

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 621.91:621.793:669.018.45

А.А. РЫЖКИН, В.В. ЗОТОВ, Д.П. ГЛОБА, Ф.А. ВИСТОРОВСКАЯ

ТРИБОХИМИЧЕСКИЙ АСПЕКТ ВЛИЯНИЯ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ НА ИЗНОС ПРИ РЕЗАНИИ

Расчетами теплоты реакций окисления карбидов и нитридов ряда металлов как элементов износостойких покрытий определена вероятность образования соответствующих оксидов базовых металлов в условиях резания. Для оценки эффективности покрытий из нитридов, карбидов и алюминидов, образующихся оксидов впервые вводится показатель защитности (коэффициент объема) соединения, экспериментальные данные окисления чистых металлов, двойных сплавов, в том числе и алюминидов, позволяют считать, что эффективность использования алюминидов Ti, Fe, Cu, Nb, Zr, Ni коррелирует с значениями их показателей защитности. Исследования резания твердых сплавов с покрытиями TiC, TiN и Al₂O₃ на воздухе и в атмосфере азота подтвердили эффективность этих покрытий при замедлении (торможении) трибохимических реакций на контакте.

Ключевые слова: износостойкие покрытия, трибохимические реакции, показатели защитности покрытий, износостойкость твердых сплавов с покрытиями.

Введение. Резервы повышения износостойкости инструментов на операциях формообразования изменением объемных свойств инструментальных материалов в значительной мере исчерпаны. Требования практики в современных условиях производства сводятся к оптимальному сочетанию объемных (высокой механической прочности, ударной вязкости, теплопроводности) и поверхностных (высокой твердости, износостойкости, красностойкости, низкой способности к схватыванию и др.) свойств материала и инструмента.

Удовлетворить таким противоречивым требованиям возможно лишь образованием на традиционных инструментальных материалах искусственных поверхностных слоев, обладающих необходимым комплексом свойств, – тонкослойных износостойких покрытий. К числу таких свойств, прежде всего, следует отнести их высокую твердость, антифрикционные свойства, химическую устойчивость и инертность, трещиностойкость, способность эффективно противостоять динамическим нагрузкам при резании. Эти свойства в принципе могут изменить условия контактного взаимодействия при трении в процессе резания.

Наряду с механическими, геометрическими, теплофизическими и другими свойствами контактируемых тел эти условия зависят и от среды, где осуществляется трение. Внешняя газовая среда изменяет основные параметры процесса трения – износ, силы (моменты) трения, шероховатость поверхностей трущихся тел, и обуславливает протекание процесса нормального механико-химического износа, когда возникающие на контакте тонкопленочные вторичные структуры являются следствием совместного действия диффузионных процессов и химических реакций, активированных деформацией и температурой [1].

Влияние кислорода на износ в условиях трения установлено давно, и систематический обзор выполнен в этом направлении исследований при трении и резании широко представлен в литературе [1, 2, 18, 28, 31]. Из опубликованных источников следует, что на контактных площадках твердосплавных инструментов после резания образуются оксиды WO₃, WO₂, TiO₂, C₂O, причем в наибольшей степени окисляются однокарбидные твердые сплавы. Меньше подтверждены окислению быстрорежущие стали; на их поверхностях после резания и окисления нагреванием в печи рентгенографически обнаружены, кроме основных фаз, и оксиды железа Fe₃O₄ и Fe₂O₃ [2].

Практика последних лет показала, что износ твердосплавного и быстрорежущего инструмента отчасти определяется трибоокислительными диффузионными процессами, в том числе протекающими на контактных площадках инструментов с покрытиями (или в его верхнем слое, если покрытие многослойное) [1-3, 5, 7, 9-13, 16, 18, 28].

Ю.Г. Кабалдин [3] считает, что на поверхности пластин из быстрорежущей стали с покрытием ZrN образуются оксиды Ti₂O₃ и ZrO₂, обладающие высокой энергоемкостью и смазочными свойствами, благодаря чему снижается износ быстрорежущего инструмента.

М.Ш. Мигранов [10], изучая трибологические свойства спеченного материала (20% TiC+80% P6M5), получил увеличение стойкости инструментов за счет образования на поверхно-

сти инструмента оксида титана TiO , имеющего большую энергию Гиббса ($\Delta G = -72,58$ кДж/моль). М.Ю. Куликов, А.В. Стариков и А.В. Антипин [5] после точения на воздухе сталей 45 и 12Х18Н10Т резцами из Р18 и Р6М5 обнаружили оксиды железа и показали, что охлаждение зоны резания минеральным маслом в сравнении с укринолом увеличивает стойкость, так как масляная среда блокирует доступ кислорода к поверхностям инструмента. А.А. Андреев и С.Н. Григорьев [11] отмечали высокую эффективность покрытия $(Ti, Al)N$, обусловленную образованием на поверхности покрытия при высоких температурах резания смазочного слоя Al_2O_3 , который защищает покрывающий слой от дальнейшего окисления. По мнению этих авторов, слой TiO_2 , образующийся при окислении покрытия TiN , такой защиты не обеспечивает. Кроме этого, Al_2O_3 стабильнее TiO_2 (теплота их образования соответственно составляет 954 и 765 кДж/моль).

Ю.Г. Гуревич [16], насыщая азотом сплавы Т15К6 и Т30К4 при их взаимодействии с 70% AlN и 30% Al_2O_3 , получал при зенкерованием стали 45 увеличение стойкости инструмента в 2,1-2,4 раза, так как AlN обладает большим сродством к кислороду и даже при небольших парциальных давлениях при резании образует защитный слой из Al_2O_3 .

Л.Ш. Шустер, М.Ш. Мигранов и С.М. Минигалеев [12], исследовав износостойкость резцов из ТТ8К6 при обработке стали 40Х с ионноплазменными покрытиями $(TiCr)N$, $TiAlCN$ и $(AlTi)N$, получили наилучшие результаты для покрытия $(Ti, Al)N$. Минимум зависимости «интенсивность изнашивания – скорость резания» для этих покрытий при температуре около 600°C авторы предположительно объясняют тем, что при таком температурном режиме «на контакте происходят трибохимические реакции с образованием вторичных структур». В другой публикации [9] эти авторы представили наилучшие показатели стойкости, температур и сил резания для покрытий $(Ti, Al)N$ и $(AlTi)N$ за счет «формирования пленок вторичных структур в виде рутила (TiO_2), а также оксидов и карбонитридов тугоплавких элементов».

При изучении фазового состава дуплексного покрытия TiN с поверхностным слоем из перфторполиэфира при точении и фрезеровании стали 40Х инструментом из Р6М5 установлено [13] обогащение поверхности кислородом при переходе от стадии приработки к стадии нормального износа за счет трибоокисления TiN ; «образование кислородсодержащего соединения на основе титана действует как щит, который защищает поверхность».

Также М.Ш. Мигранов, Л.Ш. Шустер и Г.С. Фукс-Рабинович представили результаты изучения износостойкости четырехгранных пластин сплава ТТ8К6 с покрытиями $(TiAl)N$ при резании стали 40Х [25]. Эффективность покрытия по сравнению с обычными твердыми сплавом больше всего повышается при высоких (более 300 м/мин) скоростях резания за счет снижения трибоокисления поверхности твердого сплава. Авторы на поверхностях изношенных пластин обнаружили оксиды TiO и Al_2O_3 и считают, что оксидные пленки на поверхности инструмента с покрытием $(TiAl)N$ являются смесью оксида алюминия и рутила, но только слой оксида алюминия является защитным [25, с.28].

Стоит упомянуть ту работу В.В. Руднева [27], где в виде термохимических расчетов показано, что карбиды титана, ванадия и циркония с широкой областью гомогенности, образующие при растворении в их решетках кислорода устойчивые оксикарбиды, при взаимодействии с кислородом образуют оксиды соответствующих металлов с выделением и свободного углерода и азота.

Представленная информация позволяет сделать следующие заключения:

- выдвинутая в прошлом веке гипотеза окислительного изнашивания при контактном взаимодействии в условиях трения и резания по последним данным получила экспериментальное подтверждение и дальнейшее развитие;

- зафиксированное рядом исследователей наличие оксидов в структуре износостойких покрытий различного состава, снижает интенсивность изнашивания инструментальных материалов.

Постановка задачи. Проанализировать устойчивость применяемых в настоящее время составов износостойких покрытий к образованию оксидов, составляющих их структуры при действии высоких температур, дать оценку показателей защитности этих оксидов, нитридов и алюминидов в целях выбора оптимального состава самих покрытий.

