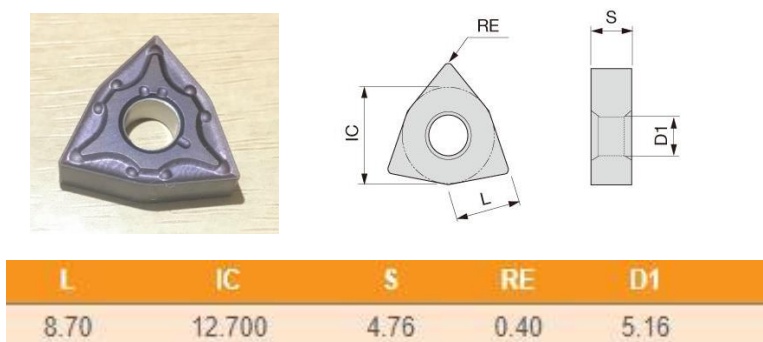
Треугольная (формально шестигранная) двухсторонняя режущая пластина WNMG- с геометрией TM с углом 80° с отверстием и стружколомающими канавками на двух сторонах, для чистовой или получистовой обработки материалов групп P, K, S, треугольная вставка, для средней резки.

Для изготовления пластины могут быть использованы сплавы: АН645, АН120, АН630, АН725, АН8015, АН110, Т6130, Т9135, Т9225, Т9125, Т9215, Т6120, Т9115, Т9105, Т515.

2. Выбор режущих твёрдосплавных пластин фирмы Mitsubishi для эксперимента

Обозначение: WNMG080404-MA (рис.2.3.6)

Покрытие: **AlTiN**; Пластина: **T15K6**



L - длина режущей кромки (мм), IC - диаметр вписанной окружности (мм), S - толщина пластины (мм), RE - радиус при вершине (мм), D1 - диаметр отверстия (мм)

Рис. 2.3.6. СМП-WNMG080404-MA

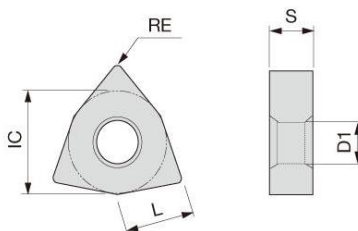
Трёхгранная (формально шестигранная) двухсторонняя режущая пластина WNMG- с геометрией MA с углом 80° с отверстием и стружколомающими канавками на двух сторонах., для чистовая или получистовая обработки материалов групп P, M, K, S, треугольная вставка, для средней резки.

Сплавы: UE6020, UE6105, UE6110, MC5005, MC5015, MC6015, MC6025, MC7025, MP7035, UC5115, US7020, US735, VP15TF

3. Выбор режущих твёрдосплавных пластин фирмы TUNGTURN для эксперимента

Обозначение: WNMG080404-SW(рис.2.3.7)

Покрытие: **TiCN** Пластины:**T15K6**



L	IC	S	RE	D1
8.70	12.700	4.76	0.40	5.16

L - длина режущей кромки (мм), IC - диаметр вписанной окружности (мм), S - толщина пластины (мм), RE - радиус при вершине (мм), D1 - диаметр отверстия (мм)

Рис. 2.3.7. СМП-WNMG080404-SW

Трёхгранная (формально шестигранная) двухсторонняя режущая пластина WNMG- с геометрией SW с углом 80° с отверстием и стружколомающими канавками на двух сторонах., для чистовая или получистовая обработки материалов групп P, M, K, S, треугольная вставка, для средней резки.

Сплавы: АН645, АН120, АН630, АН725, АН8015, АН110, Т6130, Т9135, Т9225, Т9125, Т9215, Т6120, Т9115, Т9105, Т515

Г) На рис. 2.3.8. представлен чертёж заготовки : пруток из стали 40Х.

Сталь 40Х – сталь конструкционная легированная хромом, пруток диаметром 60 мм. и длиной 600 мм.

Химический состав стали 40Х: C= 0,4%, Cr= 1%, Fe= 97%.

Использование в промышленности: оси, валы, вал-шестерни, плунжеры, штоки, коленчатые и кулачковые валы, кольца, шпиндели, оправки, рейки, губчатые венцы, болты, полуоси, втулки и другие улучшаемые детали повышенной прочности, как правило, требующие закалку. Наличие хрома позволяет использовать меньшие скорости охлаждения при закалке, увеличивает толщину прокаливаемости заготовки, что очень важно для крупных деталей.

Свойства стали 40Х:

Удельный вес: 7820 кг/м³

Твердость материала: HB 10 -1 = 217 МПа

Температура критических точек: Ac1 = 743 °С, Ac3(Acm) = 815 °С, Ar3(Arcm) = 730 °С, Ar1 = 693 °С.

Флокеночувствительность: чувствительна

Свариваемость: трудносвариваема. Способы сварки: РДС, ЭШС, необходимы подогрев и последующая термообработка. КТС – необходима последующая термообработка.

Обрабатываемость резанием: в горячекатаном состоянии при HB 163-168 и $\sigma_b=610$ МПа, $K_{\text{в тв. спл}} = 1,2$, $K_{\text{в б.р.ст}} = 0,95$.

Температура ковки, °С: начала 1250, конца 800. Сечения до 350 мм охлаждаются на воздухе.

Склонность к отпускной хрупкости: склонна

Подготовка заготовки к эксперименту

Перед проведением экспериментов заготовка закрепляется в трёхкулачковом самоцентрирующем токарном патроне за ещё не обработанную поверхность, оставшуюся после проката прутка. Т.к. диаметр прутка больше диаметра отверстия в шпинделе, то в патрон заготовка утапливается на **максимально возможную глубину** (длину).

Поскольку вылет заготовки большой, то перед окончательным закреплением **пробным** путём находится такое положение заготовки в патроне, когда **радиальное биение** консольной части **минимально**. Эти действия выполняются с небольшой частотой вращения, примерно $n = 120$ об/мин. Если частота больше 250 об/мин становится более опасно выполнять действия. Если частота меньше 80 об/мин, то труднее определить минимальное радиальное биение.



Рис.2.3.8. Державка с четырёхгранной СМП для подготовки поверхности заготовки к экспериментам

В резцедержателе устанавливается резец с четырёхгранной СМП (рис. 2.3.8) и он выставляется по оси центров вращения шпинделя.



Рис. 2.3.9. Обточка торца заготовки (мерного прутка)

После этого у заготовки осторожно обрабатывается правый торец (торец А) (рис. 3.3.9) сначала с ручной подачей, чтобы чувствовать усилие резания и быстрее остановить радиальную $s_{\text{рад}}$ (поперечную $s_{\text{поп}}$) подачу, если появится сильная вибрация.



Рис. 2.3.10. Сверление центровочного отверстия на торце заготовки

Глубина резания устанавливается небольшая, $t = 1-2$ мм, подача $s_{\text{рад}} \approx 0,13$ мм/об, частота вращения шпинделя $n = 630$ об/мин. После

нескольких проходов можно обрабатывать с механической подачей $s_{\text{рад}} = 0,13 \text{ мм/об.}$

После обточки торца на нём сверлится центровочное отверстие $\varnothing 8-10 \text{ мм}$ (Рис. 2.3.10). В пиноле задней бабки станка устанавливается вращающийся центр и этим задним центром поджимается заготовка с правого края (рис. 2.3.11).

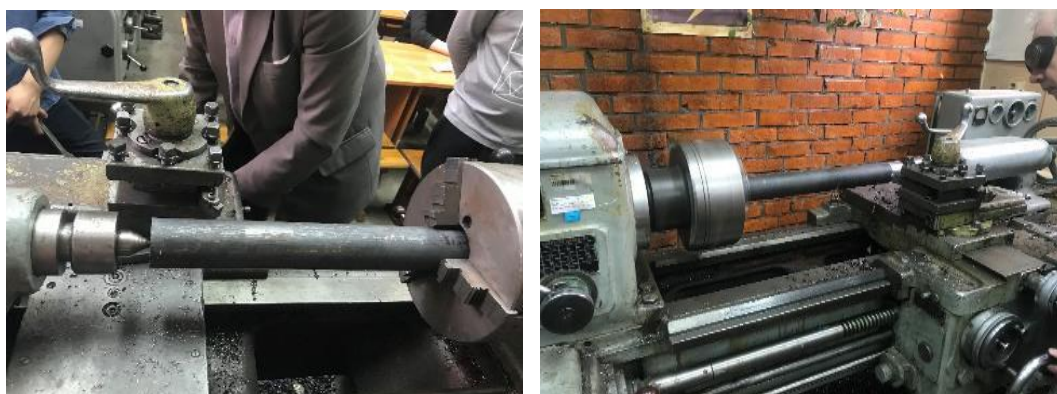


Рис. 2.3.11. Поджатие задним центром и обточка цилиндрической поверхности на правой части заготовки (у торца А) под закрепление в патроне на следующей операции

После поджатия задним центром проходным резцом с четырёхгранной СМП обтачивается наружная поверхность цилиндрической поверхности на правой части заготовки (у торца А) (рис.2.3.11) как чисто с шероховатостью Ra не более $2,5 \text{ мкм}$ ($Ra \leq 2,5 \text{ мкм}$) на длину 150 мм для последующего закрепления за эту обработанную поверхность в трёхкулачковом самоцентрирующем токарном патроне, т.е. подготавливается база.

Для максимального сохранения диаметра заготовки цилиндрическая поверхность обтачивается как чисто, т.е. до исчезновения необработанных поверхностей, оставшихся после прокатки прутка. Для определения минимально необходимой глубины резания производится

обточка на длину 10-15 мм с глубиной 0,8-1 мм, и если глубины резания недостаточно, то резец перемещается к оси на необходимое расстояние. Для обеспечения шероховатости используется продольная подача $s_{\text{прод}} = 0,13$ мм/об, $n = 630$ об/мин.

После окончательной обочки заготовки на правой части (у торца А) заготовка раскрепляется и переустанавливается, т.е. закрепляется в патроне за обработанную поверхность и повторяются предыдущие действия у торца Б, только после центrovания заготовка перезакрепляется таким образом, чтобы закрепление в патроне было на длину 20-30 мм. Такая небольшая длина принимается для увеличения рабочей длины заготовки (т.е. где будет выполняться резание при стойкостных испытаниях) и уменьшения дополнительной радиальной нагрузки на задний центр, если будет небольшое несовпадение оси заднего центра с осью вращения шпинделя. После этого заготовка поджимается задним центром и обтачивается на всю свободную длину (до кулачков патрона) с частотой вращения шпинделя $n = 1200$ об/мин и продольной подачей $s_{\text{прод}} = 0,13$ мм/об.

После окончательной подготовки заготовки к эксперименту её не рекомендуется снимать со станка во избежания появления погрешности закрепления при повторной установке и появления радиального биения. Если всё же приходится снимать заготовку, то перед проведением экспериментов её необходимо проточить заново на всю длину для избежания радиального биения и его влияния на результаты испытаний.

Методика проведения экспериментальных исследований

С учётом имеющихся планов была выполнена серия опытов, в результате которых предстояло установить стойкостные закономерности. В работе предполагалось:

1) установить влияние скорости резания $v = 360$ м/мин, характерной для получистовой обработки, на зависимость длины фаски износа по задней поверхности h_z (мм) режущих пластин от времени резания и изменение составляющих сил резания с учётом выбранного покрытия или без него. Для уменьшения длительности проведения стойкостных экспериментов наибольшая выбранная скорость должна быть равной наибольшей возможной с учётом наибольшей частоте вращения шпинделя (в нашем случае для станка 1К62 это 2000 об/мин) и наименьшему допустимому диаметру заготовки с точки зрения её жёсткости для избежания вибрации (в нашем случае для длины 600 мм это 30 мм).

2) установить влияние скорости резания $v = 180$ м/мин, характерной для черновой обработки, на зависимость длины фаски износа по задней поверхности режущих пластин от времени резания и изменение составляющих сил резания с учётом выбранного покрытия или без него. Скорость резания выбрана таким образом, чтобы она максимально отличалась от первой, но была на уровне, используемого на производстве.

3) исследовать поверхность покрытия и установить характер износа в зависимости от режимов резания и вида износостойкого покрытия.

4) изучить форму и вид стружки с учётом влияния режимов резания и вида износостойкого покрытия.

5) сформировать технологические рекомендации по использованию конкретного вида износостойкого покрытия и режимов резания, обеспечивающих минимизацию составляющих сил резания и

стабильность хорошего качества шероховатости обработанной поверхности.

Порядок выполнения эксперимента

- 1) Установить испытуемую трёхгранную пластину в соответствующую державку, установить вершину режущей пластины по оси центров, выполнить пробное резание с выбранными частотой вращения шпинделя (скорости резания), глубиной резания и подачей (рис. 2.3.12). Пробное резание необходимо для того, чтобы убедиться, что во время обработки не будет вибрации.



Рис.2.3.12. Установка державки с трёхгранной испытуемой пластиной в резцедержателе и выполнение резания

- 2) Обтачивать поверхность заготовки в течение 10 секунд, остановить механическую подачу, затем отвести резец от заготовки, остановить вращение шпинделя и, не снимая резец со станка, визуальным осмотром определить, наблюдается ли износ режущей пластины. Если износ не наблюдается, то продолжить обработку. Обычно после обточки на всю длину при первом использовании пластина первый раз снималась с державки. На большом инструментальном микроскопе (БМИ) измерялся износ по задней поверхности h_3 (мм), выполнялся осмотр пластины на предмет сколов, выкрашиваний и других повреждений, трудно

определяемых невооружённым глазом (т.е. без микроскопа) (рис. 2.3.13).
Записывались результаты измерений и замечания по осмотру.

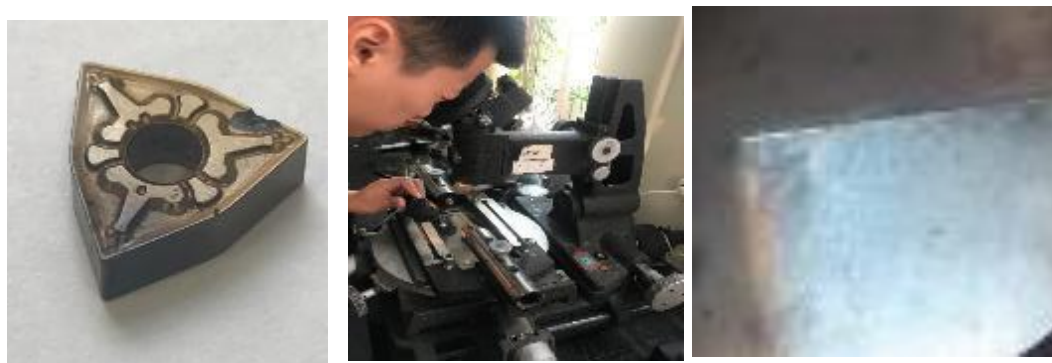


Рис. 2.3.13. Испытуемая СМП и её осмотр на БМИ

- 3) Пластина устанавливалась в державке и испытания продолжались.
- 4) Периодически выполнялось измерение составляющих сил резания с использованием динамометра Kistler (рис. 2.3.14).

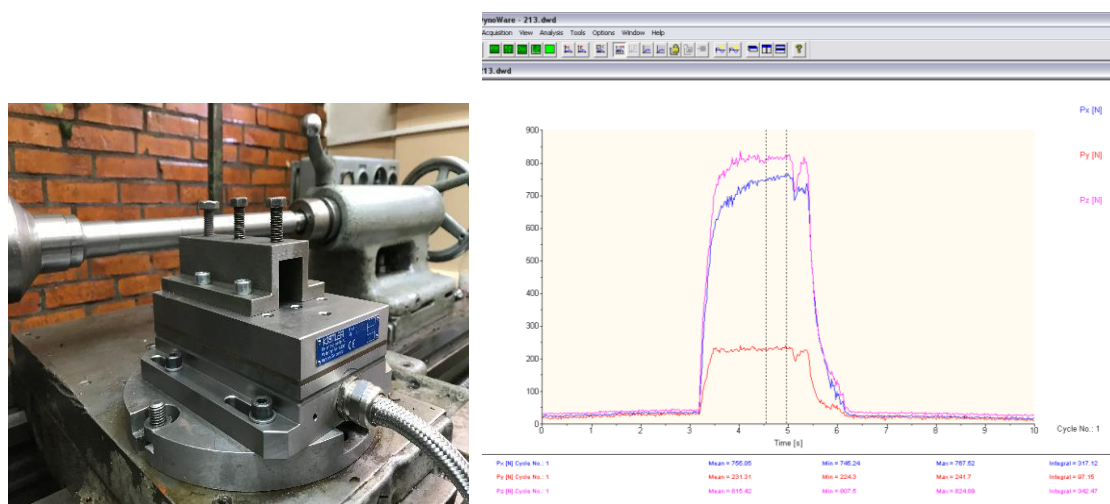


Рис.2.3.14. Динамометр Kistler и графики изменения составляющих сил резания в процессе обработки

2.4. Влияние вида износостойкого покрытия на стойкость режущих пластин при точении стали

Синтезирование покрытий на основе различных соединений тугоплавких металлов (нитриды, карбиды, бориды, оксиды и их смеси) и нанесение нескольких слоёв позволяет существенно увеличить долговечность такого композиционного покрытия. Толщина каждого слоя возможна всего нескольких тысячных долей микрометра, что позволяет уменьшить расход дефицитных и дорогих материалов, сократить время нанесения покрытия. Вопрос надёжности работы такого тонкого покрытия решается путём совершенствования технологии нанесения покрытия и уменьшения тем самым различных дефектов, достижения наибольшей прочности, вплоть до так называемой теоретической прочности.

На рис. 2.4.1 приведена зависимость изменения длины фаски износа задней поверхности h_3 (мм) от времени обработки t (мин) стали 40Х при использовании пластин из твердого сплава Т15К6 без покрытия и с покрытием TiCN.

