

СВЯЗЬ МЕЖДУ КОЭФФИЦИЕНТОМ ТРЕНИЯ ПОКОЯ И АДГЕЗИОННЫМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕМ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С МАТЕРИАЛОМ РИ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ И НОРМАЛЬНОЙ НАГРУЗКИ

Введение

Работа режущего инструмента (РИ) связана с характером его адгезионного взаимодействия с обрабатываемым материалом. Причем, как показано ранее [1–11] наличие нароста при определенных температурах и удельных давлениях приводит к существенному увеличению усилий резания и ухудшению качества поверхности. В тоже время не изучено влияние различных покрытий на РИ на адгезионное взаимодействие с обрабатываемым материалом.

Работа выполнялась в рамках программы Министерства образования и науки, "Новые и ресурсосберегающие и технологии в энергетике, промышленности и агропромышленном комплексе "(подсекция 13) "Аэрокосмическая техника и транспорт" и по темам "Создание физико-технических основ повышения качества материала аэрокосмических конструкций" и "Разработка технологических основ интегрированных технологий плазменно-ионной обработки деталей аэрокосмической техники", и хозяйственных работ и договоров о сотрудничестве.

1. Экспериментальная установка и методика проведения эксперимента

В процессе резания материалов, особенно склонных к схватыванию (жаропрочные стали, стали аустенитного класса, титановые сплавы), износ инструмента в основном связан с усталостным разрушением контактных площадок инструмента вследствие многократного образования и разрушения узлов схватывания (усталостно-адгезионная гипотеза износа). В связи с этим возникает важная задача исследования склонности к схватыванию (адгезии) твердосплавных материалов с упрочняющим плазменно-ионным покрытием и без него. Исследования склонности к схватыванию проводились на специальной установке УИА-1 (рис. 1).

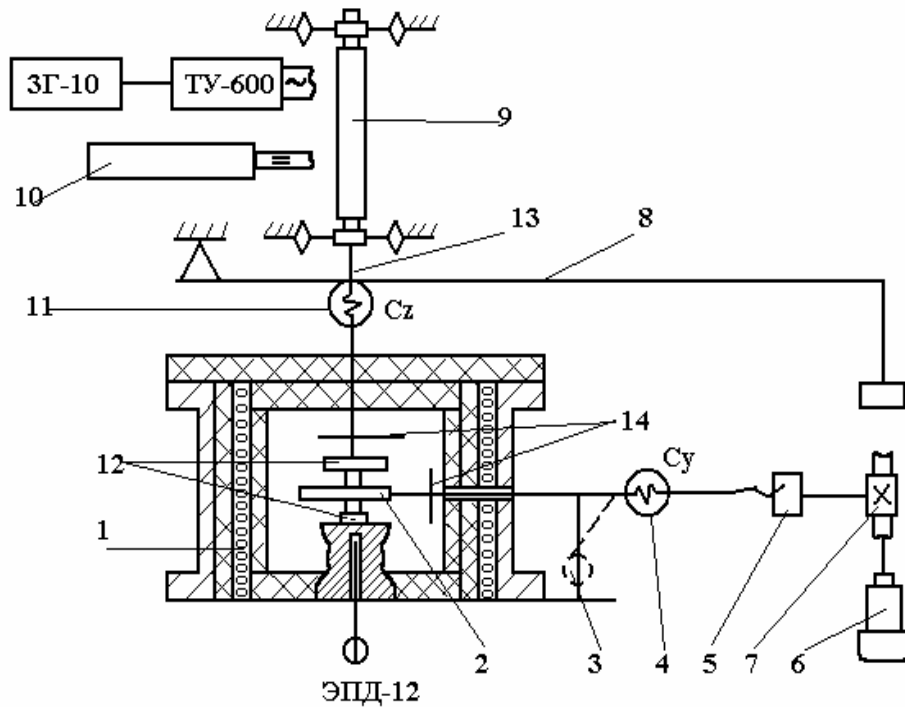


Рисунок 1 – Установка для исследования адгезии

Методика исследования схватывания включает в себя:

- 1) регистрацию кинетической силы трения в процессе относительного перемещения исследуемых образцов обрабатываемого и инструментального материалов;
- 2) оценку склонности к схватыванию различных пар «обрабатываемых и инструментальных материалов».

О схватывании при трении можно судить по наличию на дорожке трения инструментального материала налипov обрабатываемого материала, а также по характеру зависимости коэффициента трения от времени.

Оценка склонности к схватыванию исследуемых пар проводится по величине кинетической силы трения и рассчитанному коэффициенту трения. Большая сила трения и большой коэффициент трения свидетельствуют о большей склонности пары к схватыванию. Для установления характера схватывания при различных условиях контактирования исследовалась сила трения в зависимости от температуры и удельного давления.

На экспериментальной установке трение осуществлялось при перемещении одного образца инструментального материала между двумя образцами обрабатываемого материала, а регистрируемое сопротивление представляет собой удвоенную силу трения ($2F$) между двумя одноименными фрикционными парами.

Установка исследования адгезии предназначена для воспроизведения схватывания обрабатываемых материалов в зависимости от изменения в широком диапазоне условий трения:

- 1) при различных статических нагрузках;
- 2) при различной температуре принудительного нагрева исследуемых образцов.

Для уменьшения дополнительного теплообразования от трения скорость относительного перемещения образцов была принята 0,03 м/мин.

