

В.П. Табаков, Д.И. Сагитов

**ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ
ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ И ИЗНАШИВАНИЯ
РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА
С ИЗНОСОСТОЙКИМИ ПОКРЫТИЯМИ**

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ОБРАЗОВАНИЯ РФ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«УЛЬЯНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

В.П. Табаков, Д.И. Сагитов

**ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ
ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ И ИЗНАШИВАНИЯ
РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА
С ПОКРЫТИЯМИ**

Сборник лабораторных и практических работ

Ульяновск 2013

УДК 621.9.025 (076)

ББК 34.663 я7

Т

Рецензенты: доктор техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Автомобили и станочные комплексы» СамГТУ Денисенко А.Ф.,
кафедра «Математическое моделирование технических систем» УлГУ.

*Утверждено редакционно-издательским советом университета
в качестве учебного пособия*

Табаков, В. П.

Физические основы процесса резания и изнашивания режущего инструмента с износостойкими покрытиями. Сборник лабораторных и практических работ: учебное пособие / В.П. Табаков, Д.И. Сагитов. – Ульяновск : УлГТУ, 2013. – 76 с.

ISBN

В сборнике представлены лабораторные работы и тематика практических занятий по дисциплине «Физические основы процесса резания и изнашивания режущего инструмента с покрытиями». Лабораторные работы и практические занятия составлены в соответствии с учебной программой курса и предназначены для магистрантов, обучающихся по направлению 151900.68 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств».

УДК 621.9.025 (076)

ББК 34.663 я7

ISBN xxx-x-xxx-xxxx

© Табаков В.П., Сагитов Д.И., 2013

© Оформление. УлГТУ, 2013

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ.....	5
1.1. Исследование влияния износостойкого покрытия на коэффициент укорочения стружки и составляющие силы резания.....	5
1.2. Исследование влияния состава износостойких покрытий на силы резания и контактные нагрузки, действующие на передней и задней поверхности инструмента.....	10
1.3. Исследование влияния состава износостойких покрытий на контактные характеристики процесса резания.....	17
1.4. Исследование влияния состава износостойких покрытий на тепловое состояние режущего инструмента.....	21
1.5. Исследование влияния состава износостойких покрытий на напряженное состояние режущего инструмента.....	25
1.6. Исследование влияния износостойких покрытий на работоспособность режущего инструмента.....	30
2. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ.....	36
2.1. Работоспособность режущего инструмента с износостойкими покрытиями, работающего в условиях непрерывного резания.....	36
2.2. Работоспособность режущего инструмента с износостойкими покрытиями, работающего в условиях прерывистого резания.....	43
2.3. Работоспособность быстрорежущего инструмента с износостойкими покрытиями с переходными адгезионными слоями.....	49
2.4. Работоспособность режущего инструмента с многоэлементными покрытиями на основе модифицированного нитрида титана.....	52
2.5. Работоспособность режущего инструмента с многослойными покрытиями, работающего в условиях стесненного резания.....	56
2.6. Работоспособность режущего инструмента с износостойкими покрытиями после дополнительной упрочняющей обработки.....	66
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	75

ВЕДЕНИЕ

Широкое использование механизированного и автоматизированного станочного оборудования (механические участки, автоматические линии, гибкие производственные модули, обрабатывающие центры и т.д.), повышение производительности процессов лезвийной обработки изделий ужесточает условия эксплуатации режущего инструмента, увеличивая его расход на единицу выпускаемой продукции. Поэтому на современном этапе развития машиностроительного комплекса эффективность металлорежущего оборудования в немалой мере зависит от работоспособности режущего инструмента.

Одним из наиболее эффективных путей повышения работоспособности режущего инструмента является нанесение на его рабочие поверхности износостойких покрытий (ИП). Наибольшее применение в практике производства инструментов с ИП нашли методы физического (ФОП) и химического (ХОП) осаждения покрытий.

Известно, что строение покрытия, его физико-механические и теплофизические свойства могут значительно отличаться от соответствующих свойств инструментального материала и увеличивать сопротивляемость контактных площадок режущего инструмента макро- и микроразрушениям, а также влиять на характеристики процесса резания. Получаемые покрытия обладают повышенными физико-механическими свойствами, снижают контактные нагрузки и позволяют улучшить теплонапряженное состояние режущего клина инструмента.

В данном сборнике лабораторных работ исследуется влияние ИП, получаемых методом конденсации вещества в вакууме с ионной бомбардировкой (метод КИБ), относящемуся к методам ФОП, на характеристики процесса резания, контактные и тепловые процессы и работоспособность инструмента.

Целью выполнения лабораторных работ является закрепление теоретических знаний студентов, полученных на лекциях, и развитие навыков научно-исследовательской работы.

В данном сборнике изложены методические указания к выполнению лабораторных работ и краткие теоретические положения соответствующих разделов курса «Физические основы процесса резания и изнашивания режущего инструмента с износостойкими покрытиями».

1. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

1.1. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОГО ПОКРЫТИЯ НА КОЭФФИЦИЕНТ УКОРОЧЕНИЯ СТРУЖКИ И СОСТАВЛЯЮЩИЕ СИЛЫ РЕЗАНИЯ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является определение влияния износостойких покрытий на степень пластической деформации и силы резания.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Нанесение покрытий на рабочие поверхности режущего инструмента оказывает существенное влияние на контактные характеристики и приводит к трансформации зон стружкообразования [1, 2].

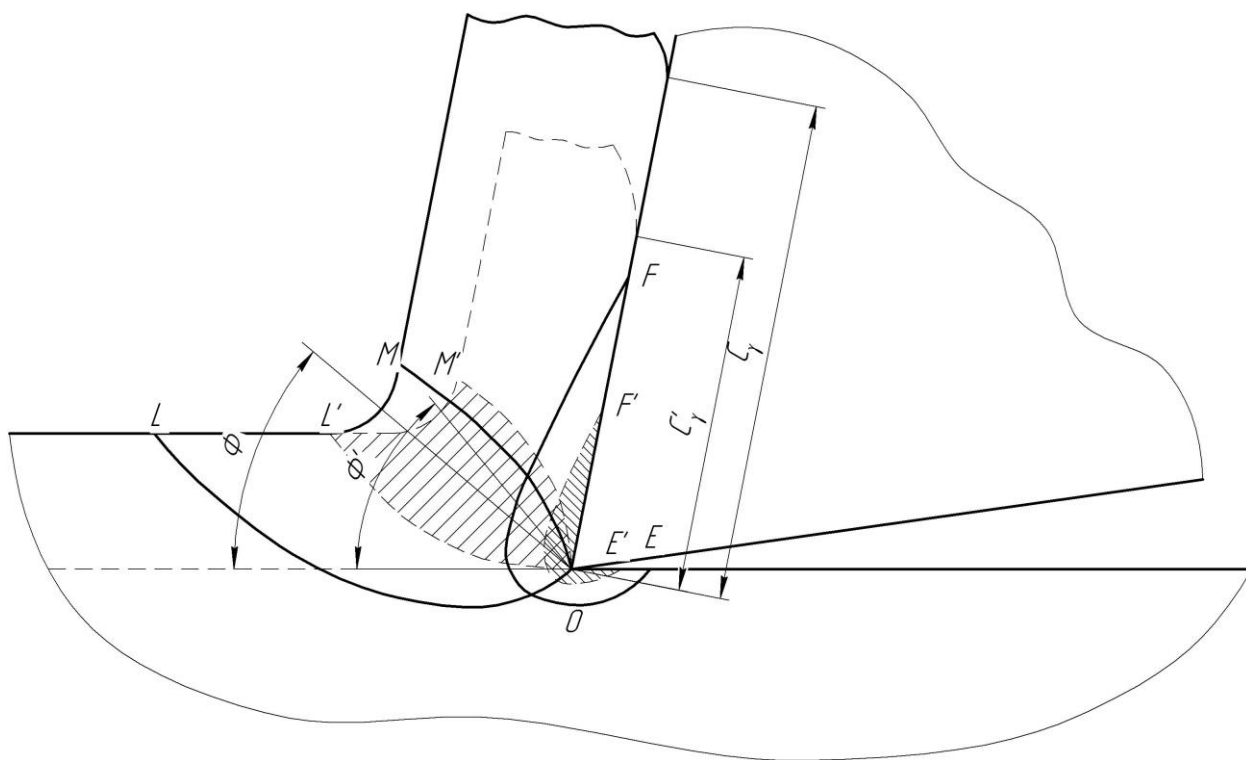


Рис. 1.1. Обобщенные представления о трансформации зон стружкообразования при резании инструментом с покрытием:

OLM, FOE, C_γ, Φ и $OL'M', F'OE', C_\gamma', \Phi'$ - зоны основных и дополнительных деформаций, длина контакта стружки по передней поверхности, угол сдвига соответственно при резании инструментом без покрытия и с покрытием

Как видно из рис. 1.1, для режущего инструмента с покрытием уменьшаются размеры зоны основных пластических деформаций OLM и зоны дополнительных деформаций OEF. При нанесении покрытия линии OL и OM, характеризующие начало и конец зоны пластического деформирования, смещаются по часовой стрелке в сторону передней поверхности инструмента (положения OL', OM'), причем более значительно смещается линия OL. Подобная трансформация зон основных и дополнительных пластических деформаций наблюдается при увеличении переднего угла и росте скорости резания.

Влияние покрытий на трансформацию зон OLM и OEF проявляется вследствие уменьшения трения при перемещении контактирующих поверхностей обрабатываемого материала относительно поверхности покрытия, а также из-за снижения напряжений сдвига, которое происходит благодаря снижению интенсивности тепловыделений и перераспределения тепловых потоков.

Нанесение одноэлементных покрытий TiN (табл. 1.1) снижает длину контакта C_γ стружки с передней поверхностью, нормальные силы N_γ и силы трения F_γ на передней поверхности, углы действия ω и сдвига β . Соответственно снижаются коэффициенты трения на передней μ_γ и задней μ_α поверхностях инструмента. Следствием этого является уменьшение коэффициента укорочения стружки K_L , составляющих сил резания P_z , P_y , P_x , что свидетельствует о снижении степени пластической деформации материала в зоне стружкообразования. Уменьшение длины контакта стружки с передней поверхности и составляющих сил резания сказывается на средних контактных нагрузках и контактных напряжениях.

1.1. Влияние состава покрытий на контактные характеристики процесса резания при точении стали 30ХГСА пластинами ВК6

Инструментальный материал	C_γ , мм	P_z , Н	P_y , Н	K_L	ω , град	β , град	N_γ , Н	F_γ , Н	μ_γ	μ_α
V=80 м/мин, S= 0,3 мм/об, t=1,0 мм										
ВК6	1,3	745	500	2,38	43	22	732	576	0,79	0,82
TiN	0,86	610	370	1,84	39	27	615	428	0,69	0,65
TiMoN	1,0	615	395	1,98	42	26	612	459	0,75	0,76
TiMoCN	0,93	640	395	2,1	39	25	651	447	0,68	0,46
V=120 м/мин, S= 0,3 мм/об, t=1,0 мм										
ВК6	1,2	700	455	2,15	41	24	685	501	0,73	0,73
TiN	0,82	590	350	1,80	38	28	592	396	0,67	0,62
TiMoN	0,94	595	385	1,93	42	26	588	448	0,76	0,74
TiMoCN	0,88	610	380	1,95	39	26	616	430	0,69	0,61

Нанесение покрытий TiN ведет к снижению контактных нагрузок и напряжений. В тоже время при работе режущего инструмента в условиях резания, когда снижение длины контакта стружки с передней поверхностью происходит в большей степени, чем снижение силы резания, контактные нормальные нагрузки q_N и напряжения σ_N для инструмента с покрытием могут быть выше, чем для инструмента без покрытия. Это означает, что такой инструмент имеет повышенную склонность к упругим прогибам, потере формоустойчивости режущего клина и снижению запаса пластической прочности. Данный факт следует учитывать при разработке новых составов покрытий и проектировании режущих инструментов с такими покрытиями, так как чем больше покрытие снижает характеристики контактных процессов, а также энергозатраты на трение, тем выше вероятность упруго-пластических прогибов и снижения пластической прочности режущей части инструмента. В свою очередь, это снижает эффективность относительно хрупкого покрытия, не способствует сопротивляться разрушению в условиях упругих прогибов или пластического изменения формы режущей части инструмента.

СОДЕРЖАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Эксперименты выполняются на токарно-винторезном станке мод. 16K20. Процесс резания осуществляется резцами с механическим креплением твердосплавных пластин без покрытий и с покрытием TiN. Степень пластической деформации оценивается по изменению коэффициента укорочения стружки, который определяется по отношению длины срезаемого слоя к длине стружки или весовым методом:

$$K_L = \frac{Q}{(S \cdot t \cdot L_c \cdot \rho)}, \quad (1)$$

где Q – вес кусочка стружки, мг; S – подача, мм/об; t – глубина резания, мм; L_c – длина кусочка стружки, мм; ρ – плотность материала стружки, мг/мм³.

При измерении составляющих силы резания используется специальный измерительный комплекс, структурная схема которого представлена на рис. 1.2.

Измерительный комплекс состоит из универсального станочного динамометра «УДМ-600», двух двухканальных усилителей фирмы «ZetLab», аналого-цифрового преобразователя (АЦП) SigmaUSB, полумостовой платы, блока инверсного переключения, блока регулировки и дополнительного источника

стабилизированного питания для запитывания мостовых схем тензодатчиков и усилителей.

Измерительный комплекс для исследования сил резания работает по следующему принципу: силы при резании воздействовали на измерительное устройство универсального станочного динамометра «УДМ-600», изменяя его тензометрическое сопротивление, далее по экранированным кабелям сигнал проходит через блок инверсного переключения и поступает на блок регулировки. Блок регулировки представляет собой мостовую резисторную схему, одно плечо которой собрано на специальной плате, другим является тензорезисторная схема динамометра. С одной из диагоналей резисторного моста снимается изменение сигнала от приложенных на динамометр сил резания, далее усилитель усиливает это изменение в 1000 раз. Усиленный аналоговый сигнал поступает на аналогово-цифровой преобразователь (АЦП), который преобразовывает его в цифровой, и транслирует на портативный компьютер посредством высокоскоростного интерфейса USB 2.0.

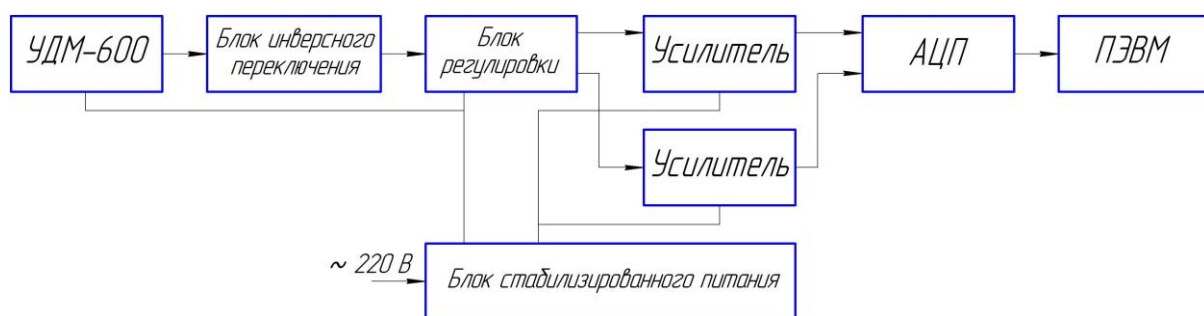


Рис. 1.2. Структурная схема измерительного комплекса

Эксперименты по влиянию износостойкого покрытия на характеристики процесса резания проводятся в два этапа.

На первом этапе определяется влияние покрытия на коэффициент укорочения стружки (K_L). В данной серии опытов при постоянной скорости, глубине резания и переменной подаче измеряют коэффициент укорочения стружки для резцов без покрытия и с покрытием TiN.

На втором этапе определяется влияние покрытий на составляющие силы резания (P_z , P_y , P_x). Эксперименты проводят в той же последовательности, что и в первом случае.

Результаты измерения коэффициента укорочения стружки и составляющих силы резания заносят в протокол и оформляют в виде зависимостей $K_L=f(V)$ и $P_z, (P_y), (P_x)=f(V)$.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с аппаратурой, методикой и содержанием работы.
2. Провести эксперименты по измерению коэффициента укорочения стружки и составляющих силы резания.
3. По экспериментальным данным построить графики функциональных зависимостей.
4. Объяснить полученные функциональные зависимости.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что характеризует коэффициент укорочения стружки?
2. Какими методами можно измерять коэффициент укорочения стружки? Напишите и объясните формулы для определения коэффициента укорочения стружки.
3. Назовите и охарактеризуйте зоны пластической деформации. Объясните поведение металла в этих зонах.
4. Объясните методику проведения экспериментов по определению коэффициента укорочения стружки и силы резания.
5. Объясните влияние скорости резания и подачи на коэффициент укорочения стружки и составляющие силы резания.
6. Назовите методы нанесения износостойких покрытий и области их применения.
7. Перечислите основные свойства износостойких покрытий.
8. Охарактеризуйте влияние износостойких покрытий на степень пластической деформации и составляющие силы резания.

1.2. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ НА СИЛЫ И КОНТАКТНЫЕ НАГРУЗКИ, ДЕЙСТВУЮЩИЕ НА ПЕРЕДНЕЙ И ЗАДНЕЙ ПОВЕРХНОСТЯХ ИНСТРУМЕНТА

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является исследование влияния износостойких покрытий на силы резания и контактные нагрузки, действующие на передней и задней поверхностях инструмента.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Силы, действующие на передней и задней поверхностях, отличаются друг от друга как по величине, так и по направлению. Как правило, силы на задней поверхности малы по сравнению с силами на передней поверхности. Поэтому при рассмотрении баланса сил, возникающих в процессе резания, в большинстве случаев силами на задней грани инструмента пренебрегают. Однако в ряде случаев силы на задней поверхности могут быть велики и иногда могут даже превышать силы на передней поверхности. В таких случаях необходимо учитывать силы на задней поверхности при анализе сил, действующих на контактных площадках режущего инструмента. Кроме того, изучение сил, действующих на поверхностях инструмента, имеет большое значение для анализа его износа, а также для решения вопросов, связанных с формированием поверхностного слоя детали. По изменению сил, действующих на поверхностях режущего инструмента, можно судить о влиянии различных факторов на процесс резания и работоспособности инструмента.

Рассмотрим схему сил, действующих на передней и задней поверхности инструмента, при свободном резании (рис. 1.3).

Касательная сила F_γ , нормальная сила N_γ и сила стружкообразования R_γ , действующие на передней поверхности инструмента, связаны между собой следующими зависимостями:

$$F_\gamma = R_\gamma \cdot \sin \Theta, \quad (2)$$

$$N_\gamma = R_\gamma \cdot \cos \Theta, \quad (3)$$

где Θ – угол трения.

Средний коэффициент трения стружки с передней поверхностью:

$$\mu_\gamma = \operatorname{tg} \Theta = F_\gamma / N_\gamma. \quad (4)$$

Между силой R_γ и ее проекциями на оси z и y существуют зависимости:

$$R_{y\gamma} = R_\gamma \cdot \sin \omega, \quad (5)$$

$$R_{z\gamma} = R_\gamma \cdot \cos \omega, \quad (6)$$

где ω – угол действия – угол между равнодействующей R_γ сил на передней поверхности резца и плоскостью резания. Учитывая, что $\omega = \Theta - \gamma$, можно записать:

$$\mu_\gamma = \operatorname{tg} \Theta = \operatorname{tg}(\omega + \gamma). \quad (7)$$

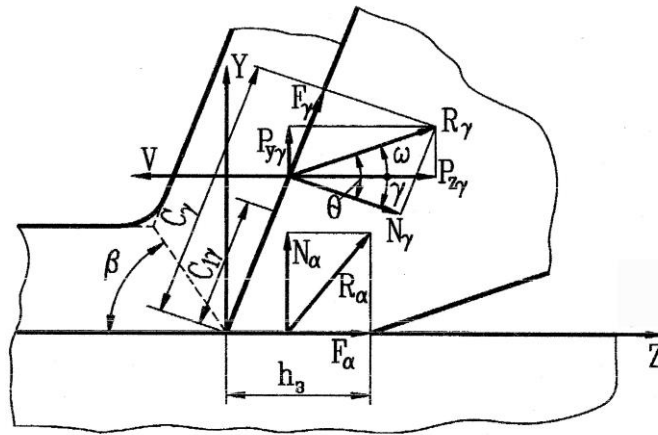


Рис. 1.3. Схема сил, действующих на передней и задней поверхности инструмента:

C_γ – полная длина контакта стружки и передней поверхности инструмента; $C_{1\gamma}$ – длина пластического контакта по передней поверхности; β – угол сдвига; ω – угол действия; $P_{y\gamma}$, $P_{z\gamma}$ – радиальная и тангенциальная составляющие силы резания; N_γ , F_γ – нормальная и касательная силы по передней поверхности; N_α , F_α – нормальная и касательная силы по задней поверхности; γ , α – передний и задний углы инструмента; h_3 – фаска износа по задней поверхности

Если экспериментально замерить силы P_z и P_y (а при свободном резании P_z , P_y и P_x), то можно записать следующие соотношения между силами, действующими в процессе резания:

$$P_y = P_{y\gamma} + P_{y\alpha} = P_{y\gamma} + N_\alpha = R_\gamma \cdot \sin \omega + N_\alpha, \quad (8)$$

$$P_z = P_{z\gamma} + P_{z\alpha} = P_{z\gamma} + F_\alpha = R_\gamma \cdot \cos \omega + F_\alpha, \quad (9)$$

где $N_\alpha = P_{y\alpha}$ – нормальная сила на задней поверхности; $F_\alpha = P_{z\alpha}$ – касательная сила на задней поверхности. Согласно рис. 1.3

$$\operatorname{tg} \omega = P_{y\gamma} / P_{z\gamma} = (P_y - N_\alpha) / (P_z - F_\alpha). \quad (10)$$

Учитывая полученное выражение, средний коэффициент трения стружки с передней поверхностью можно подсчитать по формуле:

$$\mu_\gamma = \operatorname{tg}(\omega + \gamma) = (\operatorname{tg} \omega + \operatorname{tg} \gamma) / (1 - \operatorname{tg} \omega \cdot \operatorname{tg} \gamma) = (P_{y\gamma} + P_{z\gamma} \cdot \operatorname{tg} \gamma) / (P_{z\gamma} - P_{y\gamma} \cdot \operatorname{tg} \gamma). \quad (11)$$

При свободном резании вместо сил P_y , $P_{y\alpha}$ и $P_{y\gamma}$ должны быть подставлены их равнодействующие:

$$P_{xy} = \sqrt{P_x^2 + P_y^2}, \quad (12)$$

$$P_{xy\alpha} = \sqrt{P_{x\alpha}^2 + P_{y\alpha}^2}, \quad (13)$$

$$P_{xy\gamma} = \sqrt{P_{xy}^2 + P_{y\gamma}^2}. \quad (14)$$

Средний коэффициент трения стружки с передней поверхностью при продольном точении может быть подсчитан по формуле:

$$\mu_\gamma = (P_{xy\gamma} + P_{z\gamma} \cdot \operatorname{tg} \gamma) / (P_{z\gamma} - P_{xy\gamma} \cdot \operatorname{tg} \gamma). \quad (15)$$

Для определения сил, действующих на передней поверхности, необходимо из сил, замеренных динамометром, исключить силы на задней грани резца F_α и N_α . Известно несколько способов экспериментального определения сил, действующих на задних поверхностях:

- метод экстраполяции силовых зависимостей на нулевую толщину среза;
- метод подбора переднего угла;
- метод сравнения сил резания при различных износах поверхности;
- метод косоугольного резания;
- метод разрезного резца.