Трибохимические реакции на поверхностях износостойких покрытий в условиях резания. Составы износостойких покрытий, наносимых на режущие пластины для повышения

стойкости инструмента, в порядке их появления можно расположить в следующий ряд [1-19, 26, 28, 32-34]:

- карбидные – TiC, ZrC, HfC;
- нитридные – TiN, ZrN, HfN, CrN, Ti₂N;
- оксидные – Al₂O₃;
- окси-карбо-нитридные – TiC – TiN – Al₂O₃;
- карбонитридные – TiCN, (Ti – Zr)CN, (Ti – Al)CN;
- нитридные типа (Me₁, Me₂)N: (TiAl)N, (TiCr)N, (TiAlCr)N, (Ti – Fe)N, (Ti – Zr)N, TiSiN, AlTiCrN, AlTiCrN – Si₃N₄, (TiAlCu)N, (TiZrCu)N;
- многослойные: TiCN – TiZrN – TiN; TiZrN – TiN – TiZrN; TiN – TiZrN – TiN.

Из представленных данных следует, что в «конструкциях» износостойких покрытий наблюдается тенденция формирования рабочего слоя покрытий (или верхнего, если покрытие многослойное) из нитридов алюминия, циркония, кремния или нитридов двойных и тройных систем: Ti – Al, Ti – Fe, Ti – Zr, Ti – Si, Ti – Al – Cu, Al – Ti – Cr, Ti – Zr – Cu и др.

Анализ известных нам литературных данных по окислению металлов и сплавов, физико-механическим свойствам тугоплавких соединений показывает, что входящие в структуру износостойких покрытий алюминий, цирконий, титан и кремний, а также их оксиды, карбиды и нитриды обладают уникальным антикоррозионными, защитными и термодинамическими свойствами [20, 22-24, 29-30, 36, 38-40].

Рассмотрим взаимодействие покрытий разного состава с внешней средой в условиях трибоокислительных процессов на контакте в условиях резания и их связь с износом твердых сплавов.

При окислении карбидов и нитридов тугоплавких элементов (основных компонентов износостойких покрытий) могут образовываться окиси и закиси металлов и окиси и закиси углерода и азота. Как известно из химической термодинамики [19, 21, 35, 36], вероятность протекания реакции определяется величиной теплоты реакции образования соединения ΔH_{298}^0 : чем больше абсолютная величина этого параметра, тем вероятнее протекание реакция с образованием данного конечного продукта.

В таблице приведены известные составы однослойных карбидных, нитридных, карбонитридных, а также верхних слоев композиционных покрытий, состоящих, как правило, из смеси нитридов, титана (базовый нитрид), нитридов хрома, циркония, железа и алюминия.

Термохимические и термодинамические характеристики продуктов окисления составляющих структуры износостойких покрытий

Номер реакции	Покрытие (верхний слой)	Наивыгоднейшие реакции с кислородом воздуха	Типы оксида	Расчетная теплота реакции, кДж/моль
1	2	3	4	5
1	TiC	$TiC + 2O_2 = TiO_2 + CO_2$	TiO ₂	-1147,3
2	ZrC	$ZrC + 2O_2 = ZrO_2 + CO_2$	ZrO ₂	-1192,0
3	ZrC	$ZrC + 3/2O_2 = ZrO + CO_2$	ZrO	-1304,3
4	HfC	$HfC + 2O_2 = HfO_2 + CO_2$	HfO ₂	-1168,8
5	TiN	$TiN + 3/2O_2 = TiO_2 + NO$	TiO ₂	-1314,0
6	ZrN	$ZrN + O_2 = ZrO_2 + 1/2N_2$	ZrO ₂	-1505,0
7	- « -	$ZrN + 1/2O_2 = ZrO + 1/2N_2$	ZrO	-1117,8
8	HfN	$HfN + O_2 = HfO_2 + 1/2N_2$	HfO ₂	-1131,2
9	- « -	$HfN + 2O_2 = HfO_2 + NO_2$	HfO ₂	-1057,3
10	(TiAl)N	$2AlN + 5/2O_2 = Al_2O_3 + 2NO$	Al ₂ O ₃	-2430,0
11	(TiZr)N	$ZrN + O_2 = ZrO_2 + 1/2N_2$	ZrO ₂	-1505,0
12	- « -	$ZrN + 1/2O_2 = ZrO + 1/2N_2$	ZrO	-1117,8
13	(TiCr)N	$Cr_2N + O_2 = Cr_2O_3 + NO_2$	Cr ₂ O ₃	-957,8

Окончание таблицы

1	2	3	4	5
14	- « -	$2\text{CrN} + 5/2\text{O}_2 = \text{Cr}_2\text{O}_3 + 2/3\text{NO}_2$	Cr_2O_3	-960,6
15	- « -	$2\text{CrN} + 3/2\text{O}_2 = \text{Cr}_2\text{O}_3 + \text{N}_2$	Cr_2O_3	-1667,0
16	- « -	$\text{Cr}_2\text{N} + 3/2\text{O}_2 = \text{Cr}_2\text{O}_3 + 1/2\text{N}_2$	Cr_2O_3	-1410,5
17	(TiSi)N	$1/3\text{Si}_3\text{N}_2 + 4/3\text{O}_2 = \text{SiO}_2 + 2/3\text{NO}_2$	SiO_2	-570,4
18	(TiFe)N	$3/2\text{Fe}_2\text{N} + 2\text{O}_2 = \text{Fe}_3\text{O}_4 + 3/4\text{N}_2$	Fe_3O_4	-1698,0
19	- « -	$\text{Fe}_2\text{N} + 3/2\text{O}_2 = \text{Fe}_2\text{O}_3 + 1/2\text{N}_2$	Fe_2O_3	-1206,3
20	(TiZrCu)N	$1/3\text{Cu}_3\text{N} + 1/2\text{O}_2 + \text{CuO} + 1/6\text{N}_2$	CuO	-259,5
21	- « -	$2/3\text{Cu}_3\text{N} + 1/2\text{O}_2 + \text{Cu}_2\text{O} + 1/3\text{N}_2$	Cu_2O	-363,7

В графе 3 таблицы представлены те реакции из возможных, значение теплоты образования которых найдены нами по закону Гесса [21] и оказались максимальными по абсолютной величине. Так, при окислении TiC имеет место образование двух типов оксидов титана – TiO и TiO₂, окиси и закиси углерода. Для оксида TiO₂ по реакции 1 (графа 3) выделяется CO₂, а расчетная теплота реакции составляет $\Delta H_{298}^0 = -1147,3$ кДж/моль. При образовании оксида CO по реакции $\text{TiC} + 3/2\text{O}_2 = \text{TiO}_2 + \text{CO}$ расчетная теплота реакции $\Delta H_{298}^0 = -869,1$ кДж/моль; для реакции $\text{TiC} + 3/2\text{O}_2 = \text{TiO} + \text{CO}_2$ с образованием оксида TiO теплота $\Delta H_{298}^0 = -722$ кДж/моль. Сравнение значений для этих реакций с табличными ($\Delta H_{298}^0 = -1147,3$ кДж/моль) указывают на то, что такие реакции маловероятны. Как отмечалось [27], при окислении кристаллов с ГЦК типом решетки (TiC, ZrC, VC, кроме CrC) возможно, кроме образования оксидов типа MeO₂, и выделение свободного углерода согласно реакции: $\text{TiC} + \text{O}_2 = \text{TiO}_2 + \text{C}$.

Найдём её теплоту согласно закону Гесса:

$$\Delta H_{298}^0 = \Delta H_{\text{TiO}_2}^0 + \Delta H_{\text{C}}^0 - \Delta H_{\text{TiO}}^0 - \Delta H_{\text{O}_2}^0 = -1469,1 \text{ кДж/моль.}$$

Подставляя в уравнение для вычисления общей теплоты реакции стандартные значения теплоты образования конечных продуктов реакции ($\Delta H_{\text{TiO}_2}^0$, ΔH_{C}^0) и вычитая из них значения теплоты образования исходных продуктов (ΔH_{TiC}^0 , $\Delta H_{\text{O}_2}^0$) [21, 27, 37], получаем:

$$\Delta H_{298}^0 = -(944 + 715,6) - (-190,5 + 0) = -1469,1 \text{ кДж/моль.}$$

Сравнивая расчётное значение с табличными (графа 5) для оксида титана, видим, что при окислении TiC вероятна реакция образования рутила TiO₂ с выделением углерода. Аналогичные результаты получены для окисления ZrC, NbC и HfC.

