

5. Верещака А.А. и др. Патент РФ № 2198243. Многослойно-композиционное износостойкое покрытие. 10.02. 2003 с приоритетом от 05.08.1998. 12.
6. Holleck H. 1990. «Basic principles of specific application of ceramic materials as protective layers». Surface and coatings Tecnology, 43/44 245 – 258.
7. Верещака А.С., Верещака А.А. Тенденции совершенствования и методология создания функциональных покрытий для режущего инструмента. Современные технологии в машиностроении: Сб. науч. статей /Под редакцией А.И.Грабченко. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2007. с. 192-235. 14.
8. Lierat F, Vereschaka A.S. et al. DE Patent № 19733517A1. 04.02.1999.
9. Vereschaka A.S., Vereschaka A.A., Kirillov A.K. Ecologically friendly dry machining by cutting tool from layered composition ceramic with nano-scale multilayered coating. Key Engineering Materials 2012. Vol.496 pp.67-74.
10. Grigoriev S.N., Vereshchaka A.A., Vereshchaka A.S., Kutin F.F. Cutting tools made of layered composite ceramic with nano-scale multilayered coatings. CIRP Procedia 1 (2012) 318-323.

Высокоэффективные слоистые инструментальные материалы с нанодисперсными многослойными покрытиями широкой области применения

д.т.н. Максимов Ю.В., д.т.н. Верещака А.С., к.т.н. Верещака А.А., к.ф.-м.н. Бубликов Ю.И.,
Крючков К.В., Козлов А.А.
Университет машиностроения, МГТУ «Станкин»
8(495) 223-05-23, доб. 1353

Аннотация. В настоящей статье рассматривается разработка слоистого композиционного материала, включающего твердосплавный субстрат, керамический слой и нанодисперсное многослойное покрытие. Каждый элемент слоистого инструментального материала выполняет индивидуальные функции. Карбидный слой обеспечивает повышенную вязкость и прочность инструментального материала, керамический слой обеспечивает сопротивляемость материала окислению, коррозии и высокотемпературному разупрочнению при повышении температуры, нанодисперсное многослойное покрытие снижает термомеханические напряжения на передней поверхности инструмента и уменьшает поверхностные дефекты керамики.

Ключевые слова: слоистая композиционная керамика; многослойно-композиционное нанодисперсионное покрытие; фильтруемое катодное вакуумно-дуговое осаждение; обработка; стойкость инструмента

1. Введение

Одним из ключевых звеньев технологической системы резания является режущий инструмент. В процессе резания инструмент подвергается воздействию высоких термомеханических напряжений, особенно для таких продвинутых процессов, как сухое резание, высокоскоростная обработка, резание с большими сечениями среза, резание труднообрабатываемых материалов. Разработка новых высокотехнологичных процессов обработки требует применения адаптированного режущего инструмента.

Основными инструментальными материалами являются легированные углеродистые стали, быстрорежущие стали, твердые сплавы, сверхтвердые инструментальные материалы (алмазные и из кубического нитрида бора).

Всем группам инструментальных материалов присуща двойственность основных свойств [1-3]. Более твердые и более износостойкие материалы обладают меньшей вязкостью и стабильностью свойств при циклических нагрузках, так же как при нестабильных условиях или при прерывистом резании. Материалы, которые лучше сопротивляются различным механическим и термическим нагрузкам, часто хуже сопротивляются изнашиванию. Инструмен-

тальный материал с идеальными свойствами должен обладать сбалансированным сочетанием высокой твердости и вязкости, иметь химическую инертность относительно материала заготовки и сохранять свойства при повышении температуры. В частности, твердость и вязкость являются противоположными свойствами, и в настоящее время не существует инструментального материала, который бы интегрировал все указанные свойства одновременно [1-3]. Для преодоления двойственности противоречий свойств производят различные инструментальные материалы композиционного типа. В частности, все более широкое применение получают инструменты из быстрорежущей стали и твердого сплава с износостойкими покрытиями, а также инструменты с модифицированными поверхностными свойствами [1, 2, 4-7]. Разработаны слоистые инструментальные материалы, в которых комбинируются слои из вязких и прочных твердых сплавов и высокотвердой и теплостойкой керамики [8].