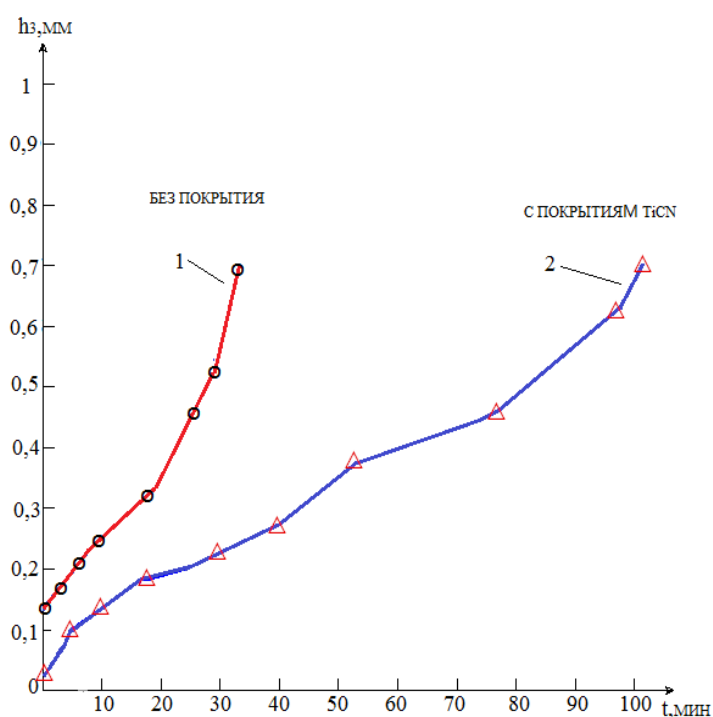


Рис. 2.4.1. Изменение длины фаски износа задней поверхности h_3 [мм] твердосплавных пластин в зависимости от времени t [мин] точения стали 40Х. $v = 300$ м/мин; $s = 0,13$ мм/об; $t = 1$ мм.
1 — Т15К6; 2 — Т15К6 с покрытием TiCN

Полученные графики подтверждают уменьшение интенсивности износа по задней поверхности при использовании пластин с покрытием. Большой эффект наблюдается при увеличении допустимой длины фаски износа задней поверхности h_3 более 0,15 мм. При полустойчивой обработке предельная длина фаски не должна превышать 0,25 мм, поэтому при указанном режиме резания и $h_{3\text{ пред}} = 0,25$ мм стойкость режущей пластины с покрытием TiCN будет в 2,5 раза больше ($T_{\text{без покр}} = 15$ мин, $T_{\text{с покр}} = 42$ мин).

Несмотря на то, что после появления фаски износа на задней поверхности на ней уже нет покрытия, всё равно остаётся защитное действие со стороны покрытия на передней поверхности, которое немного нависает над фаской и уменьшает контакт поверхности резания с уже незащищённой фаской. Этот защитный эффект более значим с учётом прогиба поверхности резания при обработке материалов, образующих сливную стружку [7].

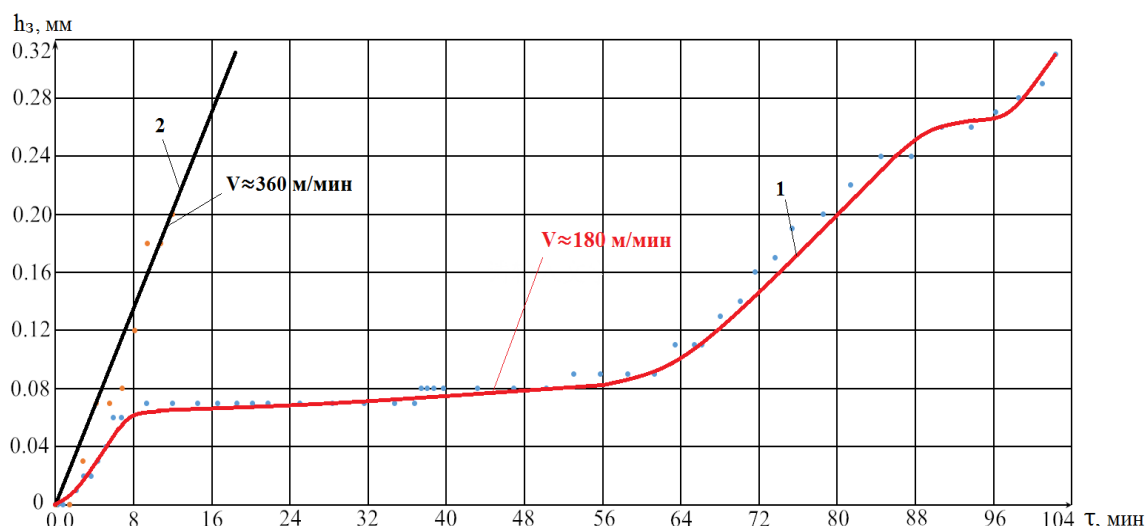


Рис. 2.4.2. Зависимость длины фаски износа по задней поверхности от времени резания при обработке стали 40X—WNMG080404-TM с покрытием TiN, $s = 0,13$ мм/об; $t = 1$ мм.
1 – $v = 180$ м/мин; 2 – $v = 360$ м/мин

Использование СМП с покрытием TiCN для черновой обработки, когда допустимый износ по задней поверхности может быть увеличен до $h_3 = 0,7$ мм, даёт увеличение стойкости в 2,9 раза (рис. 2.4.1).

На рис. 2.4.2 приведена зависимость длины фаски износа по задней поверхности h_3 (мм) от времени резания t (мин) при обработке стали 40X—WNMG080404-TM с покрытием TiN при различных скоростях резания.

При использовании СМП без покрытия при скорости резания $v = 300$ м/мин износ $h_3 = 0,3$ мм наступает через 18 мин; при использовании СМП с покрытием TiCN при скорости резания $v = 300$ м/мин износ $h_3 = 0,3$ мм наступает через 45 мин.

При использовании СМП WNMG080404-TM с покрытием TiN при скорости резания $v = 360$ м/мин износ $h_3 = 0,3$ мм наступает через 17 мин; при использовании СМП WNMG080404-TM с покрытием TiN при скорости резания $v = 180$ м/мин износ $h_3 = 0,3$ мм наступает через 102 мин.

В табл. 2.4.1. приведены оптические фотографии изношенных пластин с покрытием TiN при обработке сталь 40X со скоростью резания 360 м/мин.

Табл. 2.4.1. Фотографии изношенных пластин с покрытием TiN при обработке стали 40X со скоростью резания 360 м/мин.

 2'49'' $h_3=0,03$ мм,	 6'49'' $h_3=0,08$ мм,
 8'07'' $h_3=0,12$ мм	 12'01'' $h_3=0,2$мм

В табл. 2.4.2. приведены оптические фотографии изношенных пластин с покрытием TiN при обработке стали 40X со скоростью резания 180 м/мин.

При точении стали 40X СМП WNMG080404-ТМ с покрытием TiN со скоростью $v = 180$ м/мин после 102 мин работы на режущей кромке в области контакта с необработанной поверхностью появляется местный износ (так называемый «ус»), который на табл. 2.4.2. указан стрелкой.

По нашему мнению это связано с окислением покрытия и удалением окислов в процессе обработки, в том числе и на передней поверхности, что приводит к появлению отрицательного переднего угла $\gamma = -10^\circ$ (рис. 2.4.3).

Табл. 2.4.2. Фотографии изношенных пластин с покрытием TiN
при обработке сталь 40Х со скоростью резания 180 м/мин.

	
6'43'' $h_3=0,06$ мм,	18'35'' $h_3=0,07$ мм
	
50'14'' $h_3=0,08$ мм	63'26'' $h_3=0,11$ мм
	
71'37'' $h_3=0,16$ мм	81'23'' <i>(-5° перед. угол)</i> $h_3=0,22$ мм
	
96'11'' $h_3=0,27$ мм	102'20'' <i>(-10° перед. угол)</i> $h_3=0,31$ мм

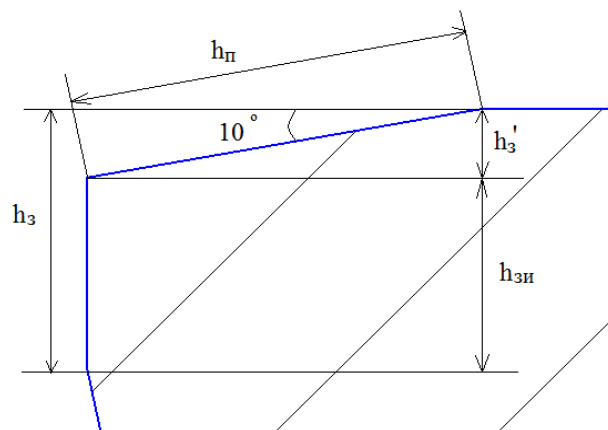


Рис. 2.4.3. Нормальное сечение режущей пластины в области местного износа. $v=180$ м/мин, $t = 1$ мм, $s = 0,13$ мм/об, $h_з=0,31$ мм

В этом месте износ протекает гораздо интенсивнее, стружка перестаёт дробиться на полукольца и короткие витки. Сливная путанная стружка начинает обвиваться вокруг державки и заготовки (рис. 2.4.4).

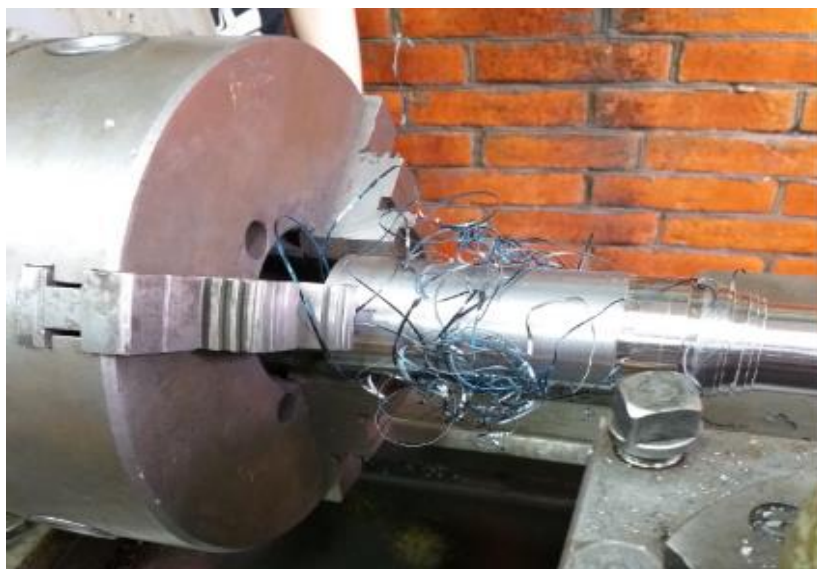


Рис. 2.4.4. Стружка наматывается вокруг заготовки

После 95 мин точения из-за местного износа стружка практически сразу же обвивается вокруг заготовки и начинает вращаться вместе с ней, что вынуждает останавливать обработку и удалять стружку. Иногда этот

моток стружки отлетает и попадает в оператора. Это явление очень травмоопасно, поэтому после 98-102 мин точения мы были вынуждены прекращать обработку и заменять вершину СМП.

При работе на станке с защитным экраном оператор всё равно вынужден временно прекращать обработку для удаления стружки, т.к. вращающийся моток стружки может привести к поломке инструмента или даже станка. При обработке на станке с ЧПУ или на автоматической линии такое явление тем более недопустимо. Поэтому стойкость СМП WNMG080404-ТМ с покрытием при скорости резания $v = 180$ м/мин и подаче $s = 0,13$ мм/об принимаем равной 102 мин.

При резании образуются различные типы стружки (рис. 2.4.5).

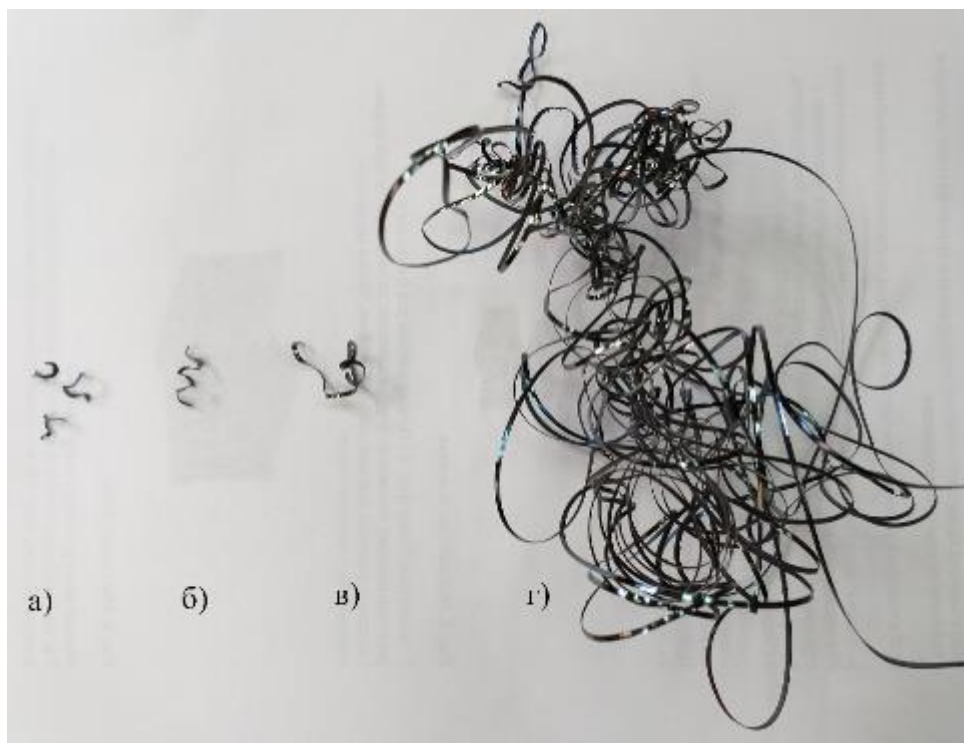


Рис. 2.4.5. Типы стружки: а) полукольца (предпочтительная форма стружки); б) нормальная; в) допустимая форма; г) недопустимая форма (длинная сливная, путанная)

2.5. Исследование напряжённо-деформированного состояния (НДС) режущей пластины и оценка её прочности

Для того, чтобы исследовать НДС режущих пластин с помощью программы ANSYS, сначала необходимо создать 3D модель режущих пластин (рис. 2.5.1). Решили использовать программное обеспечение Solidworks для создания 3D модели режущих пластин.

Для того, чтобы было удобно прикладывать внешние контактные нагрузки, надо разделить рабочие поверхности режущих пластин на последовательные равномерные части.

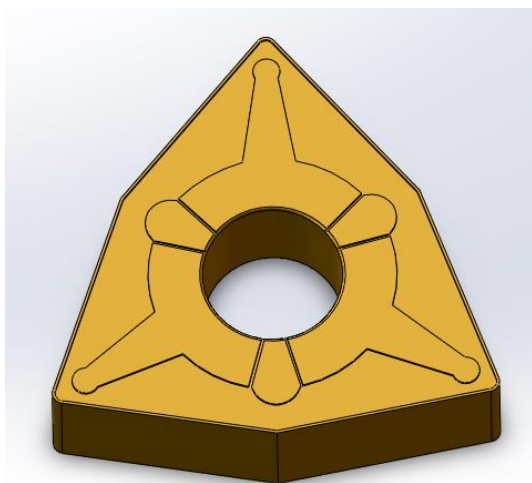


Рис. 2.5.1 пример 3D модели режущей пластины

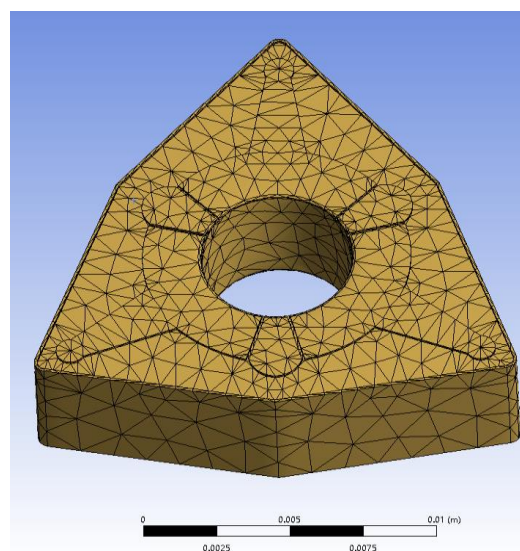


Рис. 2.5.2 Вид и размер конечных элементов

В нашем исследовании необходимо создать по требованию экспериментов серию моделей, имеющие различные длины искусственной фаски на задней поверхности ($h_3 = 0$ мм; 0,11 мм; 0,2 мм). Поскольку в нашем исследовании мы в основном изучаем влияние длины фаски на НДС режущих пластин, толщина режущих пластин принимаем постоянно $h_{p.п.} = 4,76$ мм (рис. 2.5.3).

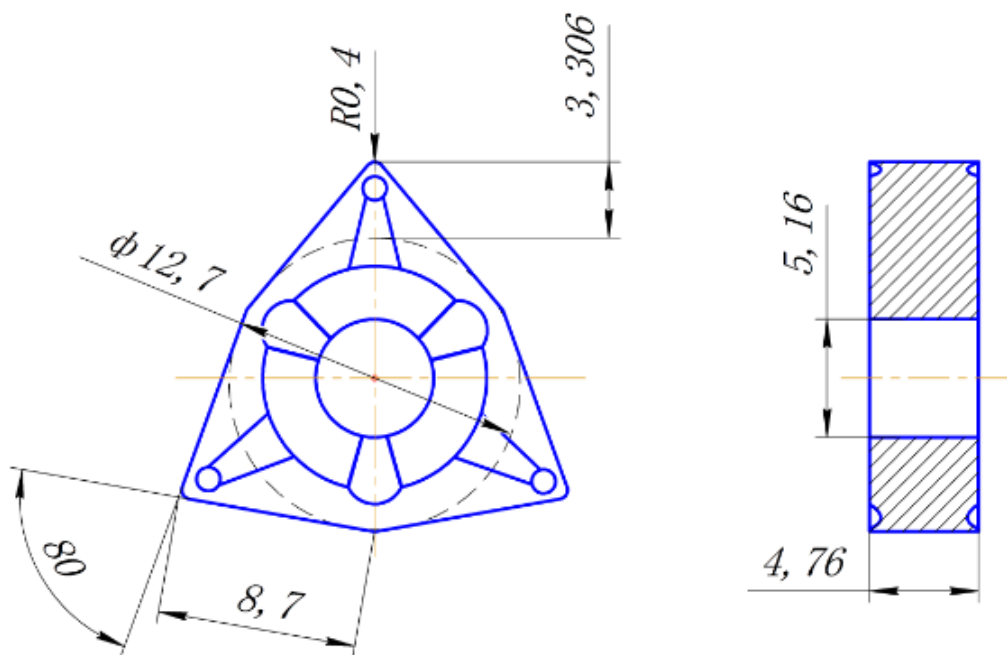


Рис. 2.5.3. Размеры режущей пластины

Основные геометрические параметры режущих пластин:

- Передний угол: $\gamma=7^\circ$;
- Главный задний угол: $\alpha=0^\circ$;
- Длина режущей кромки пластины: $l=8,7\text{мм}$;
- Диаметр вписанной окружности: $D=12,7\text{мм}$;
- Диаметр отверстия: $d=5,16\text{мм}$;
- Радиус вершины: $R=0.4\text{мм}$;
- Ширина пластины: $b=4,76\text{мм}$;
- Толщина режущей пластины: $h_{р.п.}=4,76\text{мм}$.