Из данных таблицы следует, что при окислении для одно- и многослойных покрытий (верхний слой) характерно образование соответствующих оксидов:

– для покрытий, содержащих титан (TiC, TiN), вероятно образование оксидов TiO₂ (рутила) (с значениями теплоты образования $\Delta H_{298}^0 = -1147,3$ и -1314 кДж/моль);

– содержащих Zr – образование ZrO₂ ($\Delta H_{298}^0 = -1192$ и -1505 кДж/моль);

– содержащих Hf – оксид гафния HfO₂ (реакции 4 и 8).

При окислении нитрида алюминия образуются оксиды Al₂O₃, имеющие теплоту реакции образования $\Delta H_{298}^0 = -2430$ кДж/моль (реакция 10, графа 5).

Таким образом, с точки зрения термодинамических условий (максимальная теплота образования оксидов) при резании на поверхностях карбидных, нитридных и композиционных покрытий вероятно образование соответствующих оксидов TiO₂, ZrO₂, ZrO, Hf₂O, Cr₂O₃, Fe₂O₃, Al₂O₃. Эти результаты подтверждаются экспериментальными данными изучения фазового состава оксидов на покрытиях [3, 5, 10-13, 16, 25, 27].

О показателе защитности оксидных слоев. Необходимо упомянуть ещё об одном показателе свойств оксидных пленок – коэффициенте объема (показателе защитности); эти два термина

имеют одинаковые «права гражданства» как в отечественной [20, 23, 36, 42], так и в зарубежной литературе [25, 27, 31, 32].

Показатель защитности оксида φ равен отношению молекулярного объема оксида к атомному объему металла, образующего этот оксид [24, 25], и характеризует пористость оксидной пленки [20, 23]:

$$\varphi = \frac{MV_{Me_xO_y}}{AV_{Me}}, \quad (1)$$

где $MV_{Me_xO_y}$ – молекулярный объем соединения, см^3 ; AV_{Me} – атомный объем металла, см^3 .

Если объем оксида (площадь его поверхности) меньше объема (площади) исходного металла ($\varphi \leq 1$), то отмечается улучшение диффузии атомов кислорода к границе раздела «металл – первичная пленка оксида» и увеличивается толщина пленки оксида при встречной диффузии ионов металла.

С другой стороны, за счёт интенсификации процесса окисления объема (площади) слой оксида может быть настолько велик, что вызовет растрескивание и отслаивание пленки: $\varphi \gg 1$ [23-25]. Считается [23], что при $\varphi \leq 1$ пленка оксида обладает максимальными защитными свойствами. Однако $\varphi \leq 1$ имеют оксиды металлов с малым атомным весом [23, 24], не представляющие практического значения для наших условий.

Параметр φ поддается точному расчету. Для этого необходимо знать тип кристаллической решетки соединения (оксид, карбид, нитрид), плотность металла и оксида, число молекул оксида в элементарной ячейке, молекулярную массу соединения.

ПРИМЕР. Найти коэффициент защитности φ оксида FeO, образующегося при окислении железа.

Исходные данные:

- тип оксида – FeO;

- тип кристаллической решетки – NaCl (ГЦК) $a = 4,3 \text{ \AA}$ ($4,3 \cdot 10^{-8} \text{ см}$);

- плотность металла – $\rho_{\text{Fe}} = 7,87 \text{ г/см}^3$;

- объем элементарной ячейки – $V = (a \cdot 10^{-8} \text{ см})^3 = 4,3 \cdot 10^{-24} \text{ см}^3$;

- число молекул оксида FeO в элементарной ячейке $n=4$ [41].

Примечание. Количество атомов (молекул) в элементарной ячейке зависит от типа кристаллической решетки [26, 41]:

для ОЦК – $n=2$ (Ti, V, Cr, Nb, Mo, Ta, W, Fe);

ГЦК – $n=4$ (Al, Fe, Ni, Si);

ГПУ – $n=6$ (Ti, Co, Zr, Hf).

– молекулярная масса FeO равна сумме атомных масс железа и кислорода:

$$FeO = A_{\text{FeO}} + A_{\text{O}} = 55,85 + 16 = 71,85 \text{ г/моль.}$$

Расчет коэффициента защитности

1. Определяется плотность оксида

$$\rho_{\text{FeO}} = \frac{n \cdot M_{\text{FeO}}}{N_A \cdot V} = \frac{4 \cdot 71,85}{0,602 \cdot 10^{24} \cdot 4,3 \cdot 10^{-24}} = \frac{4 \cdot 71,85}{0,602 \cdot 4,3^3} = 6,00 \text{ г/см}^3.$$

Здесь N_A – число Авогадро, $N_A = 0,602 \cdot 10^{24} \text{ моль}^{-1}$.

2. Вычисляем молекулярный объем оксида FeO:

$$MV_{\text{FeO}} = \frac{M_{\text{FeO}}}{\rho_{\text{FeO}}} = \frac{71,85}{6} = 12,0 \text{ см}^3.$$

3. Атомный объем Fe принимаем из литературных источников [22, 24]:

$$AV_{\text{Fe}} = 7,1 \text{ см}^3.$$

4. Рассчитываем коэффициент защитности FeO:

$$\varphi_{\text{FeO}} = \frac{MV_{\text{FeO}}}{AV_{\text{Fe}}} = \frac{12,0}{7,1} = 1,7.$$

Примечание. При расчете показателя ϕ по формуле (1) необходимо оба объема соединения (MV_{Me} и AV_{Me}) отнести к эквивалентному количеству металла [24]. Так, для оксида алюминия Al_2O_3 имеем:

$$\phi_{Al_2O_3} = \frac{MV_{Al_2O_3}}{2AV_{Al}} = \frac{25,6}{2,1} = 1,28.$$

По изложенной методике были рассчитаны коэффициенты ϕ для оксидов, образование которых возможно при окислении покрытий разного состава, согласно данным приведенной таблицы, а также для карбидов, нитридов и алюминидов, пленки которых являются «конструктивными элементами износостойких покрытий» (рис.1).

