

Н.Ю. Логинов, кандидат технических наук, доцент
Тольяттинский государственный университет, Тольятти (Россия)

Ключевые слова: электроискровое нанесение покрытий; трение; износостойкость.

Аннотация: Проанализированы характеристики износа режущего инструмента. В качестве способа для увеличения износостойкости был выбран метод электроискрового нанесения покрытий. Критериями для оценки износостойкости инструмента были выбраны показатели трения. Определены характеристики влияния трения на износ режущего инструмента. Описана конструкция экспериментальной установки для определения трибологических параметров опытных образцов и определены режимы проведения лабораторных исследований. Приведен перечень материалов, который использовался в испытаниях как для формирования покрытия, так и в качестве объектов трения. Определена и описана методика для нахождения коэффициентов трения в парах «режущий инструмент – обрабатываемый материал». Получены результаты сравнительных испытаний на трение образцов, упрочненных твердыми сплавами СТИМ методом электроискрового нанесения покрытий, и образцов из быстрорежущей стали без покрытия при взаимодействии с алюминиевым сплавом АК5М2, конструкционной легированной сталью 40ХГНМ и высокопрочным чугуном ВЧ 40-10 с применением искусственного охлаждения и без него. Построены графики зависимостей коэффициента трения каждой экспериментальной пары от скорости резания. Определены наименьшие коэффициенты трения для различных материалов обработки из испытываемого перечня. Эти данные были обработаны в логарифмической системе координат. Получены зависимости для определения коэффициента трения от скорости резания для различных материалов взаимодействия. Сделаны выводы и даны практические рекомендации по выбору оптимального материала режущего инструмента при обработке различных конструкционных материалов в условиях действующих машиностроительных производств. Это позволит уменьшить расход металлорежущего инструмента и повысить экономическую эффективность лезвийной обработки деталей машин.

Одним из путей повышения износостойкости режущего инструмента является применение износостойких покрытий на основе карбидных и боридных соединений тугоплавких металлов, наносимых на рабочие поверхности инструмента различными способами, к примеру, методом электроискрового (электроконтактного) легирования [1–4].

Интенсивность изнашивания инструмента при обработке резанием в первую очередь зависит от физических явлений в контакте режущего инструмента с обрабатываемым материалом – задней поверхности инструмента с обрабатываемой заготовкой и передней его поверхности со сходящей стружкой. Характер этих явлений обуславливается как свойствами материалов инструмента и заготовки (химический состав и состояние, твердость, прочность, адгезионная способность, взаимная растворимость и др.), так и условиями обработки, такими как скорость резания, наличие и вид охлаждения и др. Среди контактных явлений, определяющих интенсивность изнашивания инструмента, важная роль принадлежит трению. Влияние трения на интенсивность изнашивания инструмента может быть непосредственным, определяющим интенсивность так называемого абразивного изнашивания; опосредованным, определяющим интенсивность тепловыделения в контакте и, следовательно, температуру контакта, от которой в первую очередь зависит диффузионное изнашивание; непосредственно-опосредованным, влияющим на интенсивность адгезионного изнашивания как непосредственно, так и через температуру контакта. При этом все три вида изнашивания имеют место одновременно, хотя в зависимости от конкретных условий обработки какой-то из них может в каждом конкретном случае быть преобладающим.

С целью определения оптимальных областей применения того или иного покрытия рабочих поверхностей режущего инструмента для различных условий обработки проведены исследования влияния на трение в контакте инструмента с заготовкой вида обрабатываемого материала, типа покрытия, скорости взаимного перемещения инструмента и заготовки, наличия искусственного охлаждения.

Исследования проводили на экспериментальной установке на базе токарно-винторезного станка фирмы RAMO, оснащенного установленной на суппорте тензометрической державкой, тензостанцией и регистрирующей аппаратурой. Схема установки приведена на рис. 1. В качестве материалов заготовки исследованы

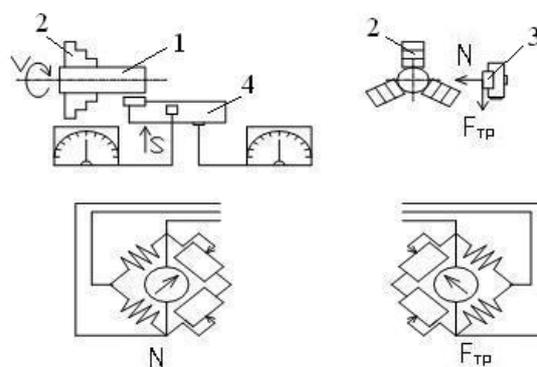


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

закаленная сталь марки 40ХГНМ, высокопрочный чугун марки ВЧ 40-10 и алюминиевый сплав АК5М2. В качестве инструментальных материалов исследованы