Расчёт НДС режущей пластины

Для исследования НДС режущей пластины и расчёта на её прочности необходимо получить распределение внутренних эквивалентных напряжений, внутренних нормальных напряжений и внутренних

касательных напряжений в режущей пластине, а также деформаций. Эквивалентные напряжения показывают интегрированные значения внутренних напряжений в режущей пластине, а нормальные напряжения показывают вид напряжения: сжимающее напряжение или растягивающее.

Внешние нагрузки задавались приложением контактных напряжений, полученных методом разрезного резца и по полученному закону распределения. Напряжённо-деформированное состояние (НДС) в пластине из твёрдого сплава T15K6 с покрытием TiN было исследовано методом конечных элементов (МКЭ) с использованием программы ANSYS12 (рис. 2.5.4).

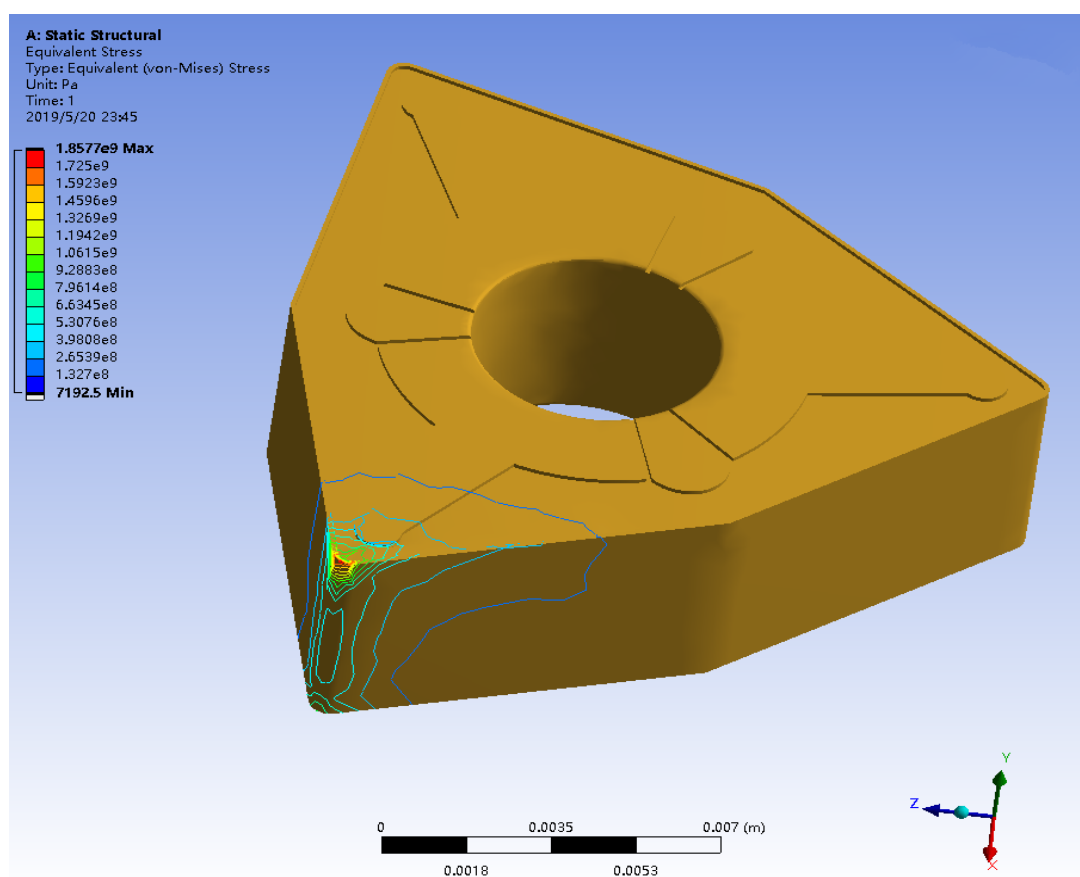
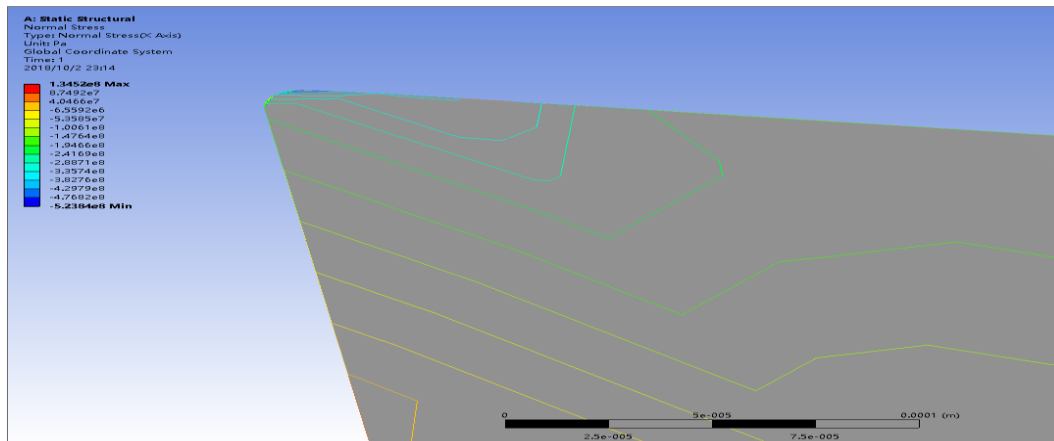
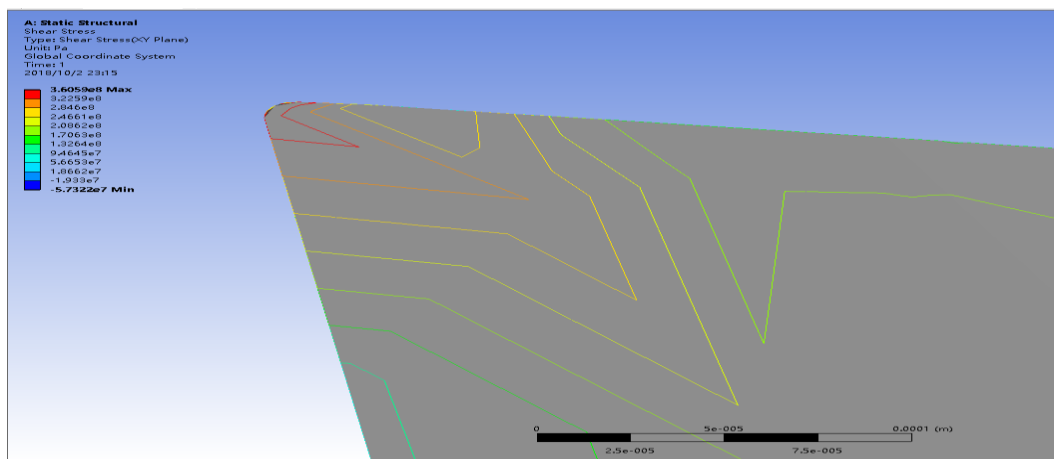


Рис. 2.5.4. Распределение эквивалентного напряжения в СМП (МПа)

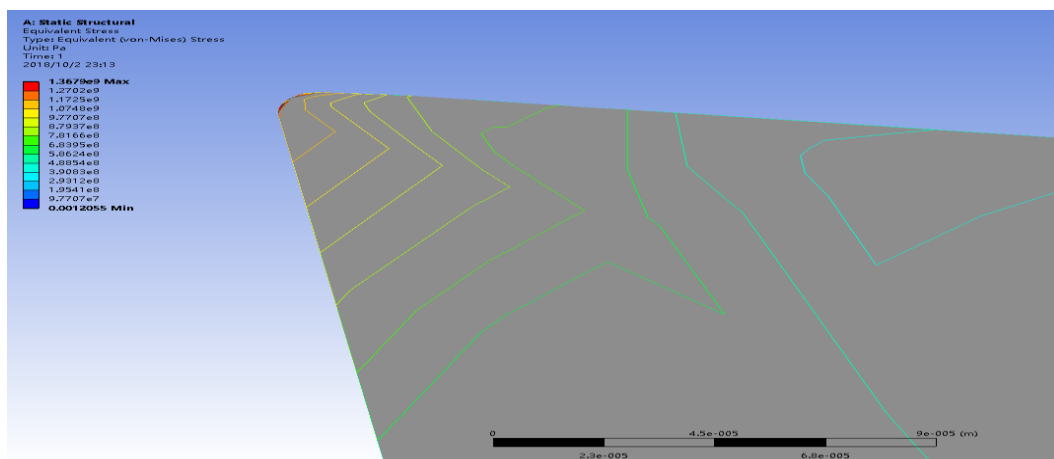
При резании стали 40X, $v = 180$ м/мин; $s = 0,13$ мм/об; $t = 1$ мм:
1) пластин из Т15К6 без покрытия, $h_3 = 0$.



а) Распределение нормальных напряжений σ_x (МПа)

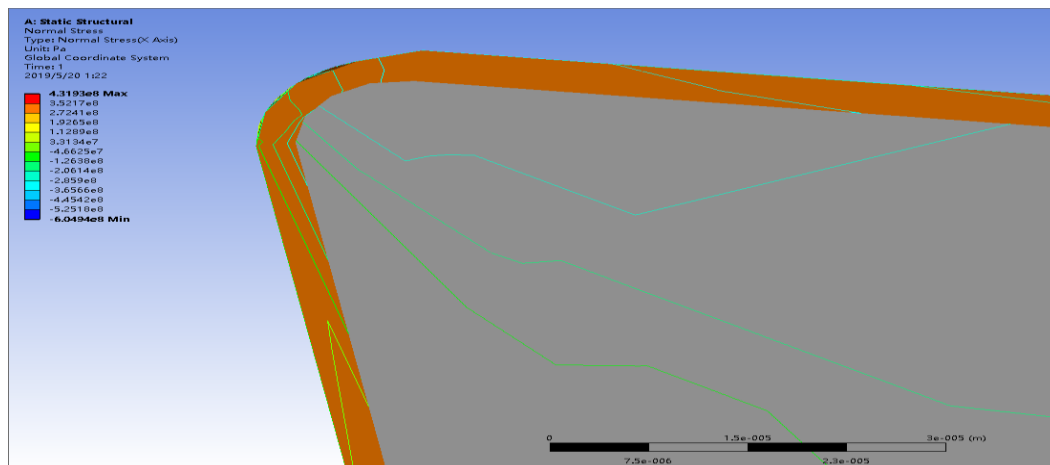


б) Распределение касательных напряжений σ_{xy} (МПа)

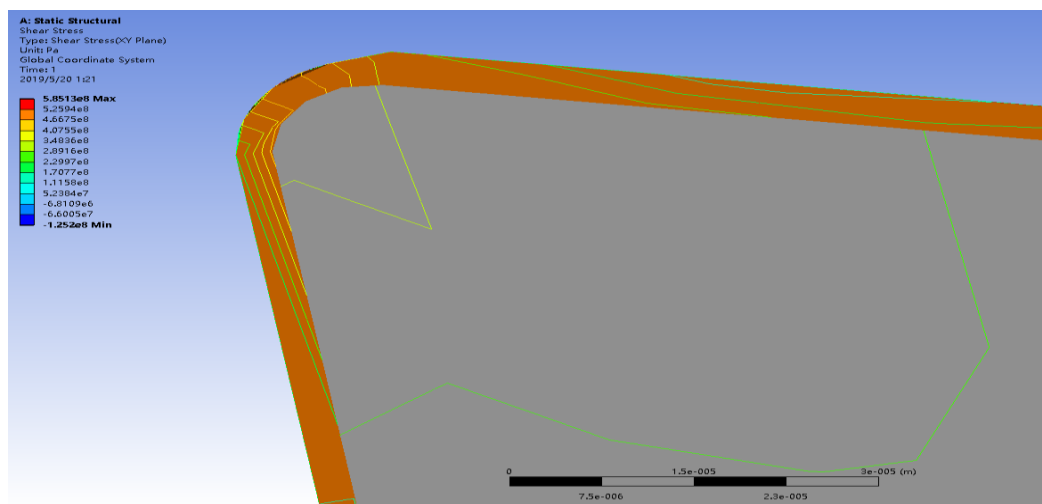


в) Распределение эквивалентного напряжений σ_3 (МПа)

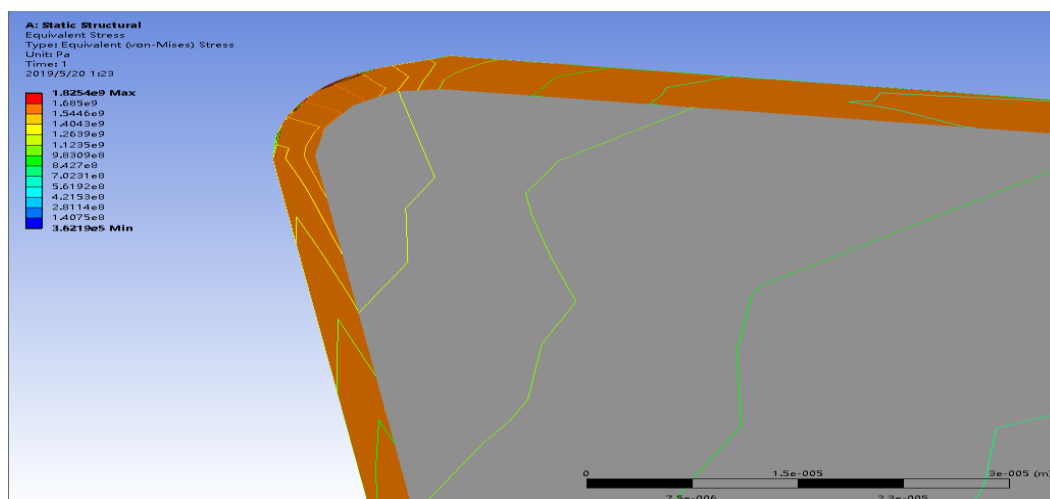
Рис. 2.5.5. Распределения нормальных (а), касательных (б) и эквивалентных (в) напряжений в режущей клине СМП из Т15К6 без покрытия при установившемся резании стали 40X, $v = 180$ м/мин; $s = 0,13$ мм/об; $t = 1$ мм; $h_3 = 0$ мм



а) Распределение нормального напряжений σ_x (МПа) в режущем клине

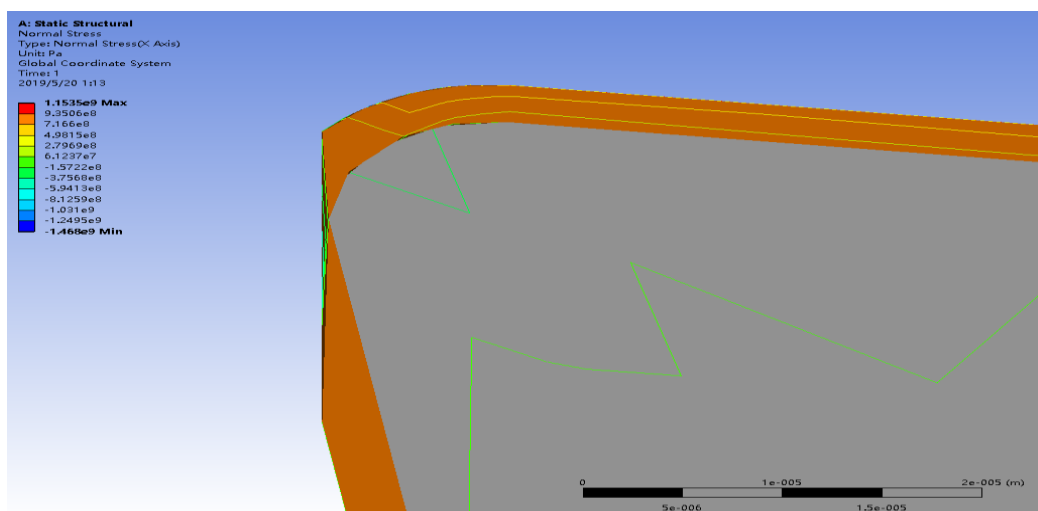


б) Распределение касательного напряжений σ_{xy} (МПа) в режущем клине

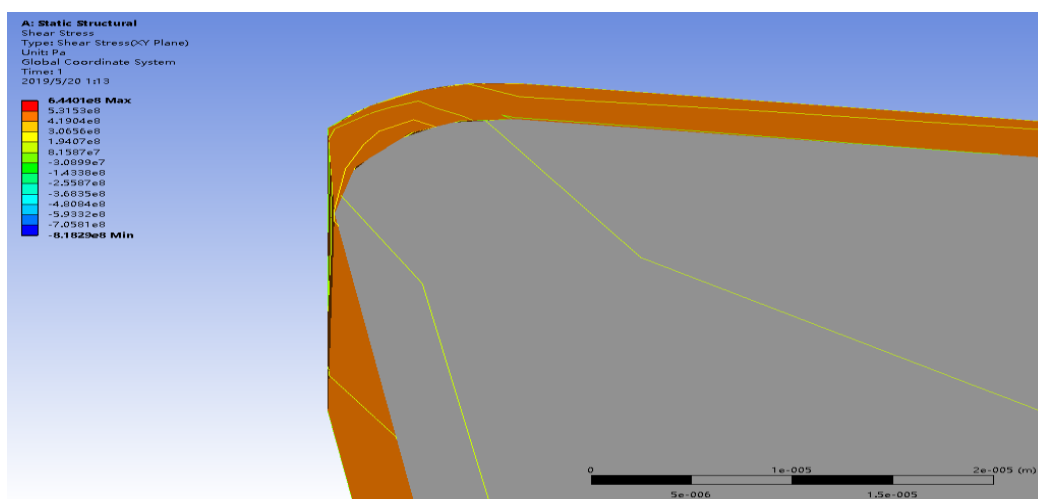


в) Распределение эквивалентного напряжений σ_3 (МПа) в режущем клине

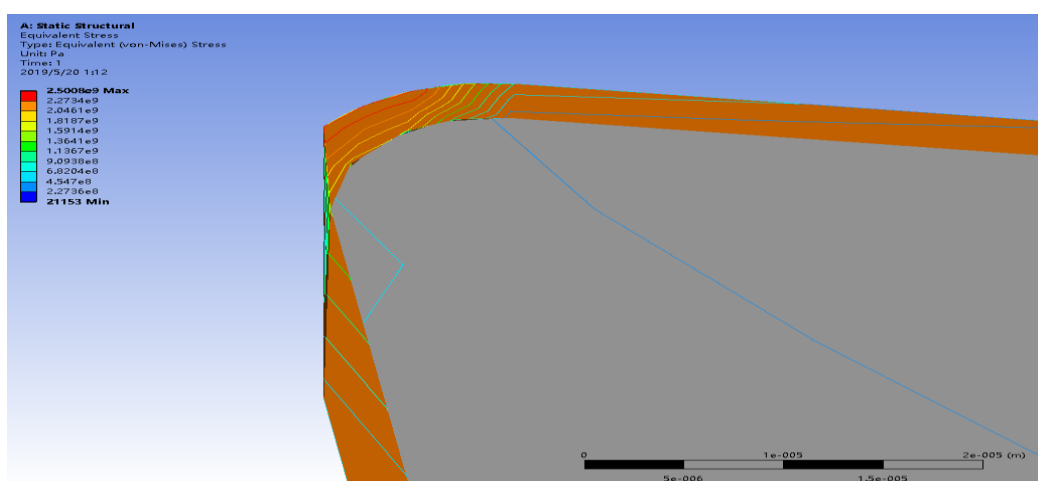
Рис. 2.5.6. Распределения нормальных (а), касательных (б) и эквивалентных (в) напряжений в режущей кромке пластины из Т15К6 с покрытием TiN при установившемся резании стали 40X, $v = 180$ м/мин; $s = 0,13$ мм/об; $t = 1$ мм; $h_3 = 0$ мм