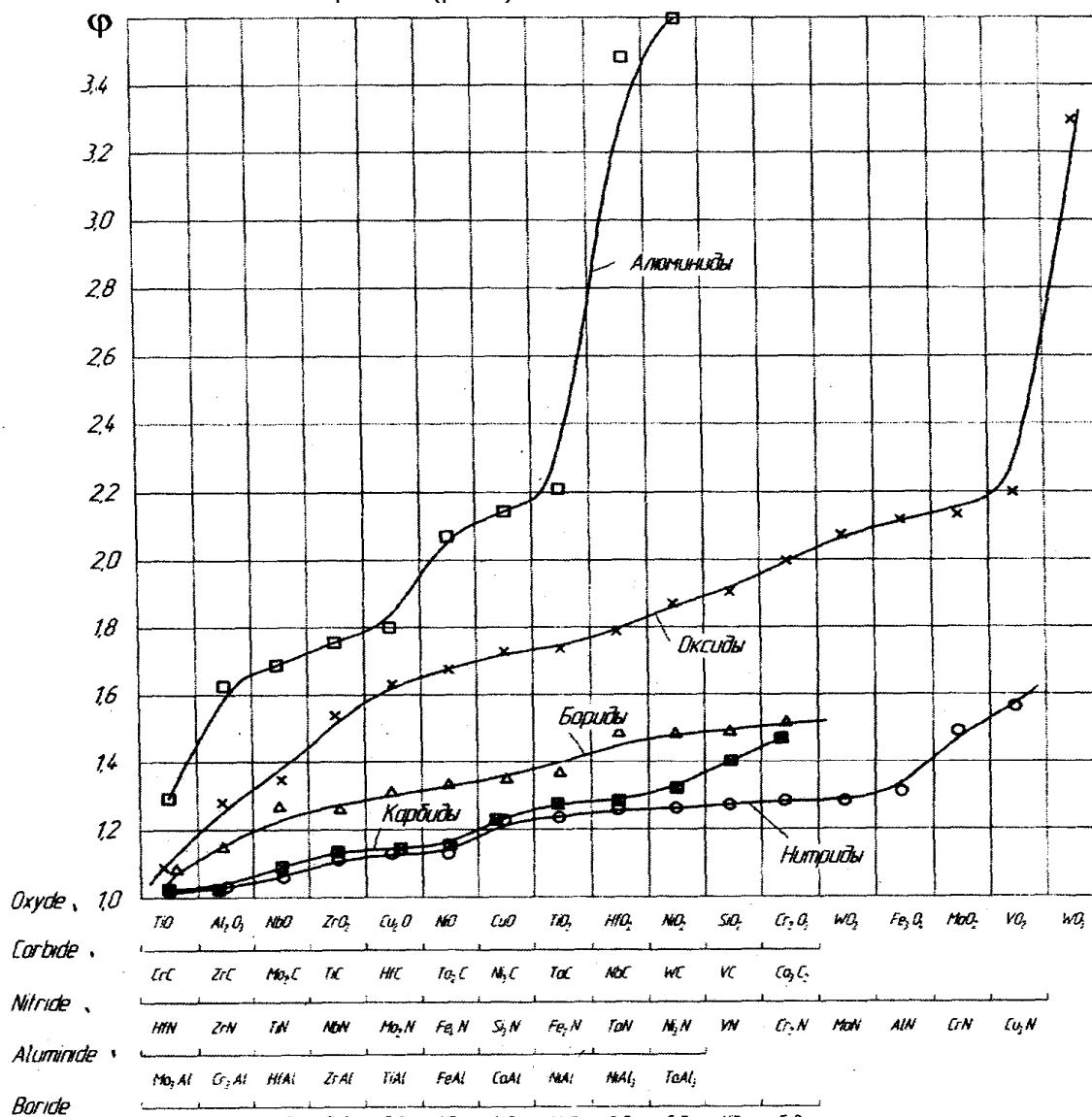


Рис.1. Показатели защитности оксидов, карбидов, нитридов, алюминидов металлов и боридов

На рис.1 приводятся результаты расчетов показателей ϕ для оксидов, карбидов, нитридов и алюминидов как элементов износостойких покрытий, а также для боридов (для сравнения).

Анализ графиков рис.1 позволяет сделать предварительные выводы:

– наилучшие результаты показателя защитности имеют оксиды титана, алюминия, ниобия, циркония, меди, гафния, кремния и хрома ($\phi = 1,01-2,02$);

– наименьшие значения φ характерны для нитридов элементов, используемых в качестве однослойных покрытий или компонентов в покрытиях многослойных – от HfN до AlN ($\varphi=1,01-1,3$);

– по показателю φ карбиды занимают промежуточное положение между оксидами и нитридами – от CrC до NbC ($\varphi=1,01-1,23$);

– из алюминидов по минимальному значению показателя φ эффективными следует считать соединения с показателем защитности $\varphi=1,3-2,0$, в том числе HfAl, ZrAl, TiAl.

Соединения с наименьшими значениями показателя φ (как обеспечивающие сплошность пленки и тормозящие её рост при резании) демонстрируют их высокую эффективность в пленочных конструкциях: оксиды титана, алюминия; карбиды Zr, Cr, Ti, Hf; нитриды Hf, Zr, TiN. Поэтому показатель защитности пленки φ может служить единой из характеристик трибологических свойств.

В свете рассматриваемой проблемы представляется необходимым изучить интересный класс двухфазных систем алюминидов (TiAl, NiAl, Cr₂Al, ZrAl, Nb₂Al, FeAl, CuAl и Ti₂Al) в целях использования их в качестве слоев износостойких покрытий.

Анализ кинетических кривых окисления. Исходя из принятых посылок и полученных результатов, по показателю защитности φ можно косвенно прогнозировать поведение пленок рассмотренных соединений и в условиях контактного взаимодействия.

Однако предварительно целесообразно рассмотреть устойчивость к процессу газовой коррозии в условиях резания некоторых двухфазных систем, состоящих из тугоплавких элементов [50], прежде всего алюминидов (TiAl, ZrAl, NiAl, FeAl, NbAl), а также традиционных тугоплавких коррозионностойких соединений (Ti-Cr, Ti-Cu, Fe-Cu, Ti-Fe, Nb-Cu, Zr-Cu, Ti-Zr). Для этого мы использовали параметры окисления двойных соединений [50].

Расчетные данные по их газовой коррозии в координатах «привес образца – время нагрева» представлены серией графических материалов как результат обработки табличных данных [40].

Графики построены по значениям привеса сплавов в зависимости от времени выдержки при нагреве до конкретной температуры (рис.2) и в зависимости от содержания второго элемента в сплаве (например, для сплава Nb-Al для построения графика (рис.3) использованы значения для чистых Nb и Al и их сплавов Nb+10%Al, Ti+30%Al, Nb+50%Al, Nb+70%Al и Nb+90%Al).

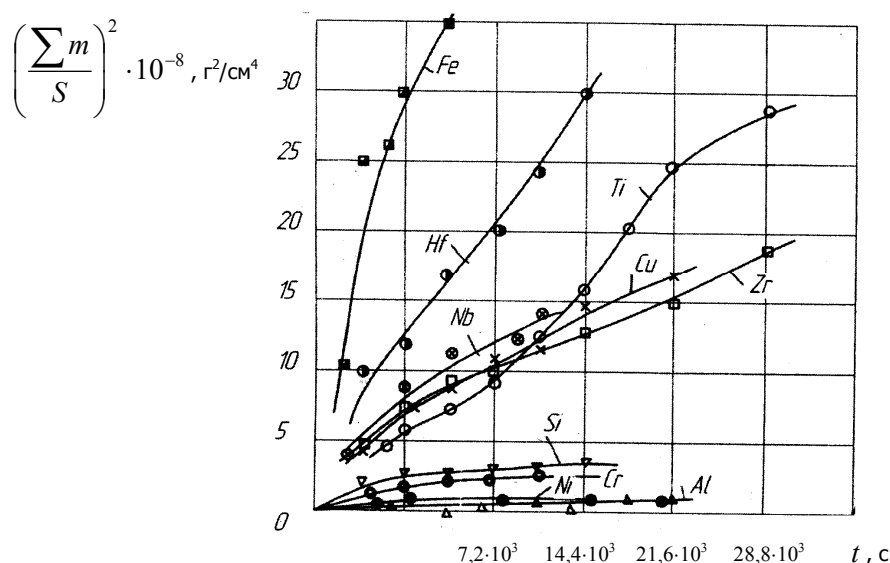


Рис.2. Кинетические кривые окисления чистых металлов [42]

Чистые металлы (рис.2) в диапазоне температур нагрева 600-800 °С (время нагрева 3 ч) по сопротивляемости газовой коррозии (окалиностойкости) располагаются ориентированно в такой последовательности (самый окалиностойкий – первый элемент в этом ряду): Al, Ni, Cr, Si, Ti, Cu, Zr, Nb, Hf, Fe.

Скорость окисления сплавов на базе этих элементов зависит от ряда факторов, и определяется [42] различными показателями:

- характером диффузных процессов кислорода и катионов металла в пленке оксида при ее формировании;
- влиянием примесей;
- полиморфным превращением оксидов в процессе окисления;
- испарением оксидов;
- влиянием субоксидов (твердых растворов кислорода в металле до образования валентных оксидов) и др.

По этим причинам построенные кинетические кривые окисления двойных сплавов есть суперпозиции параболического и линейного законов окисления.

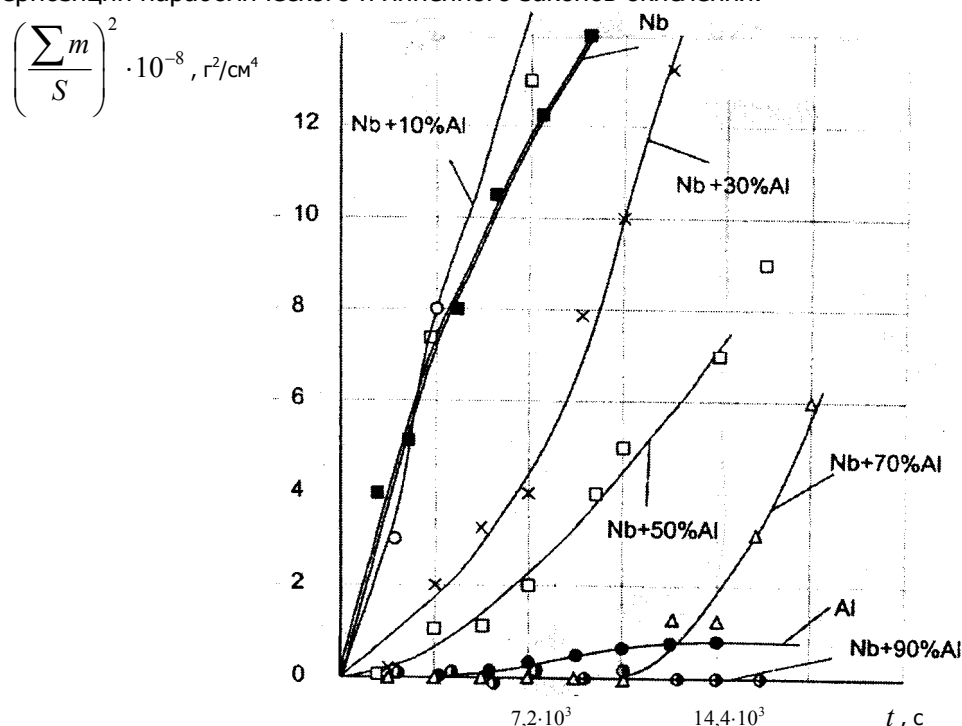


Рис.3. Кинетические кривые окисления сплава Nb – Al при температуре нагрева $T=700\text{ }^{\circ}\text{C}$ [42]

Анализ кинетических кривых окисления двойных сплавов показал следующее.