покрытия из безвольфрамовых твердых сплавов СТИМ-2 и СТИМ-3, разработанных ИСМАН РАН (г. Черноголовка), которые наносились на образцы из закаленной стали методом электроискрового легирования на электроискровой установке ЭЛИТРОН-22А, а также быстрорежущая сталь Р6М5 без покрытия. Цилиндрическую заготовку 1 диаметром 100 мм закрепляли в кулачках 2 самоцентрирующего патрона, образцы 3 инструментального материала с размером площадки 30×10 мм устанавливали в резцедержателе 4 станка. Тарирование системы выполняли с помощью гирь массой 2, 4, 6 и 8 кг в двух направлениях – в направлении силы нормального давления N и в направлении силы трения F . Перемещение образцов осуществляли с помощью механизма поперечной подачи станка. После начала контакта образца с вращающейся заготовкой включали рабочую поперечную подачу и измеряли величину сил N и F . Величину силы N регулировали в пределах 100...300 Н. Коэффициент трения f определяли как отношение F/N . Скорость взаимного перемещения заготовки относительно образца задавали с помощью коробки скоростей станка в пределах $V=100-300$ м/мин. Исследования проводили как с применением смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС), так и без охлаждения.

Средние значения f приведены в таблице 1. Для наглядности результаты экспериментов представлены на рис. 2а – е. Проанализируем их. Из рис. 2а видно, что увеличение скорости резания до 300 м/мин приводит к уменьшению коэффициентов трения. Наименьшие значения коэффициента трения по алюминию с охлаждением имеют образцы, упрочненные СТИМ-2, затем СТИМ-3, и худшие показатели имеют образцы из быстрорежущей стали без покрытия.

Из рис. 2б следует, что коэффициенты трения при испытании образцов с покрытием СТИМ-2, СТИМ-3 выше коэффициентов трения образцов из быстрорежущей стали без покрытия в паре со сталью с применением СОТС, что говорит о том, что для обработки заготовок из стали такой инструмент не может быть рекомендован.

При сравнении результатов испытаний на трение по чугуно с охлаждением образцов с покрытием СТИМ-2 и СТИМ-3 и образцов из стали Р6М5 без покрытия установлено (рис. 3в), что коэффициенты трения в паре

СТИМ 2 – чугун и СТИМ-3 – чугун значительно ниже, чем в паре быстрорежущая сталь – чугун. Покрытие СТИМ-3 в этом сравнении выглядит предпочтительнее. Из графиков, представленных на рис. 2г, следует, что при испытаниях без СОТС коэффициенты трения образцов, упрочненных СТИМ-2 и СТИМ-3, значительно меньше, чем образцов из быстрорежущей стали. Это объясняется тем, что в контакте алюминий – железо наблюдается эвтектическое соединение, сопровождаемое прочными физико-химическими связями. Это явление говорит о нецелесообразности применения инструмента из быстрорежущих сталей при обработке алюминиевых заготовок. Меньший коэффициент трения показали образцы с покрытием СТИМ-2.

Исследования коэффициентов трения образцов с покрытием СТИМ-2, СТИМ-3 и образцов из быстрорежущей стали в контакте со сталью и чугуном без применения СОТС (рис. 2д) показывают, что безвольфрамовые покрытия в температуронапряженных процессах уступают инструменту из быстрорежущей стали. Такой же эффект показали аналогичные испытания в паре с чугуном без применения СОТС (рис. 2е). Это объясняется тем, что карбиды титана и карбиды хрома, составляющие основу безвольфрамовых сплавов, в условиях высокой температурной напряженности процессов имеют коэффициенты трения меньше, чем смесь карбидов железа и карбидов вольфрама, составляющих основу быстрорежущей стали. Следовательно, инструмент с безвольфрамовыми покрытиями нельзя рекомендовать для обработки стали и чугуна без охлаждения. На рис. 3 зависимости влияния скорости резания на коэффициент трения образцов, упрочненных СТИМ-2, СТИМ-3, и образцов из быстрорежущей стали Р6М5 без покрытия в контакте с основными конструкционными материалами представлены в логарифмической системе координат.

