

УДК 621.793.

Г.И. Костюк, д-р техн. наук,
А.В. Фадеев, канд. техн. наук,
А.Н. Куринной,
Т.П. Босенко

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСА РИ С ПОКРЫТИЕМ ПРИ ЕГО МОДЕЛИРОВАНИИ НА МАШИНЕ ТРЕНИЯ

Введение

Характер износа и особенно его динамика влияют на механизм разрушения режущей части, что в конечном счете, определяет стойкость РИ по соответствующему критерию [1–11]. Механизмы износа и разрушения РИ с покрытиями представлены в табл.1 и 2 для быстрорежущих сталей и твердых сплавов соответственно. В таблицах приведены механизмы износа быстрорежущих сталей и твердых сплавов, а также механизмы влияния на них покрытий и упрочненных слоев, где рассмотрены следующие механизмы:

А. Для быстрорежущих сталей:

- I – Классическая деформация сдвига на передней поверхности.
- II – Поверхностная пластическая деформация сдвига на передней поверхности.
- VIII – Объемная пластическая деформация режущего клина.
- XIX – Ползучесть режущей части РИ.

Б. Для твердого сплава

- II – Поверхностная пластическая деформация сдвига на задней поверхности.
- III – Диффузионное изнашивание.
- IV – Адгезионное или адгезионно-усталостное изнашивание.
- VII – Хрупкое разрушение.
- VIII – Объемная пластическая деформация режущего клина.
- IX – Ползучесть режущей части РИ.

Влияние всех рассмотренных механизмов (см. табл.1 и 2) можно существенно снизить за счет применения РИ с покрытиями, которое, как видим, создает диффузионный барьер, который препятствует диффузионному износу.

Покрытия существенно снижают адгезионное взаимодействие с обрабатываемым материалом, снижают коэффициент трения и силы резания, снижают вероятность хрупкого разрушения.

Покрытия уменьшают объемную пластическую деформацию режущего клина, снижая усилия, действующие на переднюю поверхность.

Уменьшается поверхностная пластическая деформация как на передней, так и на задней поверхностях, снижается адгезионное взаимодействие стружки с передней и задней поверхностями, сдерживается лункообразование на передней поверхности и уменьшается температура задней поверхности. Адгезионное и адгезионно-усталостное изнашивание снижается за счет уменьшения вероятности образования нароста. Объемная пластическая деформация режущего клина уменьшается за счет снижения уровня механических нагрузок на лезвие (может увеличить максимальную температуру передней поверхности, что может снизить прочностные характеристики РИ)

Ползучесть появляется в результате действия относительно невысоких напряжений – следствие действия внешних нагрузок и температурных напряжений. За счет выбора одно- и многослойных покрытий, снижающих действие напряжений, можно избавиться от этого эффекта.

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", а также в рамках хозяйственных работ и договоров о сотрудничестве.

Таблица 1

Механизмы износа РИ из быстрорежущих сталей и механизмы влияния на них покрытий и упрочненных слоев

Местонахождение покрытия	Механизмы формоизменения лезвия				
	Поверхностная пластическая деформация сдвига на передней поверхности (I)	Поверхностная пластическая деформация сдвига на задней поверхности (II)	Адгезионное или адгезионно-усталостное изнашивание (IV)	Объемная пластическая деформация режущего клина (VIII)	Ползучесть режущей части РИ (IX)
Передняя поверхность	Уменьшая адгезионное взаимодействие стружки с передней поверхностью, покрытие сдерживает лункообразование и дает возможность увеличить число переточек	Уменьшая адгезионное взаимодействие стружки с передней поверхностью, покрытие обеспечивает понижение температуры задней поверхности, что приводит к уменьшению вероятности пластической деформации	Благодаря своей низкой адгезионной активности по отношению к обрабатываемому материалу покрытие способствует оптимизации наростообразования, что приводит к снижению интенсивности изнашивания	Уменьшая адгезионное взаимодействие стружки с передней поверхностью, покрытие обеспечивает снижение уровня механической нагрузки на лезвие, но одновременно может увеличить максимальную температуру передней поверхности. Влияние покрытия на интенсивности затупления неоднозначно	Покрытие уменьшает температуру основной массы РИ и снижает действие температурных напряжений, обеспечивает снижение напряжений от внешних нагрузок за счет выбора слоев многослойного покрытия
Задняя поверхность	Влияние покрытия, очевидно, слабое	Уменьшая адгезионное взаимодействие задней поверхности с обрабатываемым материалом, покрытие понижает ее температуру и уровень касательных напряжений, что в совокупности уменьшает вероятность пластической деформации	Благодаря своей низкой адгезионной активности по отношению к обрабатываемому материалу и высокой твердости покрытие сдерживает адгезионное изнашивание задней поверхности	Влияние покрытия, очевидно, слабое	Тоже возможно, но в меньшей мере

