

А.А. РЫЖКИН, А.И. БОКОВ, В.В. ЗОТОВ, Д.П. Глоба

ВЛИЯНИЕ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ НА ИЗНОС ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ

Представлены результаты влияния кислорода воздуха на окислительный износ твердосплавного инструмента. На базе уравнения баланса энтропии в теоретической зависимости для расчета интенсивности изнашивания учтен вклад реакций окисления компонентов твердого сплава в общее производство энтропии системы резания (трения). Показано влияние тонкослойных покрытий из карбида и нитрида титана на снижение окислительного износа.

Ключевые слова: трение, резание металлов, тепловые процессы, плотность энтропии, окисление, износостойкие покрытия, твердые сплавы, износ.

Введение. Трение и износ представляют собой сложную совокупность механических, физико-химических, электрохимических и других явлений, которые могут затруднить или, наоборот, интенсифицировать износ [1]. Характер контактного взаимодействия при трении металлических тел, наряду с физико-механическими, геометрическими, теплофизическими и другими свойствами материалов контактируемых тел, зависит и от свойств среды, где осуществляется трение.

Внешняя газовая среда изменяет основные параметры трения: износ, силы трения, качество поверхности трущихся тел. Это определяет протекание нормального механохимического износа, когда возникающие на контакте тонкопленочные структуры являются результатом совместного действия диффузионных процессов, химических реакций, активизируемых деформацией и температурой [1].

Влияние кислорода воздуха на износ при трении установлено сравнительно давно. Из опубликованных данных исследований по трению и резанию в этом направлении [1] следует, что на контактных площадках твердосплавных пластин после резания были обнаружены оксиды WO_3 , WO_2 , TiO , CoO , причем однокарбидные твердые сплавы окисляются в наибольшей степени, чем двухкарбидные. Меньше подвержены окислению при резании быстрорежущие стали: на всех контактных площадках после резания и нагревания в печи обнаружены, кроме основных фаз Fe_3W_3C и α -Fe, оксиды железа Fe_3O_4 и Fe_2O_3 .

Кроме этого, интенсивность изнашивания инструментальных материалов в условиях трения, когда уровень температур в зоне контакта благоприятен для протекания процесса окисления, определяется не только составом образующихся окисных пленок, но и их толщиной. Более тонкие окисные пленки, прочно сцепляющиеся с подложкой, могут тормозить и даже снижать износ при определенных условиях трения. Толстые окисные слои разупрочняют контактные площадки твердых сплавов, а дефектный слой удаляется с поверхности, увеличивая износ [1,2].

Расчетная оценка окислительного износа. Расчетные методы оценки трения и износа всегда отражали глубину проникновения в физическую природу трения и износа, суть механо-физико-химических явлений на контакте, так как расчетная зависимость отображает определенную модель процесса.

Предложенный нами энтропийный подход к анализу самоорганизации теплонагруженных пар трения к оценке износа при внешнем трении [1-5] оказался приемлемым и для теоретического учета влияния химических реакций на контакте на интенсивность изнашивания. Для этого необходимо учесть вклад в производство энтропии не только тепловых процессов, но и термодинамических неоднородностей химической природы. В предложенной ниже формуле для оценки интенсивности изнашивания учитывается плотность накопленной тепловой энтропии (член в квадратных скобках числителя зависимости (1)) и вклад в производство энтропии от химических ре-

акций (член $\sum_0^p A_p W_p \frac{1}{t_{\Pi}}$):

$$J = \frac{\left\{ \left[\int_0^{\Delta} \lambda \left(\frac{\partial t / \partial x}{t_n} \right) dx - \int_0^{\Delta} \lambda \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} \cdot \frac{1}{t_n} dx \right] + \sum_0^p A_p W_p \frac{1}{t_n} \right\}^2}{P[\delta S] V S_*}, \quad (1)$$

где $P[\delta S] = \int_0^{x_B} (\text{grad } t_B / t_B)^2 dx$ – производство избыточной тепловой энтропии от температурных флуктуаций на пятнах фактического контакта; S_* – критическая плотность энтропии (константа материала); V – скорость трения; t_n – температура поверхности изнашиваемого материала.