Видим, что в таком виде эти зависимости удовлетворительно аппроксимируются прямыми линиями $\lg f = \lg C + x \lg V$ и, следовательно, могут быть с достаточной для инженерной практики точностью описаны выражением $f = CV^x$. Значения коэффициента C и показателя степени x для различных условий обработки, полученные в результате обработки экспериментальных данных (таблица 1), приведены в таблице 2.

Таблица 1. Значения коэффициента трения при различных условиях обработки

Материал инструмента	V, м/мин	Обрабатываемый материал					
		Сталь		Чугун		Алюминий	
		без охлаждения	с охлаждением	без охлаждения	с охлаждением	без охлаждения	с охлаждением
Р6М5	100	0,66	0,35	0,50	0,50	1,40	0,39
	200	0,55	0,18	0,40	0,29	1,36	0,24
	300	0,40	0,14	0,38	0,20	1,34	0,21
СТИМ-2	100	0,80	0,36	0,75	0,29	0,85	0,30
	200	0,71	0,24	0,60	0,16	0,80	0,19
	300	0,69	0,23	0,56	0,12	0,76	0,16
СТИМ-3	100	0,71	0,33	0,65	0,28	0,91	0,35
	200	0,60	0,22	0,50	0,15	0,80	0,21
	300	0,58	0,20	0,45	0,10	0,78	0,18