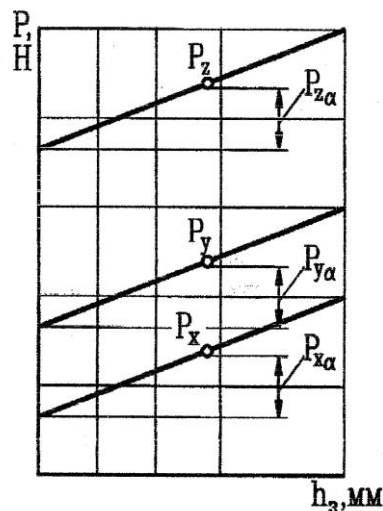


Рис. 1.4. Влияние ширины фаски износа по задней поверхности на силы резания при точении

На рис. 1.4 представлено графическое представление метода определения сил, действующих на задней поверхности, основанного на сравнении сил резания при различных значениях ширины фаски износа. Данный метод основан на следующих положениях. Если все условия обработки остаются без изменения, а увеличивается только ширина фаски износа задней поверхности, то процесс стружкообразования обычно не изменяется. Поэтому и сила R_γ , действующая

на переднюю поверхность, также не изменяется. Но из-за изменения площадки износа по задней поверхности возрастает сила R_a , действующая на этой поверхности, соответственно возрастает и полная сила резания. Таким образом, возрастание сил резания P_y , P_z и P_x при увеличении ширины фаски износа h_3 по задней поверхности произойдет только в результате увеличения сил, действующих на заднюю поверхность. Приращения сил резания ΔP_y , ΔP_z и ΔP_x равны приращениям соответствующих сил ΔP_{ya} , ΔP_{za} и ΔP_{xa} , действующих на задней поверхности. Величины ΔP_{ya} , ΔP_{za} и ΔP_{xa} определяются как разности показаний динамометра при двух различных значениях ширины фаски износа h_3 .

Так как при обработке деталей из различных материалов соблюдается примерно пропорциональная зависимость между шириной фаски износа и силами P_y , P_z и P_x , (рис. 1.4), то, зная приращение износа Δh_3 , можно определить и сами силы, действующие на задней поверхности при различных значениях h_3 :

$$P_{za} = \Delta P_{za} \cdot (h_3 / \Delta h_3), \quad (16)$$

$$P_{ya} = \Delta P_{ya} \cdot (h_3 / \Delta h_3), \quad (17)$$

$$P_{xa} = \Delta P_{xa} \cdot (h_3 / \Delta h_3). \quad (18)$$

Из полученных формул видно, что для определения сил на задней поверхности достаточно измерить с помощью динамометра силы резания при двух различных значениях ширины фаски износа. Однако, как показывает практика, целесообразно измерять силы резания при нескольких различных значениях износа h_3 . При наличии зависимости сил резания от износа задней поверхности силы на ней можно определить графически (рис. 1.4). При использовании данного метода определения сил на задней поверхности необходимо следить за постоянством усадки стружки. Это может быть обеспечено, если периодически доводить переднюю поверхность резца, сохраняя тем самым постоянство фактического переднего угла и условий стружкообразования.

Зная нормальную силу и площадь контакта стружки с передней поверхностью резца, можно определить среднюю нормальную нагрузку на передней поверхности:

$$q_{N\gamma} = (P_{z\gamma} \cdot \cos \gamma - P_{xy\gamma} \cdot \sin \gamma) / C_\gamma \cdot b, \quad (19)$$

где b и C_γ – соответственно ширина и длина контакта стружки с передней поверхностью.

Учитывая, что средний коэффициент трения можно рассматривать как отношение касательной нагрузки $q_{F\gamma}$ к нормальной $q_{N\gamma}$ на передней поверхности, то можно записать:

$$q_{F\gamma} = \mu_\gamma \cdot q_{N\gamma} \quad (20)$$

Для определения средней нормальной $q_{N\alpha}$ и касательной $q_{F\alpha}$ нагрузок на задней поверхности резца необходимо знать площадь фаски износа f_3 задней поверхности.

Площадь фаски износа может быть подсчитана по формуле:

$$F_3 = h_3 \cdot (t/\sin\varphi + r \cdot \operatorname{tg}(\varphi/2) + S), \quad (21)$$

где S (мм/об) и t (мм) – подача и глубина резания; r – радиус при вершине резца, мм; φ – главный угол в плане, град.

Тогда:

$$q_{N\alpha} = N_\alpha / f_3 = P_{xy\alpha} / f_3, \quad (22)$$

$$q_{F\alpha} = F_\alpha / f_3 = P_{z\alpha} / f_3. \quad (23)$$

Коэффициент трения по задней поверхности может быть выражен через отношение контактных напряжений в зоне трения:

$$\mu_\alpha = q_{F\alpha} / q_{N\alpha}. \quad (23)$$

Распределение нормальных и касательных напряжений на передней поверхности резца представлено на рис. 1.5. Нормальные напряжения $\sigma_{N\gamma}$ определяются по формуле:

$$\sigma_{N\gamma} = \sigma_m \cdot ((C_\gamma - x_i) / C_\gamma)^n, \quad (24)$$

где x_i – переменное расстояние от места отрыва стружки на передней поверхности до рассматриваемой точки; σ_m – максимальное нормальное напряжение на передней поверхности; n – показатель степени.

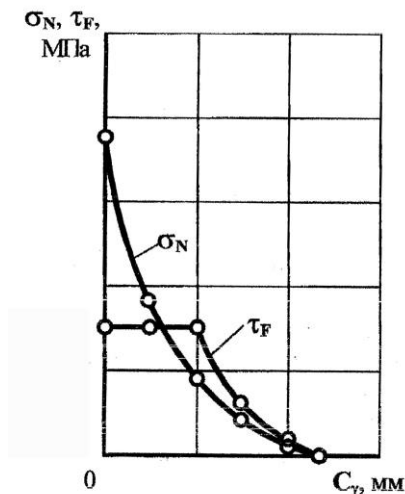


Рис. 1.5. Распределение нормальных и касательных напряжений на передней поверхности резца

Величины σ_m и n можно определить по формулам:

$$\sigma_m = N_\gamma / b \cdot C_\gamma (C_\gamma / S \cdot \sin\varphi \cdot K_L \cdot (\mu_\gamma + \operatorname{tg}(\beta - \gamma)) + 1), \quad (25)$$

$$n = 2 \cdot (C_\gamma / (S \cdot \sin\varphi \cdot K_L \cdot (\mu_\gamma + \operatorname{tg}(\beta - \gamma))) - 1), \quad (26)$$

где K_L – коэффициент укорочения стружки, β – угол сдвига:

$$\operatorname{tg} \beta = \cos \gamma / (K_L - \sin \gamma). \quad (27)$$

Касательные напряжения на участке пластического контакта:

$$\tau_{F\gamma} = (F_{\gamma} / (b \cdot \sigma_m \cdot C_{\gamma})) \cdot ((n + 1) / (1 + n \cdot C_{1\gamma} / C_{\gamma}) \cdot (1 - n \cdot C_{1\gamma} / C_{\gamma})^n). \quad (28)$$

СОДЕРЖАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Работа выполняется на ЭВМ с использованием программы «Влияние износостойких покрытий на контактные характеристики процесса резания».

Исследования влияния износостойких покрытий на силы и контактные нагрузки, действующие на передней и задней поверхностях режущего инструмента, проводятся в три этапа:

1. Исследование влияния покрытия TiN на контактные характеристики процесса резания при токарной обработке заготовок из сталей 30ХГСА и 12Х18Н10Т.

2. Исследование влияния многоэлементных покрытий на основе нитрида титана на контактные характеристики при токарной обработке заготовок из сталей 30ХГСА и 12Х18Н10Т. Исследуемые покрытия: TiN, TiZrN, TiAlN, TiFeN.

3. Исследование влияния многоэлементных покрытий на основе карбонитрида титана на контактные характеристики процесса резания при токарной обработке заготовок из стали 30ХГСА. Исследуемые покрытия: TiN, MoN, TiMoN, TiMoCN.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с методикой, содержанием работы и программой расчета контактных характеристик.

2. Занести исходные данные для расчета контактных характеристик в протокол № 1.

3. Провести расчеты контактных характеристик для режущего инструмента без покрытия и с различными покрытиями. Результаты расчетов занести в протокол № 2.

4. Построить графики распределения контактных напряжений на передней поверхности режущего инструмента без покрытия и с различными покрытиями.

5. Провести анализ и объяснить полученные результаты исследований.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Нарисуйте и поясните схему сил, действующих на контактных площадках токарного резца при свободном резании.
2. Перечислите методы определения сил резания, действующих на задней поверхности режущего инструмента.
3. Объясните методику определения сил, действующих на передней и задней поверхностях токарного резца.
4. Объясните влияние износостойких покрытий на силы резания, действующие на контактных площадках режущего инструмента.

1.3. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОСТАВА ИЗНОСОСТОЙКОГО ПОКРЫТИЯ НА КОНТАКТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является изучение влияния состава износостойких покрытий на контактные характеристики процесса резания

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Нанесение покрытий на рабочие поверхности режущего инструмента оказывает существенное влияние на контактные характеристики процесса резания [1, 2]. Как было показано ранее, нанесение одноэлементных покрытий TiN снижает длину контакта C_γ стружки с передней поверхностью, нормальные силы N_γ и силы трения F_γ на передней поверхности, углы действия ω и сдвига β . Соответственно снижаются коэффициенты трения на передней μ_γ и задней μ_α поверхностях инструмента. Следствием этого является уменьшение коэффициента укорочения стружки K_L , составляющих сил резания P_z , P_y , P_x , что свидетельствует о снижении степени пластической деформации материала в зоне стружкообразования. Уменьшение длины контакта стружки с передней поверхности и составляющих сил резания сказывается на средних контактных нагрузках и контактных напряжениях. Изменение состава покрытий оказывает существенное влияние на контактные характеристики процесса резания [4].

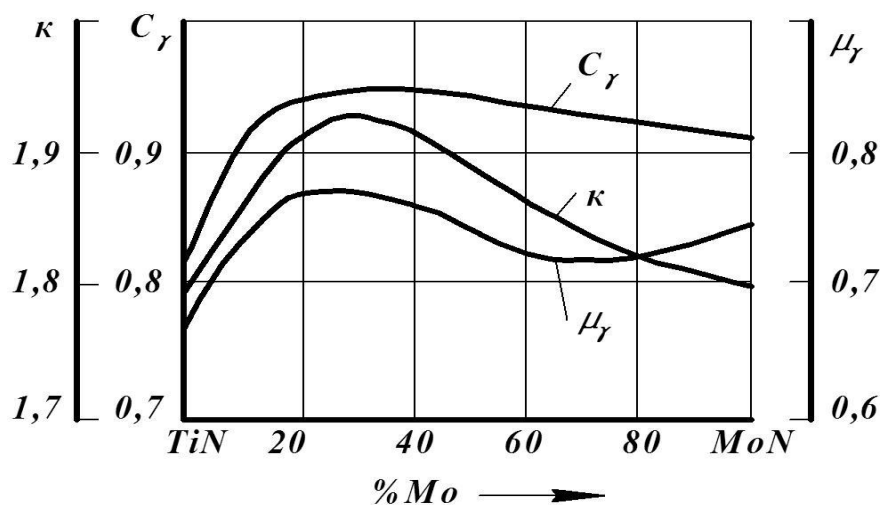


Рис. 1.6. Влияние содержания молибдена в покрытии TiMoN на контактные характеристики при точении заготовки из стали 30ХГСА [4]:

$V=120$ м/мин, $S=0,3$ мм/об, $t=1,0$ мм

На рис. 1.6. представлены данные по влиянию состава покрытия TiMoN на характеристики стружкообразования и контактных процессов при точении заготовок из стали 30ХГСА. Увеличение в покрытии содержания молибдена приводит к повышению длины контакта C_γ стружки с передней поверхностью, коэффициента укорочения стружки K_L и коэффициента трения μ_γ на передней поверхности. При этом полученные зависимости имеют экстремальный характер. Наблюдаемое повышение указанных характеристик процесса резания, несмотря на увеличение микротвердости покрытия, связано с изменением физико-химической активности материала покрытия с материалом стружки при изменении состава покрытия.

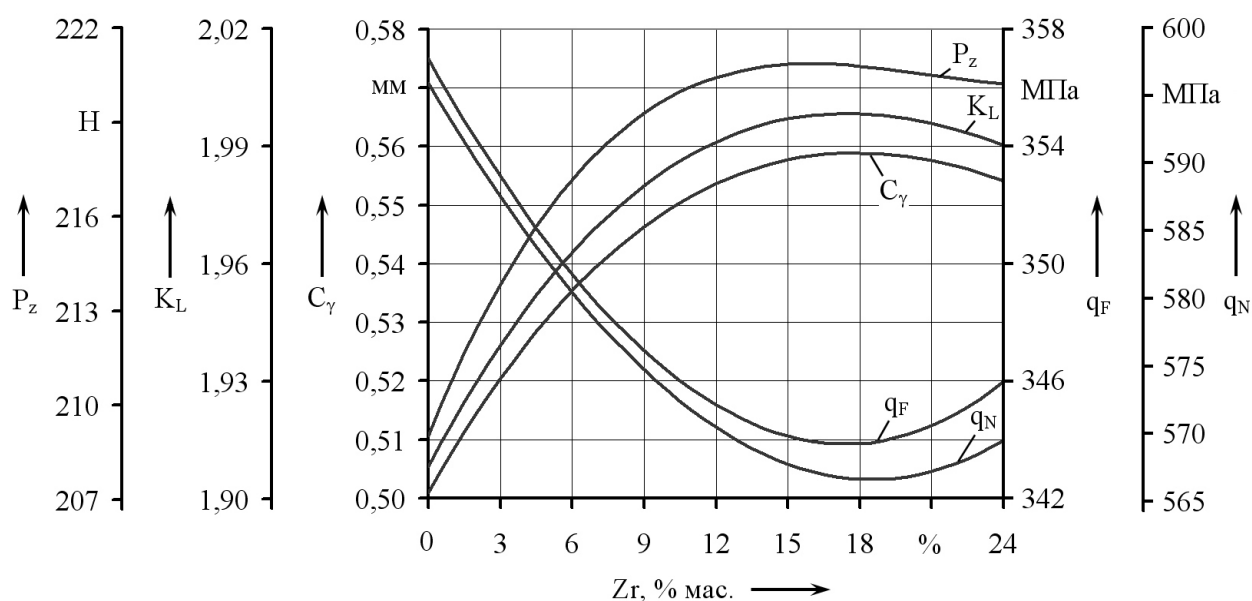


Рис. 1.7. Влияние содержания циркония в покрытии TiAlZrN на контактные характеристики процесса резания при точении заготовок из стали 30ХГСА пластинами МК8 [4]

Для режущих инструментов с двухэлементными нитридными покрытиями по сравнению с одноэлементными покрытиями характерны большая длина полного контакта C_γ , коэффициента трения μ_γ на передней поверхности и меньшие углы сдвига β , что свидетельствует о повышении степени пластической деформации. В результате увеличивается коэффициент укорочения стружки K_L , составляющие силы резания и силы, действующие на передней поверхности – нормальная N_γ и сила трения F_γ . Введение в состав двухэлементного покрытия дополнительного легирующего элемента изменяет контактные характеристики процесса резания инструментом с данными покрытиями. Для режущего инструмента с трехэлементными покрытиями (рис. 1.7) длина контакта

стружки с передней поверхностью, коэффициент укорочения стружки, силы резания имеют большую величину по сравнению с аналогичными показателями для инструмента с двухэлементными покрытиями.

Таким образом, переход от одноэлементного нитридного покрытия к двух- и трехэлементному характеризуется повышением сил трения на передней поверхности режущего инструмента, что подтверждается увеличением длины контакта стружки с передней поверхностью и коэффициента трения на передней поверхности. Соответственно увеличивается пластическая деформация обрабатываемого материала в зоне стружкообразования о чем свидетельствует рост коэффициента укорочения стружки и составляющих сил резания.

В то же время увеличение длины контакта стружки с передней поверхностью, характерное для инструмента с двух- и трехэлементными покрытиями, способствует снижению средних удельных нормальных нагрузок и контактных нормальных напряжений на передней поверхности по сравнению с одноэлементными покрытиями. При этом, удельные нагрузки на задней поверхности практически не изменяются и остаются на уровне, имеющем место для инструмента с одноэлементным покрытием.

Нанесение карбонитридных покрытий по сравнению с аналогичными по составу нитридными покрытиями снижает длину контакта стружки с передней поверхностью инструмента, силы и коэффициент трения на передней поверхности. Соответственно снижаются коэффициент укорочения стружки и составляющие силы резания. Следовательно, процесс резания инструментом с карбонитридными покрытиями сопровождается меньшими пластическими деформациями по сравнению с инструментом с соответствующими по составу нитридными покрытиями. В то же время, меньшая длина контакта стружки с передней поверхностью для инструментов с карбонитридными покрытиями повышает контактные нагрузки и напряжения по сравнению с инструментами, имеющими нитридные покрытия. При переходе от одноэлементных к многоэлементным карбонитридным покрытиям сохраняются все закономерности изменения контактных характеристик процесса резания, как и в случае с нитридными покрытиями.

СОДЕРЖАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Работа выполняется на ЭВМ с использованием программы «Многоэлементные износостойкие покрытия на основе модифицированного нитрида ти-

тана», подпрограмма «Влияние состава износостойкого покрытия на контактные характеристики процесса резания».

Исследуется влияние многоэлементных нитридных покрытий TiAlMeN , TiZrMeN и TiSiMeN (где $\text{Me} = \text{Al, Si, Zr, Cr, Mo, Fe}$) на длину контакта стружки с передней поверхностью, коэффициент укорочения стружки и составляющие силы резания при токарной обработке заготовок из стали 30ХГСА резцами из твердого сплава МК8 и быстрорежущей стали Р6М5К5.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с методикой, содержанием работы и программой расчета контактных характеристик процесса резания.

2. Провести расчеты длины контакта стружки с передней поверхностью, коэффициента укорочения стружки и составляющих силы резания для твердосплавного и быстрорежущего инструментов с различными покрытиями при изменении содержания легирующего элемента.

3. Построить графики изменения длины контакта стружки с передней поверхностью, коэффициента укорочения стружки и составляющих силы резания в зависимости от содержания легирующего элемента в покрытии.

4. Провести анализ и объяснить полученные результаты.

КОНТРОЛЬНОЕ ВОПРОСЫ

1. Объясните влияние износостойкого покрытия на контактные характеристики процесса резания (C_γ , K_L , P_z , P_y , P_x).

2. Назовите и опишите методики экспериментального определения контактных характеристик процесса резания.

3. Объясните изменение контактных характеристик процесса резания при переходе от одноэлементного покрытия к многоэлементным.

1.4. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОСТАВА ИЗНОСОСТОЙКОГО ПОКРЫТИЯ НА ТЕПЛОВОЕ СОСТОЯНИЕ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является изучение влияния износостойких покрытий на тепловое состояние инструмента.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Тепловое состояние режущей части инструмента является своеобразным индикатором, отражающим характер протекающего процесса резания. С повышением температуры инициируются макро- и микроразрушения контактных площадок режущего инструмента.

Основной причиной изменения теплового состояния инструмента с износостойкими покрытиями как при непрерывной, так и при прерывистой обработке является изменение контактных характеристик процесса резания при нанесении покрытия [2].

При токарной обработке нанесение одноэлементных покрытий нитрида титана приводит к уменьшению общего количества теплоты Q , образующейся в процессе резания, теплоты трения по передней Q_{mn} и задней Q_z поверхности. При этом разница в общем количестве теплоты для инструмента с покрытием и без покрытия с увеличением скорости резания возрастает. Применение покрытий нитрида титана приводит к перераспределению тепловых потоков и изменению интенсивностей тепловых источников на передней и задней поверхностях. Уменьшение длины контакта C_γ , коэффициента K_L и составляющих сил резания P_z , P_y и P_x при нанесении одноэлементных покрытий приводит к снижению интенсивности тепловых источников деформации q_d и трения $q_{тп}$ на передней поверхности режущего инструмента. Следует отметить, что интенсивность теплового источника от трения на передней определяется площадью, на которой действует данный источник. Площадь, в свою очередь, зависит от длины контакта стружки с передней поверхностью инструмента. В случае более интенсивного снижения длины контакта стружки с передней поверхностью по сравнению со снижением силы трения интенсивность теплового источника трения по передней поверхности $q_{тп}$ может возрасти, как это имеет место с ростом контактных нагрузок и напряжений, рассмотренных ранее. В результате сниже-

ния интенсивностей q_d и $q_{тп}$ уменьшается интенсивность теплового потока $q_{п}$ в режущий клин инструмента со стороны передней поверхности. Уменьшение количества теплоты, поступающей в инструмент с покрытием в результате снижения длины контакта C_{γ} , и интенсивности теплового потока в режущий клин инструмента со стороны передней поверхности ведет к уменьшению интенсивности теплового потока q_3 через заднюю поверхность в заготовку.

Аналогичное влияние контактных характеристик и составляющих усилия резания на изменение интенсивности тепловых источников q_d и $q_{тп}$ и тепловых потоков $q_{п}$ и q_3 наблюдается и при нанесении многоэлементных покрытий. Нанесение двухэлементных нитридных покрытий приводит к изменению мощности и интенсивности тепловых потоков на передней и задней поверхностях режущего инструмента. Более высокие значения сил резания и длины контакта C_{γ} , характерные для инструмента с данными покрытиями, вызывает увеличение мощности тепловых потоков на передней поверхности $Q_{п}$ по сравнению с инструментом с однослойным покрытием TiN (рис.1.8).

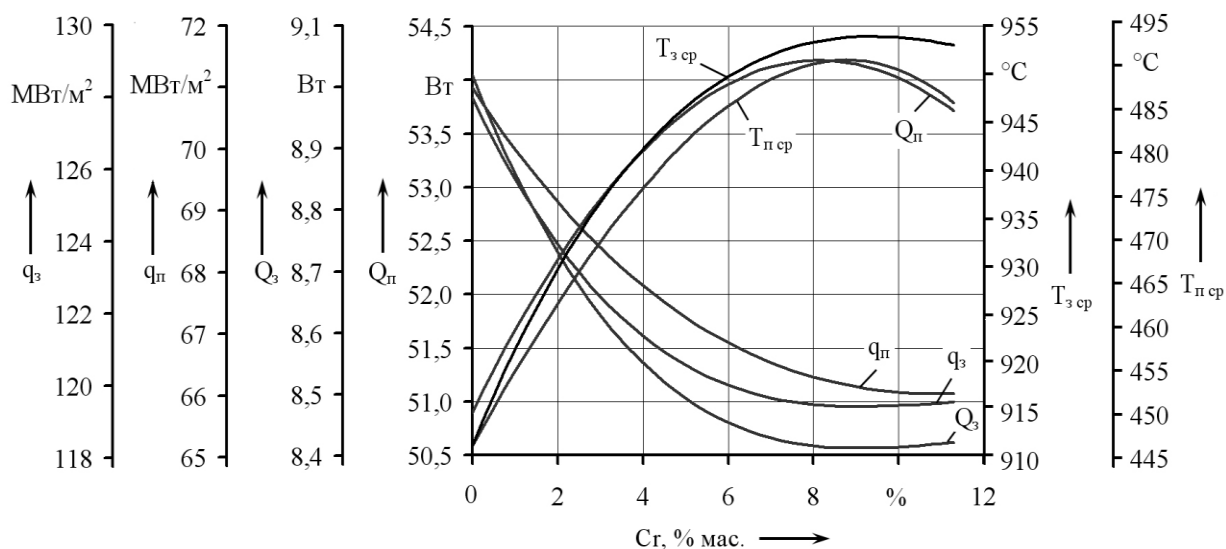


Рис. 1.8. Влияние содержания хрома в покрытии TiZrCrN на показатели теплового состояния режущего инструмента из твердого сплава МК8 при точении заготовок из стали 30ХГСА [4]:

$Q_{п}$ и Q_3 – мощность теплового потока на передней и задней поверхностях режущего инструмента, $q_{п}$ и q_3 – интенсивности тепловых потоков на передней и задней поверхностях режущего инструмента, $T_{п ср}$ и $T_{3 ср}$ – средние температуры на передней и задней поверхностях

Легирующие элементы по-разному влияют на величину интенсивности теплового потока $q_{п}$ на передней поверхности (рис.1.8). Так, легирование покрытия TiN цирконием, кремнием и алюминием приводит к снижению вели-

ны q_n , железом, хромом и молибденом – несколько ее повышает. Увеличение мощности теплового потока на передней поверхности Q_n , характерное для инструмента с двухэлементными покрытиями, повышает мощность теплового потока Q_3 на задней поверхности режущего инструмента, что приводит и к увеличению его интенсивности q_3 .