Термодинамические неоднородности тепловой природы (первое и второе слагаемое в числителе зависимости (1)) определяются распределением температуры $t(x)$, градиентом температуры $\partial t(x)/\partial x$, температуры поверхности t_n , величиной химического сродства A_p и скоростью реакции ω_p . Эти параметры находим из решения тепловых задач трения [1,5,6] без учета действия объемных тепловых источников в контактируемых телах. Параметр S_* есть критическая плотность энтропии в инструментальном материале, которая определяется расчетно-экспериментальным методом [1] (табл.1).

Таблица 1

Расчетные значения критических плотностей энтропии твердых сплавов

Материал контртела	Твердый сплав	V , м/с	$J \cdot 10^{-8}$	S_n , кВт/м 2 ·°C	S^* , средняя мДж/м 2 ·°C
Сталь 35	ВК8	2-3	3,2-4,5	0,89-1,34	12,22
	T15K6	1,5-2,5	2,7-2,8	0,45-0,61	13,63
	T15K6+TiC	1,5-2,5	1,3-2,1	0,37-0,51	14,02
ВТЗ-1	ВК8	0,35-0,65	20-19	0,62-0,72	11,12
	T15K6		22-20,5	0,66-0,81	13,41
	T15K6+TiC		25-23	0,89-1,09	16,20

Как видно из табл.1, значения S^* для твердых сплавов, независимо от материалов контртела, можно принять константами материала. Полученные значения удовлетворительно согласуются с энтропией плавления карбидов тугоплавких металлов, составляющих структуры твердых сплавов:

$$\Delta S_{TiC} = 12,95 \text{ мДж/м}^3 \cdot ^\circ\text{C}, \Delta S_{WC} = 10,64 \text{ мДж/м}^3 \cdot ^\circ\text{C}.$$

В зависимости (1) величина $P[\delta S]$ есть производство избыточной энтропии, обусловленное различными по природе флуктуационными процессами на контакте, в настоящее время не поддающееся точному расчету. Однако, если принять во внимание доминирующую роль тепловых процессов в износе инструментальных материалов, величина $P[\delta S]$ в формуле (1) имеет смысл производства тепловой энтропии пятнами фактического контакта и может быть оценена по соотношению [1-4]

$$P[\delta S] = \lambda \int_0^{x_B} \left(\frac{\text{grad } t_B}{t_B} \right)^2 dx. \quad (2)$$

Таким образом, задача оценки $P[\delta S]$ в этом случае сводится к расчету температурной вспышки t_B и температурного градиента $\text{grad } t_B$ на микровыступах шероховатой поверхности инструментального материала.

Величины t_B и $\text{grad } t_B$ могут быть найдены по зависимостям А.В.Чичинадзе [7]:

$$t_B = 1,13 + HB_V \frac{\sqrt{d_n \alpha_1 c \rho_1}}{\sqrt{L \lambda_2 c \rho_2} - \sqrt{d_n \lambda_1 c \rho_1}} \sqrt{L/V \lambda_1 c \rho_1},$$

$$d_n = 2,8 \sqrt{\frac{r h_{\max}}{9}} \left(\frac{N}{A_C HB_B} \right)^{1/2} V;$$

$$X_B = 3 \sqrt{a_1 L/V},$$

$$\text{grad } t_B = \frac{f HB_V \sqrt{d_n \alpha_1 c \rho_1}}{(\sqrt{L \lambda_2 c \rho_2} - \sqrt{d_n \lambda_1 c \rho_1}) \sqrt{\lambda_1 c \rho_1}} \left\{ \frac{1}{a_1 \sqrt{\pi T}} \left(x - \frac{x^2}{2} \right) \exp \left[-\frac{x^2}{4 a_1 T} - \frac{1}{\sqrt{a_1}} \left(1 - \text{ctg} \frac{x}{2 \sqrt{a_2 T}} \right) \right] \right\}. \quad (4)$$

Здесь f – коэффициент трения; HB – твердость более мягкого (обрабатываемого) материала; N – нормальная нагрузка; r и $h_{\max}$ – параметры шероховатости; b и v – характеристики опорной кривой поверхности более твердого (инструментального материала).