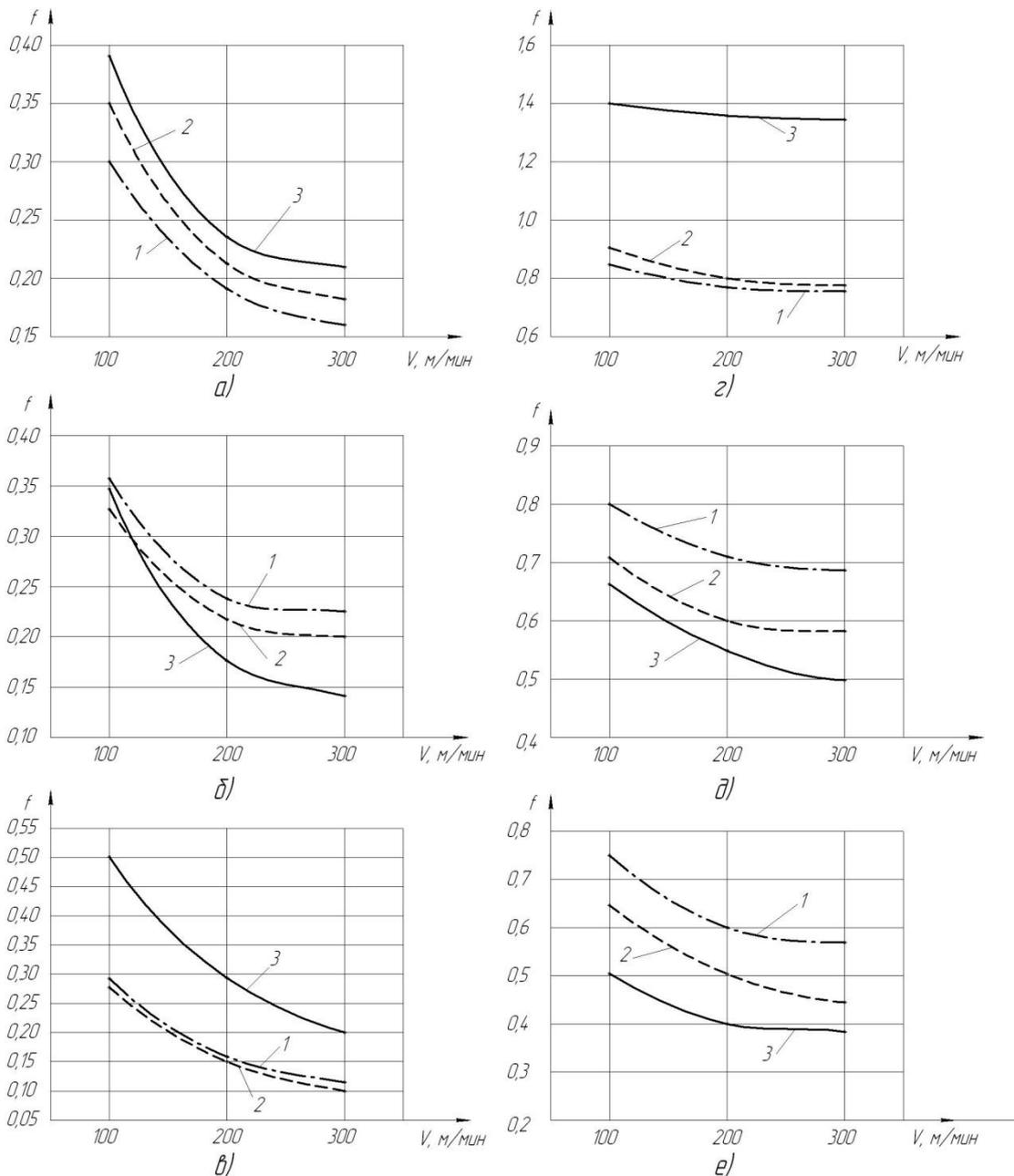


Рис. 2. Влияние скорости резания на коэффициент трения образцов, упрочненных СТИМ-2 (кривые 1), СТИМ-3 (2), и образцов из быстрорежущей стали Р6М5 без покрытия (3) в контакте с конструкционными материалами: а – с алюминием с применением СОТС; б – со сталью с СОТС; в – с чугуном с СОТС; г – с алюминием без СОТС; д – со сталью без СОТС; е – с чугуном без СОТС

По результатам выполненных экспериментов сделаем следующие выводы:

1) наименьшее значение коэффициента трения в контакте с алюминиевым сплавом при работе как с охлаждением, так и без него обеспечивает инструмент с покрытием СТИМ-2, наибольшее – инструмент из быстрорежущей стали без покрытия;

2) наименьшее значение коэффициента трения в контакте со сталью при работе как с охлаждением, так и без него обеспечивает инструмент из быстрорежущей стали без покрытия, наибольшее – инструмент с покрытием СТИМ-2;

3) наименьшее значение коэффициента трения в контакте с чугуном при работе без охлаждения обеспечивает инструмент из быстрорежущей стали без покрытия, наибольшее – инструмент с покрытием СТИМ-2; при работе с охлаждением наименьший коэффициент трения обеспечивает инструмент с покрытием СТИМ-3, наибольший – Р6М5 без покрытия.

Исходя из этого, можно предложить следующие рекомендации для выбора оптимального материала режущего инструмента при обработке различных конструкционных материалов и представить это в виде таблицы 3.