Применение инструментального материала, способного сопротивляться термическому разупрочнению и интенсивному разрушению режущей части инструмента, представляется простым решением проблемы [5, 8, 9]. Таким материалом могла бы стать керамика, комбинирующая при спекании однофазной или многофазной структурами на основе окислов, карбидов или нитридов металла. В отличие от спеченных твердых сплавов, керамика не содержит металлической связки и сохраняет высокую твердость при нагреве до температур свыше 1200 °C [8, 10, 11]. Кроме того, керамика из нитрида кремния (Si_3N_4) обладает такими свойствами, как высокая твердость, сопротивляемость окислению, повышенная теплопроводность и сопротивляемость «термошоку» [11]. Керамический инструмент способен вести обработку на скоростях резания обычно превышающих 500 м/мин.

Однако применение керамики чрезвычайно ограничено вследствие её низкой прочности и вязкости разрушения в сравнении с твердосплавным сплавом. В процессе резания, особенно в условиях колебания механических и термических напряжений, наблюдается формирование микротрещин ведущих к микроскалыванию режущей кромки или полному хрупкому разрушению режущей части керамического инструмента [8-11].

В этой связи разработка материала в виде слоистого композита, интегрирующего свойства твердого сплава, керамики и нанодисперсного покрытия в едином геометрическом теле режущего инструмента, является актуальной научной проблемой, рассматриваемой в настоящей статье.

2. Слоистая композиционная керамика с нанодисперсным многослойным покрытием

2.1. Предварительные условия (постановка научных задач)

С учетом тяжелых условий термомеханического нагружения режущей части инструмента для продвинутых технологий обработки была сформулирована концепция инструментального материала со сбалансированным сочетанием основных свойств (рисунок 1). Такой материал имеет трехслойную архитектуру, включающую слой из твердого сплава (3), слой из керамики (2) и нанодисперсное покрытие (1). В подобном материале интегрируются свойства всех трех элементов, входящих в его состав. В частности, твердосплавный субстрат обеспечивает достаточную прочность и вязкость, керамический слой обеспечивает высокую твердость, теплостойкость и износостойкость, нанодисперсное многослойное покрытие (НМП) обеспечивает благоприятную трансформацию термомеханических напряжений и залечивает поверхностные дефекты керамического слоя. Разрабатываемый материал получил наименование «слоисто-композиционная керамика» (СКК).

Введение НМП в архитектуру СКК обосновывается следующим.

Свойства керамического слоя СКК чрезвычайно чувствительны к поверхностным дефектам, которые формируются в процессе его обработки. В частности, при шлифовании и доводке в поверхности керамического слоя формируются дефекты в виде микротрещин, микропор, механических повреждений, остаточных растягивающих напряжений и так далее [8]. Подобные дефекты оказывают сильное негативное влияние на свойства керамического слоя.

Кроме того, керамический режущий инструмент характеризуется высоким уровнем нормальных контактных напряжений на передней поверхности инструмента и концентрацией термических напряжений непосредственно у режущей кромки [8, 9, 10]. Указанное выше

является основной причиной высокой вероятности хрупкого разрушения инструмента из СКК, которое характеризуется микровыкрашиванием режущей кромки или полным хрупким разрушением режущей части инструмента

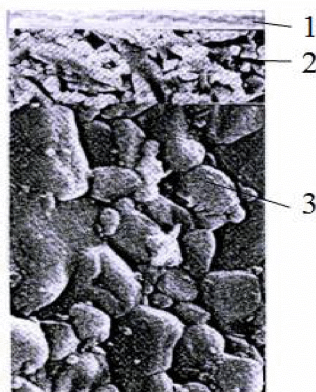


Рисунок 1 – Архитектура слоисто-композиционной керамики (СКК) с нанодисперсным многослойно-композиционным покрытием (НМП): 1 – нанодисперсное многослойно-композиционное покрытие; 2 – керамический слой; 3 – твердосплавный субстрат

Улучшение поверхностных свойств керамического слоя СКК и снижение вероятности хрупкого разрушения инструмента обеспечивали путем нанесения покрытия (НМП), формируемого при использовании процесса фильтруемого катодного вакуумно-дугового осаждения (ФКВДО) [4, 8, 12-14].