1. Наиболее окалиностойкие сплавы:

- | | |
|----------------|---|
| Ti+(30-70)% Al | ($T \leq 800\text{ }^{\circ}\text{C}$); |
| Fe+(30-70)% Al | ($T \leq 500-900\text{ }^{\circ}\text{C}$); |
| Cu+(30-90)% Al | ($T \leq 500-900\text{ }^{\circ}\text{C}$); |
| Nb+(70-90)% Al | ($T=600-700\text{ }^{\circ}\text{C}$); |
| Zr+(70-90)% Al | ($T \leq 700\text{ }^{\circ}\text{C}$); |
| Ti+(10-50)% Cr | ($T=500-900\text{ }^{\circ}\text{C}$); |

2. Сплавы Ti+(2-5)% Zr эффективны при малых значениях времени выдержки; сплав Ti+Cu эффективен в композиции Ti+(5-30)% Cu в диапазоне температур 500-700 °С.

3. Аллюминид $Ni+(10-70)\% Al$ окалиностоек в диапазоне температур 500-600 °C;
4. Двойные сплавы $Ti+(10-90)\% Fe$, $Fe+(5-90)\% Cu$, $Nb+(5-50)\% Cu$ не составляют конкуренции аллюминидам других элементов даже при средней температуре нагрева 500 °C.

Сравнивая показатели защитности ϕ пленок карбидов, нитридов, оксидов и аллюминидов с кинетическими кривыми окисления, видим наличие корреляции между величиной показателя защитности и их (карбидов, нитритов и др.) эффективностью в качестве компонентов [1-17].

Представленный на рис.1 ряд нитридов металлов от HfN до Cu_3N ($\phi=1,01-1,57$) практически весь может быть использован для формирования композиционных покрытий. В настоящее время в практике инструментального производства используется только TiN и ZrN .

Оксидные фазы (рис.1), по-видимому, следует учитывать только с $\phi \leq 2,0$, т.е. от TiO до Cr_2O_3 (в практике металлообработки используются защитные свойства только оксидов титана, алюминия и циркония).

Карбиды TiC , ZrC применяют сегодня как первичный слой композиционных покрытий ($\phi=1,15-1,25$), но реально возможно применение карбидов всего ряда (рис.1), исключая WC как термически неустойчивый при высоких температурах (окалиностойкость его низка).

Что касается аллюминидов, то мы впервые установили корреляционную связь между показателем ϕ защитности аллюминидов и их окалиностойкостью (по кинетическим кривым окисления), что в первом приближении может служить и критерием износостойкости (эффективности) композиционного покрытия с верхним слоем из аллюминидов. Это предположение требует экспериментальной проверки.

Экспериментальные результаты изучения влияния покрытий на трибоокислительные процессы и износостойкость. Влияние скорости на интенсивность изнашивания изучали для твердых сплавов при точении стали 45 твердосплавными пластинами двухкарбидных сплавов TN35 (покрытие TiN) и TC52 (покрытие TiN) польского производства.

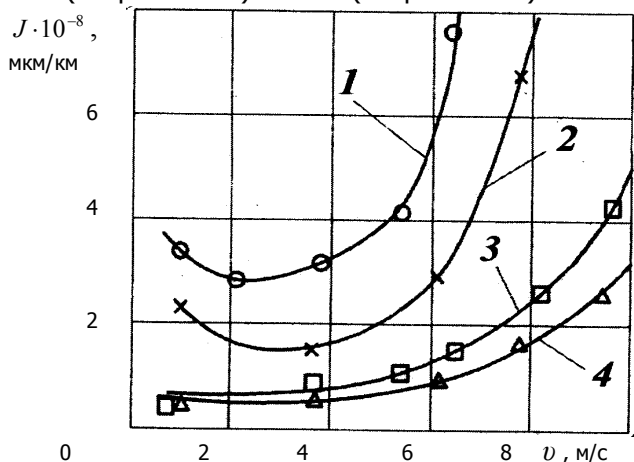


Рис.4. Зависимость интенсивности изнашивания при точении стали 45 ($t=0,5$ мм; $S=0,21$ мм/об) от покрытий TiC и TiN : 1 – сплав TN35 (без покрытия); 2 – сплав TC52 (без покрытия); 3 – сплав TN35 (покрытие TiN); 4 – сплав TC52 (покрытие TiC)

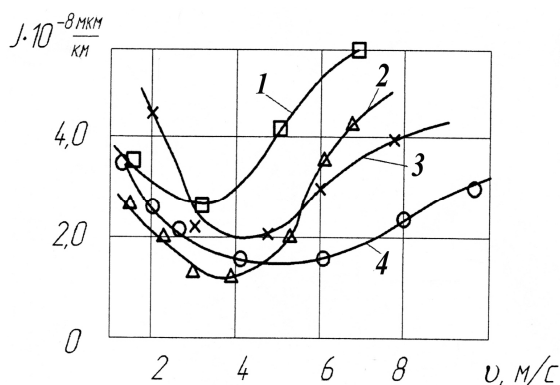


Рис.5. Зависимость интенсивности изнашивания твердых сплавов при точении стали 45 ($t=0,5$ мм; $S=0,21$ мм/об) от покрытия TiC и Al_2O_3 : 1 – сплав 1025-P25 (без покрытия); 2 – сплав 1025-P25 (с покрытием TiC); 3 – сплав GC025 (без покрытия); 4 – сплав GC025 (с покрытием $TiC + Al_2O_3$)

Проводили две серии экспериментов: пластины имели покрытия TiC и TiN ; покрытия предварительно удалялись с пластин шлифованием.

Покрытия TiC и TiN снижают интенсивность изнашивания J (рис.4) и сдвигают оптимальную скорость в зону больших скоростей по сравнению с обычными сплавами, покрытие с которых удалено. Резание осуществляли в атмосфере спокойного воздуха, поэтому в качестве одной из предварительных причин эффективности покрытия является торможение ими трибоокислительных реакций в контактной зоне.

В условиях продольного точения исследовали износостойкость твердых сплавов фирмы Sandvic Coromant марки GC025 (см. рис.5) с композиционным покрытием $\text{TiC}+\text{Al}_2\text{O}_3$ (верхний слой – Al_2O_3) в обычных условиях и с удалённым покрытием с контактных площадок пластин.

Как видно из рис.5, покрытие $\text{TiC}+\text{Al}_2\text{O}_3$ уменьшает износ, и интенсивность изнашивания становится минимальной J в зоне гораздо больших скоростей резания, сдвигая ее (эту зону) примерно на одну скоростную ступень. Оказывают влияние защитные свойства оксида Al_2O_3 , который препятствует трибоокислению твердого сплава в процессе резания (показатель защитности Al_2O_3 имеет минимальное значение $\varphi=1,26$, см. рис.1).

Прямым доказательством влияния покрытия на торможение трибоокислительных реакций при резании являются эксперименты по изучению износа на воздухе и при обдуве азотом зоны резания для твердосплавных пластин обычных и с удалённым слоем покрытия (рис.6).