Так как термодинамические реакции на контактных площадках режущего инструмента за счет образования диссипативных структур в виде оксидов и других продуктов взаимодействия с внешней средой влияют на износ при резании, то можно поставить следующие задачи:

- расчетным путем оценить интенсивность изнашивания с учетом этих реакций;
- провести стойкостные эксперименты при резании;
- установить влияние на устойчивость к окислению твердых сплавов.

Для решения этих задач с использованием соотношения (1) необходимо оценить вклад химических реакций в производство энтропии (третий член в числителе выражения (1)):

$$\sigma_p = \sum_0^p A_p \omega_s \cdot \frac{1}{t_n}, \quad (5)$$

где A_p – химическое сродство p -й реакции, Дж/моль; ω_s – скорость p -й реакции, моль/м²·°С; t_n – температура поверхности, °С.

Оценка вклада реакций окисления твердых сплавов в производство энтропии. *Определение химического сродства реакций.* В предложенной зависимости (1) для расчета интенсивности изнашивания с учетом окислительных процессов твердосплавных режущих материалов определенную трудность представляет определение химического сродства A_p и скоростей реакций ω_p .

Взаимодействие кислорода воздуха с твердофазными структурными составляющими твердых сплавов протекают по реакциям, получивших в химической кинетике название гетерогенных нулевого порядка [15]. Если известна температура процесса t_* , то увеличение энтропии системы с химическими реакциями определяется химическим сродством A_p и скоростью реакции ω_p . Среднее химическое сродство можно рассчитать, зная теплоту реакции ΔH и изменение энтропии ΔS [8]:

$$-A = \Delta H - t_* \Delta S. \quad (5)$$

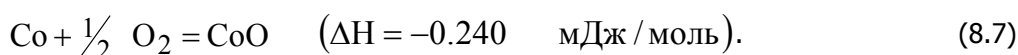
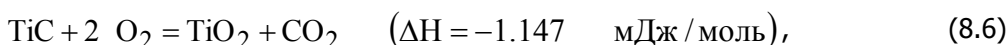
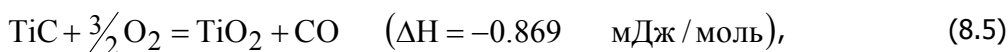
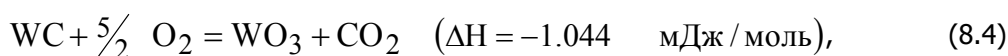
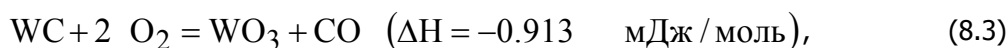
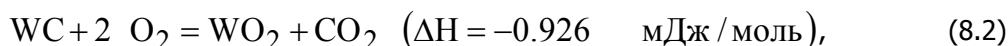
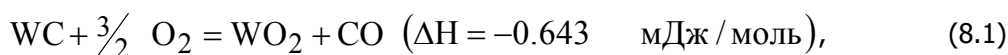
Для вычисления теплоты реакции в стандартных условиях необходимо из суммы теплот образования продуктов реакции вычесть сумму теплот образования исходных веществ (следствие из закона Гесса) [9], а для оценки теплоты реакции использовать зависимость [8]:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\Delta H)_{t_*P} = \sum \vartheta_i C_{Pi}. \quad (6)$$

Изменение энтропии ΔS в результате реакции находим, зная абсолютные энтропии исходных и конечных продуктов реакции [10]:

$$\Delta S = \sum_i \vartheta_i C_{Pi} \cdot \quad (7)$$

Если твердосплавный материал в общем случае является двухфазным, содержащим карбиды WC и TiC, то при его окислении (при резании и трении, нагреве в печи) возможно протекание следующих реакций:



Сравнивая расчетные значения теплот реакции ΔH , полученных по закону Гесса, видим, что наиболее вероятно протекание реакции (8.2), (8.4), (8.6). Параметры ΔH и ΔS определим на примере реакции (8.2):

$$\sum_i \vartheta_i C_{Pi} = -C_{PWC} - 2C_{PO_2} + C_{PWO_2} + C_{PCO_2} = \frac{\partial}{\partial x} (\Delta H)_{t^*, P} \cdot \quad (9)$$