При этом получены следующие эффекты:

- залечивание упомянутых поверхностных дефектов керамического слоя и формирование благоприятных остаточных напряжений сжатия путем ионной бомбардировки в процессе ФКВДО;
- снижение нормальных контактных напряжений и уменьшение концентрации термических напряжений на передней поверхности инструмента путем некоторого роста трения и длины контакта при незначительном увеличении нормального усилия.

Проведение предварительных исследований позволило выбрать следующие составы элементов слоистого композита (рисунок 1): субстрат 3 на основе твердого сплава WC-TaC-Co с ультрадисперсной структурой; керамический слой 2 на основе сложной композиции ($\text{Al}_2\text{O}_3\text{-AlN}$ or $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$; or $(\text{Si}_3\text{N}_4\text{-TiC-Y}_2\text{O}_3)$; слой 1 в виде наноразмерного многослойного покрытия на основе трехслойной системы Ti-TiN-(TiCrAl)N [5,8].

2.2. Технология изготовления слоисто-композиционной керамики (СКК)

Технология производства LCC включала следующие процессы: горячее прессование, гидростатическое уплотнение и газостатическое доуплотнение материала. Использование указанных технологий позволило успешно решить чрезвычайно трудную научно-техническую проблему соединения таких гетерогенных материалов, как «керамика-твердый сплав», «керамика-покрытие» и т.д.

Большое внимание было уделено выбору материалов керамического слоя и твердосплавного субстрата. Такой выбор был достаточно ограничен вследствие необходимости соблюдения требований совместимости теплофизических и механических свойств соединяемых материалов (коэффициент теплового расширения, модуль упругости, и т.д.). Прочная адгезия между границами слоев являлась одним из главных условий для нормального функционирования инструментов из СКК. При разработке СКК предпочтение отдавали составам слоев 2 и 3 (рисунок 1), формирующих границы с диффузионным слоем [8].

Технологическая схема изготовления СКК включала следующие процессы:

1. Прессование трехкомпонентного порошка из WC, TaC, Co, что обеспечивает получение карбидного слоя толщиной 2,5 – 3 мм.
2. Горячее прессование в графитовой пресс-форме заготовки из Al_2O_3 с добавкой 10 % AlN толщиной 1,5 – 2,0 мм.
3. Проведение повторного горячего прессования слоистого композита при температуре

1400°С с выдержкой в течение 5 мин. при давлении 345 Н/мм².

4. Шлифование пластин из СКК с получением следующих толщин слоев: толщина твердосплавного слоя – 3,5 мм; толщина керамического слоя 1,5 мм.

Реализация представленной технологии позволила получить партию пластин формы SNUN (стандарт ISO) из СКК, которые были использованы для дальнейших исследований.

2.3. Технология формирования нанодисперсных многослойно-композиционных покрытий

Концепцию покрытия, осаждаемого на пластины из керамики, основывали на положениях, рассмотренных выше. Осаждаемое покрытие должно максимально уменьшить количество поверхностных дефектов керамики и осуществить благоприятную трансформацию термомеханических напряжений на передней поверхности инструмента [4, 5, 8]. Необходимо также было решить задачу осаждения покрытия на субстрат с низкой электропроводностью при использовании дугового источника плазмы.

В соответствии с принятыми концептуальными положениями была разработана архитектура нанодисперсных покрытий, содержащих несколько слоев с индивидуальными функциональными свойствами. Подобное покрытие имеет трехслойную архитектуру и включает адгезионный слой 3, износостойкий слой 1 и переходный слой 2 (рисунок 2) [4, 5, 8].

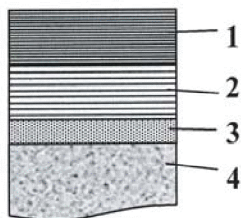


Рисунок 2 – Концепция архитектуры нанодисперсного многослойно-композиционного покрытия: 1 – наружный слой с нанотолщинами субслоев (пример TiCrAlN, ZrCrAlN, TiCrAlSiN и т.д.); 2 – промежуточный слой (пример TiN, ZrN, CrN); 3 – адгезионный подслой (пример Ti,Zr,TiN,ZrN); 4 – субстрат (керамика)