При нанесении трехэлементных нитридных покрытий, более интенсивное увеличение длины контакта C_γ , которое имеет место для инструмента с данными покрытиями, по сравнению с повышением мощности теплового потока Q_n ведет к уменьшению интенсивности теплового потока q_n (табл. 4.5). Увеличение мощности теплового потока Q_n и длины контакта стружки C_γ вызывает изменение мощности теплового потока на задней поверхности Q_3 и его интенсивности q_3 – их увеличение или снижение в зависимости от состава покрытия. Такое неоднозначное изменение величин Q_3 и q_3 связано с перераспределением тепловых потоков в режущем клине инструмента с покрытиями из-за различной степени увеличения длины контакта стружки C_γ и мощности теплового потока Q_n . Влияние содержания легирующего элемента в трехэлементном покрытии на тепловое состояние режущего инструмента показано на рис. 1.8.

При переходе от нитридных покрытий к карбонитридным наблюдается увеличение интенсивности теплового источника $q_{тп}$ трения по передней поверхности, связанное с уменьшением размеров теплового источника при уменьшении длины контакта C_γ и роста его мощности в результате увеличения величины K_L и составляющих усилия резания. В результате этого тепловой поток концентрируется на меньшей площадке и интенсивность потока q_n возрастает. Кроме того, концентрация теплоты около режущей кромки приводит к росту градиента температур между инструментом и заготовкой, вследствие чего увеличивается сток тепла через заднюю поверхность q_3 .

СОДЕРЖАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Работа выполняется на ЭВМ с использованием программы «Многоэлементные износостойкие покрытия на основе модифицированного нитрида титана», подпрограмма «Влияние состава износостойкого покрытия на тепловое состояние режущего инструмента».

Исследуется влияние многоэлементных нитридных покрытий $TiAlMeN$, $TiZrMeN$ и $TiSiMeN$ (где Me – Al, Si, Zr, Cr, Mo, Fe) на параметры теплового состояния режущего инструмента - мощность теплового потока Q_n на передней поверхности, мощность теплового потока Q_3 на задней поверхности, интенсив-

ность теплового потока q_n на передней поверхности, интенсивность теплового потока q_z на задней поверхности, средняя контактная температура T_{ncp} на передней поверхности, средняя контактная температура T_{zcp} на задней поверхности инструмента - при токарной обработке заготовок из стали 30ХГСА резцами из твердого сплава МК8 и быстрорежущей стали Р6М5К5.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с методикой, содержанием работы и программой расчета теплового состояния режущего инструмента.
2. Провести расчеты мощности теплового потока Q_n на передней поверхности, мощности теплового потока Q_z на задней поверхности, интенсивности теплового потока q_n на передней поверхности, интенсивности теплового потока q_z на задней поверхности, средних контактных температур на передней T_{ncp} , задней T_{zcp} поверхностях твердосплавного и быстрорежущего инструментов с различными покрытиями при изменении содержания легирующего элемента.
3. Построить графики изменения параметров теплового состояния режущего инструмента в зависимости от содержания легирующего элемента в покрытии.
4. Провести анализ и объяснить полученные результаты.

КОНТРОЛЬНОЕ ВОПРОСЫ

1. Объясните влияние износостойкого покрытия на параметры теплового состояния режущего инструмента.
2. Назовите и опишите методы экспериментального определения температуры резания.
3. Объясните изменение параметров теплового состояния режущего инструмента при переходе от одноэлементного покрытия к многоэлементным.
4. Объясните влияние состава износостойких покрытий на характер расположения изотерм температурного поля в режущем клине инструмента.

1.5. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОСТАВА ИЗНОСОСТОЙКОГО ПОКРЫТИЯ НА НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является изучение влияния износостойких покрытий на напряженное состояние режущего инструмента.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Напряженное состояние режущего инструмента характеризуется контактными нормальными и касательными напряжениями, напряжениями, действующими в режущем клине и в покрытии в процессе резания и эквивалентными напряжениями.

Как было показано ранее, состав износостойкого покрытия оказывает влияние на контактные нормальные и касательные напряжения. Переход от одноэлементного нитридного покрытия к двух- и трехэлементному характеризуется повышением сил трения на передней поверхности режущего инструмента, что подтверждается увеличением длины контакта стружки с передней поверхностью и коэффициента трения. Соответственно увеличивается пластическая деформация обрабатываемого материала в зоне стружкообразования о чем свидетельствует рост коэффициента укорочения стружки и составляющих сил резания. С другой стороны, увеличение длины контакта стружки с передней поверхностью, характерное для инструмента с двух- и трехэлементными покрытиями, способствует снижению средних удельных нормальных нагрузок и контактных нормальных напряжений на передней поверхности по сравнению с одноэлементными покрытиями (рис. 1.9). При этом, удельные нагрузки на задней поверхности практически не изменяются и остаются на уровне, имеющем место для инструмента с одноэлементным покрытием.

Нанесение карбонитридных покрытий по сравнению с аналогичными по составу нитридными покрытиями снижает длину контакта стружки с передней поверхностью инструмента, силы и коэффициент трения на передней поверхности. Соответственно снижаются коэффициент укорочения стружки и составляющие силы резания. Следовательно, процесс резания инструментом с карбонитридными покрытиями сопровождается меньшими пластическими деформациями по сравнению с инструментом с соответствующими по составу нитрид-

ными покрытиями. В то же время, меньшая длина контакта стружки с передней поверхностью для инструментов с карбонитридными покрытиями повышает контактные нагрузки и напряжения по сравнению с инструментами, имеющими нитридные покрытия. При переходе от одноэлементных к многоэлементным карбонитридным покрытиям сохраняются все закономерности изменения контактных характеристик процесса резания, как и в случае с нитридными покрытиями.

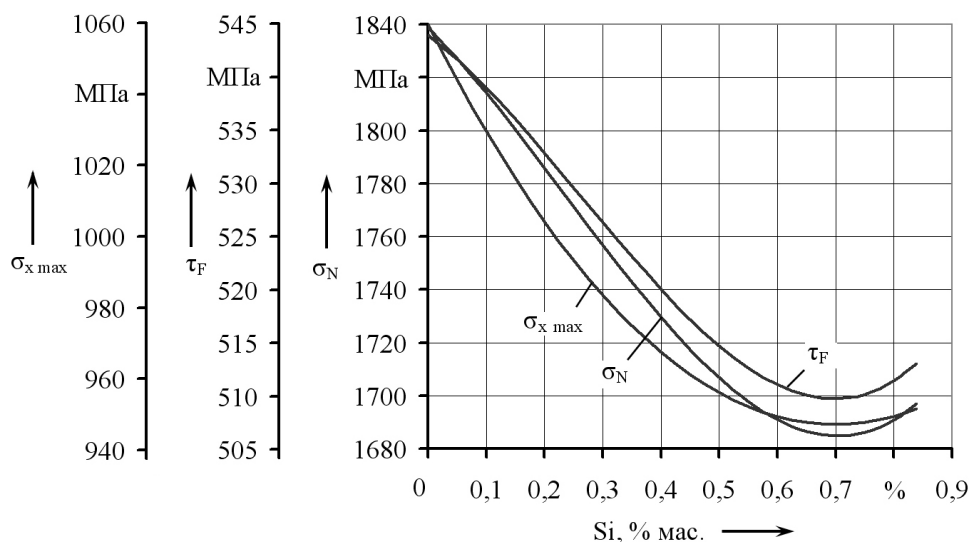


Рис. 1.9. Влияние содержания кремния в покрытии TiZrSiN на показатели напряженно-состояния режущего инструмента из твердого сплава МК8 при точении заготовок из стали 30ХГСА [4]:

σ_N и τ_F – нормальные и касательные напряжения на передней и задней поверхностях режущего инструмента, $\sigma_{x \max}$ – максимальные напряжения, действующие вдоль передней поверхности

Нанесение одноэлементных покрытий TiN снижает напряжения σ_x , действующие в режущем клине параллельно передней поверхности, а уменьшение длины контакта C_γ вызывает смещение изобар напряжений в сторону задней поверхности. Максимальные значения напряжений σ_x наблюдаются на передней поверхности режущего инструмента на расстоянии от режущей кромки равном $0,5 C_\gamma$. Повышение длины контакта стружки с передней поверхностью при нанесении двухэлементных покрытий приводит к смещению изобар напряжений, по сравнению с покрытием TiN, от задней поверхности (рис. 1.9). При этом снижается и величина напряжений в режущем клине инструмента с данными покрытиями.

Для инструмента с трехэлементными покрытиями наблюдается дальней-

шее снижение величины напряжений и смещение их изобар от задней поверхности в направлении схода стружки.

Таким образом, применение многоэлементных покрытий в большей степени способствует снижению контактных напряжений, действующих на передней поверхности и в режущем клине инструмента. При этом изобары напряжений смещаются в сторону от режущей кромки инструмента в направлении схода стружки, что улучшает напряженное состояние режущего клина инструмента.

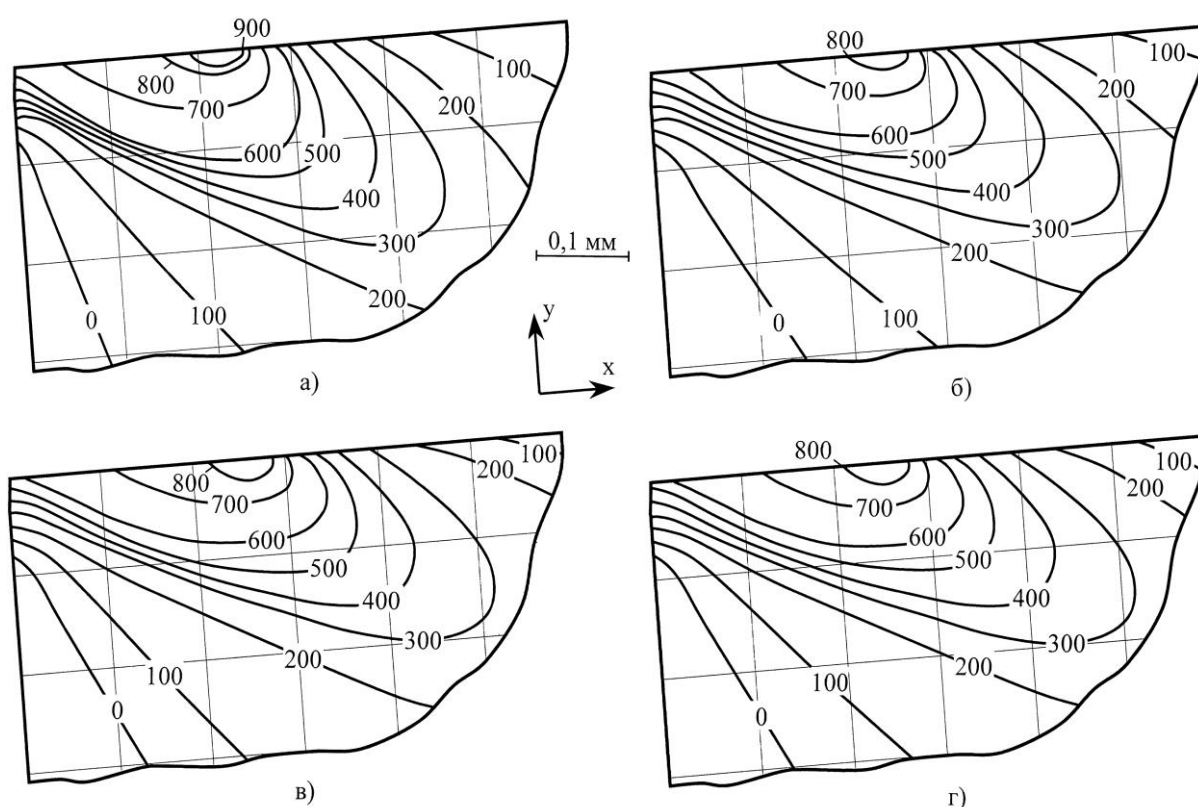


Рис. 1.10. Распределение напряжений σ_x (МПа) в режущем клине инструмента (твердый сплав МК8) с покрытиями [4]:
а – TiN; б – TiAlN; в – TiZrN; г – TiSiN

Распределение эквивалентных напряжений на передней поверхности инструмента при токарной обработке носит немонотонный характер (рис. 4.19). Наибольшие напряжения $\sigma_{\text{экв}}$ имеют инструменты без покрытия, процесс резания которыми характеризуется более высокими температурами и усилиями резания. Максимальные напряжения возникают у вершины режущего клина инструмента и на участке контакта по передней поверхности, равном $(0,4 - 0,5)C_\gamma$.

Нанесение покрытий TiN, как было сказано выше, уменьшает уровень температур и составляющих сил резания и это снижает максимальные эквивалентные напряжения по сравнению с инструментом без покрытия. Более высокие контактные напряжения и температура на передней поверхности, характерные для инструментов с карбонитридными покрытиями TiCN, вызывают рост величины $\sigma_{\text{экв}}$ по сравнению с покрытием TiN. Нанесение многоэлементных покрытий по сравнению с одноэлементными уменьшает контактные напряжения на передней поверхности в результате чего эквивалентные напряжения $\sigma_{\text{экв}}$ снижаются. Наименьшие эквивалентные напряжения характерны при резании инструментом с многоэлементными нитридными покрытиями.

В процессе резания в покрытии возникают нормальные напряжения сжатия, которые неравномерно распределены вдоль передней поверхности. Максимальной величины данные напряжения достигают на расстоянии от режущей кромки, равном $(0,2 - 0,3)C_\gamma$, и затем плавно снижаются. Наименьшая величина напряжений характерна для одноэлементных покрытий TiN. В карбонитридных покрытиях TiCN и многоэлементных нитридных покрытиях они существенно выше из-за более высоких контактных напряжений и температур, возникающих на передней поверхности инструмента с данными покрытиями в процессе резания, а также высокого уровня в них остаточных сжимающих напряжений. Формирование в покрытиях в процессе резания высоких сжимающих напряжений сдерживает и тормозит процессы образования и развития в них трещин и увеличивает время работы инструмента до разрушения покрытия.

СОДЕРЖАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Работа выполняется на ЭВМ с использованием программы «Многоэлементные износостойкие покрытия на основе модифицированного нитрида титана», подпрограмма «Влияние состава износостойкого покрытия на напряженное состояние режущего инструмента».

Исследуется влияние многоэлементных нитридных покрытий TiAlMeN, TiZrMeN и TiSiMeN (где Me – Al, Si, Zr, Cr, Mo, Fe) на параметры напряженного состояния режущего инструмента - средние нормальные q_N , касательные q_F удельные нагрузки, нормальные контактные σ_N , касательные контактные τ_F напряжения и максимальные напряжение $\sigma_{x \text{ max}}$, действующие на передней поверхности инструмента - при токарной обработке заготовок из стали 30ХГСА резцами из твердого сплава МК8 и быстрорежущей стали P6M5K5.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с методикой, содержанием работы и программой расчета напряженного состояния режущего инструмента.
2. Провести расчеты средних нормальных q_N , касательных q_F удельных нагрузок, контактных нормальных σ_N , касательных τ_F напряжений и максимальных напряжений $\sigma_{x \max}$, действующих на передней поверхности твердосплавного и быстрорежущего инструментов с различными покрытиями при изменении содержания легирующего элемента.
3. Построить графики изменения параметров напряженного состояния режущего инструмента в зависимости от содержания легирующего элемента в покрытии.
4. Провести анализ и объяснить полученные результаты.

КОНТРОЛЬНОЕ ВОПРОСЫ

1. Объясните влияние износостойкого покрытия на параметры напряженного состояния режущего инструмента.
2. Объясните изменение параметров напряженного состояния режущего инструмента при переходе от одноэлементного покрытия к многоэлементным.
3. Объясните влияние состава износостойких покрытий на характер расположения изобар поля напряжений в режущем клине инструмента.

1.6. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является изучение работоспособности режущего инструмента с износостойкими покрытиями на различных операциях обработки резанием.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Работоспособное состояние инструмента определяется многими факторами, но прежде всего в значительной степени зависит от сопротивляемости контактных площадок инструмента изнашиванию и разрушению при взаимодействии с обрабатываемым материалом. Изнашивание контактных площадок обусловлено несколькими одновременно действующими механизмами: абразивным, адгезионно-усталостным, диффузионным и окислительным. В зависимости от условий резания и характера контактного взаимодействия (непрерывный, прерывистый, нестационарный) один из действующих механизмов изнашивания может стать преобладающим и может определять работоспособность инструмента. От стабильности протекания изнашивания, в свою очередь, будет зависеть надежность режущего инструмента.

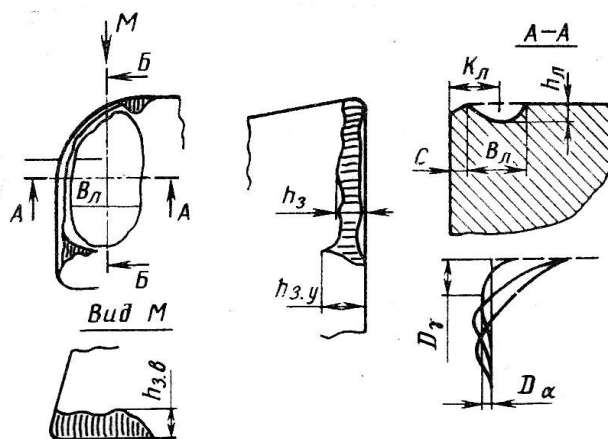


Рис. 1.11. Схема изнашивания контактных площадок режущего инструмента

Покрyтия заметно изменяют характер изнашивания контактных площадок. Для инструмента из быстрорежyщей стали нанесение покрyтий сдерживает развитие лунки износа на передней поверхности, меняя характер ее развития.

Для инструмента без покрытия характерно интенсивное развитие лунки не только в направлении схода стружки (от режущей кромки), но и в противоположном направлении (к кромке), что при выходе лунки к режущей кромке (при уменьшении размера C , рис. 1.11) приводит к катастрофическому разрушению инструмента. Для инструмента с покрытием развитие лунки резко замедляется, особенно в направлении к режущей кромке. Разрушение покрытия на передней поверхности при работе быстрорежущим инструментом происходит уже на стадии приработочного и установившегося изнашивания инструмента. Разрушаясь на контактной площадке на передней поверхности, покрытие сохраняется на полочке C вдоль контактной площадки между режущей кромкой и краем лунки, что объясняется защитным действием нароста. Наличие нароста на пере-

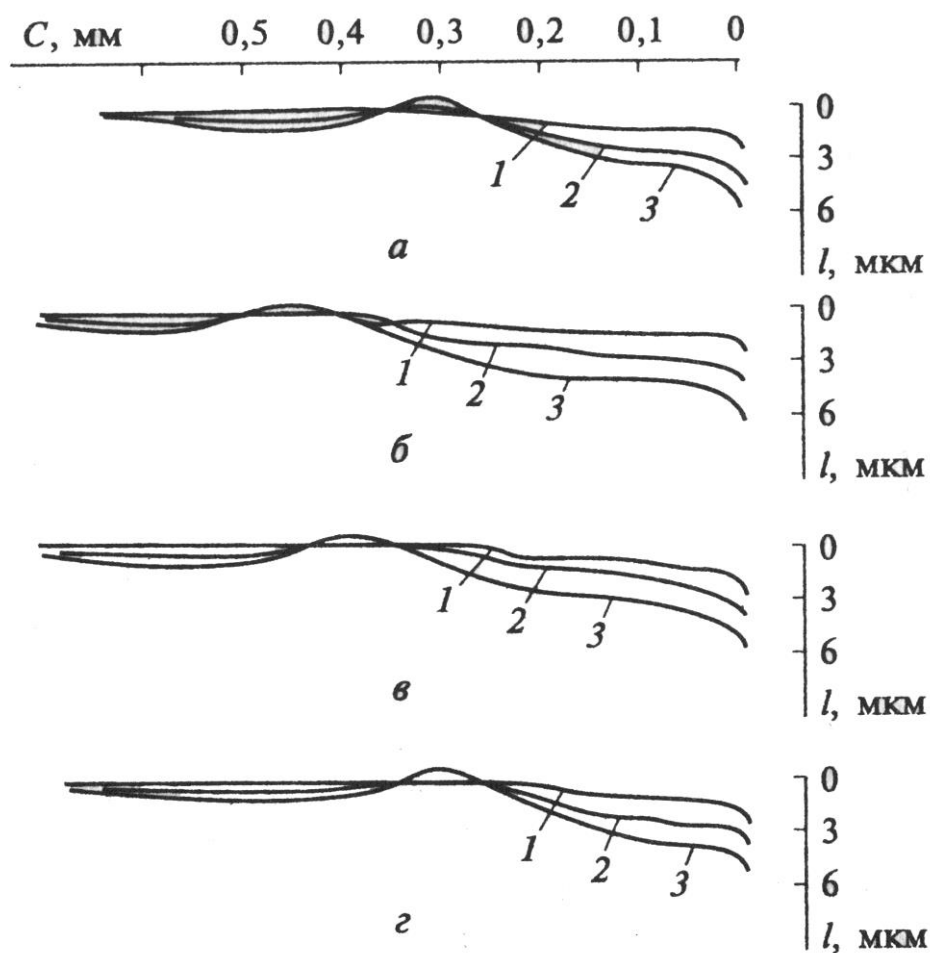


Рис. 1.12. Профилограммы контактных площадок передней поверхности инструмента при точении стали 30ХГСА твердосплавными пластинами Т5К10 с покрытиями TiN (а), (Ti,Zr)N (б), (Ti,Al)N (в), (Ti,Fe)N (г):

$V = 240 \text{ м/мин}$, $S = 0,3 \text{ мм/об}$, $t = 0,75 \text{ мм}$; 1, 2, 3 – время работы инструмента соответственно 5, 12 и 15 мин

дней поверхности способствует сохранению покрытия и на локальных участках задней поверхности. Остатки покрытия сдерживают развитие очагов износа на контактных площадках инструмента. Замедляется рост лунки износа в глубину (уменьшается глубина лунки $h_{л1}$) и особенно в ширину (уменьшается ширина лунки $B_{л1}$), снижается интенсивность изнашивания по задней поверхности (фаска износа по главной задней h_3 и вспомогательной задней $h_{3.в.}$ поверхностям (рис. 1.11).