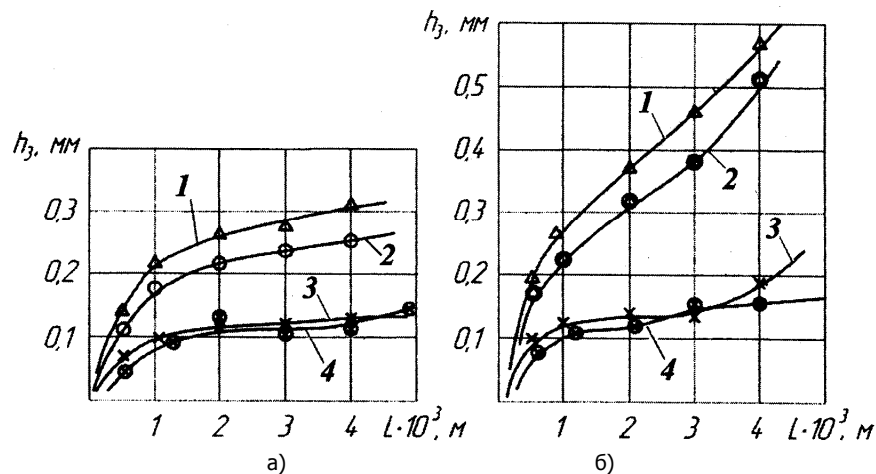


Рис.6. Влияние состава атмосферы на износ твердых сплавов в зависимости от пути резания L : а – сплав TN35 ($v=2,9$ м/с; $t=0,5$ мм; $S=0,3$ мм/об) – 1, 3 – резание на воздухе; 2, 4 – резание в среде N_2 ; 1, 2 – сплав TN35 без покрытия; 3, 4 – сплав TN35 с покрытием TiC ; б – сплав TC52 ($v=5,2$ м/с; $t=0,5$ мм; $S=0,21$ мм/об) – 1, 3 – резание на воздухе; 2, 4 – резание в среде N_2 ; 1, 2 – сплав TC35 без покрытия; 3, 4 – сплав TC35 с покрытием TiC

При наличии покрытия атмосфера не дает статистически значимой разницы в износе (воздух и азот) (кривые 3 и 4 на рис.6,а,б): так, при резании в азотной атмосфере износ пластин без TiC и TiN меньше (кривые 1 и 2), что служит прямым доказательством влияния покрытий на торможение трибоокислительных реакций на контакте при резании.

Выводы. 1. Исследованиями подтверждено влияние оксидных, карбидных и нитридных покрытий на трибоокислительные реакции в условиях резания на основе анализа термодинамических характеристик реакций окисления покрытий в воздушной атмосфере.

2. Применяемые покрытия, содержащие TiC , TiN , TiCN , $(\text{TiZr})\text{N}$ и $(\text{TiAl})\text{N}$, высокоэффективны, потому что образующиеся на них оксиды TiO_2 , ZrO и Al_2O_3 термодинамически устойчивы (максимальные значения потенциала Гиббса) при тепловых воздействиях в условиях резания.

3. Критерием эффективности покрытий может служить впервые используемый нами показатель защитности φ , который для исследованных структур имеет минимальные значения и может быть оценен теоретически.

4. Исследования кинетики окисления двойных сплавов тугоплавких элементов, в том числе и алюминидов, подтвердили их высокую коррозионную стойкость.

5. Установлена корреляционная связь показателя защитности пленок оксидов, нитридов, карбидов и алюминидов с результатами кинетики окисления, и косвенно – с показателем работоспособности инструментальных материалов с покрытиями в условиях резания.

6. Экспериментами по изучению износа твердых сплавов с покрытиями и без них в воздушной и защитной средах (азот) доказано прямое влияние покрытий TiC, TiN и TiC+Al₂O₃ на торможение трибоокислительных реакций в условиях резания.

7. Полученные данные могут быть использованы при «конструировании» новых, до сих пор не использованных, составов композиционных покрытий.

Библиографический список

1. Рыжкин А.А. Теплофизические процессы при изнашивании инструментальных режущих материалов: учеб. пособие / А.А. Рыжкин. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2005. – 310 с.
2. Рыжкин А.А. Синергетика изнашивания инструментальных режущих материалов / А.А. Рыжкин. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2004. – 322 с.
3. Кабалдин Ю.Г. Повышение работоспособности режущей части инструмента из быстрорежущей стали / Ю.Г. Кабалдин // Вестн. машиностроения. – 1996. – №6. – С.27-32.
4. Табаков В.П. Исследование износостойких покрытий режущего инструмента, полученных с применением составных катодов / В.П. Табаков // СТИН. – 1996. – №3. – С.14-17.
5. Куликов М.Ю. Роль трибоокислительных процессов в изнашивании и разрушении инструмента при резании материалов / М.Ю. Куликов, А.В. Стариков, А.В. Антипов // Трение и износ. – 2000. – Т.21. – №6. – С. 644-649.
6. Рыжкин А.А. Перспективы методов упрочнения и восстановления свойств поверхности инструмента / А.А. Рыжкин, В.В. Илясов, М.М. Алиев // Материалы 7-й междунар. практ. конф.-выставки «Технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки». 12-15.04.2005. – СПб.: Изд-во политехн. ун-та. – 2005. – С.345-353.
7. Козлов А.А. Об устойчивости гетерогенных реакций окисления на контактных поверхностях быстрорежущего инструмента при механической обработке металлов / А.А. Козлов, Н.Г. Деметьев // Вестн. машиностроения. – 2005. – №4. – С.57-61.
8. Табаков В.П. Многослойные покрытия инструмента в условиях прерывистого резания / В.П. Табаков, А.А. Ермольев // СТИН. – 2005. – №7. – С.21-24.
9. Мигранов М.Ш. Износостойкость режущего инструмента с многослойными покрытиями / М.Ш. Мигранов, Л.Ш. Шустер // Трение и износ. – 2005. – Т.26. – №3. – С.304-307.
10. Мигранов М.Ш. Исследование изнашивания инструментальных материалов и покрытий с позицией термодинамики и самоорганизации / М.Ш. Мигранов // Изв. вузов. Машиностроение. – 2006. – №11. – С.65-70.
11. Андреев А.А. Износостойкие вакуумно-дуговые покрытия на основе титана в инструментальном производстве / А.А. Андреев, С.Н. Григорьев // СТИН. – 2006. – №2. – С.19-24.
12. Шустер Л.Ш. Исследование износостойкости режущих инструментов с износостойкими покрытиями / Л.Ш. Шустер, М.Ш. Мигранов, С.М. Минигалеев [и др.] // Трение и смазка в машинах и механизмах. – 2007. – №5. – С.32-84.
13. Мигранов М.Ш. Износостойкость и трибологические свойства покрытий для режущего инструмента / М.Ш. Мигранов, А.Ш. Махлитова // Вестн. машиностроения. – 2007. – №11. – С.43-46.
14. Маслов А.Р. Перспективные высокие технологии / А.Р. Маслов // Приложение. Справочник. Инженерный журн. – 2008. – №1. – 24 с.
15. Табаков В.П. Влияние состава нитридных покрытий на тепловое и напряженное состояние режущего инструмента и интенсивность его износа / В.П. Табаков, А.В. Чихранов // СТИН. – 2009. – №10. – С.20-26.
16. Гуревич Ю.Г. Поверхностное азотирование твердых сплавов на основе карбида титана / Ю.Г. Гуревич // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2009. – №9. – С.28-29.