а) Распределение нормальных напряжений σ_x (МПа) в режущем клине

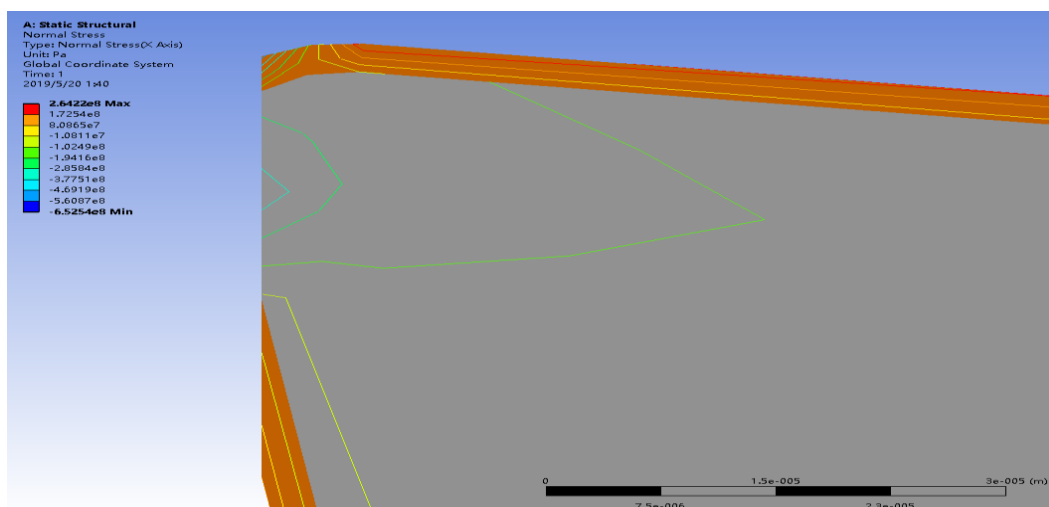


б) Распределение касательных напряжений σ_{xy} (МПа) в режущем клине

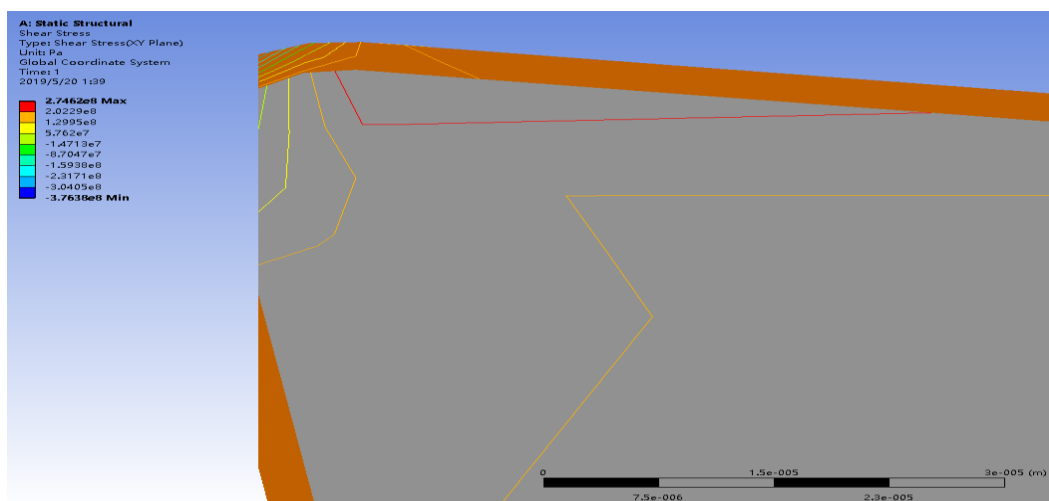


в) Распределение эквивалентного напряжений σ_z (МПа) в режущем клине

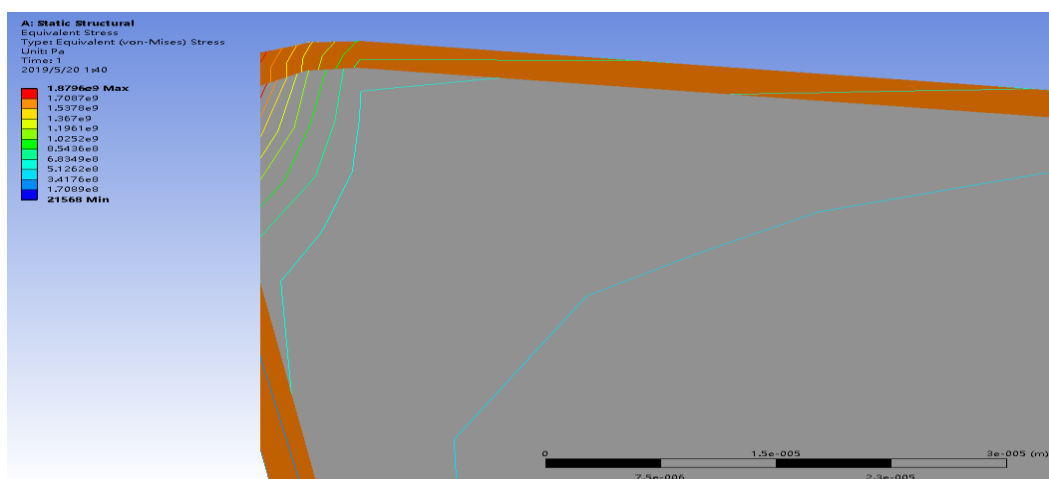
Рис. 2.5.7. Распределения нормальных (а), касательных (б) и эквивалентных (в) напряжений в режущей клине СМП из Т15К6 с покрытием TiN при установившемся резании стали 40Х, $v = 180$ м/мин; $s = 0,13$ мм/об; $t = 1$ мм; $h_3 = 0,11$ мм



а) Распределение нормального напряжений σ_x (МПа) в режущем клине

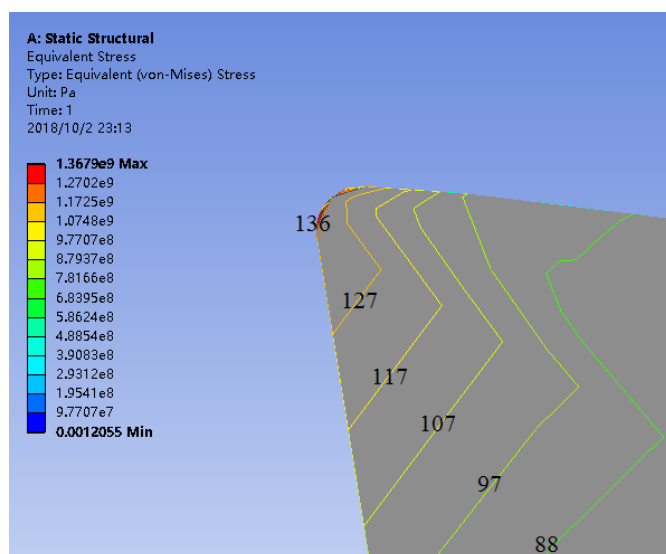


б) Распределение касательного напряжений σ_{xy} (МПа) в режущем клине

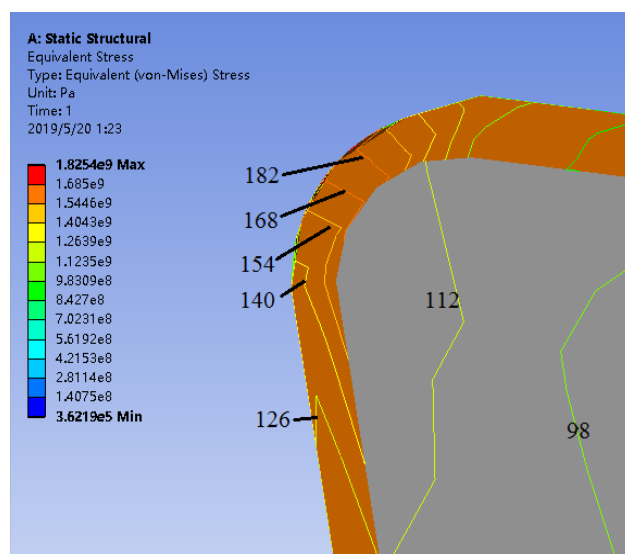


в) Распределение эквивалентного напряжений σ_z (МПа) в режущем клине

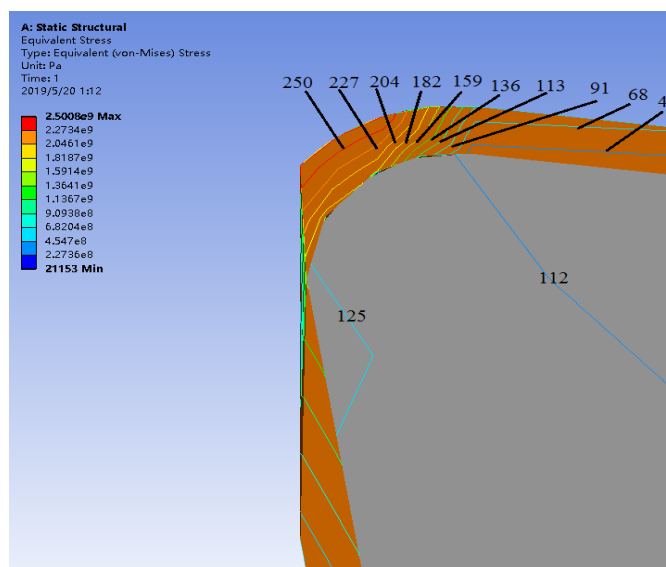
Рис. 2.5.8. Распределения нормальных (а), касательных (б) и эквивалентных (в) напряжений в режущей кромке пластины из Т15К6 с покрытием TiN при установившемся резании стали 40Х, $v = 180$ м/мин; $s = 0,13$ мм/об; $t = 1$ мм; $h_3 = 0,2$ мм



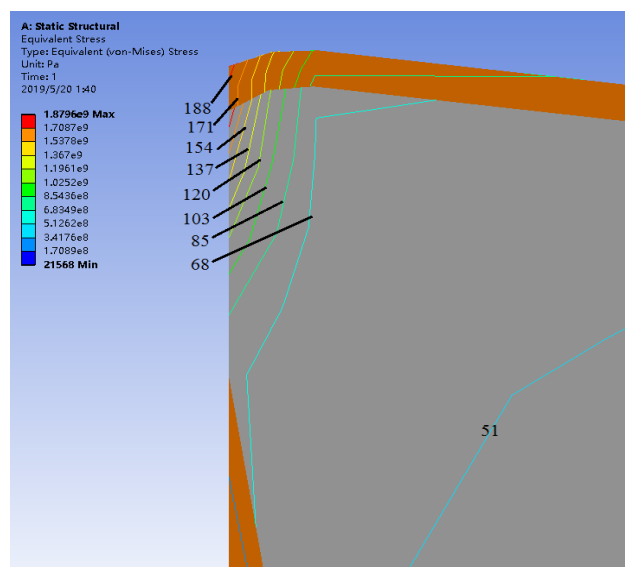
а) пластина из T15K6 без покрытия;
 $h_3 = 0 \text{ мм}$



б) пластина из T15K6 с покрытием TiN;
 $h_3 = 0 \text{ мм}$



в) пластина из T15K6 с покрытием TiN;
 $h_3 = 0,11 \text{ мм}$



г) пластина из T15K6 с покрытием TiN;
 $h_3 = 0,2 \text{ мм}$

Рис. 2.5.9. Распределения эквивалентных напряжений в режущем клине СМП из T15K6 с покрытием TiN и без него при установившемся резании стали 40X, $v = 180 \text{ м/мин}$; $s = 0,13 \text{ мм/об}$; $t = 1 \text{ мм}$; а) пластина из T15K6 без покрытия, $h_3 = 0 \text{ мм}$; б) пластина из T15K6 с покрытием TiN, $h_3 = 0 \text{ мм}$; в) пластина из T15K6 с покрытием TiN, $h_3 = 0,11 \text{ мм}$; г) пластина из T15K6 с покрытием TiN, $h_3 = 0,2 \text{ мм}$

Сравнение результатов расчётов представлено на рис. 2.5.9.

Анализ НДС показал, что пластина с покрытием имеет меньшие внутренние напряжения ($\sigma_{\text{э наиб р.клина с покр}} = 112 \text{ МПа}$) по сравнению с режущей пластиной без покрытия ($\sigma_{\text{э наиб р.клина без покр}} = 136 \text{ МПа}$), хотя в самом слое покрытия эквивалентные напряжения больше, чем в пластине без покрытия ($\sigma_{\text{э наиб покр}} = 182 \text{ МПа}$ против $\sigma_{\text{э наиб р.клина без покр}} = 136 \text{ МПа}$). Этот результат объясняется нами увеличенным модулем упругости Юнга у покрытия TiN. Малое количество дефектов в покрытии при его нанесении методом PVD и поэтому его повышенная прочность даже при его небольшой толщине позволяют выдерживать даже большие напряжения.

При износе $h_3 = 0,11 \text{ мм}$ пластина с покрытием имеет в 1,4 раза больше внутренние напряжения ($\sigma_{\text{э наиб р.клина с покр}} = 250 \text{ МПа}$) по сравнению с без износа ($h_3 = 0 \text{ мм}$) ($\sigma_{\text{э наиб р.клина с покр}} = 182 \text{ МПа}$).

Однако при большем износе $h_3 = 0,2 \text{ мм}$ пластина с покрытием имеет близкие внутренние напряжения ($\sigma_{\text{э наиб покр}} = 188 \text{ МПа}$) по сравнению без износа ($h_3 = 0 \text{ мм}$) ($\sigma_{\text{э наиб р.клина с покр}} = 182 \text{ МПа}$). Поэтому износостойкое покрытие выполняет защитную функцию на задней поверхности даже при износе $h_3 = 0,2 \text{ мм}$.

2.6. Рекомендации по выбору износостойкого покрытия

На рис.2.6.1 представлена зависимость стойкости ($\tau=T$ мин) СМП с различными покрытиями от скорости резания V (м/мин) при $h_3 = 0,25$ мм.

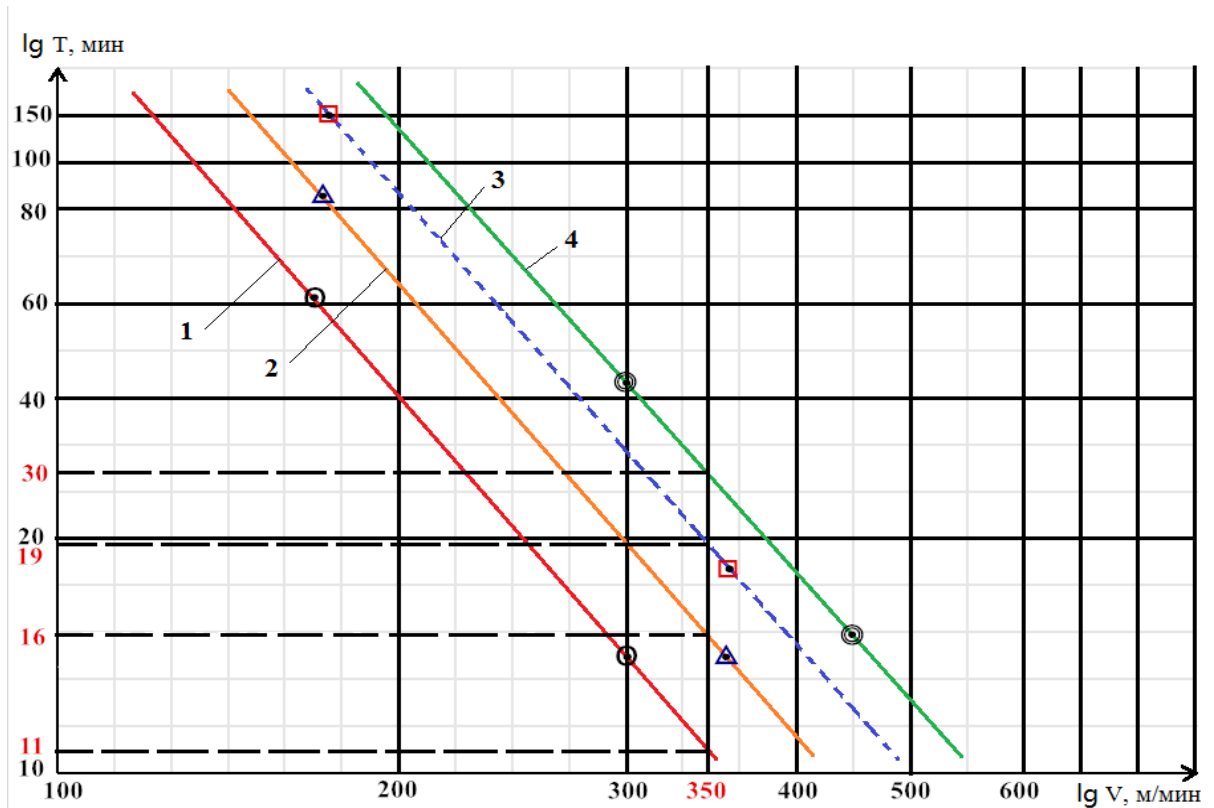


Рис. 2.6.1. Зависимость стойкости T (мин) СМП с износостойкими покрытиями (2, 3, 4) от скорости резания V (м/мин) при обработке стали 40Х: 1- без покрытия, 2- с покрытием TiN, 3- с покрытием AlTiN, 4- с покрытием TiCN.