Процесс образования лунки для быстрорежущего инструмента с покрытием сопровождается увеличением переднего угла. Это происходит вследствие более интенсивного роста лунки в ширину для инструмента без покрытия. Увеличение переднего угла для быстрорежущего инструмента с покрытием снижает энергозатраты на пластическое деформирование срезаемого слоя и является одной из причин роста работоспособности инструмента с покрытием.

Нанесение покрытий на твердосплавный инструмент изменяет характер износа контактных площадок инструмента, устраняя процесс лункообразования на передней поверхности, имеющее место для инструмента без покрытий при обработке заготовок из конструкционных сталей на режимах резания, соответствующих получистовой и чистовой обработки. Для режущего инструмента с покрытиями наблюдается изменение формы режущего клина в виде выпучивания по передней поверхности и пластического отеснения задней поверхности (рис. 1.12). Происходящее при этом опускание вершины режущего клина инструмента зависит не только от материала инструментальной основы, но и от свойств материала износостойкого покрытия, которые определяются в свою очередь его составом.

Работоспособность инструмента в значительной степени зависит от условий его эксплуатации и определяется такими критериями, как среднее значение периода стойкости T и коэффициент вариации стойкости v_T .

Нанесение однослойных одноэлементных покрытий увеличивает период стойкости быстрорежущего инструмента в 2 – 5 раз по сравнению с инструментом без покрытия. Эффективность покрытий заметно возрастает по мере увеличения скорости резания и уменьшения подачи. Эффективность одноэлементных покрытий заметно снижается при резании на скоростях активного наростообразования, что связано с неустойчивостью данного процесса, появлением низкочастотных вибраций, цикличностью нагружения контактных площадок инструмента и высокой интенсивностью разрушения покрытий вследствие зарождения и развития трещин усталости.

Применение покрытий на основе нитридов при обработке заготовок из конструкционных сталей существенно повышает эффективность твердосплавных пластин. При этом более эффективными являются многоэлементные покрытия. Нанесение двухэлементных нитридных покрытий по сравнению с одноэлементными покрытиями повышает период стойкости твердосплавного инструмента в 1,8 – 3,5 раза в зависимости от условий резания и состава покрытия. Еще более высокую эффективность имеют трехэлементные покрытия. Применение двухэлементных покрытий на основе карбонитридов по сравнению с аналогичными по составу нитридными покрытиями дополнительно повышает период стойкости твердосплавного инструмента в 1,4– 2,2 раза в зависимости от режима резания и состава покрытия.

Нанесение покрытий не изменяет характера зависимостей $T=f(V,S,t)$ по сравнению с инструментом без покрытия. В тоже время изменяется влияние отдельных факторов на период стойкости по сравнению с пластинами без покрытия. При этом увеличение или уменьшение влияния элементов режима резания на период стойкости определяется составом покрытия, свойствами обрабатываемого и инструментального материалов и режимами резания.

Применение многослойных покрытий расширяет области эффективного использования твердосплавного инструмента с покрытиями. Применение многослойных покрытий повышает период стойкости твердосплавного инструмента по сравнению с однослойными покрытиями при токарной обработке заготовок из конструкционных сталей в 1,5 – 4,0 раза, а при торцовом фрезеровании в 1,4 – 4,5 раза в зависимости от конструкции покрытия и свойств обрабатываемого материала.

СОДЕРЖАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

При выполнении лабораторной работы используется электронное учебное пособие «Работоспособность режущих инструментов с износостойкими покрытиями».

Исследования влияния износостойких покрытий на работоспособность режущего инструмента проводятся в три этапа:

1. Исследование работоспособности твердосплавного инструмента с покрытиями при токарной обработке.
2. Исследование работоспособности твердосплавного инструмента с покрытиями при торцовом фрезеровании.
3. Исследование работоспособности быстрорежущих сверл с покрытиями.

Режимы резания и материал обрабатываемых заготовок указаны в таблице.

Задания для выполнения лабораторной работы

№ вар.	Задание
1	Исследовать работоспособность твердосплавного РИ с однослойными и многослойными покрытиями при токарной обработке заготовок из стали 30ХГСА (твердый сплав МС318) и 5ХНМ (твердый сплав МК8). Сравнить эффективность одно- и многослойных покрытий, сделать вывод, какие покрытия наиболее эффективны. Режимы резания: $V = 150\text{--}200$ м/мин, $S = 0,1\text{--}0,3$ мм/об, $t = 1$ мм.
2	Исследовать работоспособность твердосплавного РИ с однослойными и многослойными покрытиями при фрезеровании заготовок из стали 5ХНМ. Сравнить эффективность многослойных покрытий различных конструкций, сделать вывод, какие покрытия наиболее эффективны. Режимы резания: $V = 150\text{--}250$ м/мин, $S_z = 0,25\text{--}0,4$ мм/зуб, $t = 1,5$ мм.
3	Исследовать работоспособность быстрорежущих сверл с покрытиями при сверлении заготовок из титанового сплава ВТ22. Сравнить эффективность покрытий различных типов, сделать вывод, какие покрытия наиболее эффективны. Режимы резания: $V = 4\text{--}8$ м/мин, $S_z = 0,06\text{--}0,08$ мм/об, $t = 4$ мм.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с методикой, содержанием работы и программой расчета показателей работоспособности режущего инструмента.
2. Провести расчеты показателей работоспособности режущего инструмента с различными покрытиями при различных видах обработки.
3. Построить графики зависимостей периода стойкости от элементов режима резания.
4. Провести анализ и объяснить полученные результаты исследований.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назовите и опишите основные виды износа режущего инструмента.
2. Объясните влияние износостойкого покрытия на износ быстрорежущего и твердосплавного инструментов.
3. Объясните влияние износостойкого покрытия на развитие очагов износа быстрорежущего и твердосплавного инструмента.

4. Перечислите и объясните основные стадии изнашивания быстрорежущего и твердосплавного инструмента с износостойким покрытием.
5. Объясните большую эффективность многоэлементных покрытий по сравнению с одноэлементными.

2. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

Практические занятия проводятся в форме научного семинара, на который выносятся обсуждаемые вопросы. Вопросы, выносимые на обсуждение, приводятся в каждом задании. Кроме того, каждое практическое занятие предусматривает выполнение исследовательской работы.

2.1. РАБОТОСПОСОБНОСТЬ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА С ИЗНОСОСТОЙКИМИ ПОКРЫТИЯМИ В УСЛОВИЯХ НЕПРЕРЫВНОГО РЕЗАНИЯ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Покрытия заметно изменяют характер изнашивания контактных площадок. Для инструмента из быстрорежущей стали нанесение покрытий сдерживает развитие лунки износа на передней поверхности, меняя характер ее развития. Для инструмента без покрытия характерно интенсивное развитие лунки не только в направлении схода стружки (от режущей кромки), но и в противоположном направлении (к кромке), что при выходе лунки к режущей кромке приводит к катастрофическому разрушению инструмента. Для инструмента с покрытием развитие лунки резко замедляется, особенно в направлении к режущей кромке. Разрушение покрытия на передней поверхности при работе быстрорежущим инструментом происходит уже на стадии приработочного и установившегося изнашивания инструмента. Разрушаясь на контактной площадке на передней поверхности, покрытие сохраняется на полочке вдоль контактной площадке между режущей кромкой и краем лунки, что объясняется защитным действием нароста. Наличие нароста на передней поверхности способствует сохранению покрытия и на локальных участках задней поверхности. Остатки покрытия сдерживают развитие очагов износа на контактных площадках инструмента. Замедляется рост лунки износа в глубину (уменьшается глубина лунки $h_{л}$) и особенно в ширину (уменьшается ширина лунки $B_{л}$), снижается интенсивность изнашивания по задней и вспомогательной задней поверхностям.

Процесс образования лунки для быстрорежущего инструмента с покрытием сопровождается увеличением переднего ушла. Это происходит вследствие более интенсивного роста лунки в ширину для инструмента без покрытия (рис. 2.1). Увеличение переднего угла для быстрорежущего инструмента с покрытием снижает энергозатраты на пластическое деформирование срезаемого

слоя и является одной из причин роста работоспособности инструмента с покрытием.

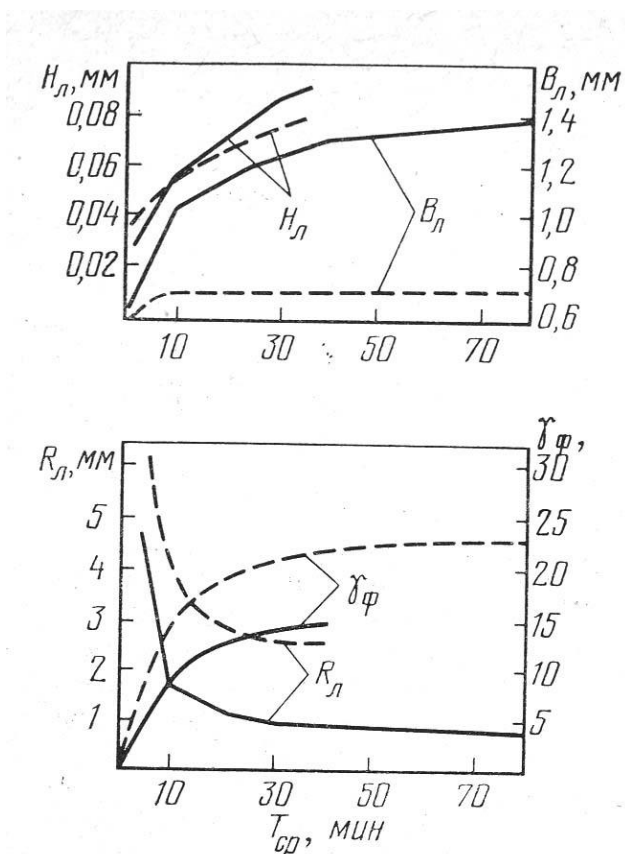


Рис. 2.1. Параметры лунки износа на передней поверхности инструмента:
сплошная линия – для инструмента без покрытия; штриховая – с покрытием

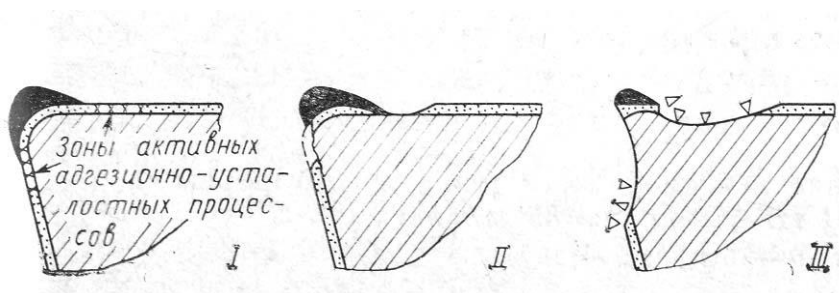


Рис. 2.2. Обобщенная схема развития очагов изнашивания быстрорежущего инструмента с покрытием

Разрушение покрытия при работе быстрорежущим инструментом инициируется адгезионными процессами в условиях наростообразования, в которых работает данный инструмент. В этих условиях резко усиливается роль усталостных процессов, связанных с воздействием на покрытие знакопеременных нагрузок. В условиях активного наростообразования покрытие разрушается бо-

лее интенсивно, при этом нивелируется различие в эффективности инструмента с различными по составу покрытиями.

Динамика развития очагов износа быстрорежущего инструмента с покрытиями включает следующие стадии (рис. 2.2). В период приработки инструмента (стадия 1) покрытие, полностью сохранившее свою сплошность на передней и задней поверхностях инструмента, эффективно снижает мощность теплового источника. При этом уменьшаются нормальные и касательные напряжения на контактных площадках. Таким образом, термомеханическое состояние инструмента с покрытием становится более благоприятным, что и предопределяет его лучшую сопротивляемость изнашиванию. В тоже время относительно хрупкое покрытие плохо сопротивляется адгезионно-усталостным процессам, особенно в условиях неустойчивого наростообразования, что приводит к разрушению покрытия на контактных площадках инструмента по усталостному механизму с развитием сетки хрупких трещин (стадия 11). Частично разрушенное покрытие продолжает сдерживать развитие очагов износа на контактных площадках вследствие большой сопротивляемости абразивному истиранию. Одновременно, за счет благоприятного изменения параметров лунки износа и роста фактического переднего угла для инструментов с покрытиями, мощность деформационного источника теплоты ниже, чем у инструмента без покрытия.

В дальнейшем по мере роста очагов износа все больше нивелируется разница между инструментом с покрытием и без покрытия (стадия 111) и наступает катастрофический износ.

Нанесение покрытий достаточно эффективно предохраняет основу быстрорежущего инструмента от разупрочнения, что обусловлено снижением термомеханической нагрузки на режущий клин.

Нанесение покрытий на твердосплавный инструмент изменяет характер износа контактных площадок инструмента, устраняя процесс лункообразования на передней поверхности, имеющее место для инструмента без покрытий при обработке заготовок из конструкционных сталей на режимах резания, соответствующих получистовой и чистовой обработки. Для режущего инструмента с покрытиями наблюдается изменение формы режущего клина в виде выпучивания по передней поверхности и пластического оттеснения задней поверхности (рис. 2.3). Происходящее при этом опускание вершины режущего клина инструмента зависит не только от материала инструментальной основы, но и от свойств материала износостойкого покрытия, которые определяются в свою очередь его составом.

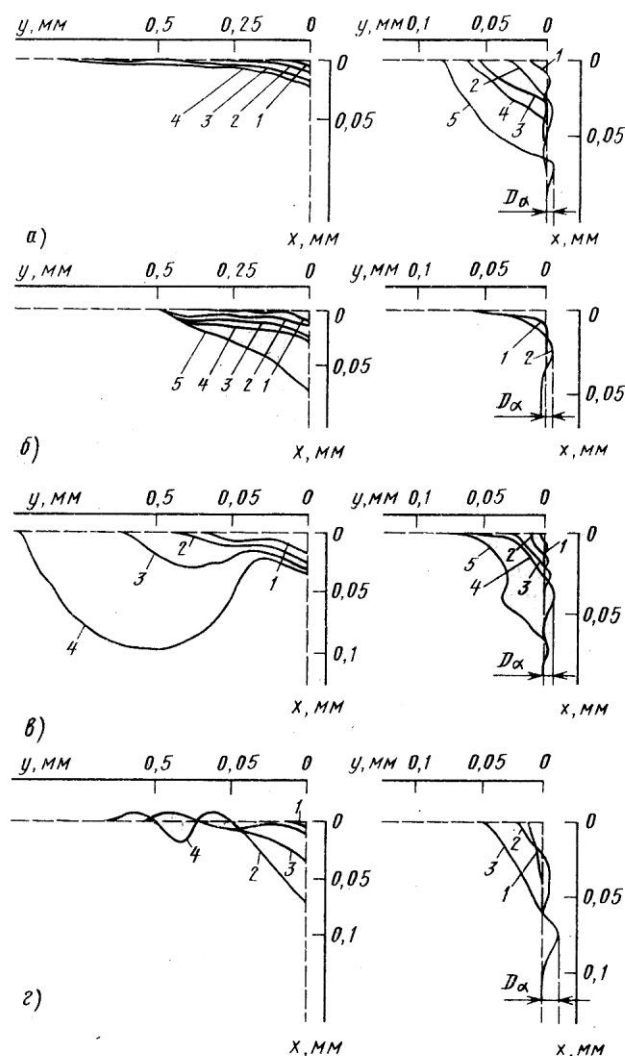


Рис. 2.3. Профилограммы контактных площадок передней и задней поверхностей твердосплавных пластин с различными покрытиями при точении стали 38ХС:

а – Т5К10-(Ti,Cr)N; 1 – 28 с; 2 – 2,2 мин; 3 – 8 мин; 4 – 15 мин; 5 – 32 мин; б – Т5К10-TiC; 1 – 22 с.; 2 – 8 мин; 3 – 12 мин; 4 – 18 мин; 5 – 34 мин; в – GC015 (Сандвик Коромант); 1 – 10с; 2 – 5 мин; 3 – 10 мин; 4 – 20 мин; 5 – 27 мин; г – Т5К10-(TiC-TiCN-TiN); 1 – 35 с; 2 – 5 мин; 3 – 21 мин; 4 – 43 мин

Разрушение покрытия на контактных площадках инструмента при непрерывном резании, например, при токарной обработке, происходит в результате образования в них трещин [4]. Первые мелкие трещины возникают на участке упругого контакта стружки с передней поверхностью на расстоянии примерно (0,5...0,6) от длины контакта стружки с передней поверхностью C_r . Параллельно образуется фаска износа на задней поверхности. По мере работы инструмента количество трещин увеличивается, происходит их распространение, как в сторону режущей кромки, так и от нее, и, таким образом, возникает сетка трещин (рис. 2.4, б). Дальнейшее увеличение времени работы инструмента ведет к

образованию поперечных трещин, расположенных на участке пластического контакта параллельно режущей кромке (рис. 2.4, а), имеющих более значительные размеры. Рост количества поперечных трещин вдоль режущей кромки и мелких трещин на участке упругого контакта приводит сначала к скалыванию покрытия по краям трещин, а затем к ослаблению отдельных объемов покрытия и удалению их сходящей стружкой с обнажением инструментальной основы. В дальнейшем образуется лунка износа по передней поверхности.

Разрушение одно- и многоэлементных покрытий имеет одинаковый характер, а динамика процесса трещинообразования на передней поверхности режущего инструмента определяется составом покрытия и режимом резания. Для режущего инструмента с многоэлементными покрытиями характерна меньшая интенсивность процесса трещинообразования на контактных площадках за одно и тоже время его работы по сравнению с инструментом, имеющим одноэлементные покрытия.

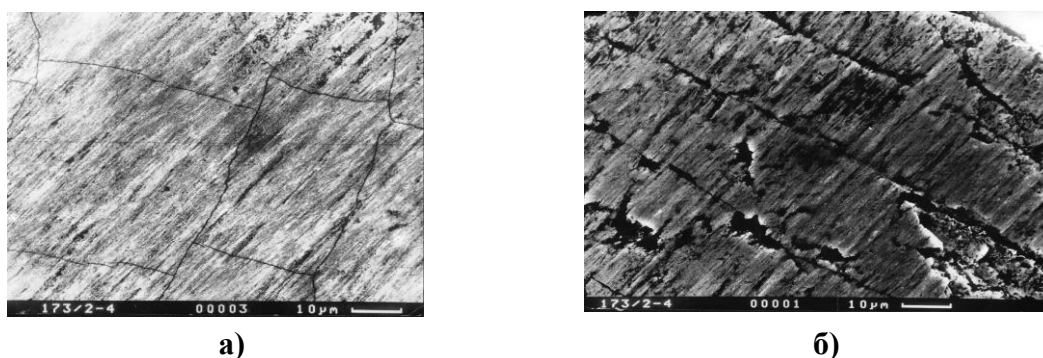


Рис. 2.4. Вид контактных площадок на передней поверхности пластин MC318 с покрытиями TiN при точении заготовок из стали 30ХГСА:

а, б – соответственно на участке пластического и упругого контактов

Анализ характера разрушения износостойкого покрытия в процессе резания и изнашивания режущего инструмента позволяет сформулировать требования к износостойким покрытиям режущего инструмента, работающего в условиях непрерывного резания. Во-первых, покрытие за счет создания благоприятных условий контактного взаимодействия на передней поверхности должно обеспечить максимальное снижение эквивалентных напряжений в режущем клине инструмента для повышения его формоустойчивости. Выполнение данного требования ведет к увеличению времени его работы до начала образования трещин в покрытии. Во-вторых, покрытие должно иметь высокий уровень остаточных сжимающих напряжений, способствующих возникновению в нем в процессе резания высоких сжимающих нормальных напряжений.

Выполнение этого требования также будет способствовать повышению времени работы инструмента до образования трещин и снижению интенсивности процесса трещинообразования. В-третьих, покрытие должно иметь высокую прочность сцепления с инструментальной основой, что позволит увеличить время работы инструмента до полного разрушения покрытия на контактной площадке на передней поверхности.

Выполнение перечисленных требований возможно реализовать в многослойном покрытии, каждый слой которого имеет свое функциональное назначение [1, 5].

Применение многослойных покрытий расширяет возможности эффективного использования режущих инструментов. Так, например, при точении заготовок из стали 5ХНМ нанесение многослойных покрытий по сравнению с покрытием TiN повышает период стойкости твердосплавных пластин в 1,4 – 1,7 раза при использовании многослойных покрытий TiN-TiCN, в 1,5 – 2,0 раза – покрытий TiN-(Ti,Al)N и в 1,9 – 2,9 раза – покрытий TiN-(Ti,Zr)N. Наибольшее повышение работоспособности инструмента обеспечивает нанесение трехслойных покрытий TiN-TiCN-(Ti,Zr)N. Коэффициент повышения периода стойкости инструмента с такими покрытиями по отношению к покрытию TiN составляет 2,9 – 4,4 в зависимости от режима резания. При обработке заготовок из нержавеющей стали 12Х18Н10Т эффективность многослойных покрытий меньше. Использование покрытия TiN-TiCN повышает период стойкости инструмента по сравнению с покрытием TiN в 1,2 – 1,4 раза, TiN-(Ti,Zr)N – в 1,6 – 1,9 раза, TiN-(Ti,Al)N – в 1,5 – 1,7 раза. Как и при обработке заготовок из стали 5ХНМ наибольшую эффективность имеют трехслойное покрытие TiN-TiCN-(Ti,Zr)N, нанесение которого увеличивает период стойкости твердосплавных пластин в 1,8 – 2,1 раза по сравнению с покрытием TiN.

2.1.1. Вопросы, выносимые на практическое занятие:

- характер разрушения износостойкого покрытия в процессе непрерывного резания;
- механизм влияния износостойкого покрытия на развитие очагов изнашивания быстрорежущего и твердосплавного инструмента в условиях непрерывного резания;
- требования, предъявляемые к износостойким покрытиям, работающим в условиях непрерывного резания, и функциональные свойства отдельных слоев многослойного покрытия;

- работоспособность режущего инструмента с многослойными покрытиями в условиях непрерывного резания.

2.1.2. Исследовательская работа «Исследование влияния многослойных покрытий на работоспособность режущего инструмента при токарной обработке». Работа выполняется на ЭВМ с использованием программы «Многослойные покрытия режущего инструмента, работающего в условиях непрерывного резания», подпрограмма «Работоспособность режущего инструмента».

Исследуется влияние многослойных покрытий TiN-TiCN, TiN-TiZrN, TiN-TiAlN, TiN-TiCN-TiZrN на работоспособность режущего инструмента в сравнении с однослойными TiN и TiCN при токарной обработке заготовок из сталей 5ХНМ и 12Х18Н10Т.

По результатам исследований строятся графики зависимостей периода стойкости инструмента от элементов режима резания и формулируются выводы об эффективности многослойных покрытий.

2.2. РАБОТОСПОСОБНОСТЬ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА С ИЗНОСОСТОЙКИМИ ПОКРЫТИЯМИ В УСЛОВИЯХ ПРЕРЫВИСТОГО РЕЗАНИЯ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Разрушение покрытий при прерывистом резании, например, при торцовом фрезеровании, также происходит в результате образования в них трещин. Причиной их появления являются переменные тепловые и силовые нагрузки, возникающие при чередовании рабочего и холостого ходов режущего инструмента [3]. Образование трещин вызвано высоким уровнем температур и эквивалентных напряжений, возникающих в режущем клине инструмента во время его рабочего хода. Циклическое изменение данных напряжений за время рабочего и холостого ходов вызывает усталостные явления, способствующие росту трещин как в сторону режущей кромки, так и в обратном направлении. Кроме того, росту трещин способствуют растягивающие напряжения в режущем клине инструмента, возникающие во время его холостого хода.