Таблица 2

Виды износа РИ из твердых сплавов и механизмы влияния на них покрытий и упрочненных слоев

Местонахождение покрытия	Механизмы формоизменения лезвия					
	Поверхностная пластическая деформация сдвига на задней поверхности (I)	Диффузионное изнашивание (II)	Адгезионное или адгезионно-усталостное изнашивание (III)	Хрупкое разрушение (IV)	Объемная пластическая деформация режущего клина (VII)	Ползучесть (приводит к изменению геометрии РИ) (IX)
Передняя поверхность	Механизм не имеет самостоятельного значения благодаря пластической прочности твердых сплавов, однако может проявиться в результате развития диффузионного износа	Являясь эффективным диффузионным барьером, покрытие непосредственно препятствует развитию диффузионного износа, уменьшает адгезионную активность передней и задней поверхностей, что также должно способствовать уменьшению интенсивности изнашивания	Уменьшая адгезионное взаимодействие с обрабатываемым материалом и увеличивая поверхностную твердость лезвия, покрытие повышает сопротивление пластическому изнашиванию инструмента	Уменьшая адгезионное взаимодействие стружки с передней поверхностью, покрытие снижает уровень нормальных напряжений, действующих на режущую кромку, и тем самым должно уменьшать вероятность хрупкого разрушения, а также может повышать прочностные характеристики РИ с покрытием, покрытия снижают силы резания и повышают прочностные характеристики материала РИ	Уменьшая адгезионное взаимодействие стружки с передней поверхностью, покрытие обеспечивает снижение уровня механической нагрузки на лезвие, но одновременно может увеличить максимальную температуру передней поверхности. Влияние покрытия на интенсивность затупления неоднозначно	Покрытие уменьшает температуру основной массы РИ и снижает действие температурных напряжений, обеспечивает снижение напряжений от внешних нагрузок за счет выбора слоев многослойного покрытия
Задняя поверхность	Функции покрытий на задней поверхности такие же, как и на передней			Влияние покрытия, очевидно, слабое		Тоже возможно, но в меньшей мере

1. Методика исследования износа при моделировании процесса резания

Для исследования влияния упрочнения или покрытия на износостойкость твердосплавных пластин использовалась методика определения износостойкости на специальной машине трения, 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, при которой осуществлялось большинство стойкостных экспериментов.

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

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

2. Экспериментальное исследование износа образцов с упрочняющими покрытиями

Исследование износостойкости производилось по методике и на установке, описанных в разд.1. Исследовались следующие твердосплавные образцы, имеющие покрытия Mo_2N , $0,5TiN + 0,5AlN$, TiN , $0,8ZrN + 0,2HfN$, HfN Al_2O_3 ; $0,5Al_2O_3$: BK6, BK60M, BK10M, K6M.

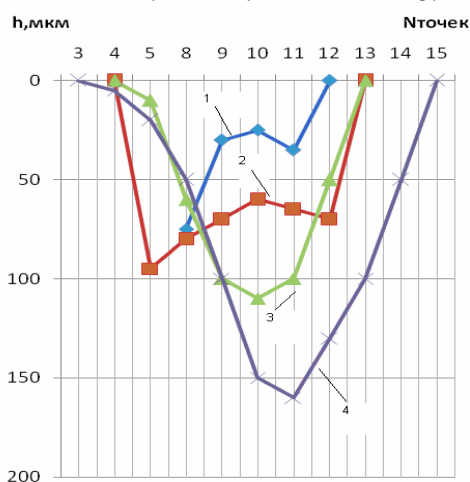


Рисунок 1 – Графики изменения глубины лунки $V = 20$ м/мин, пары BK6 – 38XC, $S = 0,15$ мм/об, $N = 30$ кг, кривые: 1 – $L_{птр} = 200$ м, 2 – $L_{птр} = 400$ м, 3 – $L_{птр} = 600$ м, 4 – $L_{птр} = 800$ м