Выражая удельные теплоемкости реагентов реакции как функции температуры по данным [11] с учетом стехиометрических коэффициентов, получаем:

$$\frac{\partial}{\partial x} (\Delta H)_{t^*, P} = 3,94 + 4,621 \cdot 10^{-3} \cdot t^* - 0,935 \cdot 10^{-6} \cdot t^{*2}. \quad (10)$$

После интегрирования (10) и определения постоянной получим:

$$(\Delta H)_{t^*, P} = 3,94 \cdot t^* + 4,621 \cdot 10^{-3} \cdot t^{*2} - 0,935 \cdot 10^{-6} \cdot t^{*3}. \quad (11)$$

Изменение энтропии ΔS в результате реакции (8.2) можно определить, зная абсолютные значения энтропии исходных и конечных продуктов реакции [10]. Для стандартных условий:

$$\Delta S^0 = \sum_i \vartheta_i C_{Pi} = -\Delta S_{WC} - 2\Delta S_{O_2} + \Delta S_{WO_2} + \Delta S_{CO_2}. \quad (12)$$

Выбирая ΔS_{WC} , ΔS_{WO_2} и S_{CO_2} по [11] с учетом (12), получаем:

$$\Delta S^0 = 40,44 \text{ кал / моль} \cdot \text{град} \left(-16944 \text{ Дж / моль} \cdot \text{град} \right). \quad (13)$$

Подставив значения ΔH и ΔS изучаемой реакции в (5), получаем:

$$-A = 44,38 \cdot t^* + 2,31 \cdot 10^{-3} \cdot t^{*2} - 0,312 \cdot 10^{-6} \cdot t^{*3} - 100030 \text{ кал / моль}. \quad (14)$$

Так как современные твердые сплавы имеют тонкослойные покрытия из карбидов и нитридов тугоплавких элементов (TiC, TiN и др.), то по вышеприведенной методике определяли [12] значения параметров A для некоторых реакций окисления (табл.2).

Константы окисления для реакции окисления компонентов твердых сплавов

№ п/п	Реакция	Химическое сродство, –А, Дж/моль
1	$WC + \frac{5}{2} O_2 = WO_3 + CO_2$	$A = 206,2 \cdot t_* + 22,42 \cdot 10^{-3} \cdot t_*^2 +$ $+ 19,65 \cdot 10^5 \cdot t_*^{-1} - 1,16 \cdot 10^{-6} \cdot t_*^3 - 1048235$
2	$TiC + 2 O_2 = TiO_2 + CO_2$	$A = 159,3 \cdot t_* + 8,93 \cdot 10^{-3} \cdot t_*^2 + 18,9 \cdot 10^5 \cdot t_*^{-1} -$ $- 1,16 \cdot 10^{-6} \cdot t_*^3 - 1151176$
3	$TiN + \frac{5}{2} O_2 = TiO_2 + \frac{1}{2} N_2O$	$A = 94,3 \cdot t_* - 1,29 \cdot 10^{-3} \cdot t_*^2 +$ $+ 13,7 \cdot 10^5 \cdot t_*^{-1} + 0,009 \cdot 10^{-6} \cdot t_*^3 - 613839$

Оценка скоростей химических реакций окисления твердых сплавов. Согласно современным представлениям химической кинетики [10], скорость гомогенных реакций в газовой фазе определяется как произведение константы химических реакций на концентрации реагентов в степенях, равных стехиометрическим коэффициентам в уравнении реакции.

При изнашивании твердых сплавов в условиях трения и резания в открытой воздушной среде концентрация окислителя в процессе реакции не изменяется, практически остается неизменной и концентрация твердосплавных реагентов, т.е. составляющих структуры. Поэтому скорость окисления в этом случае оценить хотя и затруднительно [1], но возможно на основе экспериментов по окислению нагреванием в печи. Очевидно, в этом случае речь может идти лишь об условной скорости реакции, так как не учитывается влияние деформации тончайших слоев карбидов твердых сплавов силами трения, что резко повышает скорость диффузии реагентов к фронту реакции. Из этого следует, что кинетика окисления твердых сплавов в печи не сопоставима с процессом окисления, и параметры процесса модельного окисления должны быть скорректированы.