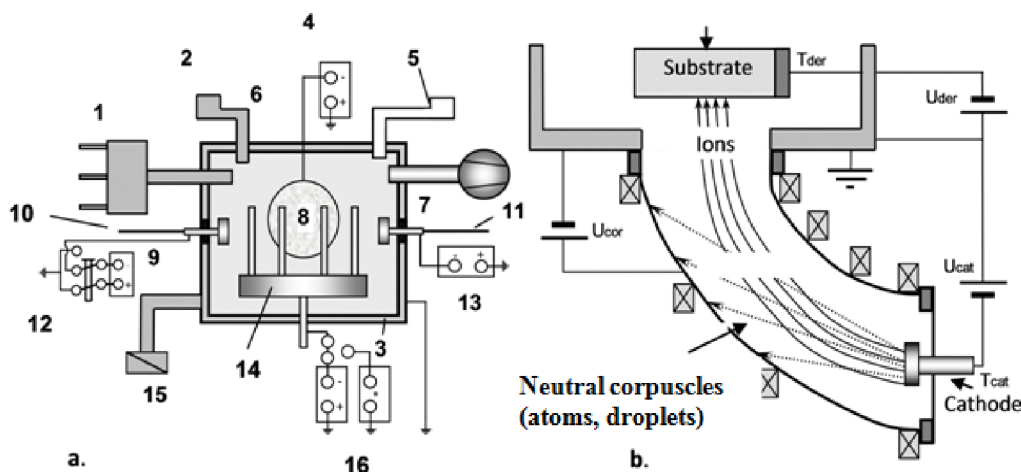


Рисунок 3 – Схема установки ВИТ-2 (а) и устройства для фильтрации пароионного потока (б): 1 – смеситель газа; 2 – система подачи газа (натекатель газа); 3 – корпус установки; 4 – источник энергии для фильтрующего устройства; 5 – система мониторинга температуры; 6 – вакуумная система; 7, 9 – стандартные испарители; 8 – система фильтрации пароионного потока; 10, 11 – интегральные охлаждающие системы для испарителей; 12, 13 – источники энергии для испарителей; 14 – поворотный стол для размещения образцов для нанесения покрытий; 15 – система охлаждения и нагрева камеры установки; 16 – система подачи напряжения в импульсном режиме на объект нанесения покрытий

Каждый из слоев НМП имеет индивидуальное функциональное предназначение:

- износостойкий слой 1 уменьшает сопротивляемость инструмента окислению и коррозии, снижает физико-химическую активность инструментального материала и адгезию по отношению к обрабатываемому материалу, повышает износостойкость инструмента;
- промежуточный слой 2 поддерживает повышенную адгезию со слоями 1 и 3;
- адгезионный подслой 3 обеспечивает высокую прочность адгезии НМП с керамическим субстратом 4, «залечивает» поверхностные дефекты керамического субстрата.

Синтез нанодисперсного многослойно-композиционного покрытия (НМП) производили при использовании фильтруемого катодного вакуумнодугового осаждения (ФКВДО). ФКВДО было использовано как многообещающая технология получения покрытий с хорошей адгезией по отношению к субстрату, высокой плотности и нанодисперсной структурой, которая способствует повышению режущих свойств инструмента. Процессы ФКВДО были реализованы на экспериментальной установке ВИТ-2, оснащенной следующими устройствами для фильтрации пароионного потока от микрокапельной составляющей испаряемого металла (Ti, Zr, Cr, Al и др.); гашения микродуг; динамического смешивания газов; генерации высокоэнергетических ионов (рисунок 3).

Пластины из СКК перед размещением в камере установки подвергали предварительной химико-механической обработке с целью предварительной подготовки (ультразвуковая очистка, промывка, сушка). В процессе осаждения покрытия пластины из СКК совершали планетарное перемещение в камере установки, что обеспечивало получение покрытий равномерной толщины. Формирование НМП осуществляли при следующих условиях [4, 5]:

- производили бомбардировку осаждаемого конденсата металлическими или газовыми ионами (энергии 0,5-1,5 кэВ) с целью перемешивания осаждаемого конденсата и повышения вероятности формирования нанодисперсных покрытий;
- устанавливали температуру осаждаемого конденсата, уровень которой способствовал повышению степени ионизации пароионного потока и предотвращал рост размеров зерен покрытия;
- изменяли скорость перемещения и угловую позицию поверхности субстрата из СКК по отношению к пароионному потоку, что способствовало формированию наноразмерных толщин субслоев слоев НМП.