Сравнение эффективности применения пластин

Обрабатываемая длина детали равна:

$$L_{\text{обр}} = v \cdot T$$

Где, v - скорость резания, T - стойкость пластин.

Обрабатываемая площадь поверхности детали равна:

$$S_{\text{обр}} = L_{\text{обр}} \cdot s$$

Где, s - подача.

Оценка эффективности применения режущих пластин (удельная стоимость обработки длины пройденного пути, руб/м):

$$C_{\text{уд}} = \frac{\text{ЦЕНА}}{L_{\text{обр}}}$$

Для полуставовой обработки применим оптимальную скорость резания $V=350$ м/мин и подачу $s=0,13$ мм/об.

При применении прутка с диаметром 60 мм,

$$L_{\text{одного витка, детали}} \approx L_{\text{окр, детали}} = \pi \cdot d = 188 \text{ мм.}$$

То получим:

Табл. 2.6.1

Тип пластин	Цена, руб/ шт	Стойкость T , мин	$L_{\text{обр}}$, м	$S_{\text{обр}}$, м ²	Оценка C , руб/м
1. СМП без покрытия	100	11	3850	0,50	0,026
2. СМП с покрытием TiN	120	16	5600	0,73	0,021
3. СМП с покрытием AlTiN	150	19	6650	0,86	0,023
4. СМП с покрытием TiCN	200	30	10500	1,37	0,019

В таблице 2.6.1 показаны результаты, что СМП с покрытием TiCN получит оптимальную оценку эффективности 0,019 руб/м, и оценка СМП с покрытием TiN лучше чем с покрытием AlTiN.

Рекомендации по выбору износостойкого покрытия для полустойковой обработки стали 40X: СМП с покрытием TiCN и СМП с покрытием TiN.

2.7. Выводы по разделу 2

1. Внутренние напряжения в режущем клине инструмента с износостойким покрытием TiN уменьшаются на 18% по сравнению с режущей пластиной без покрытия. ($\sigma_{\text{э наиб р.клина с покр}} = 112 \text{ МПа}$, $\sigma_{\text{э наиб р.клина без покр}} = 136 \text{ МПа}$)
2. Наибольшие внутренние напряжения в самом покрытии на 25 % больше, чем в твердосплавной пластине без покрытия, что связано с небольшой толщиной покрытия. ($\sigma_{\text{э наиб покр}} = 182 \text{ МПа}$ против $\sigma_{\text{э наиб р.клина без покр}} = 136 \text{ МПа}$)
3. При точении стали 40X со скоростью резания 300 м/мин и подачей 0,13 мм/об стойкость пластин T15K6 с покрытием TiCN превосходит стойкость контрольных пластин T15K6 без покрытия в 2,5-2,9 раза.
4. При точении стали 40X со скоростью резания 360 м/мин и подачей 0,13 мм/об стойкость пластин T15K6 с покрытием TiCN превосходит стойкость пластин T15K6 с покрытием TiCN со скоростью резания 180 м/мин в 6 раза.
5. СМП с покрытием TiCN получит оптимальную оценку эффективности 0,019 руб/м, и оценка СМП с покрытием TiN лучше чем с покрытием AlTiN.

Рекомендации по выбору износостойкого покрытия для полустойковой обработки стали 40X : СМП с покрытием TiCN и СМП с покрытием TiN.

Приложение А

Раздел на иностранном языке

RESEARCH OF THE COATING KIND INFLUENCE ON THE WEAR AND STRENGTH OF CEMENTED CARBIDE INSERTS IN CUTTING STEEL

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЛМ71	Лю Шэньян		

Консультант школы отделения (НОЦ) материаловедения ИШНПТ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Козлов Виктор Николаевич	К.Т.Н.		

Консультант – лингвист отделения (НОЦ) школы ОИЯ ШБИП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Ажель Юлия Петровна			

Introduction

Material cutting is an important process in the field of material removal. It is defined as the chip removal from a workpiece in order to obtain the desired surface finish. These properties are particularly needed in aerospace and automotive industries. High quality of mechanical parts can be achieved by the control of several parameters like cutting conditions, workpiece hardness, and coating materials of cutting tools, resulting in improved mechanical properties such as fatigue strength, corrosion resistance, friction and wearing.

It is possible to improve the properties of the tool material by changing the alloy structure (uniform distribution of its components by product volume, uniformity of WC grains, its composition, size, shape, etc.). One of the possible means of solving this problem is the use of high-strength and heat-resistant ligaments containing in addition to cobalt refractory metals, which do not form stable carbides in the preparation of carbide-based hard alloys. Another possible way to improve the serviceability of the tool is to apply a coating with high wear and heat resistance to its working surfaces, passive in relation to the processed materials. Such a coating should contribute to the reduction of the contact loads, favorable redistribution of heat fluxes and increase in the resistance of the material to micro- and macro-destruction.

1. Cutting tool materials - Cemented Carbide

Cutting tool materials constitute a special group of tool materials because they must withstand extreme process conditions, specific for cutting, (i.e., high temperature, high contact stresses, rubbing on the workpiece surface by fast moving chip.) Consequently, cutting tool materials must have certain properties depending on the type of machining operations, workpiece material being machined and overall thermomechanical process conditions, namely:

- 1) High hardness at elevated temperatures (hot hardness) to resist abrasive wear and guarantee reproducible wear behaviour.
- 2) High deformation (pressure) resistance to prevent the cutting edge from plastic deformation under high stresses and temperatures arising during chip formation.
- 3) High fracture toughness to resist edge micro-chipping and breakage, especially in interrupted cutting.
- 4) Chemical inertness (low chemical affinity or high chemical stability) to workpiece material to protect against heat-affected wear types (i.e., diffusion, and chemical and oxidation wear).
- 5) High thermal conductivity to reduce temperatures near the cutting edge (to prevent the cool edge of the tool).
- 6) High fatigue resistance for tools suffering from peaked mechanical loads.
- 7) High thermal shock resistance, which naturally follows the mechanical shock.
- 8) High stiffness required to maintain accuracy.
- 9) Adequate lubricity (low friction) to increase welding resistance and to

prevent seizure (built-up edge (BUE) formation).

It should be noted that all the properties deal only with an ideal tool material, and in practice no single material exhibits all of the desirable properties for a tool material. Moreover, some of the needed properties are mutually exclusive, for example hardness versus toughness.

The main classes of tool materials currently in use include high-speed steels (HSSs) and cobalt-enriched high-speed steels (HSS-Co), sintered tungsten carbides (WC), cermets, ceramics (aluminas and silicon nitrides) and super-/ultra-hard materials, such as polycrystalline cubic boron nitride (PCBN) and polycrystalline diamond (PCD).(Fig 1.1.)

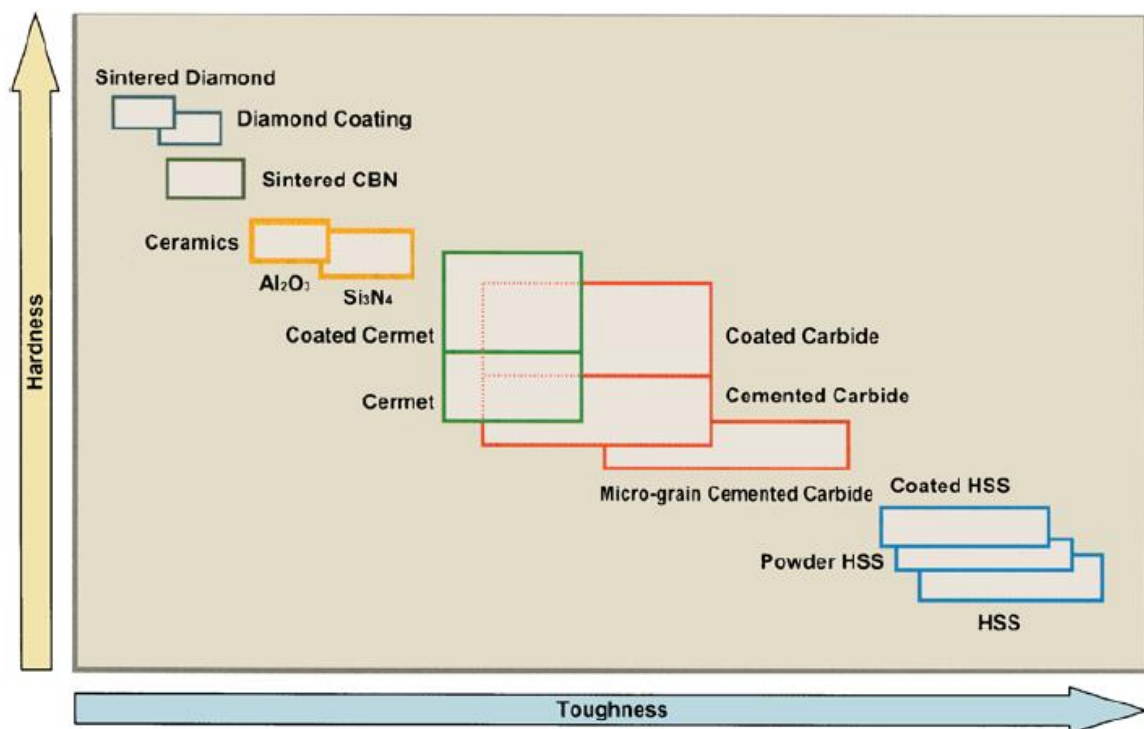


Figure 1.1. Cutting tool material comparisons

Cemented Carbide

Cemented carbides show characteristics of composite materials. They consist of hard carbides or carbonitrides of metals from the IV to VI subgroup of the periodic table, held together by binder metals, mostly cobalt and nickel. These cutting materials maintain their hardness at very high process temperatures due to the high melting points of the carbides.

Furthermore, due to its very fine distribution, the softening of the binder phase takes place at considerably higher temperatures compared to high-speed steels. Cemented carbides can be applied using flood cooling, minimum quantity lubrication (MQL) or in dry cutting processes. Their brittleness means that stiff and stable machine tools are required.

Nowadays, mainly three different types of cemented carbides are used: cemented carbides based on tungsten carbide with cobalt binder phase (WC-Co), tungsten carbide in combination with cubic carbides such as TaC, NbC, TiC with cobalt binder phase (WC-(Ti,Ta,Nb)C-Co), and cermets, which are TiC-based cemented carbides.

WC-Co cemented carbides show high hardness due to the wettability of tungsten by cobalt. Due to small size of tungsten carbide grains below 0.1 μm , they feature high edge strength. However, because of the solubility of many workpiece materials in cobalt, this cutting material has high sensitivity to crater wear, especially when machining steels. This can be prevented by applying hard coatings. The maximum application temperature of WC-Co cemented carbides is 800 to 900 °C. Above this temperature, the plastic deformation, caused by softening of the binder phase, leads to tool failure.

WC-(Ti, Ta, Nb) C-Co-cemented carbides show different wear behavior due to the reduced wettability of the cubic carbides by the binder phase, which leads to a higher resistance to crater wear. Furthermore, this cutting material has lower specific weight and a 100 to 150 °C higher application temperature compared to WC-Co cemented carbides. The major disadvantage of WC-(Ti, Ta, Nb) C-Co-cemented carbides is the low ductility, which restricts its application for rotation tools. Therefore, WC-(Ti, Ta, Nb) C-Co-cemented carbides are mainly used for indexable inserts.

Cermets are Ti(C,N)-Mo₂C-WC-Ni-based cemented carbides with a structure formed by solutions, separation processes, and a spinodal decomposition of the Ti(C,N) component. The special structure of this

cutting material leads to very high application temperature of approximately 1100 °C. However, cermets show 25% lower ductility than WC–Co cemented carbides at the same hardness.

In my study, cemented carbide T15K6 is used to make cutting inserts. (Fig 1.2.)



Figure 1.2. Cutting inserts

2. Features of the technology of applying wear-resistant coating on the cutting inserts

1) Chemical Vapour Deposition (CVD)

In general, CVD processes are based on the occurrence of heterogeneous chemical reactions in the vapor-gas environment surrounding the instruments, as a result of which a wear-resistant coating is formed. The production of coatings from refractory compounds by their deposition from the gas phase is based on the reduction of volatile metal compounds with hydrogen in the presence of active constituents of the gas mixture, which interacting with the metal released in its free form, form the corresponding refractory compounds.

The microstructure of CVD coatings is shown in figure 2.1.

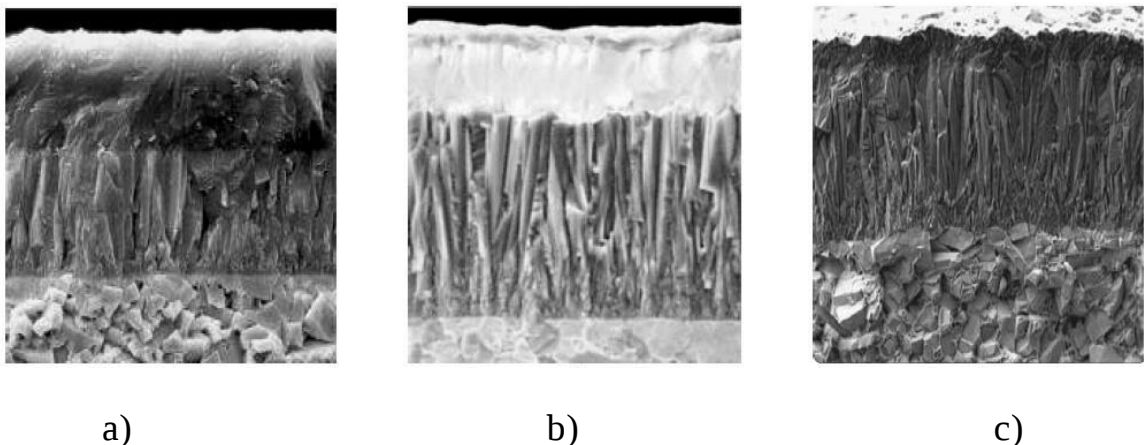


Figure 2.1. Microstructure of the surface layer of the instrument with different CVD coatings: a – cemented carbide + TiN- Al_2O_3 ; b – cemented carbide + (TiCN- Al_2O_3 -TiN; c – cemented carbide + TiCN-TiN.

2) Physical Vapour Deposition (PVD)

For all the methods of physical deposition of coatings, the applied substance is generated as a result of thermal conversion of a solid into a vapor (evaporation, vacuum arc or ion sputtering), and an additional increase in the average energy of the deposited particles is due to their ionization carried out in various ways (by applying glow, arc or high-frequency discharge or by mixing in

ions from autonomous sources).

There are several differences between PVD and CVD coating processes and their resulting coatings. Firstly, the PVD process occurs at low-to-medium temperatures (250 to 750°C), as a result of lower PVD temperatures than by the the CVD process, no eta-phase forms. Secondly, the PVD technique is a line-of-sight process, by which atoms travel from their metallic source to the substrate on a straight path. By contrast, in the CVD process an omni-directional coating process, giving a uniform thickness, but with the PVD technique the fact that a coating may be thicker on one side of a cutting insert than another, does not affect its cutting performance. Thirdly, the unwanted tensile stresses potentially present at sharp corners in the CVD coated tooling, are compressive in nature by the PVD technique. Compressive stresses retard the formation and propagation of cracks in the coating at these corner regions, allowing tooling geometry to have the pre-honing operation eliminated. Fourthly, the PVD process is a clean and pollution-free technique, unlike CVD coating methods, where waste products, as hydrochloric acid must be disposed of safely afterward.

The microstructure of PVD coatings is shown in Figure 2.2.

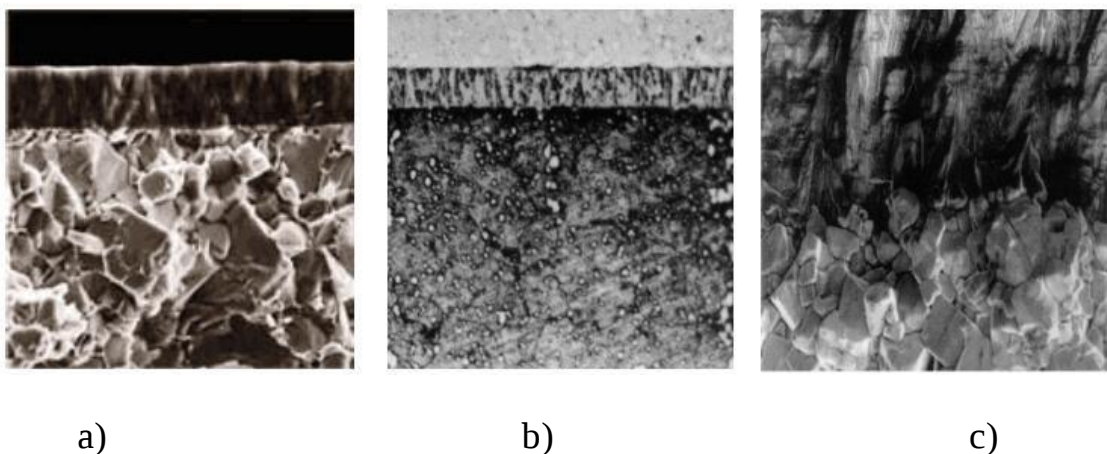


Figure 2.2. Microstructure of the surface layer of the instrument with different PVD coatings: a –cemented carbide + TiN; b –high-speed steel + (Ti,Cr)N; c –cemented carbide + diamond coating.