Твердосплавные пластины из разных марок твердых сплавов окислялись нагревом в печи до 900°C с разным временем выдержки. Прежде всего, была установлена разная устойчивость против окисления исследуемых марок твердых сплавов в зависимости от температуры нагрева и времени выдержки от 30 мин до 4,0 ч. На рис.1 в качестве примера представлен вид твердосплавных пластин, нагретых до 700°C и выдержанных в печи в течение 4 часов (эксперименты по окислению твердых сплавов выполнялись М. Грондзкой [12] под руководством А.А. Рыжкина). На пластинах без покрытий P35, TI5K6 и BK8 появляется слой WO_3 ; на пластинах TI5K6 + TiC и TI5K6 + TiN образуются также пленки из TiO_2 , они хрупки и отслаиваются от основы; в местах нарушения сплошности покрытий на краях пластин окисляется материал основы (рис.1, д,е). Сплавы TC35 и TN 35 покрываются тонким слоем TiO_2 , и изменение массы этих пластин незначительно.

На рис.2 представлены результаты экспериментов по окислению. Зависимость квадрата удельного (на единицу площади пластины) прироста массы от времени выдержки подчиняется параболическому закону и в координатах $\left(\frac{\Delta m}{\Sigma}\right)^2 = f(t)$ выражается прямой линией, т.е. соответствует уравнению:

$$\left(\frac{\Delta m}{\Sigma}\right)^2 = Kt. \quad (15)$$

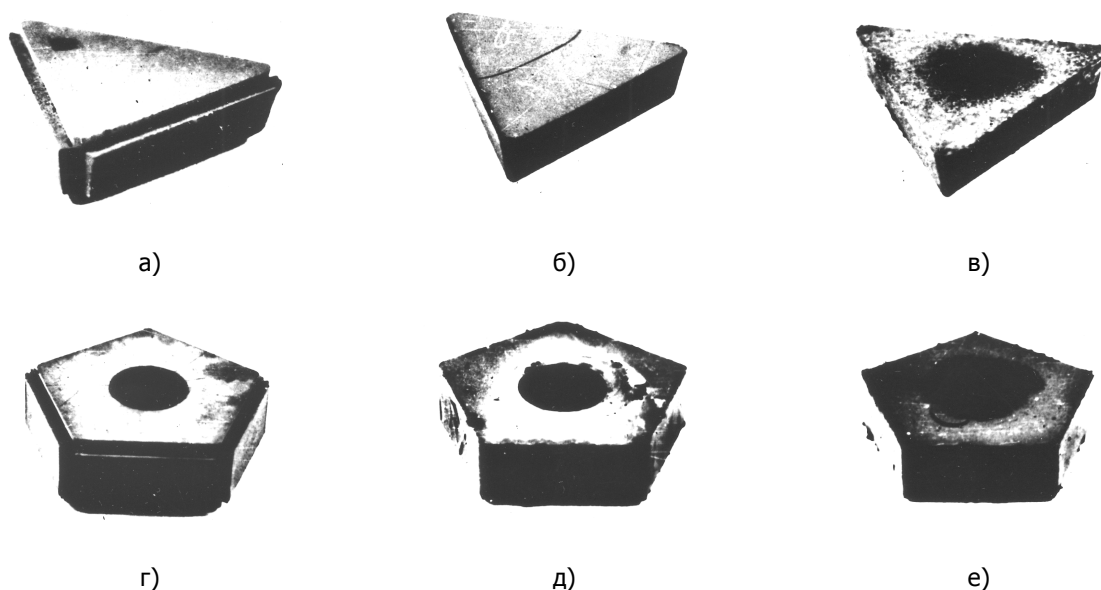


Рис. 1. Вид образцов твердых сплавов после нагрева в печи до 700°C:
а – P35; б – TC35; в – TN35; г – T15K6; д – T15K6+TiC; е – T15K6+TiN

По графикам рис.2 или экспериментальным данным изменения массы образцов от температуры нагрева (при постоянной выдержке) находили условные константы окисления K , равные скорости окисления. Такое допущение правомерно, так как реакции предполагаются одностадийными и имеют нулевой порядок [13].