Принципиальная схема установки, показанная на рис. 1, выполнена в виде настольного комплексного агрегата, состоящего из двух основных частей: муфельной печи с нагревательным элементом 1; рычажного нагрузочного устройства 8 с упругим элементом C_y ; провода 5; электромагнитного вибратора 9 с блоком питания постоянного тока 10 и переменным током от звукового генератора (ЭГ-10) и трансляционного усилителя (ТУ-600).

Образец инструментального материала представляет собой стандартную неперетачиваемую пластинку 2 ($12,5 \times 12,5 \times 4,75$) с радиусом сопряжения 0,8 мм. Образцы обрабатываемого материала выполнены в виде трех усеченных конусов, запрессованных в обоймы 12 цилиндрической формы $\varnothing 20$ мм. Таким образом, фрикционный контакт образуется прижатием трех усеченных конусов из обрабатываемого материала к плоскости образца из инструментального материала. Общая номинальная площадь контакта 100 мм^2 , путь трения – 20 мм.

Продольное поступательное движение инструментального образца осуществляется приводом от электродвигателя 6, редуктора 7, пары «винт-гайка» 5 и упругого элемента C_y .

Контроль и поддержание постоянной температуры в печи производится автоматическим электронным потенциометром ЭПД-12. Термопара регистрирует температуру (термо- ЭДС) в непосредственной близости от образцов. Второй термопарой измеряется температура воздуха вблизи верхнего образца обрабатываемого материала.

Измерительными элементами установки служат:

- C_y – динамометр, измеряющий силу трения (2F) в двух фрикционных парах – верхней 12-2 и нижней 2-12;
- C_z – динамометр, измеряющий нормальную нагрузку – статическую P_{cm} и динамометрическую P_{δ} ;
- 13 – динамометр электромагнитного вибратора, измеряющий усилие, развиваемое вибратором;
- 3 – датчик, измеряющий тангенциальное перемещение (путь).

Образцы 2 и 12 самоустанавливаются. Нижний образец 12 может закрепляться неподвижно.

Для предотвращения нагрева измерительных элементов системы, на которых наклеены тензометрические датчики, в печи установлены два экрана 14, а в наружных частях привода штока динамометра C_y

имеются внутренние каналы, по которым циркулирует проточная вода (на рис. 1 не показаны).

Все параметры регистрировались компьютером IBM 586, для чего использовались: СИИД, микрометры и милливольтметры типа М266 и М82 для визуального наблюдения.

Для всех измерительных элементов проводилась статистическая тарировка. Основные данные по тарировке приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Измеряемые параметры и погрешности при их измерении

Изменяемые параметры	Диапазон тарировки	Шаг тарировки	Абсолютная погрешность при расшифровке
Сила трения , кг	0–700	25	± 7
Нормальная нагрузка, кг	0–600	25	± 6
Усилие вибратора, кг	0–120	5	± 3
Тангенциальные перемещения, мм	0–20	0,5	$\pm 0,3$
Нормальные перемещения, мм	0–0,01	0,01	$\pm 0,005$

В различных сериях опытов исследовались пары трения при изменении условий нагружения и температуры нагрева образцов в следующих интервалах:

- 1) статическая нормальная нагрузка 1000...1500 Н, что соответствует нормальному давлению 0,1...0,5 ГПа;
- 2) температура принудительного нагрева 300...878 К.

Эксперименты проводились при трении на воздухе. Перед каждым испытанием рабочие поверхности образцов обрабатываемого и инструментального материалов шлифовались, после чего очищались резинкой и протирались техническим спиртом. Все испытания проводились при трении вдоль рисок шлифования.

Подготовленные к опыту образцы устанавливались в нагревательной печи установки. После достижения необходимой температуры прогрев образцов продолжался в течение 15-20 минут при автоматическом поддержании температуры. Затем прикладывалась необходимая нагрузка и включался привод установки с одновременной записью регистрирующих параметров. После окончания эксперимента образцы остывали на воздухе и просматривались под микроскопом.

Все экспериментальные зависимости получены при одном изменяющемся параметре и неизменных остальных. В результате строились графики по точкам, представляющим среднеарифметические значения суммы семи - десяти опытов.

Для исследования влияния упрочнения или покрытия на износостойкость твердосплавных пластин использовалась методика определения износостойкости на специальной установке, смонтированной на токарном станке 16K20. Трение осуществлялось по ребру стандартной пластинки при постоянном нормальном давлении на ребро, равном 30 кг. Для имитации реальных условий резания использовалась подача $S = 0,15$ мм/об, с которой осуществлялось большинство стойкостных экспериментов.

Длина пути трения варьировалась в диапазоне 500...800 м. Скорость трения приближалась к реальной и изменялась в диапазоне 20...50 м/мин.

Износ пластин определялся методом взвешивания образца до опыта и после на аналитических весах с точностью до 0,001 Н. Для сравнения данных величина износа ребра пластины контролировалась координатным методом на ортотесте.

2. Результаты эксперимента и их обсуждение

Исследование коэффициента трения в условиях схватывания в широком диапазоне изменения нормальных нагрузок и температур проводилось на установке УИА - 1 (рис. 1) для следующих обрабатываемых материалов: 38ХС, ЭИ 702, ЭИ598, ВТ14. В качестве инструментальных подложек использовались следующие твердосплавные образцы: ВК6, ВК6М, ВК60М, Т5К10 с покрытием.

Порядок проведения экспериментов и способы подготовки к испытанию образцов рассмотрены в разд. 1.

2.1. Влияние температуры на силу трения

А. Обрабатываемый материал - сталь 38ХС

Зависимость коэффициента трения от изменения температуры определялась при постоянной статической нормальной нагрузке 1500 Н (номинальное давление 75 кг/мм²). Результаты исследования представлены на рис. 2 и 3.