3. Research of the stress-strain state cutting insert

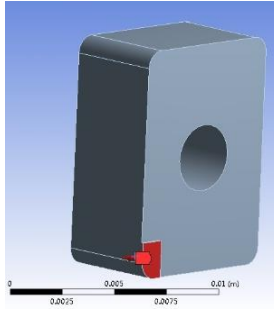
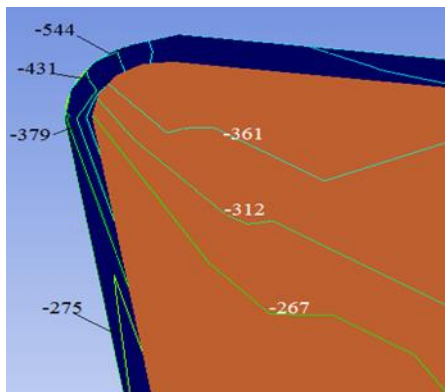


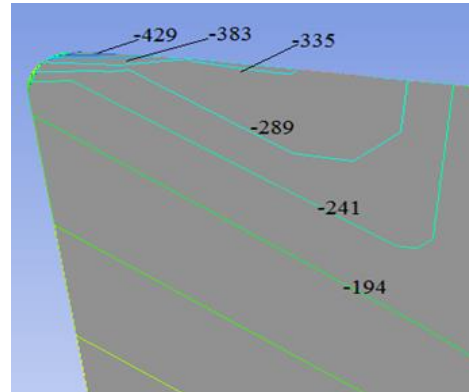
Fig 3.1. 3-D models of the cutting insert

To determine the probability of the tool material destruction and the coating, 3-D models of the cutting insert (Fig 3.1.) with and without a coating were created. External loads were set by applying contact stresses, obtained by the split cutter method, and according to the obtained distribution law. The stress-strain state of cutting wedge made of T15K6 cemented carbide was investigated by the finite element method using the ANSYS12 program

(Fig 3.2.).



a)



b)

Fig 3.2. Normal stress distribution σ_x [MPa] in the cutting wedge of the cutter when cutting steel 40X, $v = 2$ m/s; $s = 0,07$ mm/r; $t = 1$ mm; $\rho = 5$ μ m; $h_3 = 0$ mm.

a – Cutting insert from T15K6 with TiCN coating; b– Cutting insert from T15K6 without coating.

The analysis of the stress-strain state showed that the coated insert has lower internal stresses ($\sigma_{x_{\max}}$ with coating = -361 MPa) as compared with a cutting plate without coating ($\sigma_{x_{\max}}$ without coating = -429 MPa), although

normal stresses in coating more than in the insert without coating ($\sigma_{x_{max}}$ with coating = -544 MPa, $\sigma_{x_{max}}$ without coating = -429 MPa). This result can be explained by increased modulus of Young elasticity of the TiCN coating. A small number of defects in the coating when applied by the PVD method; and, therefore, its increased strength, even with small thickness can withstand large stresses.

4. Research of the wear resistance of cutting insert

WEAR ON THE REAR SURFACE (Fig 4.1)

Description and reasons:

Wear on the rear surface is one of the main criteria characterizing the service life of the cutting insert. It results from the contact of the cutting insert material and processed materials during the cutting process. Its size (intensity) can only be reduced.

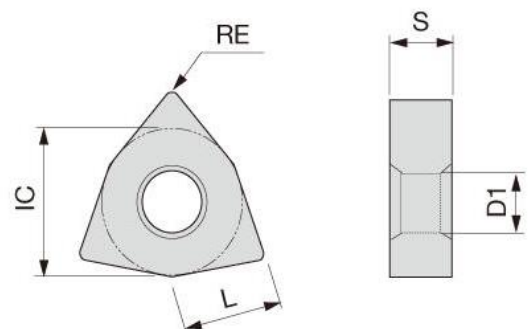


Fig 4.1. Wear on the rear surface **hf**

The effects of cutting parameters and coating material on the performances of cutting tools in turning of steel 40X are discussed experimentally.

Turning works were carried out in dry conditions using a universal

lathe 1K62 type with 6.6 kW spindle power. The workpiece material was steel 40X in the form of round bars with 60 mm of diameter and 380 mm cutting length. This material is widely used in manufacturing of automotive components regarding to their properties, such as high tensile strength, shock resistance and Brinell hardness about 230 HB. The effect of coating on the cutting performances was investigated using two types of cutting inserts. The first type was WNMG080404-SW coated insert (PVD with TiCN/TiN layer sequence), which is an ISO class P15 grade, with a total thickness of 3 μm . The main coating layer includes titanium carbonitride (TiCN) and a thin layer of titanium nitride (TiN) as shown in Fig. 4.2. The second insert was CT5015 uncoated cemented carbide. The two inserts (GC 1525 and CT5015) have an identical substrate with the same geometry designation as CNMG 120408. For each experiment, a fresh cutting edge was used. A right hand style tool holder designated by ISO as MPTNP2020K11 (Fig. 4.3) was used for mounting the inserts.



L	IC	S	RE	D1
8.70	12.700	4.76	0.40	5.16

L - the length of the cutting edge, IC - the diameter of the inscribed circle, S - the thickness of the plate, RE - the radius of the tip, D1 is the diameter of the holes.

Fig.4.2. WNMG080404-SW



Fig.4.3. Holder with cutting inserts

In Fig 4.4 the dependence of the change in the chamfer length of the rear surface wear hf [mm] on the treatment time t [min] of steel 40X when using T15K6 cemented carbide inserts with TiCN-coating and uncoated.

The obtained graphs confirm the decrease in the intensity of wear on the rear surface when using coated inserts. A greater effect is observed with an increase in the allowable length of the chamfer of the rear surface hf more than 0.15 mm. For semi-finishing, the maximum chamfer length should not exceed 0.25 mm, therefore, with the specified cutting mode and $hf = 0.25$ mm, the durability of the TiCN coated cutting plate will be 2.5 times greater ($T_{\text{uncoated}} = 15$ min, $T_{\text{with TiCN-coating}} = 42$ min).

Despite the fact that after the appearance of the flank wear, there is no coating on the rear surface, but there is still a protective action from the coating on the front surface, which slightly hangs above the wear and reduces the contact of the cutting surface with already unprotected flank wear.

This protective effect is more significant in view of the deflection of the cutting surface during the processing of materials forming the drain chips. Using a TiCN-coating cutting inserts for roughing, when the allowable wear

on the rear surface can be increased to $h_3 = 0.7$ mm, gives an increase in durability 2.9 times (Fig. 4.4.).

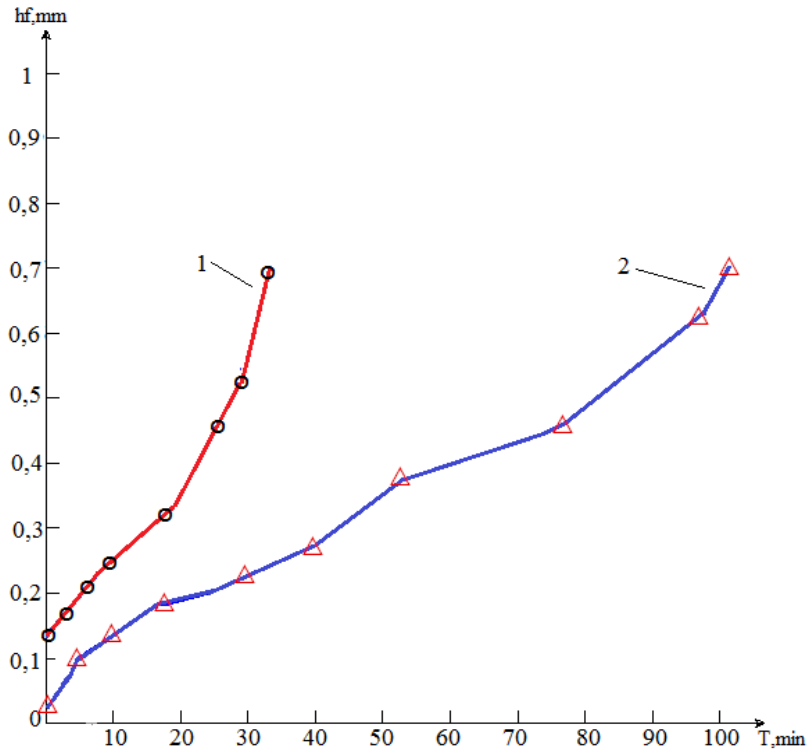


Fig. 4.4 Change of chamfer length of the back surface h_f [mm] of carbide inserts depending on the time t [min] of turning steel 40X.

$v = 300$ m / min; $s = 0.07$ mm / r; $t = 1$ mm.

1 - T15K6; 2 - T15K6 with TiCN-coating

Conclusion

1. Internal stresses in the cutting wedge of a tool with a wear-resistant TiCN-coated are reduced by 16% compared to an uncoated cutting insert.

2. The greatest internal stresses in the coating itself are 27% higher than those in the uncoated cemented carbide inserts, which is associated with a small thickness of the coating.

3. When turning steel 40X with a cutting speed of 300 m / min and feeding 0.07 mm / r, the resistance of T15K6 cutting inserts with TiCN-coating exceeds the resistance of cutting inserts T15K6 without coating 2.5-2.9 times.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
8ЛМ71	Лю Шэньян

Школа	ИШНПТ	Отделение (НОЦ)	Материаловедения
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	15.04.01 машиностроение

Тема ВКР: «Исследование вида износостойкого покрытия на износ и прочность твердосплавных пластин при точении стали»

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения.

Характеристика объекта исследования:

объекта исследования: Сменные многогранные пластины с покрытиями TiN, TiCN и без него.

Рабочая зона: Лаборатория находится в 16-ом уч. Корпусе, общежитие ТПУ.

Основные оборудования: компьютер, станок, динамометр, микроскоп.

Области применения: Токарная механическая обработка.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:

- специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;
- организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.

- 1) Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018)
- 2) ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования.
- 3) ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования.
- 4) ГОСТ 22269-76. Система «человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования.
- 5) ГОСТ 22613-77. Система «человек-машина». Выключатели и переключатели поворотные. Общие эргономические требования.
- 6) ГОСТ 22614-77. Система «человек-машина». Выключатели и переключатели клавишные и кнопочные. Общие эргономические требования.
- 7) ГОСТ 22902-78. Система «человек-машина». Отсчетные устройства индикаторов визуальных. Общие эргономические требования.
- 8) ГОСТ Р 50923-96. Дисплеи. Рабочее

	место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения. 9) СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.
2.Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Вредные и опасные факторы: а) отклонение показателей микроклимата; б) превышение уровня шума; в) Отсутствие или недостаток естественного света; г) недостаточная освещенность рабочей зоны; д) Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека;
3. Экологическая безопасность	Анализ возможного загрязнения окружающей среды. Мое исследование не влияет на литосферу, атмосферу, гидросферу.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	Приводятся возможные для Сибири ЧС; Возможные ЧС: морозы, диверсия

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Романова С.В.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЛМ71	Лю Шэньян		

Социальная ответственность

Введение

При выполнении работы большая часть времени проводилась в 16А корпусе ТПУ. В лаборатории № 101 проводилось исследование вида износостойкого покрытия на износ и прочность твердосплавных пластин при точении стали.

В результате экспериментов было установлено влияние скорости резания при чистовой обработке на зависимость износа по заданной поверхности режущих пластин от времени резания и изменение составляющих сил резания с учётом выбранного покрытия или без него. Используемое оборудование и материалы имеют следующие виды: 1) Станок универсальный токарно-винторезный модели 1К62. 2) динамометр фирмы Kistler (Германия) с интерфейсом для подключения к персональному компьютеру. 3) Микроскоп БМИ-1. 4) Прутки из стали марки 40Х. 5) Державка токарная с набором твёрдосплавных сменных многогранных пластин.

В данной работе рассмотрены физические и технологические основы современных методов нанесения покрытий, исследовано их влияние на физико-механические свойства поверхностного слоя и эксплуатационные показатели режущего инструмента.

В данном разделе работы рассмотрены вопросы, связанные с организацией рабочего места в соответствии с нормами производственной санитарии, техники производственной безопасности и охраны окружающей среды.

1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

На рисунке 1 показано спроектированное рабочее место.

Необходимыми требованиями являются обеспечение условий для безопасного ведения работ, соблюдение норм и правил техники безопасности, правил работы с электрооборудованием. Необходимо следить за концентрацией вредных веществ в воздухе, исправностью проводки, изоляции кабелей и пр., чтобы не допустить возникновения пожароопасных и взрывоопасных ситуаций.

В моей работе самая опасная зона является рабочим местом станочника, поэтому во время станочных операций только один специальный оператор работает в рабочей зоне, который должен носить защитные очки и нельзя носить перчатки, потому что перчатки легко захватываются движущимися частями станка в процессе обработки.

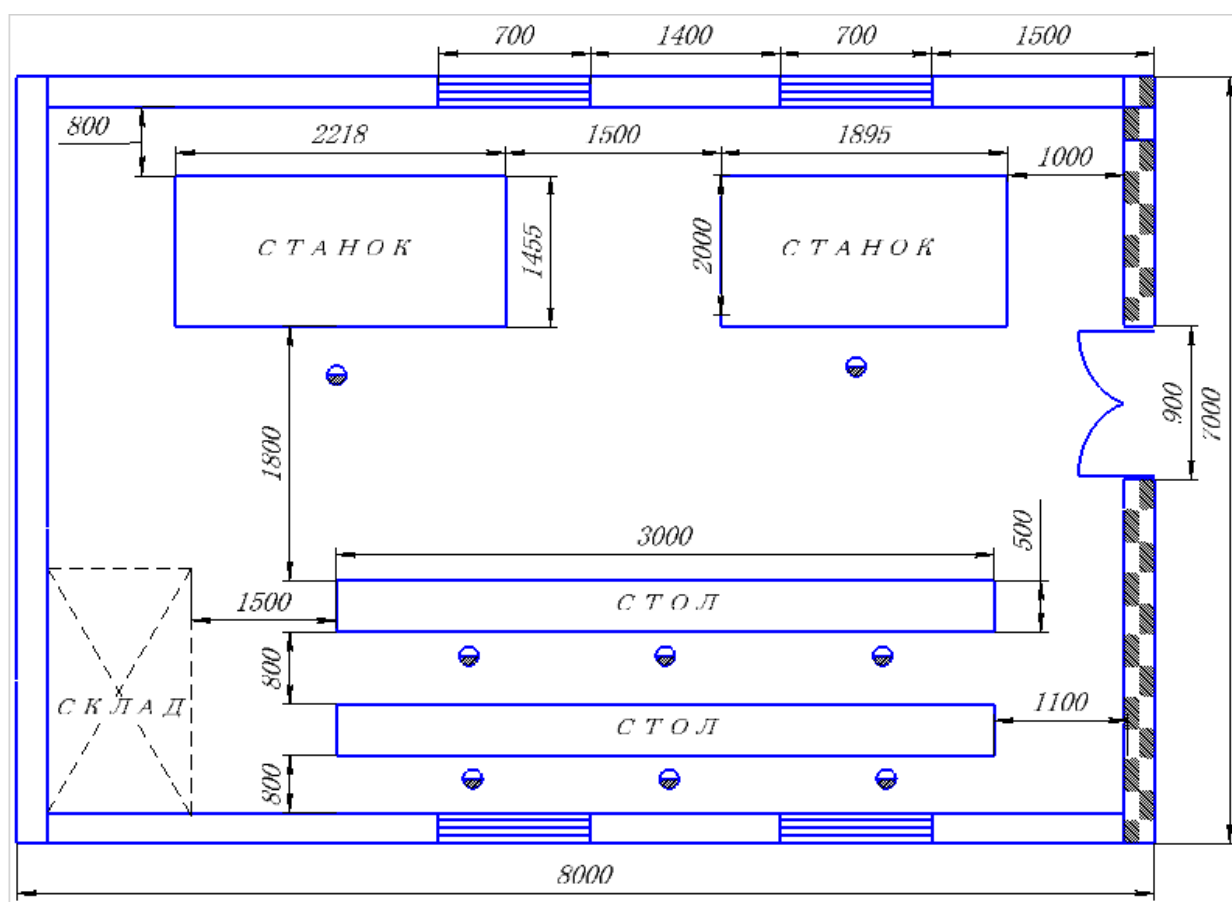


Рис.1. Рабочее место

2. Производственная безопасность

Для идентификации потенциальных факторов необходимо использовать ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация». Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды необходимо представить в виде таблицы.

Таблица 2.1 - *Возможные опасные и вредные факторы*

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1.Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности. ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
2. Превышение уровня шума		+	+	
3.Отсутствие или недостаток естественного света	+	+	+	
4.Недостаточная освещенность рабочей зоны		+	+	
5.Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	+	+	+	

2.1 Анализ выявленных вредных и опасных факторов

а) Отклонение показателей микроклимата

Микроклимат в производственных условиях определяется следующими параметрами:

- 1) температура воздуха;
- 2) относительная влажность воздуха;
- 3) скорость движения воздуха.

При высокой температуре воздуха в помещении кровеносные сосуды кожи расширяются, происходит повышенный приток крови к поверхности тела, и выделение тепла в окружающую среду значительно увеличивается. При низкой температуре окружающего воздуха реакция человеческого организма иная: кровеносные сосуды кожи сужаются, приток крови к поверхности тела замедляется, и теплоотдача конвекцией и излучением уменьшается. Таким образом, для теплового самочувствия человека важно определенное сочетание температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне.