17. Верещака А.С. Некоторые тенденции совершенствования технологической производственной среды / А.С. Верещака // СТИН. – 2005. – №8. – С.2-18; СТИН. – 2005. – №9. – С.9-14.
18. Рыжкин А.А. Обработка материалов резанием: физические основы / А.А. Рыжкин. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 1995. – 241 с.
19. Крестовников А.Н. Химическая термодинамика / А.Н. Крестовников, В.Н. Вигдорович. – М.: Металлургия, 1973. – 256 с.
20. Термодинамические свойства неорганизованных веществ: справочник; под. ред. А.П. Зефирова. – М.: Атомиздат, 1965. – 460 с.
21. Карапетянц М.Х. Химическая термодинамика / М.Х. Карапетянц. – М.: Химия, 1975. – 584 с.
22. Термодинамические свойства веществ: справочник / В.Н. Рябин, М.А. Остроумов, Т.Г. Свит. – Л.: Химия. Ленингр. отд-ние, 1977. – 389 с.
23. Войтович Р.Ф. Окисление карбидов и нитридов / Р.Ф. Войтович. – Киев: Наук. думка, 1981. – 192 с.
24. Кубашевский О. Окисление металлов и сплавов / О. Кубашевский, Б. Гопкинс. – М.: Металлургия, 1965. – 428 с.
25. Мигранов М.Ш. Износостойкие покрытия с прогнозируемой адаптацией при трении / М.Ш. Мигранов, Л.Ш. Шустер, Г.С. Фукс-Рабинович // Трение и смазка в машинах и механизмах. – 2010. – №1. – С.25-29.
26. Ван Флек Л. Теоретическое и прикладное материаловедение; пер. с англ. / Л. Ван Флек. – М.: Автоматизация, 1975. – 472 с.
27. Руднева В.В. Термоокислительная устойчивость нанопорошков тугоплавких карбидов и боридов / В.В. Руднева, В.В. Галевский // Изв. вузов. Черная металлургия. – 2007. – №4. – С.20-24.
28. Рыжкин А.А. Влияние внешней среды на износ твёрдых сплавов / А.А. Рыжкин, А.И. Боков, В.В. Зотов [и др.] // Вестник ДГТУ. – 2010. – Т.10. – №1. – С.112-120.
29. Окисление металлов. Теоретические основы. Т.1; пер. с франц. / под ред. Г.С. Викторovichа. – М.: Металлургия, 1968. – 498 с.
30. Эванс Ю.Р. Коррозия и окисление металлов / Ю.Р. Эванс; пер. с англ. – М.: Машгиз, 1962. – 560 с.
31. Носовский И.Г. Влияние газовой среды на износ металлов / И.Г. Носовский. – Киев: Техника, 1968. – 181 с.
32. Верещака А.С. Повышение эффективности резания труднообрабатываемых материалов с применением инструмента с наноструктурным износостойким покрытием / А.С. Верещака, А.И. Анников, А.В. Дачева // Технология машиностроения. – 2010. – №3. – С.17-22.
33. Краткий каталог. Путеводитель по покрытиям 2008 (Выставка фирмы PLATIT).
34. Фалькевский В.А. Твердые сплавы / В.А. Фалькевский, Л.И. Клячко. – М.: Изд. дом «Руда и материалы», 2005. – 411 с.
35. Пригожин М. Современная термодинамика / М. Пригожин. – М.: Мир, 2002. – 462 с.
36. Физико-химические свойства окислов: справочник; под ред. Г.В. Самсонова. – М.: Металлургия, 1978. – 471 с.
37. Соляков В.К. Введение в химическую термодинамику / В.К. Соляков. – М.: Изд-во «Химия», 1974. – 220 с.
38. Жук Н.П. Курс теории коррозии и защиты металлов / Н.П. Жук. – М.: Металлургия, 1976. – 472 с.
39. Томашов Н.Д. Теория коррозии и защиты металлов / Н.Д. Томашов. – М.: Изд-во АН СССР, 1960. – 591 с.

40. Самсонов Г.В. Тугоплавкие соединения / Г.В. Самсонов, И.М. Винницкий. – М.: Металлургия, 1976. – 558 с.
41. Шаскальская М.П. Кристаллография / М.П. Шаскальская. – М.: Высш. шк., 1984. – 385 с.
42. Войтович Р.Ф. Высокотемпературное окисление металлов и сплавов: справочник; под ред. И.Н. Францевича / Р.Ф. Войтович, Э.И. Головкин. – Киев: Наук. думка, 1980. – 295 с.

References

1. Ryjkin A.A. Teplofizicheskie processy pri iznashivaniya instrumental'nyh rejuschih materialov: ucheb. posobie / A.A. Ryjkin. – Rostov n/D: Izdatel'skii centr DGTU, 2005. – 310 s. – in Russian.
2. Ryjkin A.A. Sinergetika iznashivaniya instrumental'nyh rejuschih materialov/ A.A. Ryjkin. – Rostov n/D: Izdatel'skii centr DGTU, 2004. – 322 s. – in Russian.
3. Kabaldin Yu.G. Povyshenie rabotosposobnosti rejuschei chasti instrumenta iz bystrorejuschei stali / Yu.G. Kabaldin // Vestn. mashinostroeniya. – 1996. – №6. – S.27-32. – in Russian.
4. Tabakov V.P. Issledovanie iznosostoikih pokrytii rejuschego instrumenta, poluchennyh s primeneniem sostavnykh katodov / V.P. Tabakov // STIN. – 1996. – №3. – S.14-17. – in Russian.
5. Kulikov M.Yu. Rol' tribookislitel'nykh processov v iznashivanii i razrushenii instrumenta pri rezanii materialov / M.Yu. Kulikov, A.V. Starikov, A.V. Antipov // Trenie i iznos. – 2000. – T.21. – №6. – S. 644-649. – in Russian.
6. Ryjkin A.A. Perspektivy metodov uprochneniya i vosstanovleniya svoystv poverhnosti instrumenta / A.A. Ryjkin, V.V. Ilyasov, M.M. Aliev // Materialy 7-i mejdunar. prakt. konf.-vystavki «Tehnologii remonta, vosstanovleniya i uprochneniya detalei mashin, mekhanizmov, oborudovaniya, instrumenta i tekhnologicheskoi osnastki». 12-15.04.2005. – SPb.: Izd-vo politehn. un-ta. – 2005. – S.345-353. – in Russian.
7. Kozlov A.A. Ob ustoychivosti geterogennykh reaktsii okisleniya na kontaktnykh poverhnostyakh bystrorejuschego instrumenta pri mekhanicheskoi obrabotke metallov / A.A. Kozlov, N.G. Dement'ev // Vestn. mashinostroeniya. – 2005. – №4. – S.57-61. – in Russian.
8. Tabakov V.P. Mnogosloynnye pokrytiya instrumenta v usloviyakh preryvistogo rezaniya / V.P. Tabakov, A.A. Ermol'ev // STIN. – 2005. – №7. – S.21-24. – in Russian.
9. Migranov M.Sh. Iznosostoikost' rejuschego instrumenta s mnogosloynnymi pokrytiyami / M.Sh. Migranov, L.Sh. Shuster // Trenie i iznos. – 2005. – T.26. – №3. – S.304-307. – in Russian.
10. Migranov M.Sh. Issledovanie iznashivaniya instrumental'nykh materialov i pokrytii s pozitsiei termodinamiki i samoorganizatsii / M.Sh. Migranov // Izv. vuzov. Mashinostroyeniye. – 2006. – №11. – S.65-70. – in Russian.
11. Andreev A.A. Iznosostoikiye vakuumno-dugovyye pokrytiya na osnove titana v instrumental'nom proizvodstve / A.A. Andreev, S.N. Grigor'ev // STIN. – 2006. – №2. – S.19-24. – in Russian.
12. Shuster L.Sh. Issledovanie iznosostoikosti rejuschih instrumentov s iznosostoikimi pokrytiyami / L.Sh. Shuster, M.Sh. Migranov, S.M. Minigaleev [i dr.] // Trenie i smazka v mashinakh i mekhanizmah. – 2007. – №5. – S.32-84. – in Russian.
13. Migranov M.Sh. Iznosostoikost' i tribologicheskie svoystva pokrytii dlya rejuschego instrumenta / M.Sh. Migranov, A.Sh. Mahlitova // Vestn. mashinostroeniya. – 2007. – №11. – S.43-46. – in Russian.
14. Maslov A.R. Perspektivnyye vysokie tekhnologii / A.R. Maslov // Prilozhenie. Spravochnik. Inzhenernyi zhurn. – 2008. – №1. – 24 s. – in Russian.
15. Tabakov V.P. Vliyaniye sostava nitridnykh pokrytii na teplovoe i napryazhennoe sostoyaniye rejuschego instrumenta i intensivnost' ego iznosa / V.P. Tabakov, A.V. Chihranov // STIN. – 2009. – №10. – S.20-26. – in Russian.
16. Gurevich Yu.G. Poverhnostnoye azotirovaniye tverdykh splavov na osnove karbida titana / Yu.G. Gurevich // Uprochnyayushchie tekhnologii i pokrytiya. – 2009. – №9. – S.28-29. – in Russian.
17. Vereschaka A.S. Nekotoryye tendentsii sovershenstvovaniya tekhnologicheskoi proizvodstvennoi sredy / A.S. Vereschaka // STIN. – 2005. – №8. – S.2-18; STIN. – 2005. – №9. – S.9-14. – in Russian.
18. Ryjkin A.A. Obrabotka materialov rezaniem: fizicheskie osnovy / A.A. Ryjkin. – Rostov n/D: Izdatel'skii centr DGTU, 1995. – 241 s. – in Russian.