Для всех исследуемых твердых сплавов зависимости коэффициента трения от температуры имеют максимум при температуре 500°С. Однако для образцов ВК6 и Т5К10 с покрытием наблюдалось снижение трения при сохранении общего характера изменения силы трения с ростом температуры от 300°С до 600°С. Разница между силой трения для образцов с упрочнением КИБ и без упрочнения при экстремальном значении сила трения (800 К) составляет 15-20% для сплава Т5К10 и 25-30% – для сплава ВК6.

Для остальных исследованных покрытий зависимость коэффициента трения от температур сохраняется такой же как и для Mo₂N, но коэффициент трения уменьшается в следующей

последовательности: $0,5\text{TiN}+0,5\text{AlN}$; TiN ; $0,2\text{HfN}+0,8\text{ZrN}$; HfN и Al_2O_3 , причем такая последовательность сохраняется и для твердых сплавов ВК6 и Т5К10 и сталей 38ХС, ЭИ702, ЭИ598, что очевидно связано с адгезионной активностью пар. Все это подтверждается оценками адгезионной активности сталей и соответствующих покрытий, которая если принять за критерий минимума адгезионной активности минимум разницы электроотрицательностей обрабатываемого материала и покрытия, которые представлены в таблице 1 с рейтингом покрытия по этому критерию.

Б. Обрабатываемый материал – ЭИ702

Зависимости коэффициента трения от температуры для сплава ЭИ702 показаны на рис. 4 и 5. Для сплава ЭИ702 характерно увеличение коэффициента трения с ростом температуры (особенно резкое при температуре выше 800К), при трении как по сплаву ВК6, так и по сплаву Т5К10. При нанесении на эти сплавы упрочняющих покрытий КИБ экстремум силы трения соответствует температуре 800К. Дальнейшее увеличение температуры приводит к заметному снижению коэффициента трения. Последнее, по-видимому, связано с появлением окислов, уменьшающих адгезию. Максимальная разница между коэффициентом трения для упрочненных и образцов составляет 100% при температуре 100°C.

Снижение коэффициента трения увеличивается для твердых сплавов ВК6 и Т5К10 и для покрытий в той же последовательности как и для стали 38ХС, т.е. $0,5\text{TiN}+0,5\text{AlN}$; TiN ; $0,2\text{HfN}+0,8\text{ZrN}$; HfN и Al_2O_3 .

В. Обрабатываемый материал ЭИ598

Результаты исследований температуры на коэффициент трения для сплава ЭИ598 показаны на рис. 6 и 7. Можно констатировать отсутствие экстремальных значений силы трения и ее 30-40%-е снижение для обоих исследуемых твердых образцов – ВК6 и Т5К10.

Снижение коэффициента трения увеличивается для твердых сплавов ВК6 и Т5К10 и для покрытий в той же последовательности как и для стали 38ХС, т.е. $0,5\text{TiN}+0,5\text{AlN}$; TiN ; $0,2\text{HfN}+0,8\text{ZrN}$; HfN и Al_2O_3 .

Г. Обрабатываемый материал ВТ14

Влияние температуры на коэффициент трения для твердосплавных образцов ВК6 и Т5К10, имеющих упрочняющее покрытие КИБ и без покрытия, предоставлено на рис. 8 и 9.

При температурах 700К, 800К разница между коэффициентом трения для упрочненных и неупрочненных образцов составляет всего 10 – 15% с Mo_2N . Однако при температуре свыше 800К наблюдается резкое увеличение этой разницы за счет заметного роста коэффициента трения для образцов ВК6 и Т5К10, не имеющих покрытий КИБ и некоторого уменьшения коэффициента трения для образцов ВК6 и Т5К10 с покрытиями Mo_2N . Максимальная разница коэффициентов трения при

температуре 1000К достигает 85% для сплава Т5К10 и 70-80% - для сплава ВК6.

В этом случае характер зависимостей для остальных исследуемых покрытий сохраняется, но коэффициент трения снижается в следующей последовательности: Mo_2N ; ZrN ; $0,2\text{HfN}+0,8\text{ZrN}$; $0,5\text{TiN}+0,5\text{AlN}$; Cr_3N_2 ; TaN , причем применение покрытий с наличием и Ti и Al , хотя по таблице они работать должны хорошо.

2.2. Влияние нормальной нагрузки на коэффициент трения

Зависимости коэффициента трения от нормальной нагрузки определялись при постоянной температуре в зоне контакта – 900К.

А. Обрабатываемый материал – 38ХС

На рис. 10 представлена зависимость коэффициента трения от нормальной нагрузки при ее изменении от 40 до 200 кг для сплава ВК6 с упрочнением КИБ и без упрочнения.

Наблюдается пропорциональное увеличение коэффициента трения с ростом N , причем несколько увеличивается разница в силе трения. При максимальном давлении 2000 Н (20 кг/мм^2) эта разница достигает 60-70%.

Б. Обрабатываемый материал – сплав ЭИ702

Зависимость коэффициента трения от нормальной нагрузки для сплава ЭИ702 при трении и сплавом ВК6, имеющем покрытие КИБ и без покрытия, показаны на рис.11.

Характерным является меньшая интенсивность увеличения силы трения для сплавов ВК6 с покрытием КИБ. Это приводит к появлению значительной разницы в коэффициенте трения, составляющей при нормальной нагрузке 2000 Н около 200%.