Изнашивание инструмента без покрытия начинается с образования продольных трещин (перпендикулярных режущей кромке) на середине площадки контакта на передней поверхности, которые растут в сторону режущей кромки и в дальнейшем выходят на заднюю поверхность. Одновременно происходит увеличение размеров лунки износа на передней поверхности и площадки износа на задней. По мере работы инструмента образуются трещины, параллельных режущей кромке. Ослабление режущего клина инструмента в результате образования сетки трещин и износа его по передней и задней поверхностям ведет к выкрашиванию отдельных объемов инструментального материала и в дальнейшем к выходу инструмента из строя в результате скола его режущей части.

Для режущего инструмента с одноэлементными покрытиями TiN износ на передней поверхности начинается с образования продольных трещин в материале покрытия на некотором удалении от режущей кромки (рис. 2.5). По мере дальнейшей его работы происходит образование продольных трещин в материале инструментальной основы, которые со временем выходят на режущую кромку и заднюю поверхность (аналогично продольным трещинам на контактной площадке по передней поверхности инструмента без покрытия). Дальнейшее увеличение времени работы инструмента не приводит к росту количества продольных трещин в инструментальной основе. В то же время на участке упругого контакта инструмента со стружкой в материале покрытия образуются

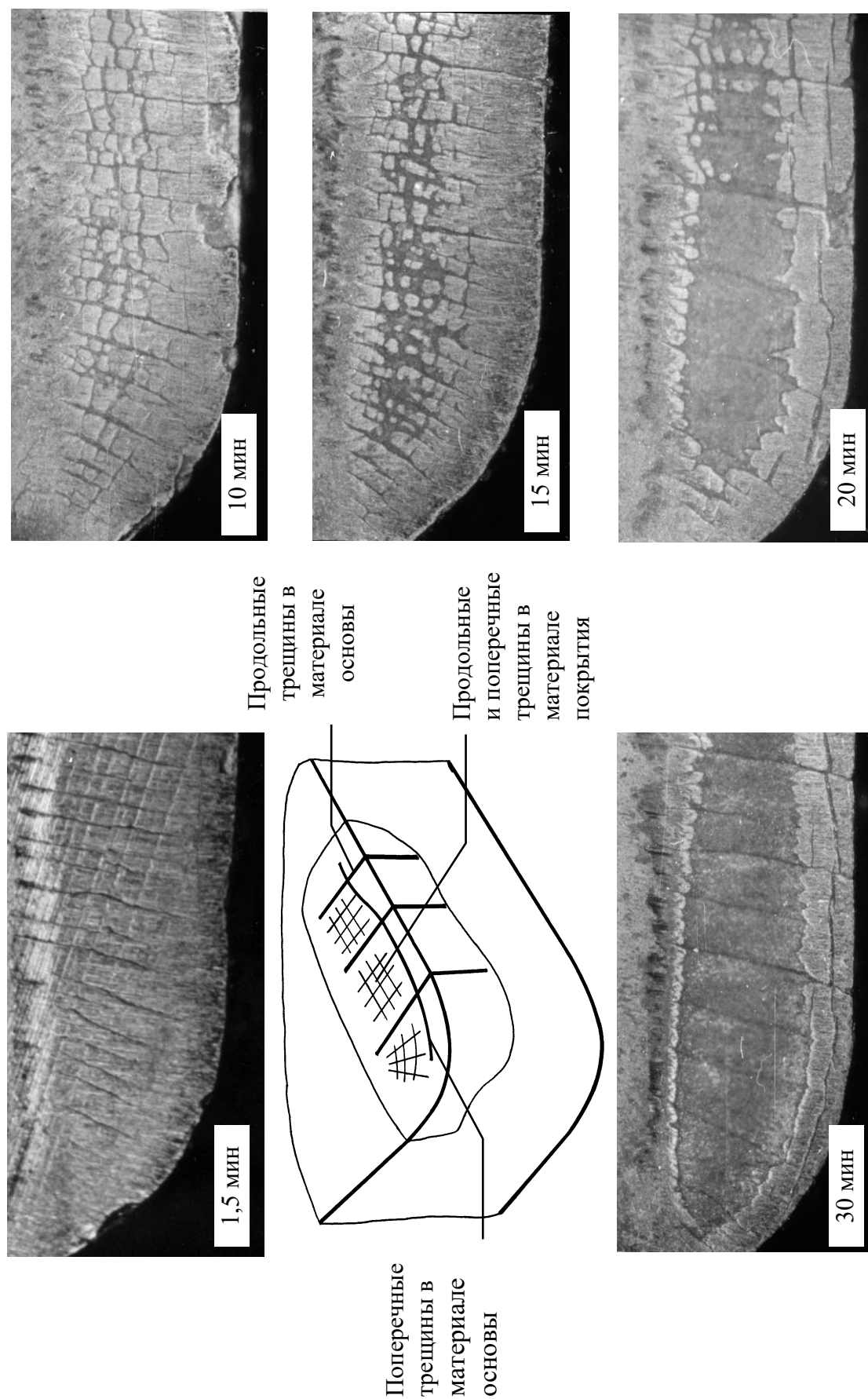


Рис. 2.5. Схема образования трещин и вид контактных площадок на передней поверхности торцовых фрез с покрытием TiN:
 сталь 5ХНМ; $V = 247$ м/мин; $t = 1,5$ мм; $B = 20$ мм

поперечные трещины (параллельные режущей кромке инструмента), в результате чего возникает сетка трещин. Это ослабляет отдельные объемы покрытия и способствует удалению их сходящей стружкой. Одновременно с образованием поперечных трещин в материале покрытия на передней поверхности инструмента возникают трещины в инструментальной основе вдоль режущей кромки, которые далее сливаются в единую трещину вдоль всей режущей кромки. Дальнейшее разрушение режущего инструмента с покрытием TiN происходит так же, как и инструмента без покрытия.

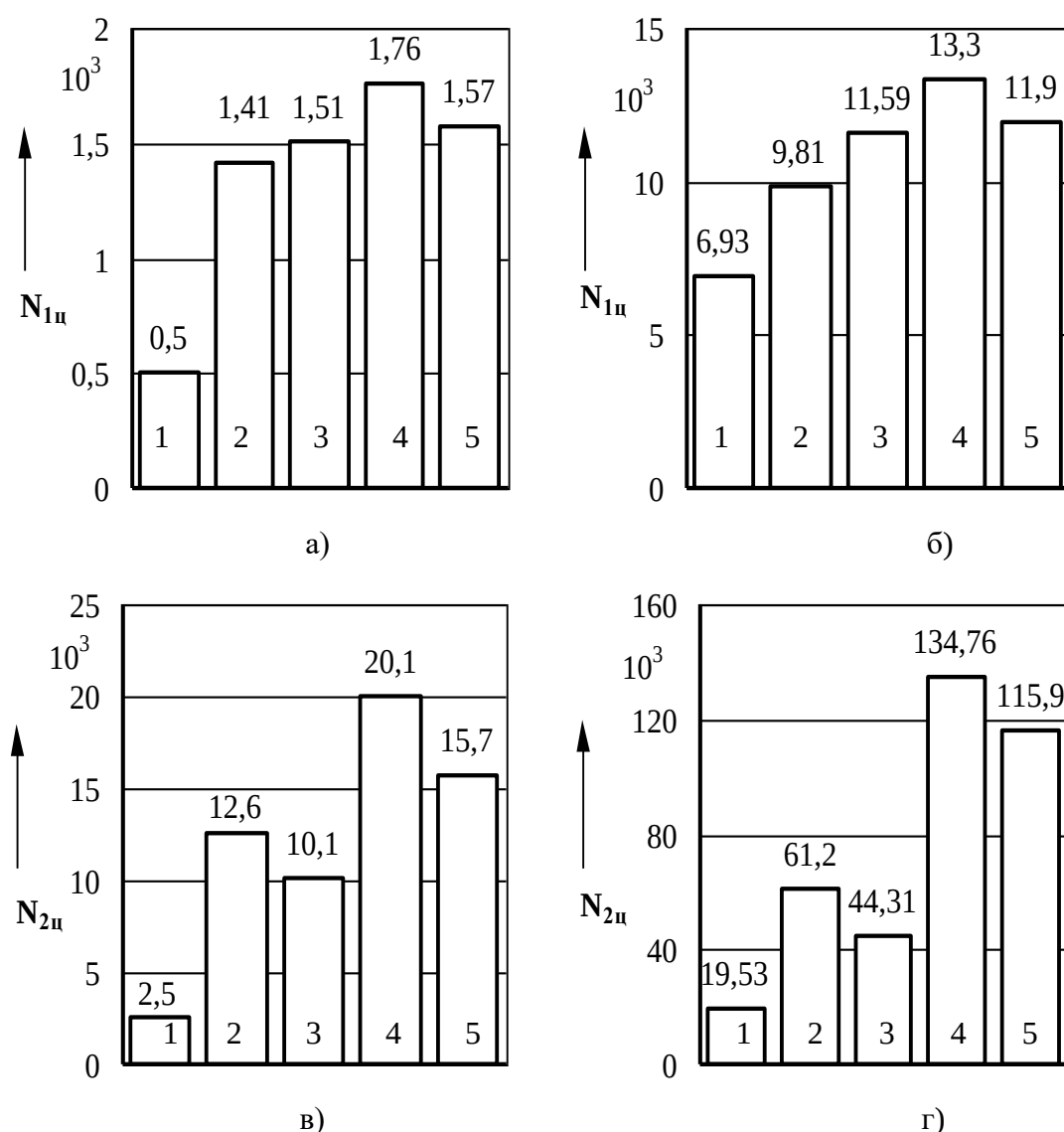


Рис. 2.6. Влияние состава покрытия на количество циклов работы инструмента до начала образования продольных трещин в инструментальной основе $N_{1ц}$ (а,б) и до выхода их на режущую кромку $N_{2ц}$ (в, г):

а, в – $V = 247$ м/мин, $S_z = 0,4$ мм/зуб; б, г – $V = 157$ м/мин,
 $S_z = 0,25$ мм/зуб; $t = 1,5$ мм, $B = 20$ мм;
 1 – МК8, 2 – TiN, 3 – TiCN, 4 – (Ti,Zr)N, 5 – (Ti,Zr)CN

Нанесение многоэлементных покрытий не изменяет характер изнашивания режущего инструмента, а динамика данного процесса, как и при непрерывном резании, определяется составом, толщиной покрытия и режимом резания. Для инструмента с многоэлементными покрытиями характерна меньшая интенсивность трещинообразования на контактной площадке по передней поверхности.

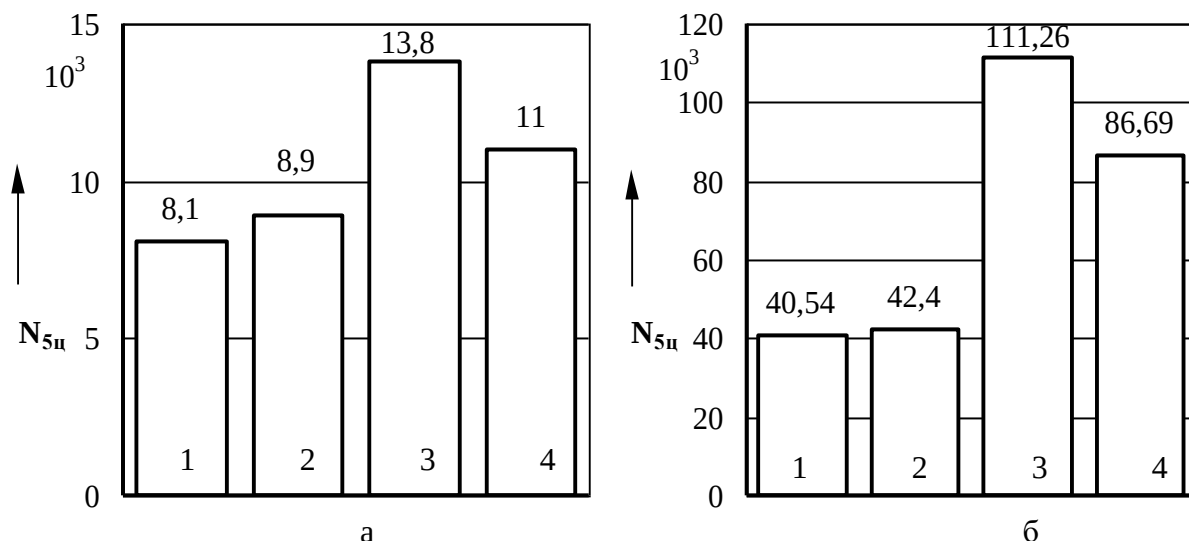


Рис. 2.7. Влияние состава покрытия на количество циклов работы инструмента до начала его разрушения $N_{5ц}$:

а – $V = 247$ м/мин, $S_z = 0,4$ мм/зуб; б – $V = 157$ м/мин, $S_z = 0,25$ мм/зуб; $t = 1,5$ мм, $B = 20$ мм; 1 – TiN, 2 – TiCN, 3 – (Ti,Zr)N, 4 – (Ti,Zr)CN

Нанесение покрытий существенно сдерживает процессы трещинообразования, увеличивая количество циклов работы инструмента до начала образования продольных трещин в инструментальной основе и до выхода их на режущую кромку (рис. 2.6).

Интенсивность процесса трещинообразования в самих покрытиях зависит от их состава. Наименьшее количество циклов работы инструмента до начала образования продольных и поперечных трещин в материале покрытия характерно для инструмента с одноэлементными покрытиями TiN. Нанесение одноэлементных карбонитридных покрытий и многоэлементных покрытий снижает интенсивность процесса трещинообразования благодаря их более высокой микротвердости, уровня сжимающих остаточных напряжений, наличию микроструктурности и формирования в них в процессе резания высоких сжимающих напряжений. По этим же причинам образование трещин в данных покрытиях происходит после возникновения продольных трещин в материале инструментальной основы, в то время как для инструмента с одноэлементным покрытием TiN первыми образуются трещины в самом покрытии. Более высокие механические

свойства многоэлементных покрытий и уровень сжимающих нормальных напряжений, действующих в них в процессе резания во время рабочего хода инструмента, увеличивают время его работы до начала разрушения покрытия по сравнению с одноэлементными покрытиями (рис. 2.7).

Износостойкие покрытия, предназначенные для условий прерывистого резания, должны отвечать следующим требованиям. Во-первых, с точки зрения теплового состояния режущего инструмента покрытие должно обеспечить возможно большее снижение температур как на его контактных площадках, так и в режущем клине и меньшую амплитуду их колебания за время рабочего и холостого ходов. Соблюдение такого требования позволит снизить эквивалентные напряжения в режущем клине и амплитуду их колебания, повысить количество циклов работы инструмента до образования и развития трещин как в режущем клине, так и в материале покрытия и, следовательно, долговечность покрытий на контактных площадках инструмента. Во-вторых, для сдерживания процессов трещинообразования в материале покрытия и режущем клине инструмента, покрытие должно иметь высокие адгезионно-прочностные свойства и высокий уровень остаточных сжимающих напряжений, способствующий формированию в нем и на его границе с инструментальной основой в процессе резания и во время холостого хода инструмента высоких сжимающих напряжений.

Сочетание указанных требований возможно реализовать только в покрытии многослойного типа, которые существенно повышают эффективность режущего инструмента в условиях прерывистого резания по сравнению с однослойными покрытиями.

Применение многослойных покрытий повышает период стойкости инструмента по сравнению с однослойными одно- и двухэлементными покрытиями TiN и (Ti,Zr)N. Например, при фрезеровании заготовок из стали 5ХНМ нанесение покрытий TiN-TiCN-TiN увеличивает период стойкости инструмента в 1,2 – 1,3 раза по сравнению с покрытием (Ti,Zr)N и в 1,6 – 1,9 раза по сравнению с TiN в 1,4 – 2,7 раза [3].

Применение многослойных покрытий повышенной трещиностойкости еще в большей степени увеличивает период стойкости инструмента. Так, при фрезеровании заготовок из стали 5ХНМ нанесение покрытий $\text{TiN}^{\text{КТР}}$ -TiZrN-TiN повышает период стойкости в 1,48 – 1,5 раза, TiCN-TiZrN-TiN в 1,53 – 1,64 раза, TiCN15%-TiZrN-TiN – в 1,58 – 1,68 раза по сравнению с двухслойным покрытием TiCN-TiN в зависимости от режима резания.

2.2.1. Вопросы, выносимые на практическое занятие:

- характер разрушения износостойкого покрытия в процессе прерывистого резания;
- механизм влияния износостойкого покрытия на развитие очагов изнашивания быстрорежущего и твердосплавного инструмента в условиях прерывистого резания;
- требования, предъявляемые к износостойким покрытиям, работающим в условиях прерывистого резания, и функциональные свойства отдельных слоев многослойного покрытия;
- работоспособность режущего инструмента с многослойными покрытиями в условиях прерывистого резания.

2.2.2. Исследовательская работа «Исследование влияния многослойных покрытий на работоспособность режущего инструмента при торцовом фрезеровании». Работа выполняется на ЭВМ с использованием программы «Многослойные покрытия режущего инструмента, работающего в условиях прерывистого резания», подпрограмма «Работоспособность режущего инструмента».

Исследования проводятся в два этапа. На первом этапе исследуется эффективность торцовых фрез с многослойными покрытиями TiN-TiCN-TiN и TiZrCN-TiZrN в сравнении с фрезами без покрытия и с однослойными покрытиями TiN и TiZrN при фрезеровании заготовок из сталей 5ХНМ и 12Х18Н10Т и титанового сплава ВТ22. На втором этапе оценивается эффективность торцовых фрез с трехслойными покрытиями повышенной трещиностойкости $TiN^{КТР}$ -TiZrN-TiN_{КТР}, TiCN-TiZrN-TiN, $TiCN^{15\%}$ -TiZrN-TiN_{КТР} в сравнении с фрезами, имеющими двухслойное покрытие при фрезеровании заготовок из стали 5ХНМ.

По результатам исследований строятся графики зависимостей периода стойкости инструмента от элементов режима резания и формулируются выводы об эффективности многослойных покрытий.

2.3. РАБОТОСПОСОБНОСТЬ БЫСТРОРЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА С ИЗНОСОСТОЙКИМИ ПОКРЫТИЯМИ С ПЕРЕХОДНЫМИ АДГЕЗИОННЫМИ СЛОЯМИ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Высокие остаточные сжимающие напряжения, возникающие в износостойких покрытиях после нанесения их на режущий инструмент, способствуют снижению интенсивности процессов их разрушения в процессе резания. С другой стороны, наличие перепада напряжений на границе покрытия с инструментальной основой отрицательно сказывается на прочности их сцепления. Снизить перепад напряжений и, следовательно, повысить прочность адгезионной связи износостойкого покрытия с основой инструмента можно за счет нанесения между ними переходных адгезионных слоев [1, 5]. Более высокая прочность сцепления может быть получена при нанесении переходных слоев, в состав которых входят элементы покрытия и инструментальной основы. Применительно к быстрорежущей инструментальной основе такими элементами могут быть кобальт, вольфрам, титан, тантал, железо, ванадий, хром, молибден.

В качестве переходных адгезионных слоев могут быть использованы чистые металлы, нитриды данных металлов или их сочетание.

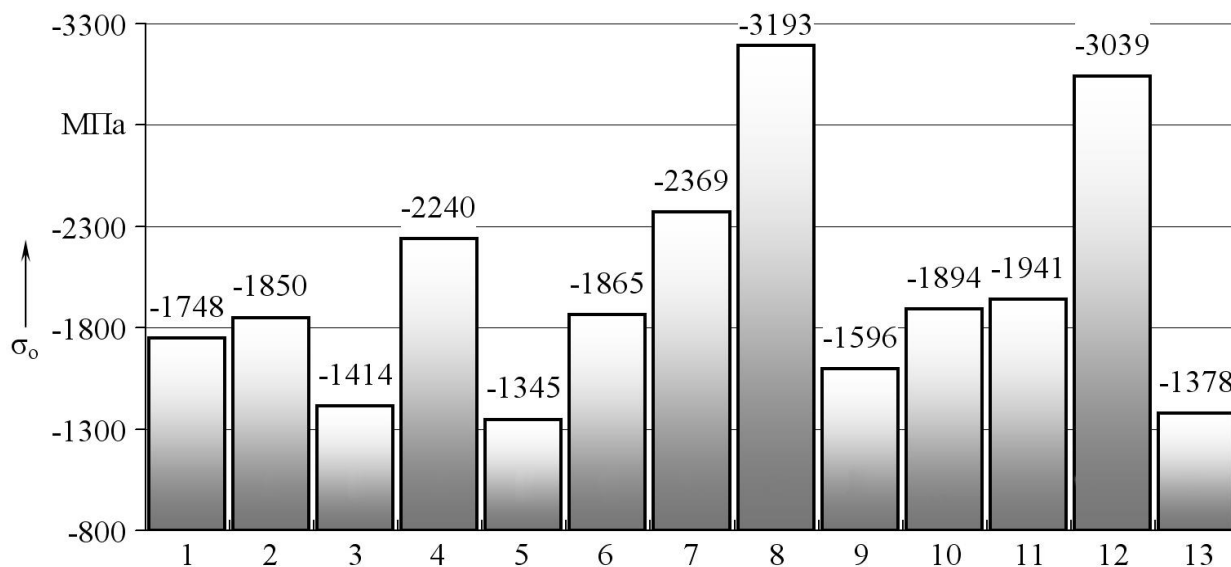


Рис. 2.8. Расчетная величина остаточных напряжений в покрытии:

- 1 – TiN; 2 – (Ti-Cr)-TiN; 3 – (Ti-Zr)-TiN; 4 – (Ti-Mo)-TiN; 5 – (Ti-Fe)-TiN;
6 – TiCrN-TiN; 7 – TiZrN-TiN; 8 – TiMoN-TiN; 9 – TiFeN-TiN; 10 – (Ti-Cr)-TiCrN-TiN;
11 – (Ti-Zr)-TiZrN-TiN; 12 – (Ti-Mo)-TiMoN-TiN; 13 – (Ti-Fe)-TiFeN-TiN

На рис. 2.8 представлены результаты расчета остаточных напряжений в покрытиях на основе TiN с различными переходными адгезионными слоями. Как видно, наименьшие остаточные напряжения характерны для покрытий с переходными слоями на основе титана и железа. Применение таких переходных слоев снижает остаточные напряжения на 23 %, на основе их нитрида – на 9 %, а при их сочетании – на 21 % по сравнению с однослойным покрытием TiN. Использование переходных слоев на основе тугоплавких металлов увеличивает остаточные напряжения, при этом наибольшее повышение имеет место при использовании титана и молибдена. Таким образом, в качестве переходных адгезионных слоев при нанесении покрытий на быстрорежущую основу следует использовать слои на основе титана и железа.

Нанесение переходных слоев практически не отражается на структурных параметрах покрытия – периоде кристаллической решетки и полуширине рентгеновской линии, но способствует снижению остаточных напряжений, величина которых существенно зависит от химического состава и толщины переходного адгезионного слоя.

Нанесение переходных адгезионных слоев из чистых металлов практически не влияет на микротвердость покрытий. Использование переходных слоев на основе сложных нитридов, микротвердость которых больше верхнего слоя покрытия, вызывает небольшое ее повышение.

Снижение остаточных напряжений при нанесении переходных слоев способствует повышению прочности сцепления покрытия с инструментальной основой.