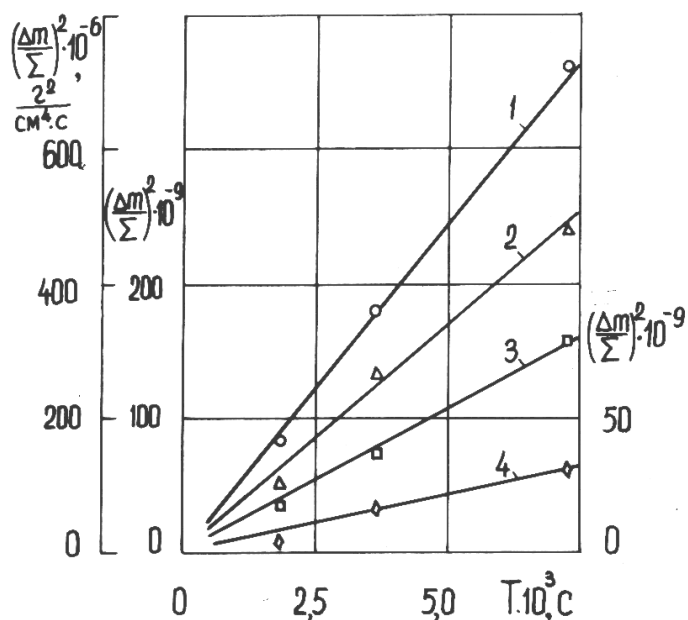


Рис.2. Удельный прирост массы инструментальных материалов при нагреве на воздухе (700°C) в зависимости от времени выдержки: 1 – BK8; 2 – T15K6; 3 – KHT-16; 4 – кермет ВOK-60. Шкала ординат 0-800 - для сплавов BK8 и T15K6; шкала 0-200 – для сплава KHT-16 и 0-50 – для кермета В3

В табл.3 даны значения констант окисления (скоростей реакций), полученные из значений констант K , найденных экспериментально (в $\text{г/см}^2\cdot\text{с}$) делением этих значений на соответствующие молекулярные массы продуктов окисления.

Таблица 3

Параметры модельного окисления твердосплавных материалов

Марка сплава	Продукт реакции	Молекулярная масса	$K \cdot 10^{-5}$, моль/ $\text{м}^2\cdot\text{с}$ при температурах			
			600°C	700°C	800°C	900°C
ВК8	WO_2	215,92	0,300	6,7	36,8	99,5
T15K6	79% WO_3 15% TiO_2	231,85	0,030	2,6	30,7	76,0
T15K6+TiC	TiO_2	79,9	0,043	0,78	20,13	185,0
T15K6+TiN	TiO_2	79,9	0,033	0,47	12,45	178,0
P35	75% WO_3 15% TiO_2	231,85	0,310	4,04	18,9	77,6
TC35	TiO_2	79,9	0,08	0,58	1,02	59,5
TN35	TiO_2	79,9	0,029	0,42	0,74	41,7

Температурная зависимость константы окисления K определяется уравнением Аррениуса:

$$K = A e^{-\frac{E}{Rt_*}} \quad (16)$$

Приняв для реакции (8.2) значения K из табл.2 (первая строка) для двух значений температур 600°C и 900°C и подставив их в (16), получим два уравнения с двумя неизвестными, откуда определим, что $K = 21560 \exp(-39315/1,984 t_*)$. Так как процесс окисления твердых сплавов при трении и резании сопровождается пластической деформацией, что вызывает снижение в 1,6-2 раза энергию активации [14], то с учетом этой корректировки для рассматриваемой реакции будем иметь:

$$\omega = K_\phi = 21560 \exp(-20059/1,984 \cdot t_*), \text{ моль/м}^2 \cdot \text{с}. \quad (17)$$

О связи интенсивности изнашивания твердых сплавов с окислительными процессами.