3. Методика экспериментальных исследований

3.1. Оборудование

Объектом исследования служили режущие пластины из СКК с НМП, разработанные для сухой обработки, высокоскоростного резания, обработки материалов в твердом виде и резания труднообрабатываемых материалов.

Исследования физико-механических свойств выполняли для режущих пластин со стандартным покрытием, полученным при использовании стандартных arc-PVD технологий и разработанным НМП, осаждаемым при использовании технологии ФКВДО. Исследовали кристаллохимические свойства при использовании электронно-сканирующего (SEM) микроскопа JSM-6700F с приставкой для дисперсионно-спектральной спектроскопии (EDS) JED-2300F компании Jeol. Исследовали также состав и структуру композиции «твердый сплав-керамика», «покрытие-керамика».

Были изготовлены экспериментальные образцы в виде режущих пластин из СКК, соответствующие форме SNUN (стандарт ISO) с радиусом при вершине $r=0,8$ мм. Пластины были разделены на группы, одну из которых использовали для проведения исследований физико-механических и кристаллохимических свойств, другую – для исследования режущих свойств.

Использовали режущий инструмент с механическим креплением режущих пластин из разработанных СКК с НМП, а также режущими пластинами из стандартных твердых сплавов и керамики со стандартным покрытием и без покрытия. Все пластины имели форму SNUN. Режущий инструмент имел следующие значения параметров режущей части: передний угол $\gamma = -(8-10)^\circ$; задний угол $\alpha = (6-8)^\circ$; угол в плане $\varphi = \varphi_1 = 45^\circ$; радиус округления режущей кромки $\rho = 15 \text{ }\mu\text{m}$; размеры фаски – $0,2 \times 45^\circ$.

Исследования проводили при продольном и поперечном точении стали 45 после термообработки (HRC 42-45) и стали 50Г (HRC 58) на универсальном токарном станке 16К20 со скоростью резания $V=80-350$ м/мин; подаче $S=0,1-0,25$ мм/об; глубине резания $t=0,5 - 0,15$ мм, а также жаропрочного сплава ХН77ТЮК (19-22 % Cr; 2,4-2,8 Ti; 1% Al, $\sigma_b = 930-1080$ МПа) при $v=20-40$ м/мин; $S=0.1 - 0,15$ м/rev; $t= 0.5-1.0$ mm.

3.2. Результаты исследований и обсуждение

Результаты сравнительных исследований свойств разработанных СКК с НМП и других инструментальных материалов представлены в таблицах 1-3.

Экспериментальные данные по оценке физико-механических свойств показали, что прочность разработанной СКК существенно выше прочности стандартной керамики. Более того, прочность при изгибе образцов СКК с НМП практически не уступает прочности при изгибе образцов из стандартных твердых сплавов ВК6-М (область применения К10-К20 (ISO стандарт).

Размеры зёрен износостойкого слоя (1) НМП, полученного при использовании технологии ФКВДО, составили 40-60 нм, что позволяет классифицировать полученное НМП как нанодисперсное, в то время как размеры зёрен аналогичных по составу покрытий, полученных при использовании стандартной технологии КИБ-МеVVA, составляют в 120-140 нм (таблица 2).

Таблица 1

Физико-механические свойства пластин из различных инструментальных материалов

Инструментальные материалы	Свойства				Фазовые композиции
	Плотность ρ , [g/cm ³]	Микротвердость H^u_{50} , [МПа]	Прочность при изгибе σ_n , [МПа]	Коэффициент стойкости K_{TL}^*	
Керамический слой (2) СКК	3,76	2300-2350	650	1,2**	Al ₂ O ₃ , AlN
Carbide layer (3) of LCC (VK6M)	15,1	1550-1600	1420	0,6**	WC, TaC, Co
LCC with NMC	-	2300	1200-1230	1,7**	-
Mixed ceramic VOK-71	4,5-4,6	2100-2200	700-750	1**	60%Al ₂ O ₃ -40%TiC

$K_{TL}^* = K_{CTL}/K_2$ – коэффициент стойкости при точении стали 45 с $v = 270$ м/мин; $f = 0,2$ мм/rev; $a_p = 0,5$ мм, определяемый как отношение стойкости инструмента с покрытием к стойкости инструмента без покрытия; ** – данные по стойкости инструмента с покрытием, получаемым при использовании технологии ФКВДО