Изменяя конструкцию многослойного покрытия с переходными адгезионными слоями можно направленно подбирать необходимые свойства покрытия, обеспечивающие наибольшее снижение интенсивности износа режущего инструмента.

Более высокая работоспособность режущего инструмента с многослойными покрытиями, имеющими переходные адгезионные слои, по сравнению с инструментом с однослойным покрытием, объясняется снижением остаточных напряжений в покрытии и повышением прочности их сцепления с инструментальной основой. Кроме того, снижению интенсивности износа инструмента также способствуют более высокая микротвердость переходных слоев на основе сложных нитридов и наличие в покрытии дополнительных границ, повышающих его трещиностойкость.

Применение многослойных покрытий с переходными слоями существенно повышает период стойкости быстрорежущего инструмента по сравнению с

однослойными покрытиями. Например, при обработке заготовок из сталей 30ХГСА и 12Х18Н10Т нанесение многослойных покрытий с переходным слоем TiFeN повышает период стойкости инструмента в 1,4 – 1,9 раза по сравнению с покрытием TiN в зависимости от режима резания. Использование сочетания переходных слоев Ti-Fe и TiFeN увеличивает период стойкости в 2,0 – 3,0 раза. Большее повышение периода стойкости инструмента достигается при использовании многослойных покрытий с верхним слоем TiZrN: в 2,6 – 4,2 раза и в 1,3 – 1,9 раза соответственно по сравнению с однослойными покрытиями TiN и TiZrN в зависимости от условий обработки.

2.2.1. Вопросы, выносимые на практическое занятие:

- механизм влияния состава переходного адгезионного слоя на изнашивание быстрорежущего инструмента;
- конструкции износостойких покрытий с переходными адгезионными слоями, механические свойства покрытий;
- работоспособность быстрорежущего инструмента с износостойкими покрытиями с переходными адгезионными слоями.

2.2.2. Исследовательская работа «Исследование влияния износостойких покрытий с переходными адгезионными слоями на работоспособность быстрорежущего инструмента». Работа выполняется на ЭВМ с использованием программы «Износостойкие покрытия режущего инструмента с переходными адгезионными слоями», подпрограмма «Работоспособность режущего инструмента».

Исследуется влияние износостойких покрытий TiFeN-TiN, (Ti-Fe)-TiFeN-TiN, (Ti-Zr-Fe)-TiZrFeN-TiZrN на работоспособность быстрорежущего инструмента в сравнении с однослойными TiN и TiZrN при токарной обработке заготовок из сталей 5ХНМ и 12Х18Н10Т.

По результатам исследований строятся графики зависимостей периода стойкости инструмента от элементов режима резания и формулируются выводы об эффективности многослойных покрытий.

2.4. РАБОТОСПОСОБНОСТЬ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА С МНОГОЭЛЕМЕНТНЫМИ ПОКРЫТИЯМИ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО НИТРИДА ТИТАНА

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Основным механизмом изменения физико-механических свойств износостойких покрытий является упрочнение растворенными атомами, так как покрытия конструируются на базе концентрированных твердых растворов или химических соединений. Изменяя состав твердого раствора, можно оптимизировать его физико-механические характеристики за счет изменения типа химической связи. Кроме того, примесные атомы сильно снижают подвижность дислокаций и повышают стабильность дислокационной структуры (т.е. замедляют протекание процессов возврата и рекристаллизации) и следовательно могут обеспечить стабильность структуры конденсата, т.е. предотвращать или замедлять процессы старения.

Модифицирование твердых растворов за счет легирования материала покрытия технологически возможно по двум механизмам: первый это раствор замещения в подрешетке металлоида; процесс осуществляется за счет направленного изменения состава газовой среды в камере и наличия в ней остаточных газов, при этом образовывается соединение по типу MeX_1X_2 , второй механизм это раствор замещения в подрешетке металла; процесс осуществляется за счет направленного «подпыления» различных элементов. В этом случае образовывается соединение по типу Me_1Me_2X . Возможно, также протекание обоих механизмов одновременно с образованием сложных соединений.

Твердорастворное упрочнение материала покрытия по второму механизму имеет значительно более широкие возможности [5]. Все легирующие элементы в этом случае подразделяются на две большие группы: элементы, образующие соединения с неограниченной растворимостью, и элементы, образующие соединения с ограниченной растворимостью или не взаимодействующие между собой. При легировании твердого раствора TiN к элементам первой группы относятся Zr, Mo, Cr, V, Ta, Nb, Hf. Они также как нитрид титана образуют нитриды с ГЦК решеткой, обладают высокой твердостью и износостойкостью. В силу их взаимной неограниченной растворимости с нитридом титана состав покрытия можно регулировать в широких пределах и тем самым подбирать его свойства. Среди нитридообразующих элементов второй группы выделяют Al, Fe, Si, B. Ограниченная взаимная растворимость таких нитридов, а

также наличие тройных соединений позволяет предположить, что в покрытиях на основе нитрида титана, легированного элементами второй группы, кроме механизма твердорастворного упрочнения возможно действие механизма дисперсионного упрочнения.

Варьируя содержание легирующего элемента в покрытии можно направленно изменять его параметры структуры и физико-механические свойства.

2.1. Физико-механические свойства износостойких покрытий на основе нитрида титана

Покрытие	Содержание легирующего элемента, % мас.	Микротвердость H_{μ} , ГПа	Остаточные сжимающие напряжения σ_0 , МПа	Коэффициент отслоения, K_0
TiN	-	29,16	775	1,07
TiZrN	15,63	38,65	1256	1,32
TiAlN	17,55	38,39	902	0,91
TiMoN	13,99	34,92	1073	1,93
TiCrN	21,70	34,52	1490	1,46
TiFeN	0,85	33,20	697	0,82
TiSiN	1,25	36,45	1069	1,49

Примечание: инструментальный материал – МК8

2.2. Влияние состава многоэлементных покрытий на физико-механические свойства

№ п/п	Покрытие	Модуль Юнга E , ГПа	Микротвердость H_{μ} , ГПа	Предел текучести σ_t , ГПа	Коэффициент интенсивности напряжений $K_{1СП}$, МПа·м ^{1/2}
1	TiAlN	369	41,40	12,26	14,77
2	TiAlZrN	419	49,31	14,29	15,72
6	TiAlSiN	442	50,56	14,59	16,92
7	TiSiN	350	37,39	11,17	14,46
8	TiSiAlN	418	46,54	13,57	16,29
9	TiSiZrN	403	44,64	13,09	15,53
10	TiZrN	379	41,91	12,38	14,44
11	TiZrAlN	428	50,03	14,47	16,18
12	TiZrSiN	423	47,87	13,91	15,79

В табл. 2.1 представлены данные по механическим свойствам двухэлементных покрытий на основе нитрида титана. Легированные покрытия имеют более высокую микротвердость по сравнению с покрытием TiN, обусловленную упрочнением материала покрытия. Легирование покрытия TiN молибде-

ном, цирконием, хромом и кремнием повышает остаточные сжимающие напряжения и снижает прочность сцепления с инструментальной основой. Легирование покрытия TiN алюминием и железом ведет к снижению остаточных сжимающих напряжений и повышению прочности сцепления покрытия и инструментальной основы.

Аналогичные закономерности наблюдаются и при легировании двухэлементных покрытий (табл. 2.2 и рис. 2.9).

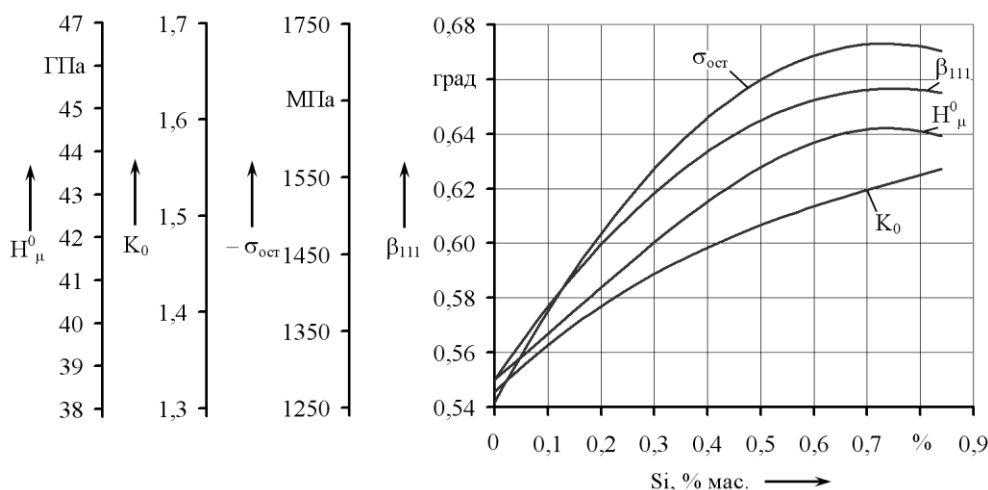


Рис. 2.9. Влияние содержания второго легирующего элемента (Si) на полуширину рентгеновской линии β_{111} , остаточные сжимающие напряжения $\sigma_{ост}$, микротвердость H^0_μ и коэффициент отслоения K_0 покрытия TiZrSiN [4]

Например, легирование покрытий TiMeN железом и алюминием повышает прочность их сцепления с инструментальной основой о чем свидетельствует снижение коэффициента отслоения K_0 , все остальные легирующие элементы повышают его величину. Введение легирующих элементов в покрытие (Ti,Me₁)N ведет к росту его механических свойств. Так, увеличение содержания кремния в покрытии (Ti,Zr,Si)N повышает полуширину рентгеновской линии, свидетельствующей о микродеформации кристаллической решетки покрытия, величину остаточных сжимающих напряжений, микротвердость и снижает прочность сцепления покрытия с инструментальной основой (повышает коэффициент отслоения покрытия) (рис. 2.9). Аналогично повышение алюминия в покрытии (Ti,Zr,Al)N вызывает рост модуля Юнга, твердости по Майеру, предела текучести и вязкости разрушения покрытия.

Легирование двухэлементных покрытий приводит к изменению величины остаточных сжимающих напряжений. Снижение остаточных напряжений наблюдается при легировании данных покрытий железом, остальные легирующие элементы их повышают.

Более высокие механические свойства трехэлементных покрытий повышают циклическую трещиностойкость, что приводит к снижению интенсивности износа режущего инструмента.

Применение трехэлементных покрытий в зависимости от условий резания и состава покрытий позволяет повысить период стойкости режущего инструмента при обработке заготовок из конструкционных материалов в 1,25 – 2,2 раза по сравнению с двухэлементными покрытиями и в 3,2 – 5,5 раза по сравнению с покрытием TiN.

2.2.1. Вопросы, выносимые на практическое занятие:

- механизм упрочнения материала износостойкого покрытия при его легировании;
- механизм влияния состава износостойкого покрытия (легирование одним и двумя элементами) на функциональные параметры процесса резания и изнашивания режущего инструмента;
- работоспособность режущего инструмента с многоэлементными покрытиями на основе модифицированного нитрида титана.

2.2.2. Исследовательская работа «Исследование влияния износостойких покрытий на основе модифицированного нитрида титана на работоспособность режущего инструмента». Работа выполняется на ЭВМ с использованием программы «Многоэлементные износостойкие покрытия режущего инструмента на основе модифицированного нитрида титана», подпрограмма «Работоспособность режущего инструмента».

Исследуется влияние износостойких покрытий TiSiCrN, TiSiZrN, TiSiAlN, TiZrSiN, TiZrAlN, TiAlSiN и TiAlSiN на работоспособность твердосплавного и быстрорежущего инструмента в сравнении с однослойными TiN, TiSiN, TiAlN и TiZrN при токарной обработке заготовок из сталей 30ХГСА и 12Х18Н10Т.

По результатам исследований строятся графики зависимостей периода стойкости инструмента от элементов режима резания и формулируются выводы об эффективности многоэлементных покрытий.

2.5. РАБОТОСПОСОБНОСТЬ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА С МНОГОСЛОЙНЫМИ ПОКРЫТИЯМИ В УСЛОВИЯХ СТЕСНЕННОГО РЕЗАНИЯ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Нарезание резьбы по профильной схеме резания резцами с твердосплавными пластинами является одним из самых высокопроизводительных способов, причем с ухудшением обрабатываемости материала его относительная производительность все более возрастает. Не смотря на всю простоту и достоинства данного метода формообразования резьбы, он имеет ряд принципиальных особенностей.

К особенностям процесса нарезания резьбы резцами можно отнести:

- а) срезание стружки тонкими слоями, толщина которых в некоторых случаях измеряется сотыми долями миллиметра;
- б) участие в работе одновременно двух (при нарезании остроугольной резьбы) или трех (при нарезании ходовых трапецеидальных и прямоугольных резьбы) режущих кромок, значительно усложняющих процесс стружкообразования, что приводит к стесненности процесса резания;
- в) значительное тепловыделение в местах пересечения кромок;
- г) затрудненный отвод стружки из зоны резания;
- д) затрудненный подвод СОЖ.

На рис. 2.10 и 2.11 представлены фотография, вид поперечного сечения стружки при профильной и генераторной схемах резания и схема формирования поперечного сечения стружки при нарезании резьбы по профильной схеме резания. Как видно, поперечное сечение стружки при нарезании резьбы по профильной схеме резания имеет вид трапеции: от прохода к проходу толщина стружки a и ширина с внешней ее стороны остаются постоянными, а ширина у её основания увеличивается из-за роста ширины срезаемого слоя. Внешнее проявление стесненности процесса резания, связанной с деформацией стружки, сходящей одновременно от двух режущих кромок, хорошо видно из фотографии на рис. 2.10, в. Стесненность процесса резания, связанная с деформацией стружки, сходящей одновременно от двух режущих кромок, способствует повышению сил резания, температуры, что в конечном итоге ведет к износу резьбового инструмента.

Нанесение покрытий уменьшает контактные характеристики процесса резания: полную длину контакта стружки с передней поверхностью, коэффициент

укорочения стружки, составляющие усилия резания. В то же время, влияние покрытий на указанные параметры процесса резания в условиях стесненного резания меньше, чем при обычной токарной обработке. Нанесение покрытий уменьшает долю деформационной и силовой нагрузок, обусловленных стесненностью процесса резания, при этом в наибольшей степени это характерно для резцов с трехэлементным покрытием по сравнению с одноэлементными.

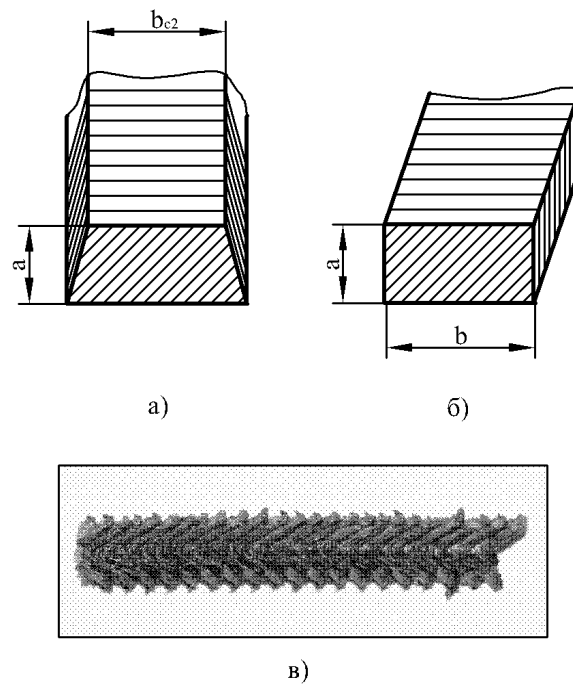


Рис. 2.10. Форма (а, б) и фотография стружки при нарезании резьбы токарным резьбовым резцом:

а, в – профильная схема, б – генераторная схема

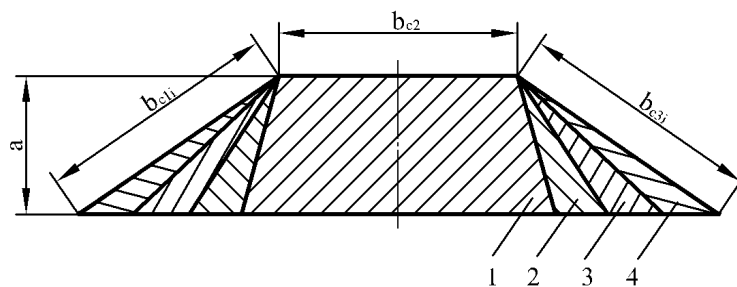


Рис. 2.11. Поперечное сечение стружки при профильной схеме нарезания резьбы:

1, 2, 3, 4 – соответственно 1, 2, 3, 4 проходы токарного резьбового резца

Стесненность процесса стружкообразования при профильной схеме нарезания резьбы проявляется в изменении микротвердости стружки по ее ширине в

направлении к вершине резбового резца (рис. 2.12). Как следует из рис. 2.12, большая величина микротвердости и интенсивность её роста по направлению к вершине резца характерны для профильной схемы резания. Микротвердость стружки при нарезании резьбы по профильной схеме больше по сравнению с генераторной на 10...30 % в зависимости от ширины стружки, что свидетельствует о более тяжелых условиях стружкообразования.

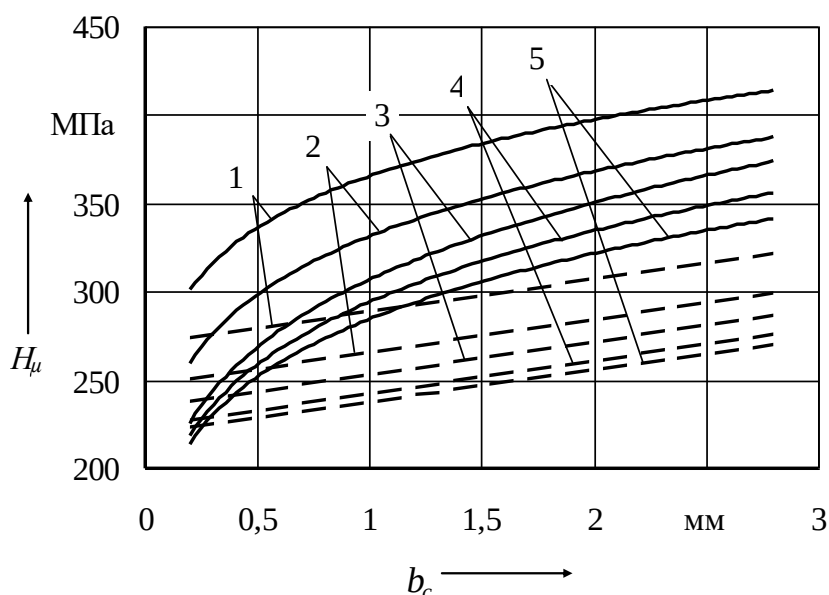


Рис. 2.12. Распределение микротвердости H_{μ} стружки по её ширине b_c при нарезании резьбы на заготовке из стали 38ХГН по профильной (сплошная линия) и генераторной (штриховая линия) схемам:

1 – без покрытия; 2 – TiN; 3 – TiCrN; 4 – TiCrAlN; 5 – TiCrZrN;

Скорость резания $V = 120$ м/мин, шаг резьбы $P = 3$ мм

Нанесение износостойких покрытий приводит к уменьшению микротвердости стружки H_{μ} , что свидетельствует о меньшей степени её деформации вследствие меньшей силовой нагрузки на режущий клин. При этом влияние покрытий на снижение микротвердости для различных схем резания не одинаково. При нарезании резьбы по генераторной схеме влияние покрытий на микротвердость по всей ширине стружки примерно одинаковое. При профильной схеме нарезания резьбы меньшее снижение микротвердости при нанесении покрытий наблюдается у вершины резца, а наибольшее – на противоположной стороне стружки. Таким образом, по мере удаления от вершины резца влияние покрытий возрастает. Полученные результаты говорят о том, что в наиболее стесненных участках зоны стружкообразования покрытие в меньшей степени влияет на процесс деформации стружки.

Нанесение износостойких покрытий изменяет длину контакта стружки по передней поверхности инструмента C_γ рис. 2.13. Максимальная длина контакта наблюдается у инструмента без покрытия при нарезании резьбы, как по профильной, так и по генераторной схемам резания. При нарезании резьбы по генераторной схеме нанесение покрытий способствует снижению величины C_γ в 1,47 – 1,88 раза, в зависимости от их состава. При переходе от одноэлементного к многоэлементным покрытиям длина контакта постепенно увеличивается на 13...28 %. При этом максимальная длина стружки по передней поверхности имеет место для резьбовых резцов с трехэлементными покрытиями. Сравнение схем резания показывает, что для резьбовых резцов без покрытия работающих по генераторной схеме резания длина контакта больше на 10%, для резьбовых резцов с покрытием TiN больше на 4 %, а для многоэлементных покрытий $TiCrN$, $TiCrAlN$ и $TiCrZrN$ больше на 13...20 %.

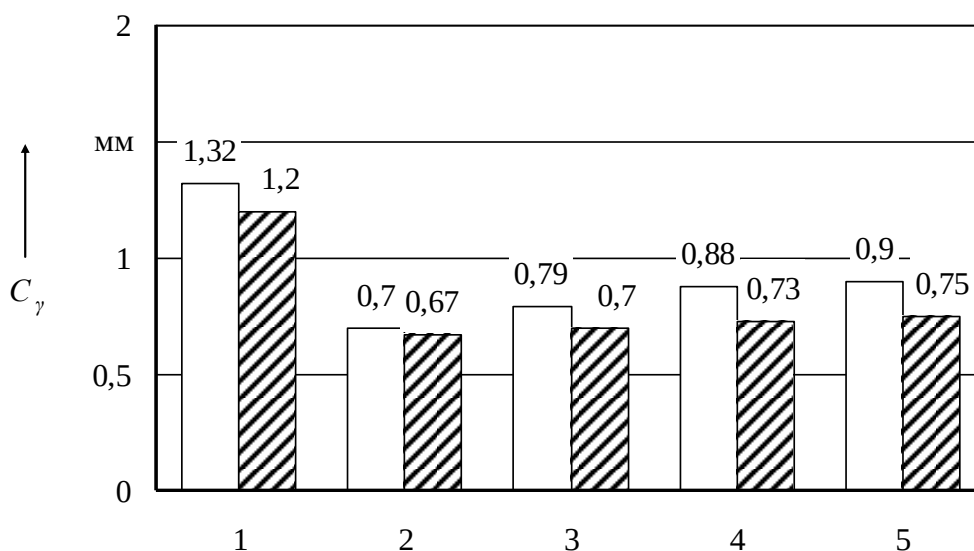


Рис. 2.13. Влияние покрытий на длину контакта стружки по передней поверхности C_γ при нарезании резьбы по профильной и генераторной схемам резания:

1 – без покрытия; 2 – TiN ; 3 – $TiCrN$; 4 – $TiCrAlN$; 5 – $TiCrZrN$
 – генераторная схема резания; – профильная схема резания

Нанесение покрытий снижает коэффициент укорочения стружки K_L (рис. 2.14). Как видно из данных рис. 5, при нарезании резьбы по генераторной схеме резания коэффициент укорочения стружки для резцов с покрытиями уменьшается на 7...16 %, в зависимости от состава покрытия. При этом, при переходе от одноэлементного покрытия TiN к многоэлементным $TiCrAlN$ и $TiCrZrN$ наблюдается небольшой рост величины K_L , равный 3...9 %. При профильной схемы нарезания резьбы нанесение покрытий снижает коэффициент

укорочения стружки на 5...16 %, в зависимости от состава покрытия, по сравнению с инструментом без покрытия. Применение многоэлементных покрытий повышает величину K_L на 2...11 %, по сравнению с покрытием TiN . Для профильной схемы резания характерно большее значение коэффициента укорочения стружки по сравнению с генераторной схемой в среднем на 25 %.