19. Krestovnikov A.N. Himicheskaya termodinamika / A.N. Krestovnikov, V.N. Vigdorovich. – M.: Metallurgiya, 1973. – 256 s. – in Russian.
20. Termodinamicheskie svoystva neorganizovannykh veshchestv: spravochnik; pod. red. A.P. Zefirova. – M.: Atomizdat, 1965. – 460 s. – in Russian.
21. Karapetyanc M.H. Himicheskaya termodinamika / M.H. Karapetyanc. – M.: Himiya, 1975. – 584 s. – in Russian.
22. Termodinamicheskie svoystva veshchestv: spravochnik / V.N. Ryabin, M.A. Ostroumov, T.G. Svit. – L.: Himiya. Leningr. otd-nie, 1977. – 389 s. – in Russian.
23. Voitovich R.F. Okislenie karbidov i nitridov / R.F. Voitovich. – Kiev: Nauk. dumka, 1981. – 192 s. – in Russian.
24. Kubashevskii O. Okislenie metallov i splavov / O. Kubashevskii, B. Gopkins. – M.: Metallurgiya, 1965. – 428 s. – in Russian.
25. Migranov M.Sh. Iznosostoikie pokrytiya s prognozirovanoi adaptatsiei pri trenii / M.Sh. Migranov, L.Sh. Shuster, G.S. Fuks-Rabinovich // Trenie i smazka v mashinakh i mekhanizmakh. – 2010. – №1. – S.25-29. – in Russian.
26. Van Flek L. Teoreticheskoe i prikladnoe materialovedenie; per. s angl. / L. Van Flek. – M.: Avtomatizatsiya, 1975. – 472 s. – in Russian.
27. Rudneva V.V. Termookislitel'naya ustoychivost' nanoporoshkov tugoplavkikh karbidov i boridov / V.V. Rudneva, V.V. Galevskii // Izv. vuzov. Chernaya metallurgiya. – 2007. – №4. – S.20-24. – in Russian.
28. Ryjkin A.A. Vliyanie vneshnei sredy na iznos tverdykh splavov / A.A. Ryjkin, A.I. Bokov, V.V. Zotov [i dr.] // Vestnik DGTU. – 2010. – T.10. – №1. – S.112-120. – in Russian.
29. Okislenie metallov. Teoreticheskie osnovy. T.1; per. s franc. / pod red. G.S. Viktorovicha. – M.: Metallurgiya, 1968. – 498 s. – in Russian.
30. Evans Yu.R. Korroziya i okislenie metallov / Yu.R. Evans; per. s angl. – M.: Mashgiz, 1962. – 560 s. – in Russian.
31. Nosovskii I.G. Vliyanie gazovoi sredy na iznos metallov / I.G. Nosovskii. – Kiev: Tehnika, 1968. – 181 s. – in Russian.
32. Vereschaka A.S. Povyshenie effektivnosti rezaniya trudnoobrabatyvaemykh materialov s primeneniem instrumenta s nanostrukturnym iznosostoikim pokrytiem / A.S. Vereschaka, A.I. Annikov, A.V. Dacheva // Tehnologiya mashinostroeniya. – 2010. – №3. – S.17-22. – in Russian.
33. Kratkii katalog. Putevoditel' po pokrytiyam 2008 (Vystavka firmy PLATIT). – in Russian.
34. Fal'kevskii V.A. Tverдые splavy / V.A. Fal'kevskii, L.I. Klyachko. – M.: Izd. dom «Ruda i materialy», 2005. – 411 s. – in Russian.
35. Prigojin M. Sovremennaya termodinamika / M. Prigojin. – M.: Mir, 2002. – 462 s. – in Russian.
36. Fiziko-himicheskie svoystva okislov: spravochnik; pod red. G.V. Samsonova. – M.: Metallurgiya, 1978. – 471 s. – in Russian.
37. Solyakov V.K. Vvedenie v himicheskuyu termodinamiku / V.K. Solyakov. – M.: Izd-vo «Himiya», 1974. – 220 s. – in Russian.
38. Juk N.P. Kurs teorii korrozii i zashchity metallov / N.P. Juk. – M.: Metallurgiya, 1976. – 472 s. – in Russian.
39. Tomashov N.D. Teoriya korrozii i zashchity metallov / N.D. Tomashov. – M.: Izd-vo AN SSSR, 1960. – 591 s. – in Russian.
40. Samsonov G.V. Tugoplavkie soedineniya / G.V. Samsonov, I.M. Vinnickii. – M.: Metallurgiya, 1976. – 558 s. – in Russian.
41. Shaskal'skaya M.P. Kristallografiya / M.P. Shaskal'skaya. – M.: Vyssh. shk., 1984. – 385 s. – in Russian.
42. Voitovich R.F. Vysokotemperaturnoe okislenie metallov i splavov: spravochnik; pod red. I.N. Francevicha / R.F. Voitovich, E.I. Golovko. – Kiev: Nauk. dumka, 1980. – 295 s. – in Russian.

Материал поступил в редакцию 08.10.2010.

A.A. RYZHKIN, V.V. ZOTOV, D.P. GLOBAL, F.A. VISTOROPSKAYA

TRIBOCHEMICAL ASPECT OF THE EFFECT HARD ALLOYS METAL ON DETERIORATION AT CUTTING

Warmth calculations of carbides and nitrides oxidation of some metals as elements of wearproof coverings define probability of formation corresponding oxide base metals under the cutting conditions. Proofness indicator (volume factor) of connections is introduced for the first time to estimate efficiency of coverings from nitrides, carbides and aluminides, formed oxides, under the cutting conditions. Experimental data of oxidation of pure metals, double alloys, including aluminides, allow to consider that the efficiency of aluminides of Ti, Fe, Cu, Nb, Zr, Ni, correlates with their proofness indicators values. Research of cutting firm alloys with coverings of TiC, TiN and Al₂O₃ in the air and in nitrogen atmosphere have confirmed efficiency of these coverings under the retardation (shortstop) of tribochemical contact reactions.

Key words: wearproof coverings, tribochemical reactions, coverings proofness indicators, wear resistance of firm alloys with coverings.

РЫЖКИН Анатолий Андреевич (р.1938), заведующий кафедрой «Инструментальное производство» ДГТУ, доктор технических наук (1985), профессор (1986). Окончил РИСХМ (1960) по специальности «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструмент».

Область научных интересов – управление термодинамическими процессами в зоне резания в целях повышения работоспособности режущих инструментов.

Имеет 7 авторских свидетельств и патентов.

Автор 367 научных работ, в том числе 8 монографий.

ЗОТОВ Владимир Викторович (р.1966), доцент кафедры «Инструментальное производство» ДГТУ, кандидат технических наук (1999). Окончил РИСХМ (1990) по специальности «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструмент».

Область научных интересов – оптимизация процесса при трении и резании материалов в условиях одно- и многоинструментальной обработки на основе термодинамических критериев.

Автор 13 публикаций.

ГЛОБА Дмитрий Павлович (р.1984), начальник отдела фирмы «МОСКИТ». Окончил РГУ (2005).

Область научных интересов: повышение долговечности режущих инструментов.

ВИСТОРОПСКАЯ Флора Александровна, старший преподаватель кафедры «Литье и художественная обработка металлов» ДГТУ. Окончила ДГТУ (1999) по специальности «Машины и технология литейного производства».

Область научных интересов – САПР литейного производства, износостойкость композиционных материалов и покрытий.

Автор 12 публикаций.

a.ryzhkin_39@mail.ru

Anatoly A. RYZHKIN (1938), Head of the Tools Production Department, Don State Technical University. PhD in Science (1985-1986), Professor. He graduated from Rostov Institute of Agricultural Engineering (1960).

Research interests - thermodynamic process management (cutting tools efficiency).

Author of more than 500 scientific publications, including 8 monographs, 7 certificates of authorship and patents.

Vladimir V. ZOTOV (1966), Associate Professor of the Tools Production Department, Don State Technical University. Candidate of Science in Engineering (1999). He graduated from Rostov Institute of Agricultural Engineering (1990).

Research interests - cutting and dragging materials process optimization under the conditions of gang-tooled treating on the base of thermodynamic criteria.

Author of 13 scientific publications.

Dmitry P. GLOBA (1984), Head of the department of the firm «MOSKIT». He graduated from South Federal University (2005).

Research interests - buildup of cutting tools durability.

Flora A. VISTOROPSKAYA, Senior Lecturer of the Cast and Fancy Metal Working Department, Don State Technical University. She graduated from Don State Technical University (1999).

Research interests - foundry CAD, wear resistance of composite materials and coatings.

Author of 12 scientific publications.