Таблица 2

Параметры структуры разработанных пластин из СКК с НМП

Материалы	Фазовый состав	Характеристики				
		Размер зёрен, [нм]	h_n, h_c^* , [нм]	HV*, [ГПа]	F*, [Н]	ΔP^* , [мг/см ²]
СКК Субстрат 3 (VK6-M)	86%WC, 8%TaC, 6%Co	1500-2000	-	16.00	-	54.9
СКК Слой керамики 2	90% Al ₂ O ₃ , 10 % AlN,	500-650	-	-	-	-
Композиция (Ti, Cr, Al) N (Стандартный КИБ)	Ti _{0.25} Cr _{0.25} Al _{0.15} N _{0.35}	120-160	$h_c = 300$	25-36	80-100	14.7
Слой НМП 1 (Ti, Cr, Al)N (Технология ФВДО)	Ti _{0.25} Cr _{0.25} Al _{0.15} N _{0.35}	40-60	$h_c = 280$ $h_{sl} = 20-25$	31-32	120-130	15.7

* h_n – толщина покрытия; * h_c – толщина субслоя покрытия; * ΔP – окисление на воздухе

при 900 °С в течение 1 часа; *F – критическая нагрузка на индентор скратч-тестера, при которой происходит разрушение покрытия вдоль царапины (критерий адгезии).

Анализ параметров НМП позволяет отметить следующее.

Качество НМП (ФКВДО), разработанных для нанесения на пластины из СКК, существенно превосходит качество стандартных покрытий аналогичной композиции, формируемых при использовании стандартной технологии КИБ-MeVVA. Кроме того, использование разработанной технологии ФКВДО позволяет формировать высококачественную поверхность покрытий практически без микрокапель, характерных для стандартной технологии. Микрокапли, особенно расположенные на поверхности покрытия и на границе «покрытие-субстрат», являются опасным дефектом, поэтому их фильтрация позволяет повысить прочность адгезионной связи, увеличить сопротивляемость СКК окислению и коррозии, повысить износостойкость.

Результаты сравнительной оценки режущих свойств пластин, изготовленных из различных инструментальных материалов и разработанных СКК с НМП, при поперечном точении стали 45 представлены в таблице 3.

Таблица 3

Режущие свойства пластин, изготовленных из различных инструментальных материалов, при поперечном точении стали 45

Режущий материал	Стойкость при сухом поперечном точении стали 45 с $v = 420$ м/мин; $S=0.1$ мм/об; $t=0.5$ мм.	
	Стойкость при $VB_{max} = 0.25$ мм, мин	Коэффициент стойкости K_{TL}^{**}
ВК6-М (86%WC, 8%TaC, %Co)	1,22	1
ВК6-М – (Ti, Al)N (КИБ)	2,8	2,3
ВOK-71	2,6	2,13
ВOK-71-TiAlN (КИБ)	3,2	2,62
СКК	5,3	4,34
СКК с НМП* (ФКВДО)	8,0	6,56
СКК с НМП** (FCVAD)	9,6	7,87

*нанодисперсное покрытие Zr-ZrCrN-CrN; ** нанодисперсное покрытие Ti-TiN-(TiCrAlN), K_{TL} – коэффициент стойкости определяется отношением стойкости инструмента с покрытием T_{II} к стойкости инструмента без покрытия T .