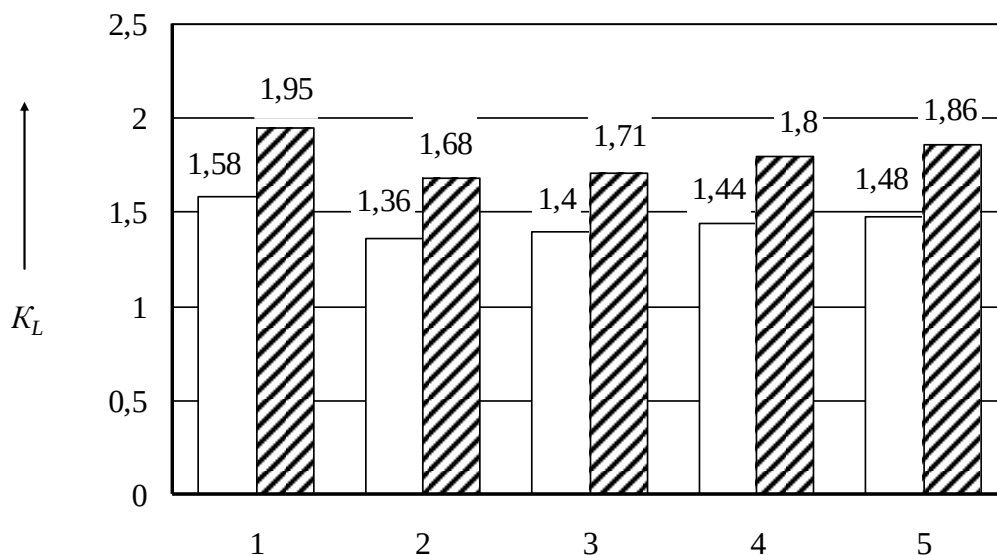


Рис. 2.14. Влияние покрытий на коэффициент укорочения стружки K_L при нарезании резьбы по профильной и генераторной схемам резания:

1 – без покрытия; 2 – TiN ; 3 – $TiCrN$; 4 – $TiCrAlN$; 5 – $TiCrZrN$

□ – генераторная схема резания; ▨ – профильная схема резания

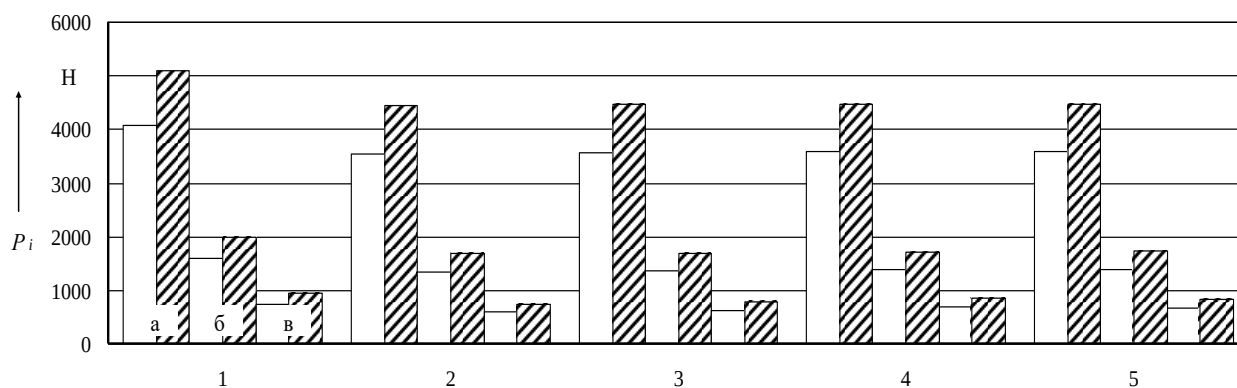


Рис. 2.15. Влияние покрытий на силы резания при нарезании резьбы по профильной и генераторной схемам резания:

1 – без покрытия; 2 – TiN ; 3 – $TiCrN$; 4 – $TiCrAlN$; 5 – $TiCrZrN$;

а, б, в – составляющие силы резания P_z , P_y , P_x соответственно

□ – генераторная схема резания; ▨ – профильная схема резания

Нанесение покрытий снижает составляющие усилия резания (рис. 2.15). Максимальное снижение составляющих силы резания вызывает нанесение одноэлементных покрытий (17 – 25 % в зависимости от схемы нарезания). При переходе от одноэлементного покрытия к многоэлементным наблюдается незначительный рост составляющих силы резания в среднем на 2...5 %.

Снижение составляющих силы резания и изменение длины контакта стружки с передней поверхностью при нанесении покрытий отражается на величинах контактных нагрузок и напряжений.

При нарезании резьбы по профильной схеме резания нанесение покрытия *TiN* ведет к повышению средних нормальных нагрузок q_N в 1,48 раза и нормальных напряжений σ_N в 1,66 раза по сравнению с резцами без покрытия. Большая длина контакта стружки по передней поверхности C_γ , характерная для резцов с покрытиями *TiCrN*, *TiCrAlN* и *TiCrZrN*, по сравнению с одноэлементным покрытием *TiN*, способствует снижению значений q_N и σ_N на 11 %, 20 % и 21 % соответственно для величины q_N и на 4 %, 8,5 % и 11 % соответственно для величины σ_N . Аналогичное влияние покрытий на величины σ_N , τ_F , q_N и q_F наблюдается при нарезании резьбы по генераторной схеме резания.

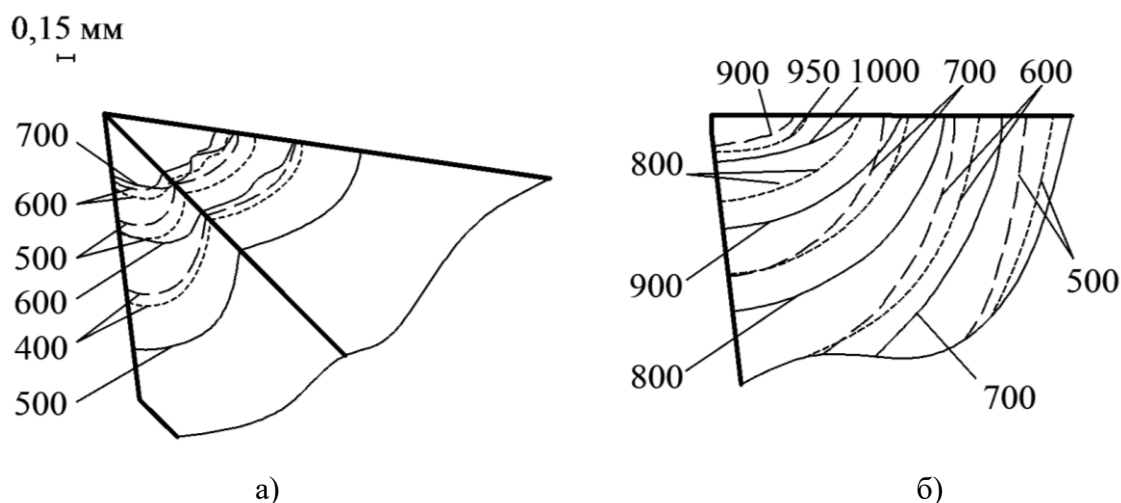


Рис. 2.16. Влияние покрытий на распределение температурных полей (°C) на контактных площадках (а) и в главной секущей плоскости (б) резьбового резца без покрытия (сплошная линия), с покрытием *TiN* («длинный» пунктир) и с покрытием *TiCrZrN* («короткий» пунктир)

Нанесение покрытий позволяет снизить температуру на контактных площадках и в режущем клине резьбового резца (рис. 2.16). Наибольшее снижение температуры наблюдается при нарезании резьбы резцом с покрытием *TiN*, при этом изотермы температуры из-за уменьшения длины контакта стружки с пе-

редней поверхностью резца смещаются в сторону задней поверхности. Применение многоэлементных покрытий приводит к меньшему снижению максимальной температуры, но большая длина контакта стружки для резцов с данными покрытиями по сравнению с покрытием TiN способствует смещению изотерм температуры в направлении от режущей кромки и задней поверхности, тем самым снижая тепловую напряженность режущего клина. Режущая кромка при нарезании резьбы по генераторной схеме находится в более благоприятных тепловых условиях по сравнению с профильной схемой резания. Нанесение покрытия TiN снижает температуру на режущей кромке в 1,15 – 1,34 раза в зависимости от расстояния рассматриваемой точки на режущей кромке до вершины инструмента. Для резцов с однослойными многоэлементными покрытиями $TiCrN$ и $TiCrZrN$ характерно небольшое повышение температуры.

Оценка теплового баланса процесса нарезания резьбы резцами показывает, что при нанесении покрытий независимо от схемы резания происходит перераспределение количества теплоты, выделяющейся в зоне резания, между инструментом, стружкой и заготовкой. Уменьшение коэффициента укорочения стружки K_L и полной длины контакта стружки C_γ при нанесении покрытий приводит к увеличению скорости перемещения стружки относительно режущего инструмента и уменьшению площади контакта. В результате доля теплоты, уходящей в стружку, увеличивается, а в инструмент и заготовку – уменьшается. Большая площадь контакта стружки с передней поверхности резца и меньшая скорость перемещения стружки по передней поверхности вследствие большего коэффициента укорочения стружки при профильной схеме резания способствуют большему поступлению теплоты в инструмент по сравнению с генераторной схемой.

Более высокие силовые нагрузки, характерные для профильной схемы резания, вызывают и более высокие напряжения в режущем клине и на передней поверхности резьбовых резцов по сравнению с генераторной схемой. При переходе от профильной схемы нарезания резьбы к генераторной схеме напряжения в режущем клине уменьшаются на 16...17 %. Независимо от схемы нарезания резьбы уменьшение сил резания при использовании покрытия TiN снижает напряжения в режущем клине инструмента, а снижение длины контакта C_γ сдвигает изобары напряжений к режущей кромке. Нанесение многоэлементных покрытий $TiCrN$ и $TiCrZrN$ по сравнению с покрытием TiN способствует уменьшению напряжений и смещению изобар напряжений в сторону от задней поверхности и режущих кромок инструмента.

Анализ результатов по влиянию покрытий на контактные процессы, тепловое и напряженное состояний токарных резбовых резцов, работающих в условиях стесненного резания, позволяет сформулировать следующие требования: во-первых, для повышения формоустойчивости режущего клина токарного резбового резца покрытие должно обеспечить максимальное снижение напряжений возникающих в режущем клине и на передней поверхности резца; во-вторых, для формирования в покрытии в процессе резания высоких нормальных сжимающих напряжений, снижающих интенсивность процесса трещинообразования, покрытие должно иметь высокий уровень остаточных сжимающих напряжений; в-третьих, для снижения теплонапряженности вершины резца покрытие должно обеспечить максимальный теплоотвод в тело резца; в-четвертых, покрытие должно иметь высокую прочность сцепления покрытия с инструментальной основой.

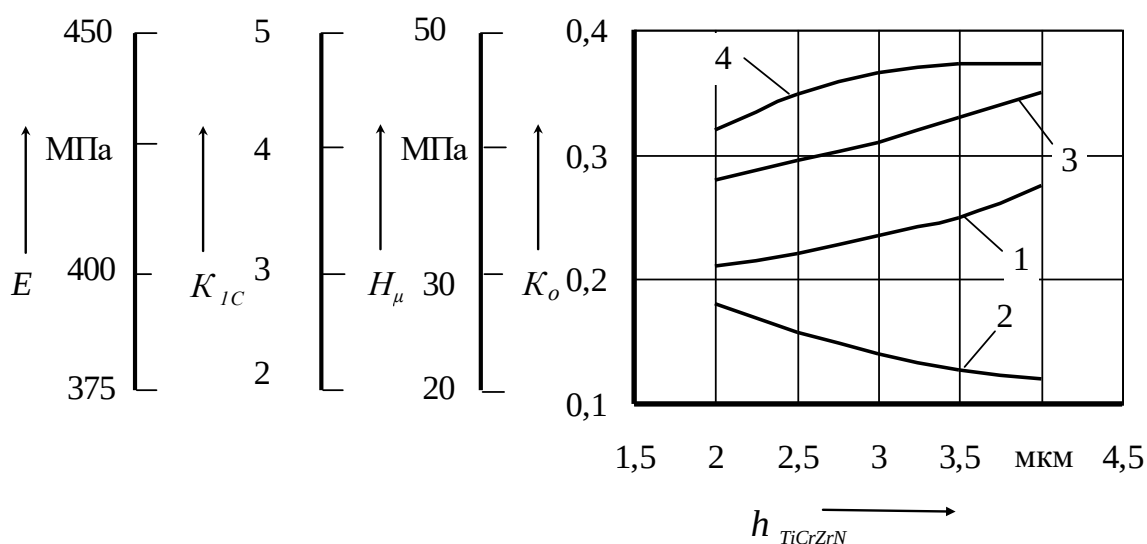


Рис. 2.17. Влияние толщины верхнего слоя $TiCrZrN$ покрытия на микротвердость H_{μ} (1), коэффициент отслоения K_o (2), модуль Юнга E (3) и коэффициент интенсивности напряжений K_{IC} (4) многослойного покрытия $TiCrN - TiCrZrN$ общей толщиной 6 мкм

В соответствие с этим многослойное покрытие для режущего инструмента, работающего в стесненных условиях резания, должно иметь минимум два слоя. Верхний слой должен способствовать максимальному снижению напряжений в режущем клине для повышения его формоустойчивости, обеспечивать снижение теплонапряженности вершины резца и иметь высокие остаточные сжимающие напряжения для обеспечения в покрытии в процессе резания высо-

ких нормальных сжимающих напряжений, снижающих интенсивность процесса трещинообразования, а нижний слой должен обеспечить высокую прочность сцепления покрытия с инструментальной основой.

В качестве верхнего слоя многослойного покрытия можно рекомендовать трехэлементные нитридные покрытия, например, $TiCrAlN$ и $TiCrZrN$. Данные покрытия имеют высокий уровень сжимающих остаточных напряжений, способствующих формированию в них в процессе резания высоких нормальных сжимающих напряжений, и обеспечивают наилучшее тепловое и напряженное состояние режущего клина инструмента. В качестве нижнего слоя многослойного покрытия для выполнения четвертого требования можно рекомендовать покрытия TiN и $TiCrN$, которые имеют большую прочность сцепления с инструментальной основой по сравнению с трехэлементными покрытиями.

Многослойные покрытия по сравнению с однослойными имеют более высокие механические свойства (микротвердость, модуль Юнга и др.). Конструкция многослойных покрытий оказывает влияние на его структурные параметры и механические свойства. Наибольшее влияние конструкция многослойного покрытия оказывает на остаточные напряжения, которые возрастают с ростом толщины верхнего слоя и уменьшаются с увеличением общей толщины многослойного покрытия. Механические свойства многослойного покрытия (микротвердость, модуль Юнга, коэффициент интенсивности напряжений) возрастают с увеличением толщины верхнего слоя, прочность сцепления многослойного покрытия с инструментальной основой повышается с уменьшением толщины нижнего слоя и снижается с ростом общей толщины покрытия (рис. 2.17).

Применение многослойных покрытий при нарезании резьбы на заготовках из конструкционных сталей повышает период стойкости резьбовых резцов в 2,4 – 4,6 раза по сравнению с резьбовым резцом без покрытия и в 2,5 – 3,0 раза – с покрытием TiN .

2.2.1. Вопросы, выносимые на практическое занятие:

- особенности процесса стружкообразования и оценка «стесненности» процесса резания при нарезании резьбы по различным схемам;
- влияние покрытий на контактные характеристики, тепловое и напряженное состояние резьбового резца и его изнашивание при различных схемах нарезания резьбы;

- требования, предъявляемые к износостойким покрытиям, работающим в условиях стесненного резания, и функциональные свойства отдельных слоев многослойного покрытия;
- работоспособность токарных резьбовых резцов с многоэлементными покрытиями.

2.2.2. Исследовательская работа «Исследование влияния многослойных покрытий на работоспособность токарных резьбовых резцов». Работа выполняется на ЭВМ с использованием программы «Многослойные покрытия режущего инструмента, работающего в условиях стесненного резания», подпрограммы «Работоспособность режущего инструмента».

Исследуется влияние износостойких покрытий TiCrN-TiCrAlN и TiCrN-TiCrAlN на работоспособность токарных резьбовых резцов при нарезании резьбы на заготовках из стали 38ХГН и 12Х18Н10Т.

По результатам исследований строятся графики зависимостей периода стойкости инструмента от элементов режима резания и формулируются выводы об эффективности многоэлементных покрытий.

2.6. РАБОТОСПОСОБНОСТЬ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА С ИЗНОСОСТОЙКИМИ ПОКРЫТИЯМИ ПОСЛЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Эффективность режущего инструмента с покрытиями может быть повышена путем воздействия на покрытие дополнительной поверхностной упрочняющей обработки. Дополнительная упрочняющая обработка изменяет механические свойства покрытия, что в свою очередь оказывает влияние на работоспособность режущего инструмента [1].

В качестве дополнительной упрочняющей обработки может быть использована импульсная лазерная обработка.

Лазерная обработка может предшествовать нанесению покрытий, а также осуществляться после нанесения. Предварительная лазерная обработка позволяет повысить сопротивляемость режущего клина инструмента упруго-пластическим прогибам и его способность сохранять свою форму. Лазерная обработка после нанесения покрытия обеспечивает дополнительное повышение его микротвердости, прочности адгезионной связи с инструментальной основой, а также способствует образованию мелкозернистой структуры, которая существенно повышает устойчивость покрытия к процессам трещинообразования.

Импульсная лазерная обработка контактных площадок режущего инструмента с покрытием изменяет его структурные параметры.

Снижается период кристаллической решетки a , что свидетельствует о получении структуры более плотного кристаллического строения и объясняется перестройкой структуры материала покрытия под воздействием лазерного излучения. Более значительное снижение периода решетки наблюдается для одноэлементных покрытий TiN и менее значительное – для многоэлементных покрытий.

Рост плотности мощности импульсной лазерной обработки ведет к искажению кристаллической решетки и разориентации микрообъемов покрытий, что вызывает увеличение полуширины рентгеновской линии β_{111} . В то же время снижаются параметр текстуры J_{111}/J_{200} и величина остаточных напряжений σ_0 .

Изменение текстуры, вызванное преимущественно уменьшением интенсивности линии [111] TiN, связано с разориентацией кристаллических плоскостей материала покрытия при воздействии на него лазерного излучения, а сни-

жение остаточных напряжений – их релаксацией на границе покрытия с инструментальной основой в результате высокоскоростного лазерного нагрева и охлаждения.

Более высокий уровень остаточных напряжений в многоэлементных покрытиях определяет большую интенсивность их снижения при лазерном воздействии по сравнению с одноэлементными покрытиями. Изменение структурных параметров под воздействием импульсного лазерного излучения покрытий, нанесенных на твердосплавную основу, менее значительно по сравнению с покрытиями, нанесенными на быстрорежущую основу. Это связано с тем, что при лазерной обработке инструмента из твердого сплава материал основы не претерпевает значимых изменений. В случае быстрорежущей стали лазерное воздействие приводит к трансформации кристаллической структуры как покрытия, так и поверхностных слоев материала основы.

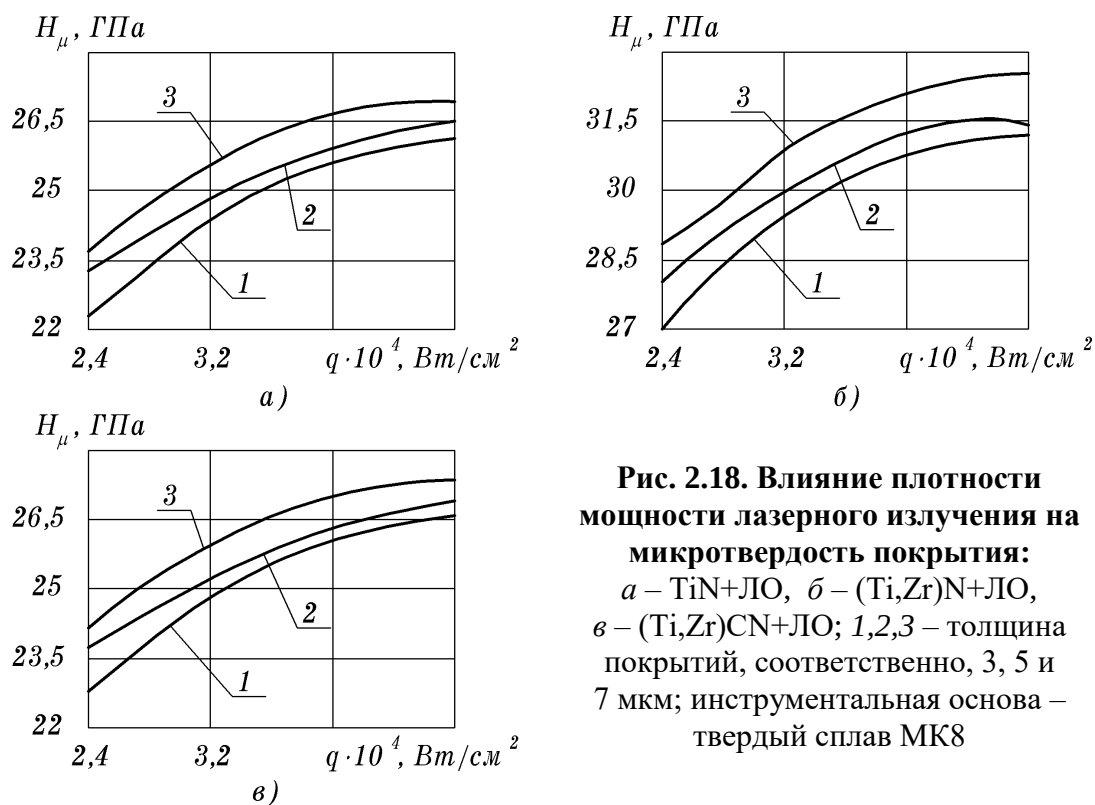


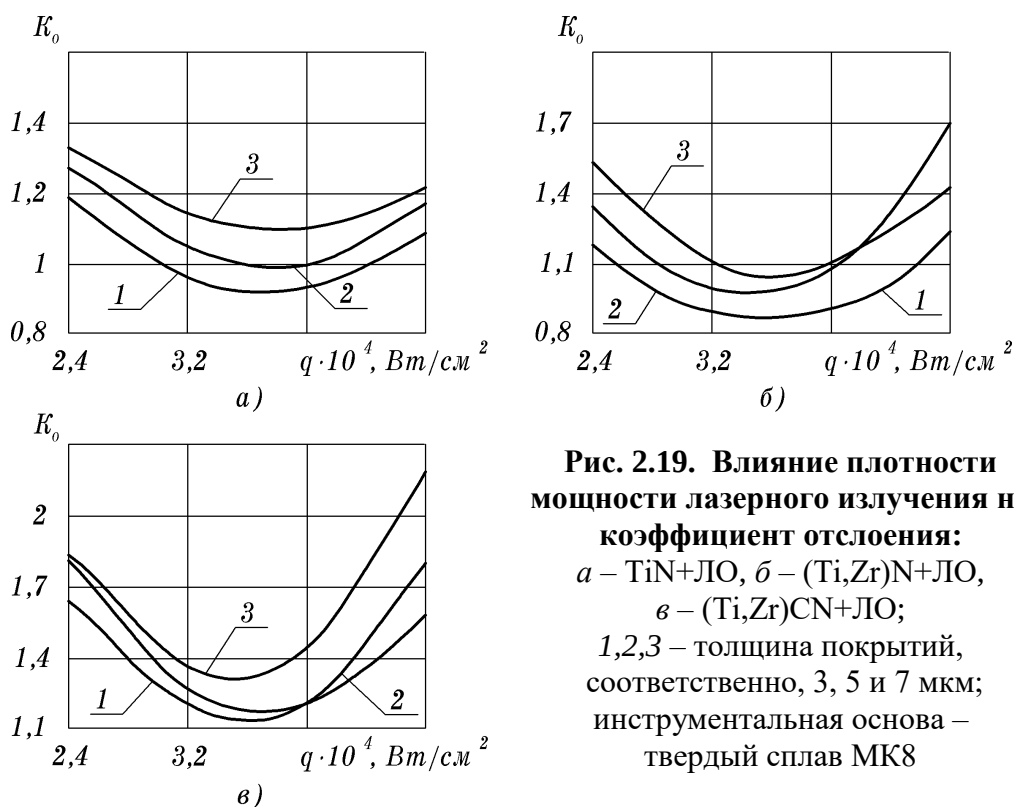
Рис. 2.18. Влияние плотности мощности лазерного излучения на микротвердость покрытия:
 а – TiN+ЛО, б – (Ti,Zr)N+ЛО, в – (Ti,Zr)CN+ЛО; 1,2,3 – толщина покрытий, соответственно, 3, 5 и 7 мкм; инструментальная основа – твердый сплав МК8

Изменение параметров структуры покрытий после импульсной лазерной обработки находит свое отражение в изменении их физико-механических свойств.