Повышенная влажность воздуха ($\phi > 75\%$) затрудняет терморегуляцию организма, т.к. происходит снижения испарения пота, а пониженная влажность ($\phi < 20\%$) вызывает пересыхание слизистых оболочек дыхательных путей.

Оптимальные и допустимые показатели температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне производственных помещений должны соответствовать значениям, приведенным в таблице 2.2. [ГОСТ 12.1.005-88].

Для обеспечения оптимальных и допустимых показателей микроклимата в холодный период года следует применять средства защиты рабочих мест от остекленных поверхностей оконных проемов,

чтобы не было охлаждения. В теплый период года необходимо предусмотреть защиту от попадания прямых солнечных лучей.

Работы делятся на три категории тяжести на основе общих энергозатрат организма. Работа, относящаяся к инженерам – разработчикам, относится к категории легких работ. Допустимые значения микроклимата для этого случая даны в таблице 2.2.

Таблица 2.2. - Допустимые значения микроклимата

Период года	Категория работы	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	средняя	15 - 28	20 - 80	< 0,5
Теплый	средняя			

Обоснование мероприятий по снижению воздействия:

Одними из основных мероприятий по оптимизации микроклимата и состава воздуха в производственных помещениях являются обеспечение надлежащего воздухообмена и отопления, тепловая изоляция нагретых поверхностей оборудования, воздухопроводов и трубопроводов.

б) Превышение уровня шума

Предельно допустимый уровень (ПДУ) шума - это уровень фактора, который при ежедневной (кроме выходных дней) работе, но не более 40 часов в неделю в течение всего рабочего стажа, не должен вызывать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений. Соблюдение ПДУ шума не исключает нарушения здоровья у сверхчувствительных лиц.

Допустимый уровень шума ограничен ГОСТ 12.1.003-83 и СанПиН 2.2.4/2.1.8.10-32-2002. Максимальный уровень звука постоянного шума на рабочих местах не должно превышать 80 дБА. Максимальный уровень звука постоянного шума на нашем рабочем месте до 75 дБА. Основным

источником шума является станки и обработки заготовки. Для снижения уровня шума, конструкцией станка предусмотрен закрытый корпус. При значениях выше допустимого уровня необходимо предусмотреть СКЗ и СИЗ.

Средства индивидуальной защиты (СИЗ):

Наиболее эффективны индивидуальные средства защиты, как правило, в области высоких частот. В качестве индивидуальных средств защиты применяют противошумные наушники, вкладыши и шлемофоны. Для высокого уровня шума применяются специальные шлемы, противошумные костюмы.

В данной работе используются противошумные наушники для защиты высокого уровня шума.

Обоснование мероприятий по снижению воздействия:

Шум от источников аэродинамического шума можно уменьшить применением виброизолирующих прокладок, установленных между основанием машины, прибора и опорной поверхностью. В качестве прокладок используют резину, войлок, пробку, амортизаторы.

Настольные шумящие аппараты, счетные, перфорационные машины можно устанавливать на мягкие коврики из синтетических материалов, а под ножки столов - прокладки из резины, войлока толщиной 6-8 мм. Крепление прокладок возможно путем приклейки их к опорным частям. Замена - через 4-5 лет (из резины) и через 2-2,5 года (из войлока).

В некоторых случаях уменьшение уровня шума на рабочих местах достигается применением акустических экранов, обеспечив снижение интенсивности прямого звука источника.

Действие экрана основано на отражении или поглощении падающих на него звуковых волн и образование за экраном области звуковой тени. Экраны изготавливают из сложных твердых листов или

щитов, облицованных звукопоглощающим материалом толщиной не менее 50 мм.

в) Отсутствие или недостаток естественного света

Помещения должны иметь как естественное, так и искусственное освещение. Вследствие того, что работа оператора по обслуживанию пульта управления радиостанцией соответствует разряду зрительной работы III б, следует соблюдать следующие требования, предъявляемые рабочему месту.

Естественное освещение осуществляется через светопроемы, обеспечивающие необходимый коэффициент естественной освещенности (КЕО) не ниже 1,2 %.

Искусственное освещение в помещениях пульта управления должно осуществляться системой равномерного освещения.

В качестве источников света при искусственном освещении применяются преимущественно люминесцентные лампы типа ЛБ.

Освещенность на рабочем месте оператора должна составлять не менее 200 лк при системе общего освещения и не менее 750 лк при системе комбинированного освещения.

Для освещения помещений чаще всего применяются светильники серии ЛП 036 с зеркализированными решетками, укомплектованные высокочастотными пускорегулирующими аппаратами (ВЧ ПРА). Применение светильников без рассеивателей и экранирующих решеток не допускается.

Яркость светильников общего освещения в зоне углов излучения от 50 до 90 градусов с вертикалью в продольной и поперечной плоскостях должна составлять не более 200 кд/м², а защитный угол светильников должен быть не менее 40 градусов. Коэффициент запаса (Кз) для осветительных установок общего освещения должен приниматься равным 1,5. Коэффициент пульсации не должен превышать 15%, что

должно обеспечиваться применением газоразрядных ламп в светильниках общего освещения с высокочастотными пускорегулирующими аппаратами (ВЧ ПРА) для любых типов светильников. При отсутствии светильников с ВЧ ПРА лампы многоламповых светильников или рядом расположенные светильники общего освещения следует включать на разные фазы трехфазной сети.

Обоснование мероприятий по снижению воздействия:

Контроль естественного и искусственного освещения в производственных помещениях следует проводить один раз в год.

В нашей рабочей области освещение является достаточным.

г) Недостаточная освещенность рабочей зоны

Работа инженера-разработчика имеет третий разряд точности, т.е. при выполнении работ происходит большая нагрузка на органы зрения человека. Освещенность рабочего места должна быть согласно СНиП 23-05-95 300 лк (разряд зрительной работы IVa, минимальный размер предметов различения 0,5 – 1 мм). Обеспечить это требование естественным освещением практически невозможно, поэтому должно применяться комбинированное освещение.

Обоснование мероприятий по снижению воздействия:

Контроль естественного и искусственного освещения в производственных помещениях следует проводить один раз в год.

д) Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека

Оборудование, находящееся в пределах рабочей площадки (насосы, ротор, подъемник), работает от электрического тока. Как следствие, существует вероятность поражения электрическим током рабочего. Проходя через человека электрический ток воздействует на организм следующим образом:

1) Биологическое воздействие. Выражается в раздражении и возбуждении живых клеток организма, что приводит к непроизвольным судорожным сокращениям мышц, нарушению нервной системы, органов дыхания и кровообращения. При этом могут наблюдаться обмороки, потеря сознания, расстройство речи, судороги, нарушение дыхания (вплоть до остановки). Тяжелая электротравма нарушает функции мозга, дыхания, сердца до полной их остановки, что приводит к гибели пострадавшего. Наиболее частой причиной смерти от электротравмы является фибрилляция желудочков сердца, при которой нарушается сократительная способность мышц сердца.

2) Электролитическое воздействие. Проявляется в разложении плазмы крови и др. органических жидкостей, что может привести к нарушению их физико-химического состава.

3) Термическое воздействие. Сопровождается ожогами участков тела и перегревом отдельных внутренних органов, вызывая в них различные функциональные расстройства. Ожоги вызываются тепловым действием электрического тока или электрической дуги.

Обоснование мероприятий по снижению воздействия:

При эксплуатации электрического оборудования необходимо помнить о возможности случайного прикосновения или приближения к токоведущим частям и прикосновения к металлическим нетоковедущим частям, случайно оказавшимся под напряжением, о переходе в трансформаторе высокого напряжения на низкое, о переходе тока низкой частоты в цепь высокой, об образовании электроискр, дуг или о нагреве токоведущих частей.

3. Экологическая безопасность.

Охрана окружающей среды - это комплексная проблема и наиболее активная форма её решения - это сокращение вредных выбросов промышленных предприятий через полный переход к безотходным или малоотходным технологиям производства.

3.1. Защита атмосферы

В моем эксперименте не влияет на состояние атмосферы, потому что в процессе не возникает новые вредные газы.

3.2. Защита гидросферы

В моем эксперименте не влияет состояние гидросферы, потому что в процессе не использовать жидкость.

3.3. Защита литосферы

В моем эксперименте не влияет состояние литосферы.

При эксперименте точения стали образуются многожелезных стружек, мы собраем эти железные стружки и перенесем их на склад после эксперимента, а затем перевезут стружки в специализированный завод на переработку для повторного использования.

4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Производство находится в городе Томске с континентально-циклоническим климатом. Природные явления (землетрясения, наводнения, засухи, ураганы и т. д.), в данном городе отсутствуют.

Возможными ЧС на объекте в данном случае, могут быть сильные морозы и диверсия.

Для Сибири в зимнее время года характерны морозы. Достижение критически низких температур приведет к авариям систем

теплоснабжения и жизнеобеспечения, приостановке работы, обморожениям и даже жертвам среди населения. В случае переморозки труб должны быть предусмотрены запасные обогреватели. Их количества и мощности должно хватать для того, чтобы работа на производстве не прекратилась. Масляные обогреватели нагреваются до температуры 110-150 градусов, поэтому довольно быстро способны отопить помещение. Некоторые модели масляных радиаторов наделены вентилятором, с помощью которого теплый воздух быстрее распространяется по всему помещению. Масляный обогреватель с термостатом, можно вообще не выключать. Обогреватель будет самостоятельно отключаться, когда температура поднимется до заданной. То есть на время отсутствия сотрудников можно выставить на термостате температуру 10-15 градусов, и не бояться, что они замерзнут, придя на работу. Главное учитывать, чтобы суммарная мощность обогревателей была меньше электрической мощности источника их питания. А также желательно наличие дополнительного автоматического выключателя в распределительном щите для защиты от перегрузок.

Абсолютную безопасность обеспечить невозможно, т.к. всегда будет оставаться риск возникновения чрезвычайных ситуаций, зависящие не только от поведения людей, но и от природы.

Здание должно соответствовать требованиям пожарной безопасности, а именно, наличие охранно-пожарной сигнализации, плана эвакуации, порошковых огнетушителей с поверенным клеймом, табличек с указанием направления к запасному (эвакуационному) выходу (рисунок 2).



Рис.2. план эвакуации при пожаре и других ЧС

5. Заключение

В рамках данного раздела были рассмотрены вопросы обеспечения безопасности. Таким образом, подводя итог вышесказанному, можно сделать вывод о том, что Безопасность жизнедеятельности - это состояние деятельности, при которой с определенной вероятностью исключаются потенциальные опасности, влияющие на здоровье человека. Безопасность следует принимать как комплексную систему, мер по защите человека и среды его обитания от опасностей формируемых конкретной деятельностью. Чем сложнее вид деятельности, тем более компактна система защиты.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
8ЛМ71	Лю Шэньян

Школа	ИШНПТ	Отделение школы (НОЦ)	Материаловедения
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	15.04.01 машиностроение

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Принять по действующим ценам
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Нормы рабочего времени выполнения проекта
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Социальный налог-30% НДС-20%

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Оценка конкурентоспособности проекта
2. Планирование процесса управления НИИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Планирование и расчет бюджета проекта
3. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. График проведения и бюджет НИИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Отделение социально-гуманитарных наук, доцент	Конотопский Владимир Юрьевич	к.э.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЛМ71	Лю Шэньян		

Введение

В настоящее время перспективность научного исследования определяется не столько масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов. Через такую оценку ученый может найти партнера для дальнейшего проведения научного исследования, коммерциализации результатов такого исследования и открытия бизнеса.

Машиностроение является одной из движущих отраслей индустрии. Эффективный рост промышленности, а также в свою очередь темпы внедрения инновационных технологий в превосходящей степени зависят от уровня развития отрасли машиностроения. Технический прогресс в отрасли машиностроения характеризуется не только улучшением конструкций машин, но и циклическим улучшением технологии их производства. Очень важно качественно, дешево и в заданные плановые сроки с минимальными затратами живого и овеществленного труда изготовить машину, применив высокопроизводительное оборудование, технологическую оснастку, средства механизации и автоматизации производственного процесса. От выбранной технологии производства во многом зависит качество работы выпускаемых машин, а также более низкие экономические затраты на их эксплуатацию.

Оправданное применение прогрессивного оборудования и инструмента способно привести к значительному снижению себестоимости продукции и трудоёмкости её производства. К таким же результатам может привести и использование совершенных методов

обработки деталей.

Также машиностроение относится к энергоемким производствам и является крупнейшим потребителем электроэнергии, газа, мазута и других энергоносителей. Трудовые ресурсы машиностроительных предприятий должны отличаться высоким уровнем профессиональной подготовки от рабочего до управляющего, что обусловлено применением сложной техники, созданием сложнейшей конкурентоспособной продукции и технологических процессов ее изготовления, а также в связи с постоянной необходимостью координации и регулирования хода производства, обусловленных его прерывностью. Указанные особенности машиностроительного производства требуют от каждого работника (мастера, инженера, руководителя) знаний экономических законов, реализуемых на машиностроительном предприятии, умений использования их для достижения главных целей предприятия.

Коммерческая привлекательность научного исследования определяется не только превышением технических параметров над предыдущими разработками, но и насколько быстро разработчик сумеет найти ответы на такие вопросы – будет ли продукт востребован рынком, какова будет его цена, чтобы удовлетворить потребителя, каков бюджет научного проекта, сколько времени потребуется для выхода на рынок и т.д.

1. Организация и планирование работ

Цель раздела – комплексное описание и анализ финансово-экономических аспектов выполненной работы.

При организации процесса реализации конкретного проекта необходимо рационально планировать занятость каждого из его участников и сроки проведения отдельных работ. В данном пункте составлен полный перечень проводимых работ по исследованию обрабатываемости фрезерованием композита на основе никеля, полученного на 3d принтере, определены исполнители и рациональная продолжительность.

Перечень работ и продолжительность их выполнения приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1. *Перечень работ и продолжительность их выполнения*

Этапы работы	Исполнители	Загрузка исполнителей
Постановка целей и задач, получение исходных данных	НР	НР – 100%
Составление и утверждение ТЗ	НР, И	НР – 100% И – 10%
Поиск и анализ литературы по тематике	НР, И	НР – 30% И – 100%
Обсуждение литературы	НР, И	НР – 30% И – 100%
Планирование экспериментов	НР, И	НР – 100% И – 40%
Подготовка к экспериментам	НР, И, О	НР – 20% И – 100%

		О – 40%
Проведение предварительных экспериментов	НР, И, оператор токарного станка	НР – 10% О – 100% И – 100%
Анализ полученных данных	НР, И	НР – 80% И – 100%
Проведение основных экспериментов	НР, И, оператор токарного станка	НР – 40% О – 100% И – 100%
Анализ полученных данных	НР, И	НР – 80% И – 100%
Вывод по проведенной работе	НР, И	НР – 60% И – 100%
Оформление расчетно-пояснительной записки	И	И – 100%
Оформление графического материала	И	И – 100%
Подведение итогов	НР, И	НР – 60% И – 100%

Продолжительность этапов работ

Определения вероятных (ожидаемых) значений продолжительности работ:

$$t_{\text{ож}} = \frac{3 \cdot t_{\text{min}} + 2 \cdot t_{\text{max}}}{5},$$

где t_{min} – минимальная продолжительность работы, дн.;

t_{max} – максимальная продолжительность работы, дн.;

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{min} + 2 \cdot t_{max}}{5}$$

Для построения линейного графика необходимо рассчитать длительность этапов в рабочих днях, а затем перевести ее в календарные дни. Расчет продолжительности выполнения каждого этапа в рабочих днях ($T_{РД}$) ведется по формуле:

$$T_{РД} = \frac{t_{ож}}{K_{ВН}} \cdot K_{Д},$$

где $t_{ож}$ – продолжительность работы, дн.;

$K_{ВН}$ – коэффициент выполнения работ, учитывающий влияние внешних факторов на соблюдение предварительно определенных длительностей, в частности, возможно $K_{ВН} = 1$;

$K_{Д}$ – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсацию непредвиденных задержек и согласование работ ($K_{Д} = 1–1,2$; в этих границах конкретное значение принимает сам исполнитель).

Расчет продолжительности этапа в календарных днях ведется по формуле:

$$T_{КД} = T_{РД} \cdot T_{К},$$

где $T_{КД}$ – продолжительность выполнения этапа в календарных днях;

$T_{К}$ – коэффициент календарности, позволяющий перейти от длительности работ в рабочих днях к их аналогам в календарных днях, и рассчитываемый по формуле:

$$T_{К} = \frac{T_{КАЛ}}{T_{КАЛ} - T_{ВД} - T_{ПД}},$$

где $T_{КАЛ}$ – календарные дни ($T_{КАЛ} = 365$);

$T_{ВД}$ – выходные дни ($ТВД = 52$);

$T_{ПД}$ – праздничные дни ($ТПД = 10$).

$$T_K = \frac{365}{365 - 52 - 10} = 1,205$$

В таблице 1.2 приведено определение продолжительности этапов работ и их трудоемкости по исполнителям, занятым на каждом этапе.

Таблица 1.2. *Трудозатраты на выполнение проекта*

Этап	Исполнители	Продолжительность работ, дни			Труд-сть работ по исполнителям чел.-дн.					
		$t_{\min}$	$t_{\max}$	$t_{\text{ож}}$	$T_{РД}$			$T_{КД}$		
					НР	И	О	НР	И	О
Постановка целей и задач, получение сходных данных	НР	2	7	4	4	-	-	4,82	-	-
Составление и утверждение ТЗ	НР, И	2	7	4	4	0,4	-	4,82	0,48	-
Поиск и анализ литературы по тематике	НР, И	14	30	20,4	6,12	20,4	-	7,37	24,58	-
Обсуждение литературы	НР, И	2	7	4	1,2	4	-	1,45	4,82	-
Планирование экспериментов	НР, И	7	14	9,8	9,8	3,92	-	11,81	4,72	-
Подготовка к экспериментам	НР, И, О	3	7	4,6	0,92	4,6	1,84	1,11	5,54	2,22
Проведение предварительных экспериментов	НР, И, О	2	7	4	0,4	4	4	0,48	4,82	4,82
Анализ полученных данных	НР, И	3	7	4,6	3,68	4,6	-	4,43	5,54	-
Проведение основных экспериментов	НР, И, О	5	14	8,6	3,44	8,6	8,6	4,15	10,36	10,36

Анализ полученных данных	НР, И	2	7	4	3,2	4	-	3,86	4,82	-
Вывод по проведенной работе	НР, И	7	14	9,8	5,88	9,8	-	7,08	11,81	-
Оформление расчетно-пояснительной записки	И	7	14	9,8	-	9,8	-	-	11,81	-
Оформление графического материала	И	7	14	9,8	-	9,8	-	-	11,81	-
Подведение итогов	НР, И	7	14	9,8	5,88	9,8	-	7,08	11,81	-
Итого:					48,52	93,72	14,44	58,46	112,9	17,4

Величины трудоемкости этапов по исполнителям ТКД (данные столбцов 9, 10 и 11 кроме итогов) позволяют построить линейный график осуществления проекта – в табл. 1.3.