В. Обрабатываемый материал – сплав ЭИ598

На рис. 12 показана зависимость коэффициента трения от нормальной нагрузки для сплава ВК6 с покрытием КИБ и без покрытия. Разница в коэффициенте трения составляет при изменении нормальной нагрузки от 500 до 2000 Н составляет 30 – 40%.

Г. Обрабатываемый материал - сплав ВТ14

Влияние нормальной нагрузки при ее изменении от 500 до 2000 Н на коэффициент трения для пары ВК6 – ВТ14 показана на рис. 13.

Во всем диапазоне изменения нормальной нагрузки наблюдается существенная разница в коэффициенте трения для сплава ВК6 с упрочняющим покрытием КИБ и без покрытия. Максимальное значение этой разницы составляет 35 - 40% при $N = 1500 \text{ Н}$.

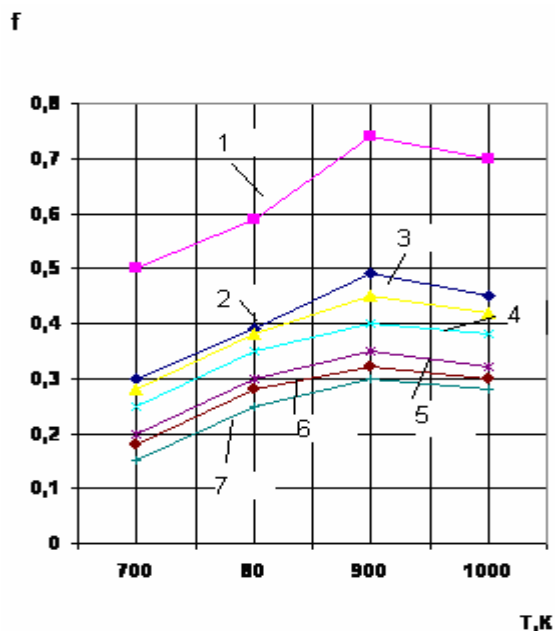


Рисунок 2 – Влияние температуры на коэффициент трения покоя пары - 38ХС 1.ВК6: покрытия: 2. Mo_2N , 3. $0,5 \text{ TiN} + 0,5 \text{ AlN}$; 4. TiN , 5. $0,2 \text{ HfN} + 0,8 \text{ ZrN}$; 6. HfN , 7. Al_2O_3

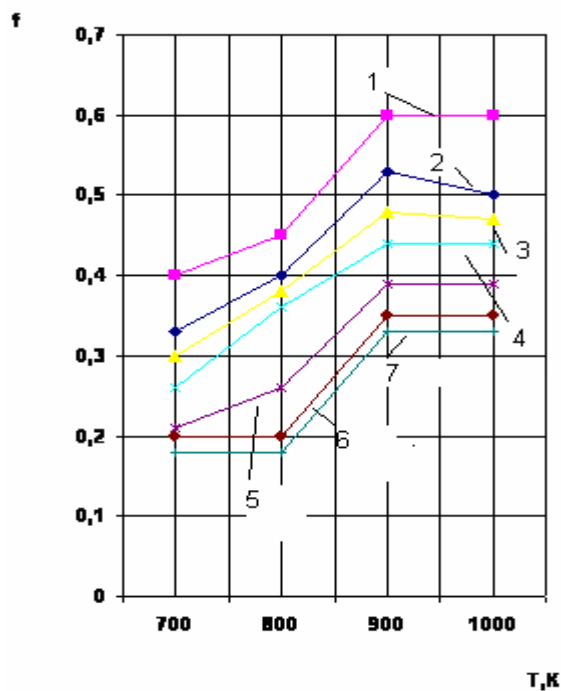


Рисунок 3 – Влияние температуры на коэффициент трения покоя пары - 38ХС 1.Т5К10: покрытия: 2. Mo_2N , 3. $0,5 \text{ TiN} + 0,5 \text{ AlN}$; 4. TiN , 5. $0,2 \text{ HfN} + 0,8 \text{ ZrN}$; 6. HfN , 7. Al_2O_3

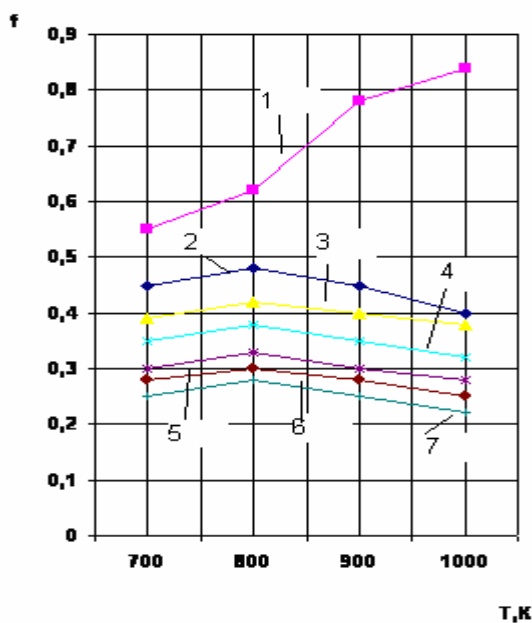


Рисунок 4 – Влияние температуры на коэффициент трения покоя пары - ЭИ702 1.ВК6: покрытия: 2. Mo_2N , 3. $0,5 \text{ TiN} + 0,5 \text{ AlN}$; 4. TiN , 5. $0,2 \text{ HfN} + 0,8 \text{ ZrN}$; 6. HfN , 7. Al_2O_3