Микротвердость H_μ покрытий, нанесенных как на твердосплавную, так и быстрорежущую основу, увеличивается на 10...16 % в зависимости от его со-

става (рис. 2.18; на данном и других рисунках и в таблицах введено обозначение ЛО – лазерная обработка). Снижение темпа роста микротвердости покрытия по мере увеличения плотности мощности лазерного излучения связано с появлением микротрещин в объеме твердосплавной основы.

С ростом плотности мощности лазерного излучения прочность сцепления покрытия с инструментальной основой вначале повышается (коэффициент отслоения K_0 снижается), что объясняется релаксацией макронапряжений на границе раздела «покрытие – инструментальная основа», а затем снижается (рис. 2.19). Увеличение коэффициента отслоения после некоторого значения плотности мощности лазерного излучения для быстрорежущего инструмента связано с оплавлением инструментальной основы и снижением ее твердости, а для твердого сплава – с интенсивным трещинообразованием в его объеме.



Повышение микротвердости покрытий и прочности их сцепления с инструментальной основой после импульсной лазерной обработки способствуют снижению интенсивности износа режущего инструмента. Как видно из рис. 2.20, поверхности, характеризующие интенсивность изнашивания от плотности мощности лазерного излучения, имеют минимум, координаты которого определяют режимы комбинированной упрочняющей обработки, обеспечивающие минимальную интенсивность изнашивания контактных площадок инструмента.

С ростом плотности мощности лазерного излучения до определенного значения, интенсивность износа инструмента снижается, что объясняется ростом микротвердости покрытий и повышением прочности адгезионной связи с инструментальной основой. Дальнейшее повышение плотности мощности лазерного излучения ведет к увеличению интенсивности износа, что связано с повышением коэффициента отслоения покрытия, а для быстрорежущей стали дополнительно и со снижением микротвердости инструментальной основы.

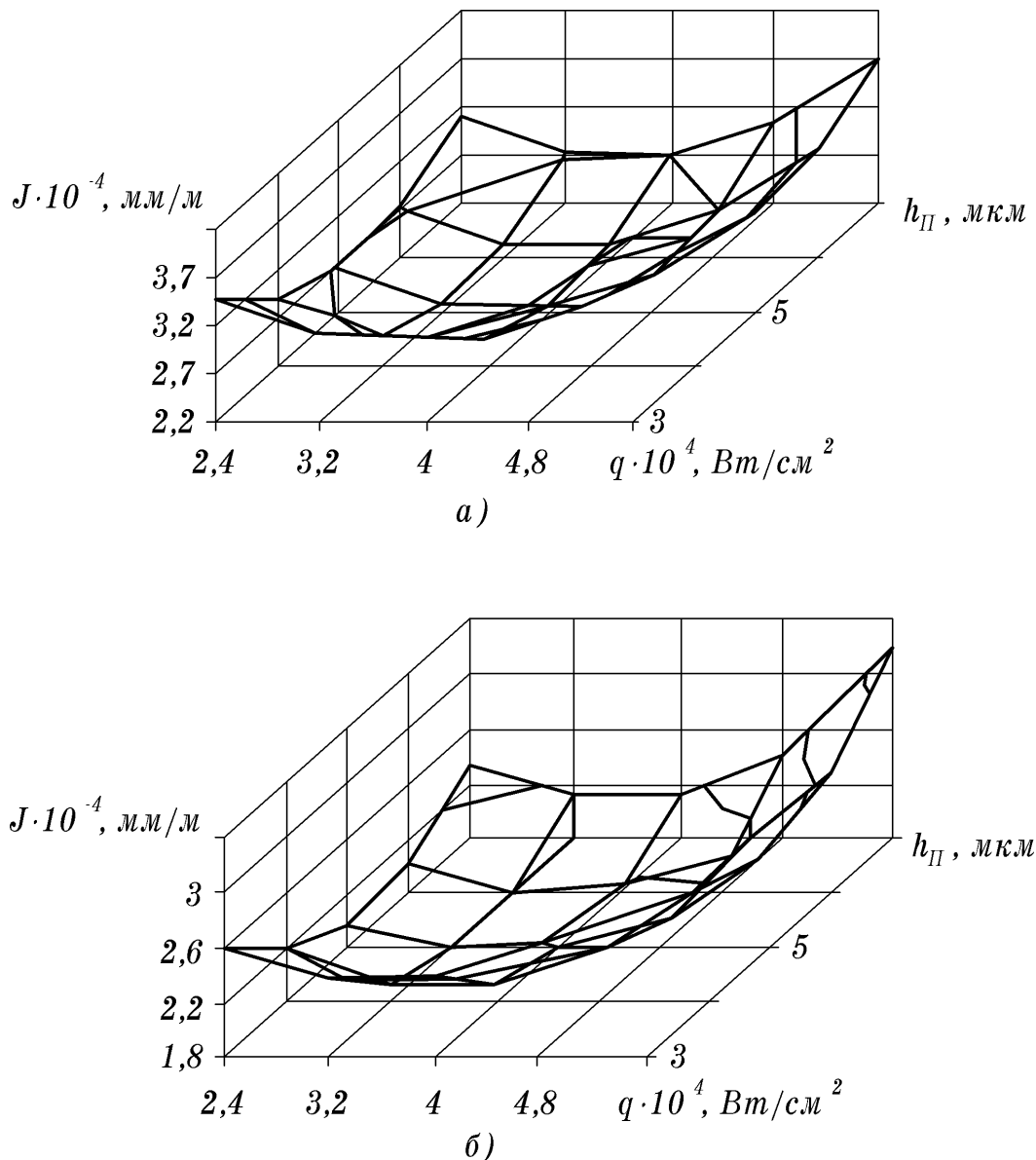


Рис. 2.20. Зависимости интенсивности изнашивания (J) твердосплавных пластин МК8 от плотности мощности лазерного излучения (q), состава и толщины покрытия (h_{II}) при точении стали 30ХГСА:
а – TiN+ЛО; б – (Ti,Zr)N+ЛО; $V = 170$ м/мин, $s = 0,15$ мм/об, $t = 0,5$ мм

Плотность мощности лазерного излучения, при которой наблюдается минимум интенсивности износа режущего инструмента после импульсного лазерного излучения, зависит от состава покрытия. Интенсивность износа режущего инструмента с покрытиями после импульсной лазерной обработки снижается в 1,5 – 1,9 раза в зависимости от состава покрытия и обрабатываемого материала.

Импульсная лазерная обработка оказывает существенное влияние на характеристики контактных процессов, а степень ее влияния определяется составом покрытия, инструментальным и обрабатываемым материалами и режимами резания.

Повышение микротвердости покрытия после импульсной лазерной обработки способствует снижению на 10...16 % длины контакта стружки с передней поверхностью, коэффициента укорочения стружки и составляющих силы резания (табл. 2.3).

2.3. Контактные характеристики процесса резания при точении стали 30ХГСА

№	Инструментальный материал	C_γ , мм	K_L	ω , град	β , град	μ	N , Н	F , Н	q_N , МПа	q_F , МПа
1	МК8	1,2	2,31	42,1	24,4	0,739	747	554	431	319
2	МК8+TiN	0,8	1,85	37,7	29,3	0,622	635	395	551	343
3	МК8+TiN+ЛО	0,69	1,62	36,9	31,6	0,602	632	365	637	368
4	МК8+(Ti,Zr)N	0,91	2,01	39,6	27,2	0,688	648	420	494	320
5	МК8+(Ti,Zr)N+ЛО	0,81	1,82	38,2	28,7	0,632	630	397	540	340
6	МК8+(Ti,Zr)CN	0,86	2,15	38,4	26,5	0,611	697	428	563	346
7	МК8+(Ti,Zr)CN+ЛО	0,77	2,04	36,3	28,6	0,583	661	395	596	357

Примечание: $V=55$ м/мин; $S=0,3$ мм/об; $t=1$ мм для инструмента с основой из стали Р6М5К5, $V=170$ м/мин; $S=0,3$ мм/об; $t=1$ мм для инструмента с основой из твердого сплава МК8

Изменение контактных характеристик приводит к перераспределению нормальных и касательных нагрузок и напряжений на передней поверхности режущего инструмента. Нормальные и касательные контактные напряжения (рис. 2.21.) на передней поверхности инструмента возрастают несмотря на уменьшение составляющих сил резания. Этому способствует более интенсивное снижение длины контакта стружки с передней поверхностью по сравнению с уменьшением сил резания.

Снижение степени пластической деформации уменьшает количество теплоты деформации, а уменьшение длины контакта стружки с передней поверхностью и коэффициента укорочения стружки увеличивают теплоту трения по передней поверхности. Количество теплоты, возникающей в результате трения

по задней поверхности инструмента и интенсивность данного источника, после импульсной лазерной обработки покрытия практически не изменяются. Снижение длины контакта стружки с передней поверхностью инструмента после импульсной лазерной обработки покрытия способствует некоторому увеличению интенсивности итогового теплового потока через его переднюю поверхность.

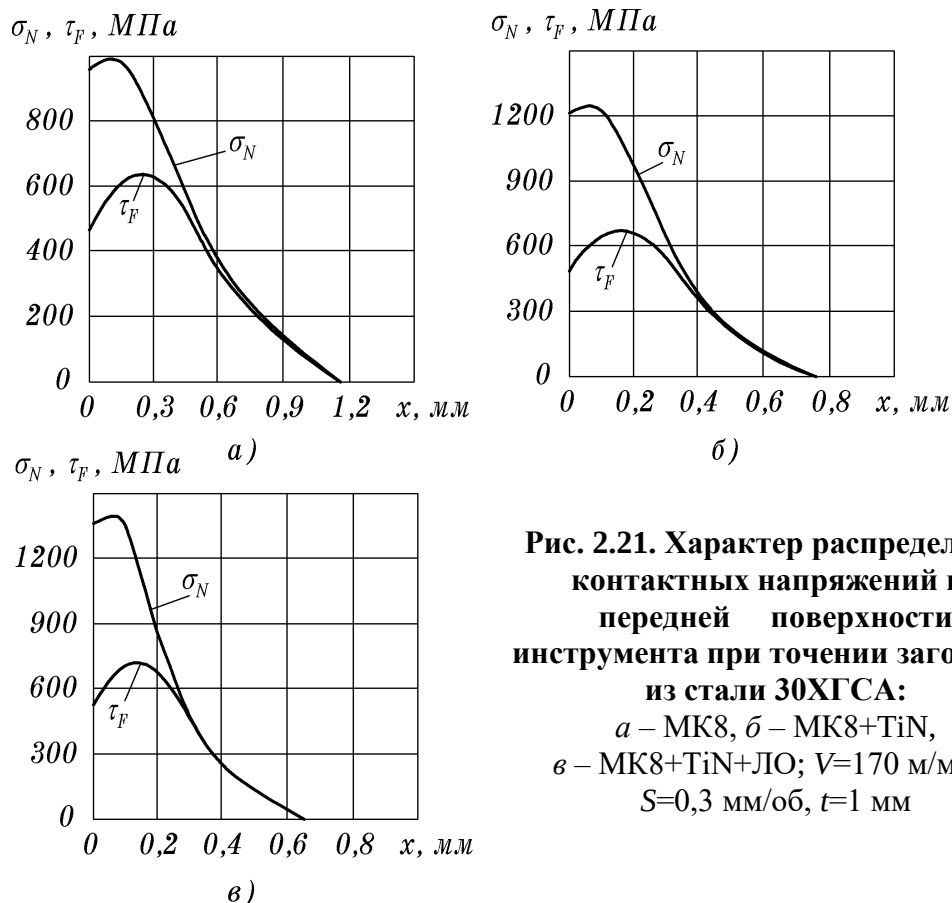


Рис. 2.21. Характер распределения контактных напряжений на передней поверхности инструмента при точении заготовок из стали 30XГСА:
а – МК8, б – МК8+TiN,
в – МК8+TiN+ЛО; $V=170$ м/мин,
 $S=0,3$ мм/об, $t=1$ мм

При этом интенсивность итогового теплового потока через заднюю поверхность инструмента уменьшается. Изменение мощностей тепловых источников и интенсивностей итоговых тепловых потоков способствуют снижению температур на передней T_{II} и задней T_3 поверхностях режущего инструмента и в зоне резания T_{3P} (табл. 2.4).

Трансформация контактных и тепловых процессов в результате проведения импульсной лазерной обработки оказывает существенное влияние на износ контактных площадок режущего инструмента, сдерживает процессы трещинообразования в покрытиях и сдвигает их начало в сторону большего времени работы инструмента. Характер износа контактных площадок режущего инструмента с покрытиями, прошедшими импульсную лазерную обработку, не отличается от инструмента с обычными покрытиями.

2.4. Влияние скорости резания на температуру при обработке стали 30ХГСА

Инструментальный материал	$T_{\text{л}}, ^\circ\text{C}$	$T_3, ^\circ\text{C}$	$T_{3\text{Р}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{л}}, ^\circ\text{C}$	$T_3, ^\circ\text{C}$	$T_{3\text{Р}}, ^\circ\text{C}$
	$V=100 \text{ м/мин}$			$V=140 \text{ м/мин}$		
МК8	1065	504	957	1180	560	1043
МК8+TiN	989	401	891	1128	437	953
МК8+TiN+ЛО	948	372	862	1062	411	896
МК8+(Ti,Zr)N	942	437	859	1155	472	955
МК8+(Ti,Zr)N+ЛО	928	409	841	1098	444	899
МК8+(Ti,Zr)CN	940	403	855	1160	447	923
МК8+(Ti,Zr)CN+ЛО	928	379	840	1102	420	870

Примечание: $S = 0,3 \text{ мм/об}$; $t = 1 \text{ мм}$.

В условиях чистовой и получистовой токарной обработке износ режущего инструмента по передней поверхности происходит без образования лунки и сопровождается опусканием вершины режущего клина инструмента. На задней поверхности образуется фаска износа, которая увеличивается по мере его работы.

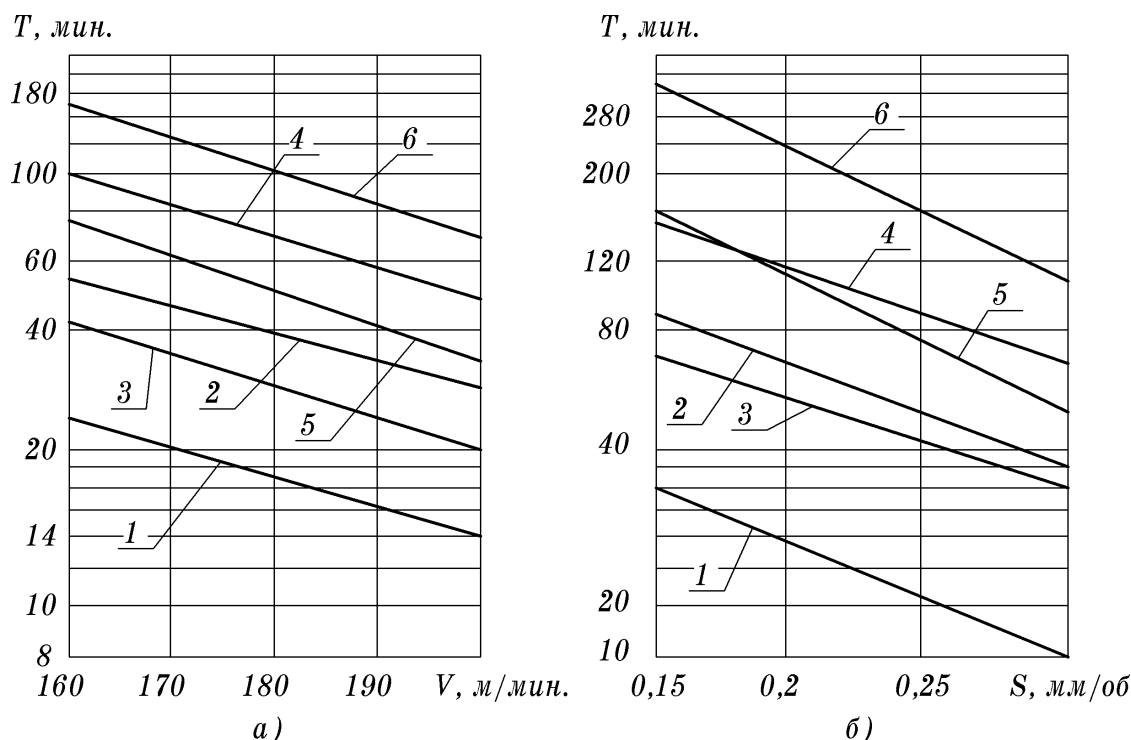


Рис. 2.22. Влияние скорости резания V (а) и подачи S (б) на период стойкости инструмента из твердого сплава МК8 при точении заготовок из стали 30ХГСА:

$a - S = 0,3 \text{ мм/об}$, $t = 0,5 \text{ мм}$; $б - V = 180 \text{ м/мин}$, $t = 0,5 \text{ мм}$; 1 – TiN, 2 – TiN+ЛО, 3 – (Ti,Zr)N, 4 – (Ti,Zr)N+ЛО, 5 – (Ti,Zr)CN, 6 – (Ti,Zr)CN+ЛО

Увеличение микротвердости покрытия и повышение прочности его сцепления с инструментальной основой после импульсной лазерной обработки, а для быстрорежущего инструмента дополнительно образование в инструментальной основе зоны лазерной закалки повышенной твердости, которая увеличивает сопротивляемость режущего клина упругопластическим деформациям, существенно снижает износ по задней поверхности и уменьшает величину опускания вершины режущего клина.

Применение импульсной лазерной обработки покрытий повышает период стойкости режущего инструмента в 1,5 – 3,2 раза в зависимости от состава покрытия и обрабатываемого материала (рис. 2.22).

В табл. 2.5 приведены данные об оптимальных параметрах комбинированной обработки, проводимой по двум различным вариантам – лазерная обработка перед нанесением покрытий (1) и нанесение покрытий и лазерная обработка (2).

Практика показывает, что наибольший эффект от применения комбинированной обработки достигается при эксплуатации инструмента на повышенных скоростях резания при чистовой и получистовой обработке заготовок из легированных и коррозионностойких сталей и сплавов на титановой основе.

3. Оптимальные условия комбинированной обработки различных инструментальных материалов

Материал основы	Материал покрытия	Вариант комбинированной обработки	Мощность излучения q , кВт/см ²	Толщина покрытия $h_{л}$, мкм
P6M5K5	TiN	1	36/36	4,5/4,0
		2	39/39	5,5/5,0
	(Ti,Zr)N	1	36/36	5,0/4,5
		2	38/37	6,0/5,0
	(Ti,Zr)CN	1	36/36	5,0/4,5
		2	37/36	5,5/5,0
MK8	TiN	2	34/33	6,0/5,0
	(Ti,Zr)N		32/32	6,0/5,5
	(Ti,Zr)CN		32/31	6,0/5,0

Примечание. В числителе дробей приведены значения параметров при обработке стали 30ХГСА, в знаменателе - при обработке стали 12Х18Н10Т

Существенным недостатком, ограничивающим производственное применение рассмотренного комбинированного упрочнения, является то, что для его реализации необходимо использовать две различные технологические установки, что существенно увеличивает стоимость и продолжительность процесса.

2.2.1. Вопросы, выносимые на практическое занятие:

- механизм влияния импульсного лазерного излучения на структурные параметры и механические свойства износостойкого покрытия;
- механизм влияния импульсного лазерного излучения на контактные характеристики процесса резания, тепловое состояние режущего инструмента и его изнашивание;
- работоспособность режущего инструмента с износостойкими покрытиями после воздействия на него дополнительного импульсного лазерного излучения.

2.2.2. Исследовательская работа «Исследование влияния импульсного лазерного излучения износостойких покрытий на работоспособность режущего инструмента». Работа выполняется на ЭВМ с использованием программы «Дополнительная упрочняющая обработка режущего инструмента с износостойкими покрытиями», подпрограмма «Работоспособность режущего инструмента».

Исследуется влияние износостойких покрытий TiN, TiZrN и TiZrCN на работоспособность твердосплавного и быстрорежущего инструмента при токарной обработке заготовок из сталей 30ХГСА и 12Х18Н10Т.

По результатам исследований строятся графики зависимостей периода стойкости инструмента от элементов режима резания и формулируются выводы об эффективности многоэлементных покрытий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Табаков, В. П. Формирование износостойких ионно-плазменных покрытий режущего инструмента. – М.: Машиностроение, 2008. – 311 с.
2. Табаков В.П., Верещака А.С., Григорьев С.Н. Функциональные параметры процесса резания режущим инструментом с износостойкими покрытиями. – Ульяновск: УлГТУ, 2012. – 172 с.
3. Табаков В.П., Смирнов М.Ю., Циркин А.В. Работоспособность торцовых фрез с многослойными износостойкими покрытиями. – Ульяновск: УлГТУ, 2005. – 151 с.
4. Табаков В.П., Чихранов А.В. Износостойкие покрытия режущего инструмента, работающего в условиях непрерывного резания. – Ульяновск : УлГТУ, 2007. – 255 с.
5. Григорьев С.Н., Табаков В.П., Волосова М.А. Технологические методы повышения износостойкости контактных площадок режущего инструмента. – Старый Оскол: ТНТ, 2011. – 380 с.

Учебное издание

ТАБАКОВ Владимир Петрович
САГИТОВ Дамир Ильдарович

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ И ИЗНАШИВАНИЯ РЕЖУЩЕГО ИН-
СТРУМЕНТА С ИЗНОСОСТОЙКИМИ ПОКРЫТИЯМИ

Сборник лабораторных и практических работ

Учебное пособие

Редактор О.С. Бычкова

Подписано в печать 02.05.2007. Формат 60×84/16.

Усл. печ. л. 1,63. Тираж 50 экз. Заказ

Ульяновский государственный технический университет
432027, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, д. 32.

Типография УлГТУ, 432027, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, д. 32.