Таблица 1.3. *Линейный график работ.*

Этап	НР	И	О	Февраль			Март			Апрель			Май			Июнь
				10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
1	4,82	-	-	■												
2	4,82	0,48	-	■	■											
3	7,37	24,58	-		■	■	■	■	■							
4	1,45	4,82	-				■	■								
5	11,8 1	4,72	-				■	■	■							
6	1,11	5,54	2,22					■	■	■						
7	0,48	4,82	4,82						■	■						
8	4,43	5,54	-							■	■					
9	4,15	10,36	10,36							■	■	■				
10	3,86	4,82	-								■	■				
11	7,08	11,81	-									■	■	■		
12	-	11,81	-										■	■	■	
13	-	11,81	-											■	■	■
14	7,08	11,81	-													■

НР - ■

И - ■

О - ■

2. Расчет сметы затрат на выполнение проекта

В состав затрат на создание проекта включается величина всех расходов, необходимых для реализации комплекса работ, составляющих содержание данной разработки. Расчет сметной стоимости ее выполнения производится по следующим статьям затрат:

- материалы и покупные изделия;
- заработная плата;
- социальный налог;
- расходы на электроэнергию (без освещения);
- амортизационные отчисления;
- командировочные расходы;
- оплата услуг связи;
- арендная плата за пользование имуществом;
- прочие услуги (сторонних организаций);
- прочие (накладные расходы) расходы.

2.1 Расчет затрат на материалы

К данной статье расходов относится стоимость материалов, покупных изделий, полуфабрикатов и других материальных ценностей, расходуемых непосредственно в процессе выполнения работ над объектом проектирования. Сюда же относятся специально приобретенное оборудование, инструменты и прочие объекты, относимые к основным средствам, стоимостью до 40 000 руб. включительно. Цена материальных ресурсов определяется по соответствующим ценникам или договорам поставки. Кроме того статья включает так называемые транспортно-заготовительные расходы, связанные с транспортировкой от поставщика к потребителю, хранением и прочими процессами, обеспечивающими движение (доставку) материальных ресурсов от поставщиков к потребителю. Сюда же включаются расходы на совершение

сделки купли-продажи (т.н. транзакции). Приблизительно они оцениваются в процентах к отпускной цене закупаемых материалов, как правило, это 5 - 20 %.

Таблица 2.1 *Расчет затрат на материалы*

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Кол-во	Сумма, руб.
СМП WNMG080404-TM	120	10	1200
СМП WNMG080404-MA	150	10	1500
СМП WNMG080404-SW	200	3	600
Прутки Сталь40Х 10кг 60мм*0,5м	490	3	1470
Бумага для принтера формата А4	200	1 уп.	200
Итого:			4970

Допустим, что ТЗР составляют 5% от отпускной цены материалов, тогда расходы на материалы с учетом ТЗР равны

$$C_{\text{мат}} = 4970 \cdot 1,05 = 5218,5 \text{ руб.}$$

2.2 Расчет заработной платы

Данная статья расходов включает заработную плату научного руководителя и инженера (в его роли выступает исполнитель проекта), а также премии, входящие в фонд заработной платы. Расчет основной заработной платы выполняется на основе трудоемкости выполнения каждого этапа и величины месячного оклада исполнителя.

Среднедневная тарифная заработная плата ($ЗП_{\text{дн-т}}$) рассчитывается по формуле:

$$ЗП_{\text{дн-т}} = \frac{МО}{25,083}.$$

Таблица 2.2. *Затраты на заработную плату*

Исполнитель	Оклад, руб./мес.	Среднедневная ставка, руб./раб.день	Затраты времени, раб.дни	Коэффициент	Фонд з/платы, руб.
НР	33 664	1342,09	48,52	1,699	110635,83
И	15 470	616,75	93,72	1,62	93638,93
Оператор токарного станка	30000	1196,03	14,44	1,62	27978,49
Итого:					232253,25

2.3 Расчет затрат на социальный налог

Затраты на единый социальный налог (ЕСН), включающий в себя отчисления в пенсионный фонд, на социальное и медицинское страхование, составляют 30 % от полной заработной платы по проекту, т.е.

$$C_{\text{соц}} = C_{\text{зп}} \cdot 0,3.$$

$$C_{\text{соц}} = 232253,25 \cdot 0,3 = 69675,98 \text{ руб.}$$

2.4 Расчет затрат на электроэнергию

Данный вид расходов включает в себя затраты на электроэнергию, потраченную в ходе выполнения проекта на работу используемого оборудования, рассчитываемые по формуле:

$$C_{\text{эл. об.}} = P_{\text{об}} \cdot t_{\text{об}} \cdot Ц_{\text{э}},$$

где $P_{\text{об}}$ – мощность, потребляемая оборудованием, кВт;

$Ц_{\text{э}}$ – тариф на 1 кВт·час;

$t_{\text{об}}$ – время работы оборудования, час.

Для ТПУ $\text{ЦЭ} = 5,748 \text{ руб./кВт}\cdot\text{час}$ (с НДС).

Время работы оборудования вычисляется на основе итоговых данных таблицы 2.2. для инженера/оператора станка ($T_{\text{рд}}$) из расчета, что продолжительность рабочего дня равна 8 часов.

$$t_{\text{об}} = T_{\text{рд}} \cdot K_t,$$

где $K_t \leq 1$ – коэффициент использования оборудования по времени, равный отношению времени его работы в процессе выполнения проекта к $T_{\text{рд}}$, определяется исполнителем самостоятельно. В ряде случаев возможно определение $t_{\text{об}}$ путем прямого учета, особенно при ограниченном использовании соответствующего оборудования. Для токарного станка во время проведения экспериментов примем $K_t = 0,8$; для микроскопа $K_t = 0,3$.

Мощность, потребляемая оборудованием, определяется по формуле:

$$P_{\text{об}} = P_{\text{ном.}} \cdot K_c,$$

где $P_{\text{ном.}}$ – номинальная мощность оборудования, кВт;

$K_c \leq 1$ – коэффициент загрузки, зависящий от средней степени использования номинальной мощности. Для технологического оборудования малой мощности $K_c = 1$.

Таблица 2.3. *Затраты на электроэнергию технологическую*

Наименование оборудования	Время работы оборудования $t_{об}$, час	Потребляемая мощность $P_{об}$, кВт	Затраты на электроэнергию $C_{эл. об.}$, руб.
Персональный компьютер	750*0,6	1	2586,6
Токарный станок 1К62	68,8*0,8	10	3163,69
Микроскоп УИМ 21	68,8*0,3	0,05	5,93
Итого:			5756,22

2.5 Расчет амортизационных расходов

В статье «Амортизационные отчисления» рассчитывается амортизация используемого оборудования за время выполнения проекта используется формула:

$$C_{ам} = \frac{H_A \cdot C_{об} \cdot t_{рф} \cdot n}{F_D},$$

где H_A – годовая норма амортизации единицы оборудования;

$C_{об}$ – балансовая стоимость единицы оборудования с учетом ТЗР. При невозможности получить соответствующие данные из бухгалтерии она может быть заменена действующей ценой, содержащейся в ценниках, прейскурантах и т.п.;

F_D – действительный годовой фонд времени работы

соответствующего оборудования, берется из специальных справочников или фактического режима его использования в текущем календарном году. При этом второй вариант позволяет получить более объективную оценку $C_{ам}$. Например, для ПК в 2019 г. (299 рабочих дней при шестидневной рабочей неделе) можно принять $F_{д} = 299 * 8 = 2392$ часа;

$t_{рф}$ – фактическое время работы оборудования в ходе выполнения проекта, учитывается исполнителем проекта;

n – число задействованных однотипных единиц оборудования.

Таблица 2.4. Затраты на амортизационные расходы

Наименование оборудования	Стоимость $C_{об}$, руб.	Время работы оборудования $t_{рф}$, час	H_A	$F_{д}$	Амортизационные расходы $C_{ам}$ =, руб.
ПК	50000	450	0,4	2392	3762,5
Токарный станок 1К62	850000	55,04	0,1	2392	1955,8
Микроскоп УИМ 21	755 000	20,64	0,2	400	7791,6
Итого:					13509,9

2.6 Расчет расходов, учитываемых непосредственно на основе

платежных (расчетных) документов (кроме суточных)

Сюда относятся:

- командировочные расходы, в т.ч. расходы по оплате суточных, транспортные расходы, компенсация стоимости жилья;
- арендная плата за пользование имуществом;

- оплата услуг связи;
- услуги сторонних организаций.

Норма оплаты суточных – 100 руб./день.

Данные расходы в работе не предусмотрены.

2.7 Расчет прочих расходов

В статье «Прочие расходы» отражены расходы на выполнение проекта, которые не учтены в предыдущих статьях, их следует принять равными 10% от суммы всех предыдущих расходов, т.е.

$$C_{\text{проч}} = (C_{\text{мат}} + C_{\text{зп}} + C_{\text{соц}} + C_{\text{эл.об}} + C_{\text{ам}} + C_{\text{нр}}) \cdot 0,1$$

Для данной работы это:

$$\begin{aligned} C_{\text{проч}} &= (5218,5 + 232253,25 + 69675,98 + 5756,22 + 13509,9 + 0) \cdot 0,1 \\ &= 32611,39 \text{ руб.} \end{aligned}$$

2.8 Расчет общей себестоимости разработки

Проведя расчет по всем статьям сметы затрат на разработку, можно определить общую себестоимость проекта.

Таблица 2.5. Смета затрат на разработку проекта

Статья затрат	Условное обозначение	Сумма, руб.
Материалы и покупные изделия	$C_{\text{мат}}$	5218,5
Основная заработная плата	$C_{\text{зп}}$	232253,25

Отчисления в социальные фонды	$C_{\text{соц}}$	69675,95
Расходы на электроэнергию	$C_{\text{эл.об}}$	5756,22
Амортизационные отчисления	$C_{\text{ам}}$	13509,9
Непосредственно учитываемые расходы	$C_{\text{нр}}$	0
Прочие расходы	$C_{\text{проч}}$	32611,39
Итого:		358725,24

Таким образом, затраты на исследование составили
 $C = 358725,24$ руб.

2.9 Расчет прибыли

Прибыль от реализации проекта в зависимости от конкретной ситуации (масштаб и характер получаемого результата, степень его определенности и коммерциализации, специфика целевого сегмента рынка и т.д.) может определяться различными способами. Если исполнитель работы не располагает данными для применения «сложных» методов, то прибыль следует принять в размере 5 - 20% от полной себестоимости проекта. В данной работе она составляет 35872,52 руб. (10%) от расходов на разработку проекта.

2.10 Расчет НДС

НДС составляет 20% от суммы затрат на разработку и прибыли. В нашем случае это:

$$\text{НДС} = (358725,24 + 35872,52) \cdot 0,2 = 78919,55 \text{ руб.}$$

2.11 Цена разработки НИР

Цена равна сумме полной себестоимости, прибыли и НДС:

$$C_{\text{НИР}} = 358725,24 + 35872,52 + 78919,55 = 473517,31 \text{ руб.}$$

3. Оценка экономической эффективности проекта

Результат данной работы носит исключительно исследовательский характер, поскольку данный результат не доведен до степени готовности к конкретному технологическому применению и требует уточнению и дополнительных затрат на последующих стадиях проектирования. В связи с этим оценка его экономической эффективности на данном этапе некорректна.

Список литературы

1. Григорьев С.Н. Методы повышения стойкости режущего инструмента: учебник для студентов вузов.- М.: Машиностроение, 2009.-368 с.: ил. ISBN 978-5-94275-429-7.
2. Кожевников Д.В., Кирсанов С.В. Резание материалов: учебник для студентов высших учебных заведений. /под общ. Редакцией С.В. Кирсанова. –М.: Машиностроение, 2012. 284 с.; ил.
3. Зубарев Ю.М. Современные инструментальные материалы: Учебник.- 2-е изд., испр. и доп.- СПб.: Издательство «Лань» , 2014. 304 с.; ил.
4. Верещака Д.С. Работоспособность режущего инструмента с износостойкими покрытиями. –М.: Машиностроение, 1993. 336 с.
5. Кожевников Д.В., Гречишников В.А., Кирсанов С.В., Григорьев С.Н., Схиртладзе А.Г. Режущий инструмент: учебник для вузов / Под общ. ред. С.В. Кирсанова. М.: Машиностроение, 2014, 520 с.
6. Справочник конструктора-инструментальщика. / под ред. В.А. Гречишникова, С.В. Кирсанова. М.: Машиностроение, 2006, 542 с.
7. Kozlov V.N., Li X. Influence of chip formation characteristics on flank contact load distribution in titanium alloy cutting / V. N. Kozlov, X. Li. // Applied Mechanics and Materials: Scientific Journal. – 2015. – Vol.756: Mechanical Engineering, Automation and Control Systems (MEACS2014). – pp. 126-131. Зорев Н.Н. Вопросы механики процесса резания металлов. М.:Мфшгиз,1956.367с.
8. Армарего И.Дж., Браун Р.Х. Обработка металлов резанием. М.: Машиностроение, 1977. 326 с.
9. Бобров В.Ф. Влияние угла наклона главной режущей кромки инструмента на процесс резания металлов. М.: Машгиз, 1962. 152 с.

10. Полетика М.Ф. Контактные нагрузки на режущих поверхностях инструмента. -М.: Машиностроение, 1969, -150 с.
11. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов. М.: Машиностроение, 1975. 344с.
12. Васильев А.С., Дальский А.М., Золотаревский Ю.Н., Кондаков А.И. Направленное формирование свойств изделий машиностроения / Подред. А.И. Кондакова. М.: Машиностроение, 2005. 352 с.
13. Васин С.А., Верещака А.С., Кушнер В.С. Резание материалов: Термомеханический подход к системе взаимосвязей при резании. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. 448 с.
14. Титов В. Б., Ривен Н.Н., Зубарев Ю.М. Моделирование напряженно-деформированного состояния и оценка хрупкой прочностей режущего инструмента / В. Б. Титов, Н.Н. Ривен, Ю.М. Зубарев // Инструм. И технол. – 2004. –No 17-18.- С.227-233. Резников А.Н., Резников Л.А. Тепловые процессы в технологических системах. М.: Машиностроение, 1990. 2008 с.
15. Yin-Yu Chang, Chi-Pang Chang, Ho-Yi Kao - High temperature oxidation resistance of multilayered $\text{Al}_x\text{Ti}_{1-x}\text{NCrN}$ coatings-annotated, – 2011.
16. Yin-Yu Chang, Da-Yung Wang. Characterization of nanocrystalline AlTiN coatings synthesized by a cathodic-arc deposition process-annotated, – 2007.
17. J.L. MO, M.H. ZHU, B. Lei, Y.X. Leng, N.Huang. Comparison of tribological behaviours of AlCrN and TiAlN coatings, – 2007.
18. J.L. Endrido, G.S. Fox-Rabinovich, C. Gey. Hard AlTiN , AlCrN PVD coating for machining of austenitic stainless steel, – 2005.
19. Хуан Ч., Цуй Ц., Чжан Ц., Козлов В.Н. Методика измерения контактных напряжений на поверхностях режущего инструмента / наука и

образование: Материалы XX международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (18-22 апреля 2016 г.) – Томск: Издательство Томского государственного педагогического университета, 2016, с.69-75.

20. Hu J and Chou Y 2007 Characterizations of cutting tool flank wear-land contact (wear, 263, Iss 7-12) pp 1454-1458
21. Radhika Ramadoss, N. Kumar, R. Pandian, S. Dash, T.R. Ravindran, D. Arivuoli, A.K. Tyagi. Tribological properties and deformation mechanism of TiAlN coating sliding with various counterbodies. – 2013.
22. Xin Wang, Parick Y, David Schrock, Dave (Dae-Wook) Kim. Friction coefficient and sliding wear of AlTiN coating under various lubrication conditions.-2013
23. Shi B., Attia H. Modeling the thermal and tribological processes at the tool-chip interface in machining / B. Shi, H. Attia // Mach. Sci. and Technol. -2009. – V. 13; No 2. – pp. 210-226.
24. В.Ю. Конотопский, Н.И. Гвоздев: Методические указания к выполнению раздела «Финансовый менеджмент, Ресурсоэффективность и ресурсосбережение» Бакалаврских работ для всех специальностей.
25. Кнышова Е. Н. Экономика организации: учебник / Е. Н. Кнышова, Е. Е. Панфилова. – Москва: Форум Инфра-М, 2012. – 334 с.: ил. – Профессиональное образование.
26. Бочаров В. В. Инвестиции : учебник для вузов / В. В. Бочаров. – 2-е изд. – СПб: Питер, 2009. – 381 с. – Учебник для вузов.
27. Староверова Г. С. Экономическая оценка инвестиций : учебное пособие / Г. С. Староверова, А. Ю. Медведев, И. В. Сорокина. – 2-е изд., стер. – Москва: КноРус, 2009. – 312 с

28. Шульмин В. А. Экономическое обоснование в дипломных проектах: учебное пособие для вузов / В. А. Шульмин, Т. С. Усынина. – Старый Оскол: ТНТ, 2012. – 192 с.
29. Голосовский С. И. Эффективность научных исследований в промышленности / С. И. Голосовский. – Москва: Экономика, 1986. – 159 с.
30. Мигуренко Р. А. Научно-исследовательская работа: учебно-методическое пособие / Р. А. Мигуренко; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ), Институт дистанционного образования (ИДО). – 2-е изд., стер. – Томск: Изд-во ТПУ, 2010. – 184 с.