Чтобы аналитически оценить вклад химических реакций окисления твердосплавных материалов в интенсивность изнашиваний по зависимости (1), мы получили все исходные данные. Для упрощения расчетов используем реакцию (8.2) и положим, что изнашиваемая поверхность твердого сплава однородна и состоит только из WC (к примеру, сплав марки ВК8). В процессе износа WC окисляется с образованием на поверхности только диоксида вольфрама по термодинамически выгодной реакции (8.2). Такое ограничение не учитывает протекание других реакций на поверхности реальных твердых сплавов, например, окисление TiC и связующей фазы - кобальта, а также устойчивости многофазных сплавов к газовой коррозии. Кроме этого, предполагается, что теплота экзотермической реакции окисления не оказывает влияние на тепловой режим в зоне трения. Для пары трения "твердый сплав ВК8 – сталь 35" по приведенным выше зависимостям были найдены величины производства тепловой $\sigma_T[S]$ и "химической" $\sigma_p[S]$ энтропии (табл.4).

Таблица 4

Изменение производства энтропии от окисления сплава ВК8
при трении по стали 35 ($N=600\text{Н}$, $l_k=1 \cdot 10^{-3}\text{м}$)

V , м/с	t_n , °C	$-A$, Дж/моль	W , моль/ $\text{м}^2\cdot\text{с}$	$\sigma_p[S] = A\omega/t_n$ кВт/ $\text{м}^2\cdot\text{°C}$	$\sigma_T[S] = \int_0^\Delta \lambda (\partial t / \partial x)^2 dx$, кВт/ $\text{м}^2\cdot\text{°C}$	$\frac{\sigma_p[S]}{\sigma_T[S]}$
0,6	400	289,6	$6,47 \cdot 10^{-3}$	$4,68 \cdot 10^{-3}$	1,82	0,26
2,0	700	229	$6,65 \cdot 10^{-1}$	0,217	2,93	7,4
2,5	796	208,5	1,75	0,453	3,55	12,8
3,5	942	177,2	5,56	1,04	4,51	23,0

Видно, что вклад окислительной реакции в производство энтропии $\sigma_p [S]$ заметно проявляется при температурах в зоне трения 700°C и выше. Можно, на основе данных табл.5, предположить, что "химическая добавка" повысит интенсивность изнашивания твердого сплава. Расчеты по (1) подтвердили это предположение. Как показывают результаты [1] (табл.5), окислительные процессы увеличивают интенсивность изнашивания ΔJ на 16-30%.

Таблица 5

Исходные данные и результаты расчета интенсивности изнашивания сплава ВК8 при трении с учетом окислительных процессов (зависимость 1)

V, м/с	$\sigma_p [S]$	$\sigma_T [S]$	$J \cdot 10^{-8}$		
	кВт/м ² ·°C		Расчет.	Эксп.	Без учета окисления (расчет.)
2,5	0,453	3,2	3,84	3,4	3,31
3,0	0,620	3,55	4,53	4,5	3,84
3,5	1,04	4,51	4,14	5,0	3,19

Примечание. Сталь 35, N = 600Н, $l_k = 1 \cdot 10^{-3}$ м, $S_* = 12,22$ МДж/м³·°C.

Эти результаты по порядку величин J согласуются с опубликованными данными других авторов и нашими результатами изучения износа резцов из твердого сплава ВК8 при точении стали 20Х в вакууме и на воздухе [1]. Характерно, что интенсивность изнашивания J сплавов ВК8 и Т15К6 на воздухе и в вакууме неодинакова и зависит от скорости резания. Из (1) следует, что для ВК8 в условиях резания в вакууме, когда устраняется окисление контактных площадок инструмента, интенсивность изнашивания уменьшается на 10-14%.

Выводы. 1. Термодинамический подход к анализу процесса износа при внешнем трении позволяет в аналитической форме учесть влияние окислительных реакций на износ твердосплавных материалов при высоких температурах.

2. Расчетные и экспериментальные значения интенсивности изнашивания при трении однокорбидных сплавов, когда учитывается их окисление, удовлетворительно согласуются с погрешностью не более 17%.

3. Одной из причин повышения стойкости твердых сплавов с тонкослойными износостойкими покрытиями TiC и TiN является уменьшение доли окислительного износа основы твердого сплава.