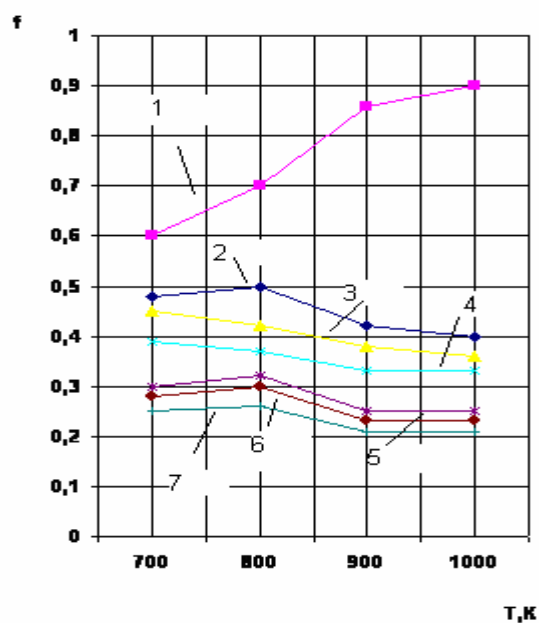


Рисунок 5 – Влияние температуры на коэффициент трения покоя пары - ЭИ702 1.Т5К10: покрытия: 2. Mo_2N , 3. $0,5 \text{ TiN} + 0,5 \text{ AlN}$; 4. TiN , 5. $0,2 \text{ HfN} + 0,8 \text{ ZrN}$; 6. HfN , 7. Al_2O_3

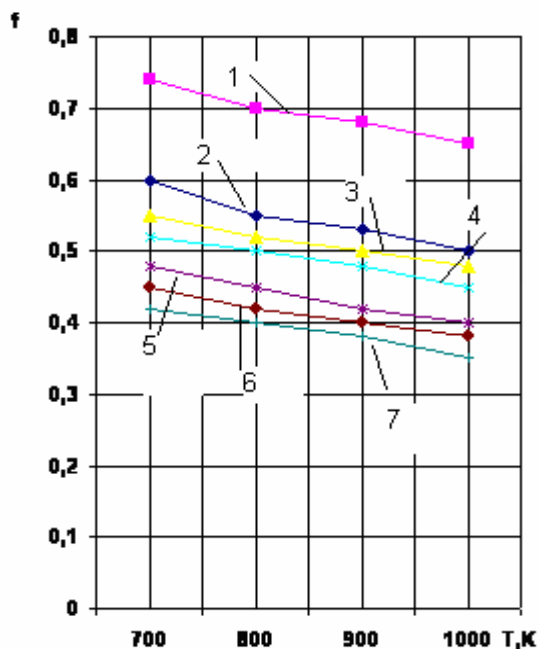


Рисунок 6 – Влияние температуры на коэффициент трения покоя пары - 1.ЭИ598 BK6: покрытия: 2. Mo_2N , 3. $0,5 \text{ TiN} + 0,5 \text{ AlN}$; 4. TiN , 5. $0,2\text{HfN} + 0,8\text{ZrN}$; 6. HfN , 7. Al_2O_3

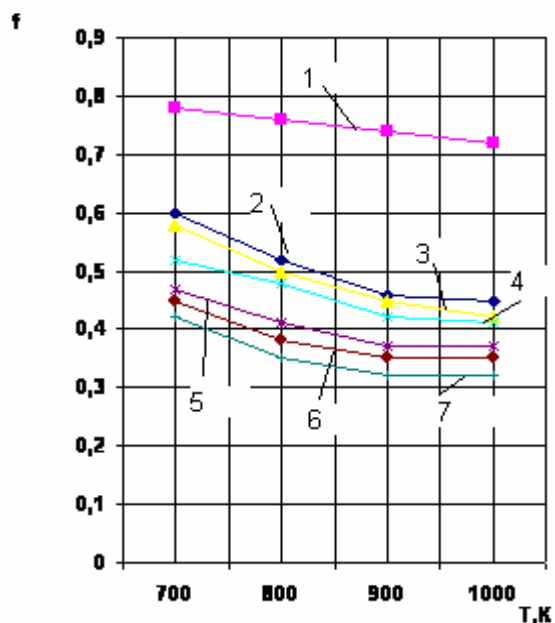


Рисунок 7 – Влияние температуры на коэффициент трения покоя пары - ЭИ598 T5K10: покрытия: 2. Mo_2N , 3. $0,5 \text{ TiN} + 0,5 \text{ AlN}$; 4. TiN , 5. $0,2\text{HfN} + 0,8\text{ZrN}$; 6. HfN , 7. Al_2O_3



Рисунок 8 – Влияние температуры на коэффициент трения покоя для сплавов 1.ВТ14 BK6: покрытия: 2. Mo_2N , 3. ZrN , 4. $0,2\text{HfN} + 0,8\text{ZrN}$, 5. $0,5 \text{ AlN} + 0,5 \text{ TiN}$, 6. Cr_3N_2 , 7. TaN