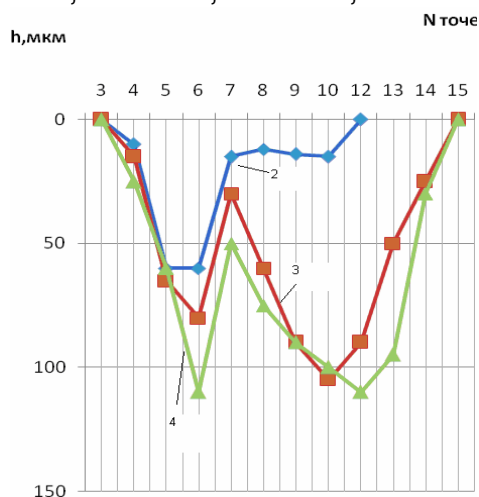


Рисунок 2 – Графики изменения глубины лунки $V = 20$ м/мин, пары BK6+ Mo_2N – 38XC, $S = 0,15$ мм/об, $N = 30$ кг, кривые: 1 – $L_{птр} = 200$ м, 2 – $L_{птр} = 400$ м, 3 – $L_{птр} = 600$ м, 4 – $L_{птр} = 800$ м

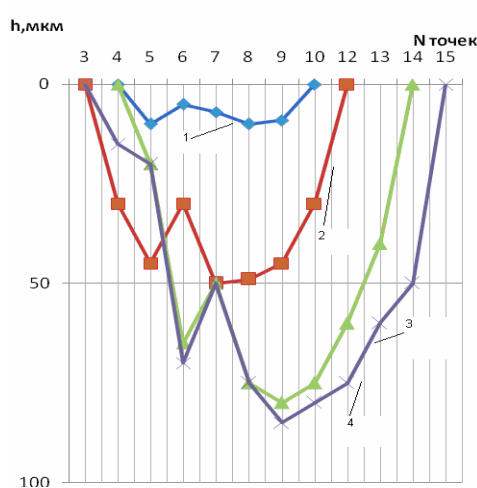


Рисунок 3 – График изменений глубины лунки $V = 50$ м/мин, пары ВК6 – 38ХС, $S = 0,15$ мм/об, $N = 30$ кг, кривые: 1 – Лптр = 200 м, 2 – Лптр = 400 м, 3 – Лптр = 600 м, 4 – Лптр = 800 м

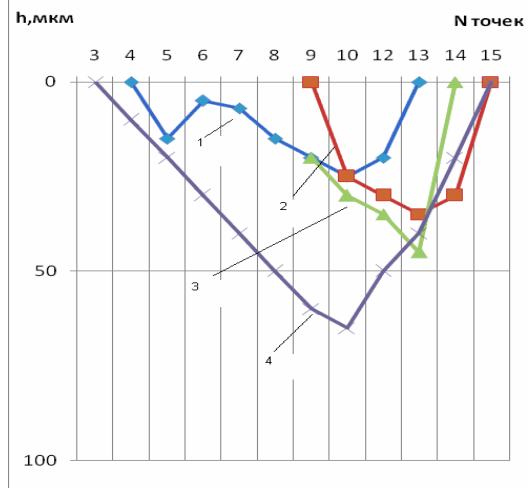


Рисунок 4 – График износа по глубине лунки ВК6+Мо₂N – 38ХС, $S = 0,15$ мм/об, $N = 30$ кг, кривые: 1 – Лптр = 200 м, 2 – Лптр = 400 м, 3 – Лптр = 600 м, 4 – Лптр = 800 м