Библиографический список

1. Рыжкин А.А. Теплофизические процессы при изнашивании инструментальных режущих материалов / А.А. Рыжкин. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2005. – 310 с.
2. Рыжкин А.А. Обработка материалов резанием. Физические основы / А.А.Рыжкин – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 1995. – 541 с.
3. Рыжкин А.А. Об энтропийном подходе к оценке износа при внешнем трении / А.А. Рыжкин, А.И. Филипчук, К.Г. Щучев // Обработка металлов давлением / РИСХМ. – Ростов н/Д. – 1980. – С.170-176.
4. Рыжкин А.А. Термодинамический метод оценки интенсивности изнашивания трущихся материалов / А.А. Рыжкин, А.И. Филипчук, К.Г. Щучев и др. // Трение и износ. – 1982. – Т.3. – № 5. – С. 867-872.
5. Филипчук А.И. Тепловой режим твердых сплавов при трении с малыми коэффициентами взаимного перекрытия / А.И. Филипчук, А.А. Рыжкин, А.В. Чичивадзе и др. // Трение и износ. – 1981. – Т.2. – №1. – С.72-86.
6. Рыжкин А.А. Температура в контактной зоне при трении / А.А.Рыжкин, А.И. Филипчук // Изв. СКНЦ ВШ. Технические науки. – 1980. – №1. – С. 56-59.
7. Расчет, испытания и подбор фрикционных пар; под ред. А.В. Чичивадзе. – М.: Наука, 1979. – 267 с.
8. Пригожин И. Химическая термодинамика / И. Пригожин, Г. Дэфей. – Новосибирск: Наука, 1966. – 509 с.
9. Герасимов Я.И. Курс физической химии / Я.И. Герасимов, В.П. Древинч, Е.Н. Еремин и др. – М.: Химия, 1969. – 592 с.

10. Казанская А.С. Расчеты химических равновесий / А.С. Казанская, В.А.Скобло – М.: Высшая школа, 1974. – 288 с.
11. Термодинамические свойства неорганических веществ: Справочник; под ред. А.П. Зейфрова. – М.: Атомиздат, 1965. – 460 с.
12. Грондзка М. Влияние покрытий карбида и нитрида титана на изнашивание твердых сплавов: дисс. ... канд. техн. наук. – Ростов н/Д. – 1965. – 428 с.
13. Кубашевский О. Окисление металлов и сплавов. / О. Кубашевский, Б. Гопкинс. – М.: Металлургия, 1965. – 428 с.
14. Бокштейн С.З. Диффузия и структура металлов / С.З.Бокштейн. – М.: Металлургия, 1973. – 206 с.
15. Суворов А.В. Общая химия / А.В. Суворов, А.Б. Никольский. – СПб.: Химия, 1994. – 623 с.

Материал поступил в редакцию 14.01.10.

A.A. RYZHKIN, A.I. BOKOV, V.V. ZOTOV, D.P. GLOBA

ENVIRONMENTAL INFLUENCE ON HARD ALLOY METAL RUNOUT

The subject matter of this article is the result of oxygen influence on oxidative wear of the carbide tool. Based on equation of entropy balance in theoretical dependence for the calculation of wear rate, the contribution of oxidation reactions of hard alloy metal components to the general mutual of metal cutting entropy is considered. Twin-layer coatings influence of carbide and nitride titanium on declination of oxidative wear is represented.

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: повышение работоспособности режущих инструментов управлением термодинамическими процессами в зоне резания.

Автор 365 научных работ, в том числе 8 монографий; имеет 7 авторских свидетельств и патентов.

a.ryzhkin_39@mail.ru

БОКОВ Анатолий Иванович (р. 1941), профессор кафедры «Инструментальное производство» ДГТУ, кандидат технических наук (1976). Окончил РИСХМ (1969) по специальности «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструмент».

Область научных интересов: повышение стойкости режущего инструмента и пар трения нанесением износостойких покрытий, в том числе методом микродугового оксидирования.

Автор 91 научной работы.

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 12 научных работ.

ГЛОБА Дмитрий Павлович (р. 1984), начальник отдела фирмы «МОСКИТ». Окончил РГУ (2005). Научные интересы: повышение долговечности режущих инструментов.