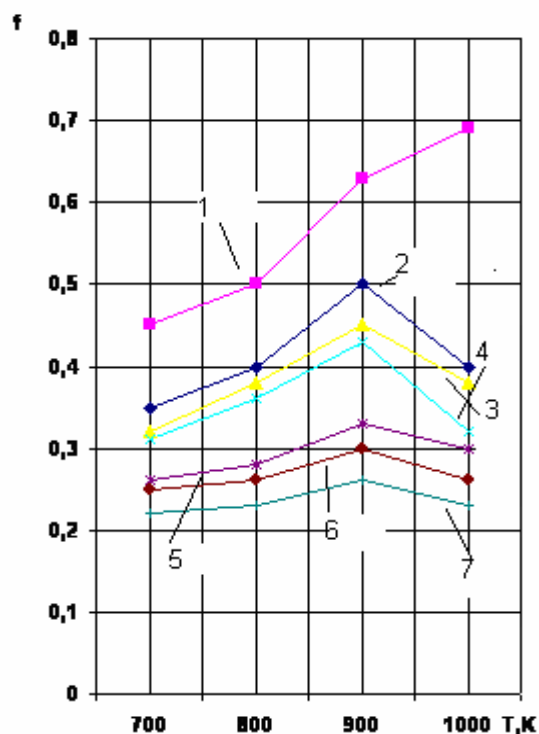


Рисунок 9 – Влияние температуры на коэффициент трения покоя для сплавов 1.ВТ14 T5K10: покрытия: 2. Mo_2N , 3. ZrN , 4. $0,2\text{HfN} + 0,8\text{ZrN}$, 5. $0,5 \text{ AlN} + 0,5 \text{ TiN}$, 6. Cr_3N_2 , 7. TaN

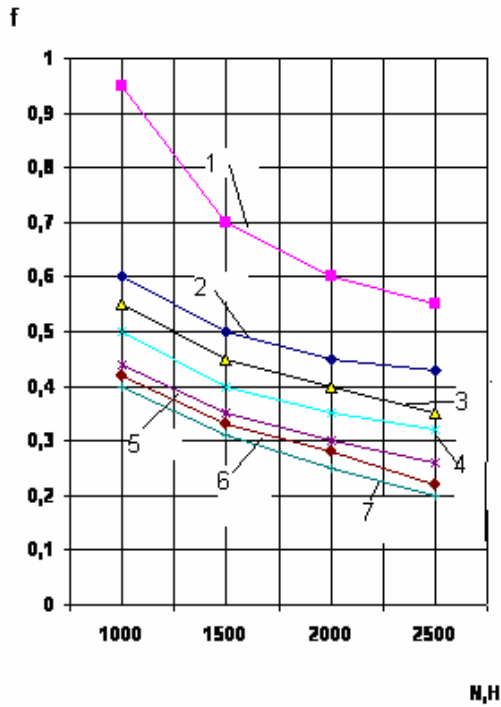


Рисунок 10 – Влияние нормальной нагрузки на коэффициент трения покоя - 1.38XC BK6: покрытия: 2. Mo₂N, 3. 0,5 + TiN + 0,5 AlN, 4. TiN, 5. 0,2 HfN + 0,8ZrN, 6. HfN, 7. Al₂O₃

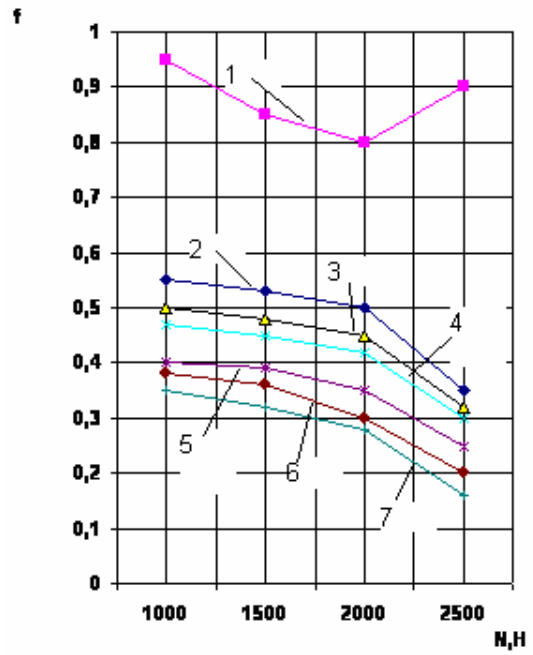


Рисунок 11 – Влияние нормальной нагрузки на коэффициент трения покоя - 1.ЭИ702 BK6: покрытия: 2. Mo₂N, 3. 0,5 + TiN + 0,5 AlN, 4. TiN, 5. 0,2 HfN + 0,8ZrN, 6. HfN, 7. Al₂O₃

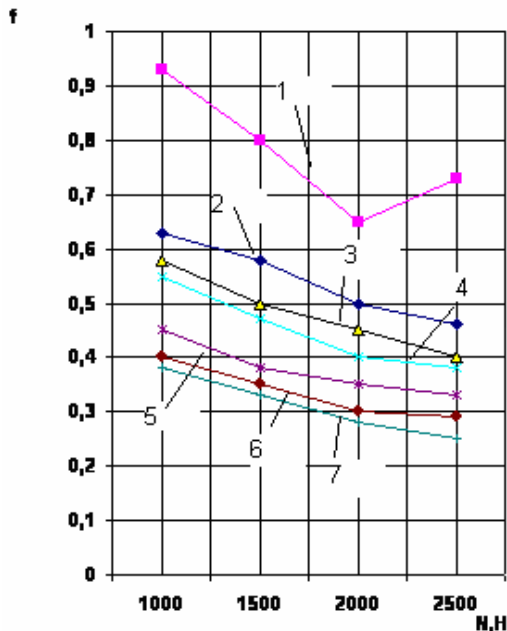


Рисунок 12 – Влияние нормальной нагрузки на коэффициент трения покоя - 1.ЭИ598 BK6: покрытия: 2. Mo₂N, 3. 0,5 + TiN + 0,5 AlN, 4. TiN, 5. 0,2 HfN + 0,8ZrN, 6. HfN, 7. Al₂O₃