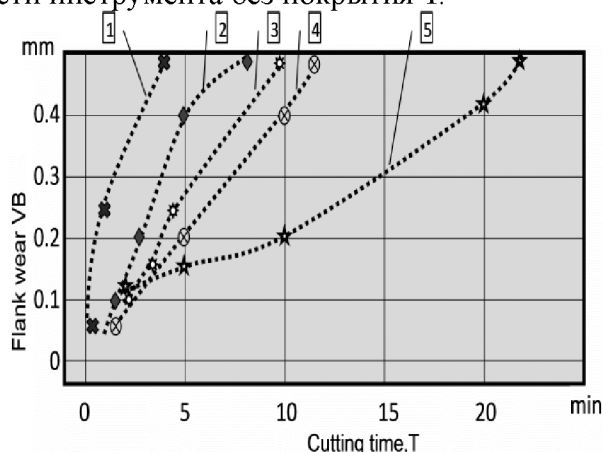


Рисунок 4 – Влияние времени резания T на величину фаски износа задней поверхности h_3 при различных условиях продольного точения стали 50Г (HRC 58) при $V = 340$ м/мин; $S=0.15$ мм/об; $t = 0.15$ мм/об: 1 – ВК6-М; dry machining; 2 – ВК6-М, резание с применением рекомендованной смазочной жидкости; 3 – VOK-71, сухое резание; 4 – СКК, сухое резание; 5 – СКК с НМП, экологически дружелюбное сухое резание

Лучшие режущие свойства при поперечном точении стали 45 с изменяющейся скоро-

стью резания имели пластины из СКК с НМП на основе Ti-TiN-TiCrAlN с $K_{TL}=7,87$ в сравнении с пластинами из стандартной смешанной керамики без покрытия $K_{TL}=2,13$ (BOK-71, mixed Al_2O_3 -TiC) и со стандартным покрытием $K_{TL}=2,62$ (BOK-71- TiAlN стандартная технология arc-PVD), а также в сравнении с пластинами из твердого сплава BK6-M без покрытия $K_{TL}=1,0$ и твердого сплава BK6-M со стандартным покрытием TiAlN.

Сравнительные результаты испытаний режущих свойств пластин из разработанных СКК с НМП при продольном точении стали 50Г и жаропрочного Ni-сплава ХН77ТЮР представлены на рисунках 4 и 5. Эти результаты также свидетельствуют о более высоких режущих свойствах пластин из СКК с НМП, особенно при резании труднообрабатываемого жаропрочного сплава (рисунок 5)

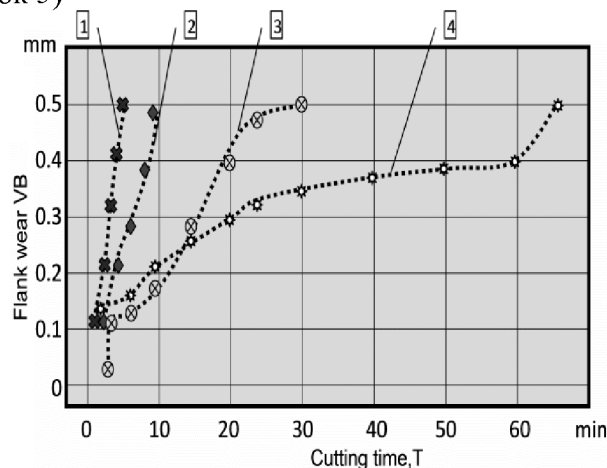


Рисунок 5 – Влияние времени резания T на износ по задней поверхности пластины h_3 при продольном точении Ni-сплава: 1 – BK6-M, сухое резание; 2 – BK6-M, резание с рекомендованной смазочной жидкостью; 3 – BOK-71, сухое резание; 4 – LCC с НМП, экологически дружелюбное сухое резание

Анализ механизма изнашивания разработанных СКК с НМП на основе Ti-TiN-TiCrAlN при сухом резании или резании с рекомендованными охлаждающими жидкостями позволяют отметить равномерное сбалансированное изнашивание главной задней поверхности и полное отсутствие микросколов или выкрашиваний режущей кромки для всего диапазона исследованных условий резания (таблица 3, рисунок 4 и рисунок 5). В то же время для инструмента из стандартной керамики (например, BOK-71) с покрытием или без покрытия отказы инструмента определялись микровыкрашиваниями или хрупкими сколами режущей кромки инструмента.

Заключение

Разработана и исследована концепция инструментального материала в форме слоистой композиционной керамики (СКК) с нанодисперсным многослойно-композиционным покрытием (НМП) для обработки закаленных сталей и труднообрабатываемых Ni-сплавов.

Инструмент из СКК может быть использован для обработки закаленной стали с применением охлаждающей жидкости или для сухой обработки (область применения H10-H20 ISO), а также для обработки труднообрабатываемого жаропрочного Ni-сплава (S10-S29 ISO).