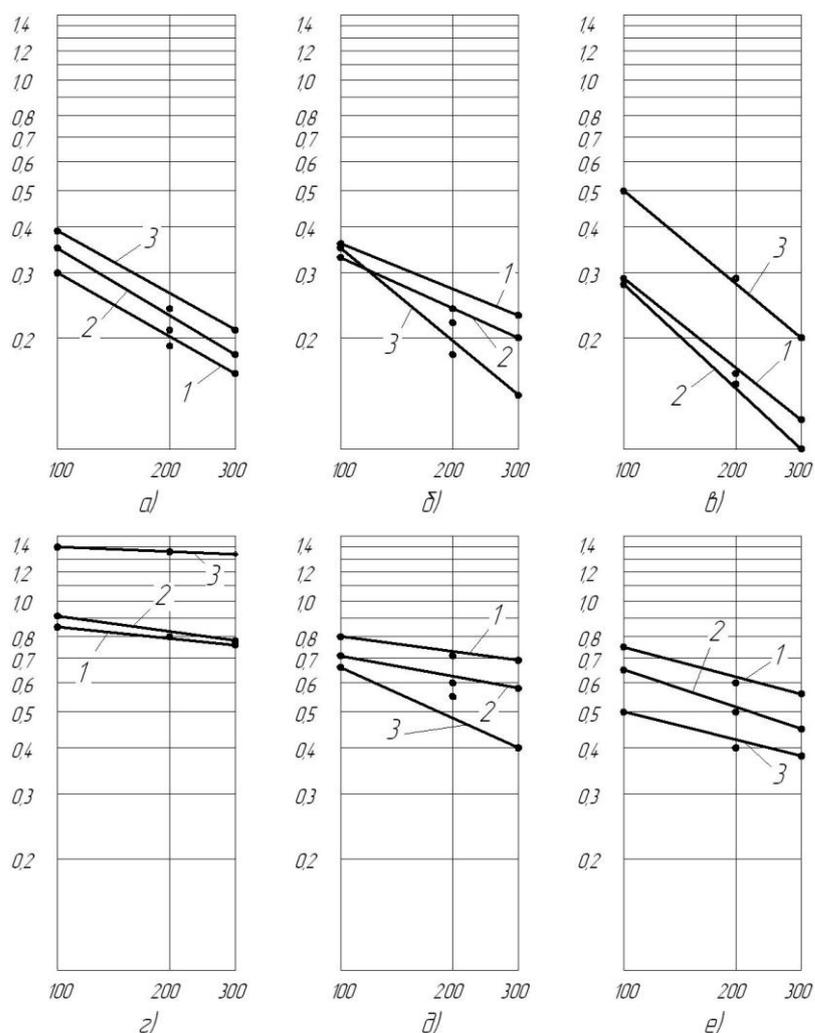


Рис. 3. Зависимости коэффициента трения от скорости резания образцов, упрочненных СТИМ-2 (1), СТИМ-3 (2), и образцов из быстрорежущей стали Р6М5 без покрытия (3) в контакте с основными конструкционными материалами представлены в логарифмической системе координат: а – с алюминием с применением СОТС; б – со сталью с СОТС; в – с чугуном с СОТС; г – с алюминием без СОТС; д – со сталью без СОТС; е – с чугуном без СОТС

Таблица 2. Значения коэффициента C и показателя степени x в выражении $f = CV^x$

Материал инструмента	Значения коэффициентов	Обрабатываемый материал					
		Сталь		Чугун		Алюминий	
		без охлаждения	с охлаждением	без охлаждения	с охлаждением	без охлаждения	с охлаждением
Р6М5	C	0,0809	0,0075	0,1584	0,0107	1,1645	0,0292
	x	0,4557	0,8346	0,2496	0,8342	0,0400	0,5627
СТИМ-2	C	0,4310	0,0550	0,2205	0,0072	0,5316	0,0215
	x	0,1343	0,4078	0,2658	0,8030	0,1019	0,5723
СТИМ-3	C	0,2367	0,0404	0,1388	0,0038	0,4771	0,0216
	x	0,2385	0,4561	0,3352	0,9347	0,1402	0,6052

Таблица 3. Рекомендуемые материалы режущего инструмента для обработки различных конструкционных материалов

Наличие охлаждения	Обрабатываемый материал		
	Алюминиевый сплав	Сталь	Чугун
Без охлаждения	СТИМ-2	Р6М5	Р6М5
С охлаждением	СТИМ-2	Р6М5	СТИМ-3

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Логинов Н.Ю., Логинов Ю.Н., Худякова О.Ю. К вопросу моделирования процесса электроконтактного легирования // *Металлообработка*. 2004. № 6. С. 13–14.
2. Логинов Н.Ю., Логинов Ю.Н. Упрочнение инструмента методом электроконтактного легирования // *Известия ТулГУ. Серия: Инструментальные и метрологические системы*. 2005. Вып. 1. С. 93–96.
3. Марков Р.С., Гнездилов С.С. Опыт промышленного применения электроискрового легирования для упрочнения режущего инструмента // *Повышение эффективности работы горного оборудования при освоении месторождений полезных ископаемых / под ред. А.В. Рилева, С.В. Медведева*. Красноярск, 1995. С. 56–61.
4. Wang Jur. Electrosparking hardening of gear hob // *Jixie zhizao = Machinery*. 1994. № 7. P. 12–13.

THE STUDY OF FRICTION COEFFICIENT OF SAMPLES WITH THE SPARK-INDUCED COATING

© 2014

N.Y. Loginov, candidate of technical sciences, Associate Professor
Togliatti State University, Togliatti (Russia)

Keywords: spark-deposition of coatings; friction; durability.

Annotation: The author analyzed the cutting tool wear behaviour. The method of coatings spark-deposition was chosen as the method of durability extension. Friction criteria were chosen to be the criteria for cutting tool durability evaluation. The author defined the characteristics of influence of friction on cutting tool wear. The article gives the description of the design of experimental assembly for evaluation of test samples tribological characteristics and determines the laboratory testing modes. The author gives the list of materials used in testing both for coating formation and as the friction subjects. The procedure of estimation of friction coefficients in pairs “cutting tool – process material” is determined and explained. The author obtained the results of comparison friction tests of the samples hardened with STIM hard alloy using the spark-deposition of coating, and the rapid steel samples without coating when interacting with AK5M2 aluminum alloy, 40HGNM alloy structure steel and VCh 40-10 cast iron with or without cooling. On the basis of these results the diagrams of dependency of each experimental pair friction coefficient on cutting velocity were constructed. The author defines the minimal friction coefficients for various process materials from the tested list. These data were processed in logarithmic system of coordinates. The dependencies on cutting velocity were obtained for determination of friction coefficient for various process materials. The author draws the conclusions and gives practical recommendations on selection of cutting tool optimal material when processing various structural materials under the existing machinery production conditions. It will allow to reduce metal-cutting tool flow and to improve economic effectiveness of edge cutting machining of machine elements.