Рисунок 13 – Влияние нормальной нагрузки на коэффициент трения покоя - 1.ВТ14 BK6: покрытия: 2. Mo₂N, 3. ZrN, 4. 0,2HfN + 0,8ZrN, 5. 0,5 AlN + 0,5 TiN, 6. Cr₃N₂, 7. TaN

Таблица 2

Значение разности электроотрицательности обрабатываемых материалов и ряда покрытий на РИ

Обрабатываемый материал	38ХС 1,812		ЭИ702 1,72 1,77		ЭИ598 1,81 1,8		ВТ14 1,53		30Х14А 1,801		35ХГСА 1,81		7Х2ВМФ 1,83		6Х3МВФМБШ 1,83		БрО10С 1,918	
	Δ ЭОС	рей- тинг	Δ ЭОС	рей- тинг	Δ ЭОС	рей- тинг	Δ ЭОС	рей- тинг	Δ ЭОС	рей- тинг	Δ ЭОС	рей- тинг	Δ ЭОС	рей- тинг	Δ ЭОС	рей- тинг	Δ ЭОС	рей- тинг
Мо ₂ N 0,98	0,83 2	10	0,74 0,79	9	0,83 0,82	10	0,55	9	0,82 1	10	0,83	10	0,85	10	0,85	10	0,938	9
TiC 1,01	0,80 2	9	0,71 0,76	8	0,8 0,79	9	0,52	8	0,79 1	9	0,8	9	0,82	9	0,82	9	0,908	8
Ce ₃ C ₂ 0,89	0,92 2	11	0,83 0,88	10	0,92 0,91	11	0,64	10	0,91 1	12	0,92	11	0,94	11	0,94	11	1,128	10
TiN 1,5	0,31 2	5	0,2 0,27	4	0,31 0,35	5	0,03	2	0,30 1	5	0,31	5	0,33	6	0,33	6	0,518	6
ZrN 1,71	0,10 2	3	0,01 0,06	2	0,1 0,09	3	-0,18	6	0,09 1	3	0,1	3	0,12	4	0,12	4	0,308	4
HfN 1,74	0,07 2	1	-0,02 0,03	1	0,07 0,06	1	-0,21	7	0,06 1	1	0,07	1	0,09	2	0,09	2	0,278	2
TaN 1,54	0,27 2	4	0,18 0,23	3	0,27 0,26	4	-0,01	1	0,26 1	4	0,27	4	0,29	5	0,29	5	0,478	5
Cr ₃ N ₂ 1,38	0,43 2	8	0,34 0,39	7	0,43 0,42	8	0,15	5	0,42 1	8	0,43	8	0,45	8	0,45	8	0,638	7
AlN 1,43	0,38 2	7	0,29 0,34	6	0,38 0,37	7	0,1	4	0,37 1	7	0,38	7	0,4	7	0,4	7	0,588	7
0,5 AlN + 0,5 TiN 1,465	0,34 7	6	0,255 5 0,305	5	0,34 5 0,33 5	6	0,06 5	3	0,33 6	6	0,34 5	6	0,36 5	7	0,365	7	0,553	6
0,2HfN+0,8ZrN 1,716	0,09 6	2	0,004 0,054	2	0,09 4 0,08 4	2	-0,186	5	0,08 5	2	0,09 4	2	0,11 4	3	0,114	3	0,302	3
Al ₂ O ₃ 1,83	-0,018	1	-0,11 -0,06	1	-0,102 -0,103	1	-0,13	8	-0,029	1	-0,03	1	0	1	0	1	0	1

2.3. Обсуждение полученных данных по коэффициенту трению

Рассмотренные зависимости (рис.2 – 13) позволяют отменить следующее:

1. Увеличение коэффициента трения с ростом нагрузки при постоянной температуре нагрева как для образцов с покрытиями КИБ, так и без покрытий.

2. Экстремальный характер зависимости коэффициента трения от температуры при постоянной нормальной нагрузке.

3. Увеличение амплитуды коэффициента трения (скачки) с увеличением нормальной нагрузки.

4. Увеличение снижения коэффициента трения для всех образцов твердых сплавов, имеющих упрочняющее покрытие КИБ.

Увеличение силы трения с ростом статической нормальной нагрузки может быть гипотетически объяснено следующим образом.

Вследствие дискретности контакта трущихся пар соприкосновение происходит в отдельных точках между микронеровностями поверхностей. Увеличение нагрузки неизбежно приводит к росту площади элементарных контактов и образованию новых из-за вступления других микронеровностей в контакт. Возрастает общая площадь соприкосновения поверхностей, увеличивается общая площадь контакта химически чистых поверхностей. В результате происходит увеличение коэффициента трения. Наличие пленки КИБ между трущимися поверхностями существенно снижает коэффициент трения как за счет снижения адгезии, так и за счет смазочного эффекта дисульфида молибдена MoS_2 (для Mo_2N).

Экстремальный характер зависимости коэффициента трения от температуры при постоянной статической нагрузке связан с изменением пластических свойств материала, вступающих в контакт. С повышением температуры нагрева сопротивление пластическим деформациям уменьшается, а площадь фактического контакта увеличивается. Кроме того, с ростом температуры увеличивается схватывание. Это и приводит к общему увеличению коэффициента трения. Однако при наличии упрочняющих покрытий (Mo_2N) с ростом температуры адгезия увеличивается в меньшей степени, этому способствует не только малая химическая активность нитрида молибдена (как всякого нитридного соединения), но и образование устойчивых окислов, препятствующих физическому контакту трущихся поверхностей.