На рис.1 – 4 показаны графики динамики развития лунки при трении пары «ВК6-38ХС» на скоростях $V_p = 20$ м/мин (рис. 1, 2) и $V = 50$ м/мин (рис. 3, 4) при постоянных: подаче $S = 0,15$ мм/об; нормальной нагрузке 300 Н и длине пути трения $L = 800$ м. Как видно, лунка износа по мере увеличения длины пути трения интенсивно увеличивается как для пластин с покрытием, так и для пластин без покрытия. Для покрытия Мо₂N лунка существенно меньше. Например, при скорости $V = 50$ м/мин пластинка ВК6 с покрытием Мо₂N имела износ (весовой) $Q = 0,0003$ г, в то время как пластинка без покрытия имела износ $Q = 0,0006$ г, т.е. в два раза выше. Аналогичная картина наблюдалась и при скорости скольжения $V = 20$ м/мин. Здесь уменьшение износа для пластин с покрытием Мо₂N составляет 40%. Особо следует отметить тот факт, что трение реализовалось по ребру пластины, имеющей покрытие только по одной грани (передней), развитие же лунки происходило по обеим граням. Таким образом, только препятствие развитию лунки в одном направлении позволило повысить износостойкость на 50%.

На рис. 5 показаны диаграммы износа образцов из ВК6М, ВК60М и ВК10М с упрочняющими покрытиями и без покрытий. Как видно из представленных диаграмм, наибольшую износостойкость показали пластинки из ВК60М. Разница в износе для пластин из ВК60М, имеющих покрытия, по сравнению с пластинами из ВК60М без покрытий, составляет 300...400%, в то время как для пластин из сплавов ВК6М и ВК10М, соответственно, 100...130% и 30...45%.

Видно, что износ уменьшается с применением покрытий Мо₂N, 0,5TiN + 0,5AlN, TiN, 0,8ZrN + 0,2HfN, HfN Al₂O₃; 0,5Al₂O₃ (имеет

минимальный износ). Такой порядок связан с двумя конкурирующими процессами: адгезионным взаимодействием покрытия с обрабатываемым материалом и износом, связанным с твердостью (микротвердостью) покрытия, а следовательно, большей износостойкостью.

На рис. 6 показано влияние скорости трения на весовой износ при трении пары «VK6-38XC». Для представленного графика характерен экстремум зависимости « Δ - V » при скорости около 35 м/мин. Однако во всем диапазоне изменения скорости от 20 до 60 м/мин при постоянных: $S = 0,15$ мм/об, нормальной нагрузке 30 кг и длине пути трения $L = 800$ мм наблюдается 30...50%-ное уменьшение износа для пластин из VK6 с упрочняющим покрытием Mo_2N , тогда как для пластин из $0,8ZrN + 0,2HfN$ снижается более чем в 2 раза при $V = 40$ м/мин и более чем в 5 раз при $V = 60$ м/мин.

На рис. 6 показана связь между основным технологическим параметром процесса КИБ – расстоянием инструментального образца от испарителя вещества (катода) и основными показателями качества покрытия – толщиной, износостойкостью и микротвердостью.

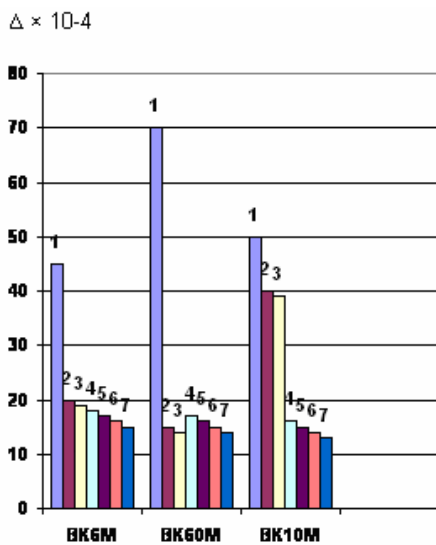


Рисунок 5 – Износ (весовой) образцов твердого сплава группы VK, упрочненных методом КИБ. Обрабатываемый материал – сталь 38XC.1 – VK6 без покрытия; 2 – с покрытиями Mo_2N ; 3 – HfN ; 4 – TiN ; 5 – Al_2O_3 ; 6 – $0,5AlN + 0,5TiN$; 7 – $0,2HfN + 0,8ZrN$