Анализ результатов исследований при обработке закаленных сталей и никелевого сплава инструментом из СКК с НМП позволяет отметить следующее. Стойкость инструмента из СКК с НМП превосходит стойкость твердосплавного инструмента с покрытием и стойкость стандартного инструмента из керамики с покрытием в 2.5-8.0 раз. Разработанные инструменты из СКК с НМП (технология ФКВДО) позволяют увеличить производительность резания в 1.2-1.5 раза не только по сравнению с производительностью резания твердосплавным инструментом с покрытием, но и в сравнении с производительностью инструмента из стандартной керамики с покрытием.

Литература

1. Елютин А.В., Аникин В.Н., Блинков И.В., Верещака А.С. Методологические принципы

- создания высокопрочной градиентно-слоистой керамики с покрытием для скоростной лезвийной обработки без применения СОТС. Труды конгресса "Конструкторско-технологическая информатика 2000. Том 1. М.: МГТУ "СТАНКИН", 2000, с. 180 – 182.
2. Верещака А.С. Работоспособность режущего инструмента с износостойким покрытием. М.: Машиностроение, 1993. с. 368.
 3. Верещака А.С. Некоторые методологические принципы создания функциональных покрытий для режущих инструментов. В кн. «Современные технологии в машиностроении, - Харьков: НТУ «ХПИ», 2007. с. 210-231.
 4. Верещака А.С., Верещака А.А. Повышение эффективности инструмента путем управления составом, структурой и свойствами покрытий. М.: Упрочняющие технологии и покрытия. № 9, 2005. с. 9-18.
 5. Верещака А.А. и др. Патент РФ № 2198243. Многослойно-композиционное износостойкое покрытие. 10.02. 2003 с приоритетом от 05.08.1998..
 6. Panckow A.N. Application of novel vacuum-arc ion-plating technologies for the design of advanced wear resistant coatings. / A.N. Panckow, J. Steffenhagen, D. Wegener, L. Dubner, F. Lierath. // Surface and Coating Technologies 138 (2001). P. 71-76.
 7. Byrne G., Dornfeld D., Denkena B. Advancing Cutting Technology. Annals of the CIRP, 52/2/2003. (In English)
 8. Верещака А.С., Григорьев С.Н., Табаков В.П. Методические принципы создания функциональных покрытий нового поколения в инструментальном производстве. // Инженерный журнал. Справочник. 2011. № 12(177). с. 13 – 22.
 9. Сотова Е.С., Верещака А.С. Управление контактными процессами при резании путем нанесения функциональных покрытий на керамический инструмент. Вестник МГТУ «Станкин». Научный рецензируемый журнал. М.: МГТУ «Станкин», № 2(14), 2011, с. 61-68.
 10. Vereshchaka A.S., Vereschaka A.A., Kirillov A.K., Ecologically friendly dry machining by cutting tool from layered composition ceramic with nano-scale multilayered coatings. TTP, Trans Tech Publications. T. 1. GD. JMU. 2011. P. 68-76.
 11. Grigoriev S.N., Vereschaka A.A., Vereschaka, A.S., Kutin A.A. Cutting tools made of layered composite ceramics with nano-scale multilayered coatings. Procedia CIRP 1 (2012) 318 – 323.

Критерии оптимизации зубообрабатывающих операций, основанных на различных методах формообразования зубьев

к.т.н. проф. Виноградов В.М., к.т.н. доц. Черепяхин А.А.
Университет машиностроения
tkm1410@yandex.ru

Аннотация. Рассмотрена структурная схема операций механической обработки зубчатых венцов. Предложены показатели, характеризующие точность и стабильность протекания зубообрабатывающих операций. Даны предложения по оптимизации технологических цепочек изготовления цилиндрических зубчатых венцов.

Ключевые слова: зубчатое колесо, обработка, погрешность, точность, стабильность.

Различные методы формообразования впадин между зубьями колес в значительной мере определяют содержание, длительность и качественные показатели зубообрабатывающих операций. Высокая точность и качество цилиндрических среднемодульных зубчатых колес, применяемых в машиностроении, зависят от производительности, точности и стабильности протекания операций зубообработки.

В целом оптимальность технологического процесса зубообработки цилиндрических колес определяется правильным подбором операций предварительного зубонарезания и последующей отделочной обработки зубьев колес по производительности, точности и стабильности во времени с учетом явлений технологической наследственности.