Анализ дорожек трения на инструментальных пластинках с покрытиями показывает значительное снижение количества налипов обрабатываемого материала. Особенно заметно снижение количества налипов для жаропрочных сплавов ЭИ702, ЭИ598 и титанового сплава ВТ14. Это хорошо подтверждает высказанное соображение об уменьшении адгезии при наличии химически малоактивных пленок Mo_2N , $0,2\text{HfN}+0,8\text{ZrN}$ между трущимися парами. Особенно заметно

снижение адгезии для хромоникелевого сплава ЭИ598 и титанового сплава ВТ14 склонных к схватыванию с инструментальными материалом.

Исследовалось влияние зернистости инструментальной подложки и содержания кобальта в РИ. Показано незначительное влияние указанных параметров на силу трения при постоянной нормальной нагрузке $N = 1500\text{Н}$ и температуре $T = 600^\circ\text{С}$.

Выводы

1. Показано влияние на коэффициент трения адгезионного взаимодействия материала РИ или покрытия с обрабатываемым материалом. Коэффициент трения снижается с уменьшением адгезионного взаимодействия и тем меньше, чем меньше разность электроотрицательностей обрабатываемого материала и покрытия или материала РИ.
2. Рост температуры для обработки стали 38ХС приводит к увеличению коэффициента трения как для РИ с покрытием, так и без. Максимум реализуется при температуре 900 К для РИ из ВК6 и Т5К10. Тогда как для сплава ЭИ702 для РИ из ВК6 и Т5К10 с покрытиями максимум снижается к температуре 800 К и с ростом температур коэффициент трения снижается.
3. Для обрабатываемого материала ЭИ 598 коэффициент трения покоя с покрытиями и без них снижается с ростом температуры. Влияние покрытий на снижение коэффициента трения увеличивается со снижением адгезионной активности Mo_2N , $0,5\text{TiN}+0,5\text{AlN}$, TiN , $0,2\text{HfN}+0,8\text{ZrN}$, HfN , Al_2O_3 .
4. Для обрабатываемого материала сплава ВТ14 реализуется максимум коэффициента трения при температуре 900 К для РИ из ВК6 и Т5К10 и всех покрытий последовательность убывания сохранилась и соответствует значению разности электроотрицательностей между обрабатываемым материалом и материалом покрытия.
5. Увеличение величины нормальной нагрузки снижает коэффициент трения покоя для стали 38ХС, сплавов ЭИ702, ЭИ598 и ВТ14. Влияние покрытий связано со снижением адгезионного взаимодействия.
6. Влияние зернистости и доли кобальта в материале РИ не существенно для коэффициента трения.
7. Показано определяющее влияние на коэффициент трения адгезионного взаимодействия между обрабатываемым материалом и материалом покрытия, минимум его коррелирует с минимумом разности электроотрицательностей этих материалов.

Список использованных источников

1. Костюк Г.И. Физические процессы плазменно-ионных, ионно-лучевых, плазменных, светолучевых и комбинированных технологий. Физико-технические основы нанесения покрытий, ионной имплантации и ионного легирования, лазерной обработки и упрочнения, комбинированных технологий: моногр. / Г.И. Костюк. – К.: Изд-во АИНУ, 2002. – Кн. 1. – 587 с.
2. Костюк Г.И. Физико-технические основы напыления покрытий, ионной имплантации и ионного легирования, лазерной обработки и упрочнения, комбинированной технологии. Справочник для расчета основных физических и технологических параметров, оценки возможностей, выбора типа технологий и оборудования. Физико-технические основы нанесения покрытий, ионной имплантации и ионного легирования, лазерной обработки и упрочнения, комбинированных технологий: моногр. / Г.И. Костюк. – К.: Изд-во АИНУ, 2002. – Кн. 2. – 441 с.
3. Костюк Г.И. Эффективный режущий инструмент: справ. / Г.И. Костюк. – Х.: Харьк. авиац. ин-т, 2007. – 610 с.
4. Костюк Г.И. Наноструктуры на базе фуллеренов: Физика, свойства, применение / Г.И. Костюк // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 3(50). – Х., 2007. – С. 78 – 96.
5. Об аномально высокой микротвердости слоев из одно- и многокомпонентных покрытий из нитридов, карбидов и карбонитридов металлов / Г.И. Костюк, Л.В. Лобанова, И.А. Сыпченко, А.Н. Куринный // Вісті Академії інженерних наук України: наук.-техн. та громадський часопис Президії Академії інженерних наук України. – Вип. 3 (30). – К., 2006. – С. 222 – 231.
6. Костюк Г.И. Трибологические свойства алмазоподобных углеродных покрытий и возможные области их применения / Г.И. Костюк, И.А. Сыпченко // Вісті Академії інженерних наук України: наук.-техн. та громадський часопис Президії Академії інженерних наук України. – Вип. 3 (30). – К., 2006. – С. 251 – 259.
7. Костюк Г.И. Научные основы создания современных технологий: учеб. пособие / Г.И. Костюк. – Х., 2008. – 601 с.
8. Костюк Г.И. Физико-технические основы роботизированного производства: учеб. пособие / Г.И. Костюк. – Х., 2006. – 614 с.
9. Гречихин Л.И. Физика наночастиц и нанотехнологий / Л.И. Гречихин. – Мн: УП «Технопринт», 2004. – 397 с.
10. Kostyuk G. The effective cutting tools having the coating and hardened layers: monograph-reference book / G. Kostyuk. – Kharkov, «KhAI», 2007. – 633 p.
11. Костюк Г.И. Наноструктуры и нанопокрyтия: перспективы и реальность: учеб. пособие / Г.И. Костюк. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т, 2009. – 406 с.