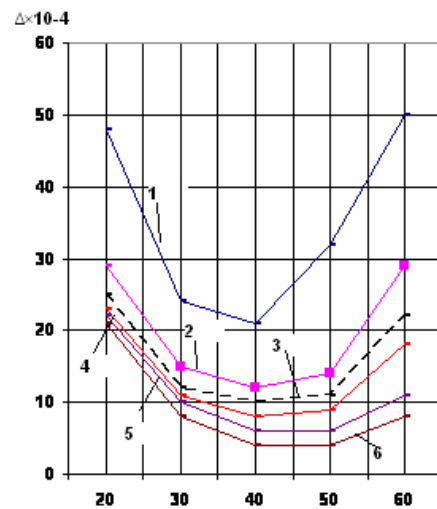


Рисунок 6 – Влияние скорости резания на износ (весовой) при трении по стали 38XC.1 – VK6 без покрытия; 2 – с покрытиями Mo_2N ; 3 – HfN ; 4 – TiN ; 5 – Al_2O_3 ; 6 – $0,5AlN + 0,5TiN$; 7 – $0,2HfN + 0,8ZrN$

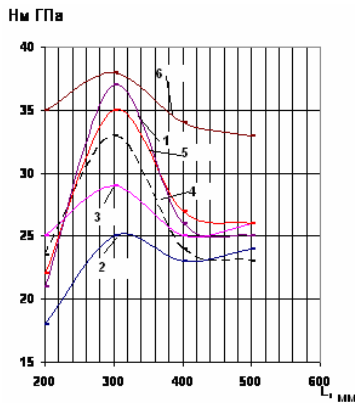


Рисунок 7 – Взаимосвязь микротвердости и расстояние до испарителя 1 – Mo₂N; 2 – HfN; 3 – TiN; 4 – Al₂O₃; 5 – 0,5AlN+0,5TiN; 6 – 0,2HfN+0,8ZrN

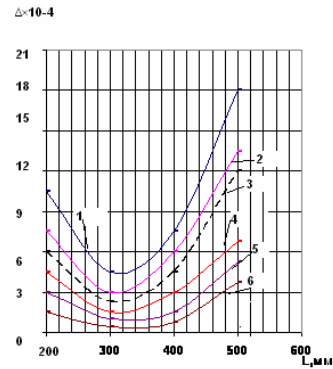


Рисунок 8 – Взаимосвязь весового износа в граммах и расстояние до испарителя для стали 38ХС и РИ ВК6 с покрытиями 1 – Mo₂N; 2 – HfN; 3 – TiN; 4 – Al₂O₃; 5 – 0,5AlN+0,5TiN; 6 – 0,2HfN+0,8ZrN

Анализ графиков рис.7 и 8 позволяет констатировать:

1. Оптимальным расстоянием от испарителя до образца инструментального материала следует считать расстояние 250...300 мм. При постоянном времени нанесения покрытия толщина покрытия составляет величину порядка 6 мкм, при микротвердости – порядка 36...26ГПа.
2. Минимальный износ соответствовал толщине покрытия 5...7 мкм.
3. При значительном уменьшении микротвердости от 36 до 26 ГПа весовой износ соответствовал величинам порядка от $1,5 \cdot 10^{-4}$ (0,8ZrN + 0,2HfN) до $5,5 \cdot 10^{-4}$ г (Mo₂N).

Следует отметить, что твердосплавные образцы без покрытий Mo₂N имели суммарный весовой износ $6,6 \cdot 10^{-4}$ г, т.е.на 15% превосходил износ упрочненных пластин при всех параметрах упрочнения для Mo₂N, а для 0,8ZrN + 0,2HfN снижался до $1,5 \cdot 10^{-4}$ г, т.е. на 40%.

Выводы

Моделирование процесса износа РИ с покрытиями показало, что:

1. Лункообразование за счет применения покрытий задерживается во времени.
2. Показано влияние на износ как адгезионных характеристик пары «обрабатываемый материал – покрытие», так и твердости покрытий. Так, для исследованных покрытий оказались лучшими 0,8ZrN + 0,2HfN; 0,5TiN + 0,5AlN; Al₂; Al₂O.
3. Наибольшее снижение износа за счет применения покрытий реализуется для РИ из ВК6ОМ, что связано с его повышенными механическими характеристиками из-за особо мелкозернистой структуры (обладает повышенной ударной вязкостью).
4. Скорость резания влияет на износ, снижая его при изменении скорости от 20 до 40 м/мин, а в дальнейшем существенно увеличивает его для покрытий MoN, TiN, HfN и приводит к незначительному росту для покрытий Al₂O₃, 0,5TiN + 0,5AlN, 0,8ZrN + 0,2HfN (последнее изнашивается меньше).

Все это говорит об эффективности применения покрытий.

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.