

ПОВЫШЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ПОКРЫТИЙ НА РИ ПРИ ОБРАБОТКЕ СТАЛЕЙ С УЧЕТОМ АДГЕЗИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

Введение

Адгезия влияет на работоспособность покрытия: при нанесении покрытий необходимо стремиться к максимуму адгезии и материала РИ; при обработке РИ с покрытием необходимо обеспечивать минимум адгезионного взаимодействия покрытия и обрабатываемого материала, а также основного материала РИ и обрабатываемого материала. Высокая адгезия материала РИ и обрабатываемого материала существенно увеличит скорость роста лунки в покрытии и в основном материале РИ за счет съема материала РИ совместно с материалом покрытия [1-7]. Все это объясняет неоднозначные результаты использования покрытий. Так, зачастую на предприятиях используют покрытия и материалы РИ для обработки, которые обладают высоким адгезионным взаимодействием (схватыванием), например при обработке титановых сплавов используют покрытие TiN на РИ, при обработке быстрорежущих сталей – твердые сплавы группы ВК или покрытия WC. Таких примеров очень много и они дискредитируют идею применения покрытий и эффективных режущих инструментов из твердых сплавов и быстрорежущих сталей, поэтому научно обосновано применение тех или иных покрытий и режущего инструмента твердых сплавов (ТС) и быстрорежущих сталей (БС)

Поэтому проведем исследования влияния адгезионного взаимодействия материала РИ из твердых сплавов с различной зернистостью и содержанием кобальта с покрытиями, обладающими низким адгезионным взаимодействием с обрабатываемыми сталями и сплавами.

Работа выполнялась в рамках программы Министерства образования и науки «Новые и ресурсосберегающие технологии в энергетике, промышленности и агропромышленном комплексе» (подсекция 13 «Аэрокосмическая техника и транспорт») и по темам: «Создание физико-технических основ повышения качества материалов аэрокосмических конструкций» и «Разработка технологических основ интегрированных технологий плазменно-ионной обработки деталей

аэрокосмической техники», а также в рамках хозяйственных работ и договоров о сотрудничестве.

1. Оборудование и методика эксперимента

Стойкостные испытания РИ с покрытиями проводились по методике и с применением оборудования согласно работам [3, 6], контроль осуществлялся на инструментальном микроскопе.

2. Исследование стойкости

На рис.1 – 4 представлены зависимости износа по задней поверхности h_3 от времени для сплавов ВК с содержанием кобальта от 4 до 10% (по весу) при точении стали 38ХГСА.

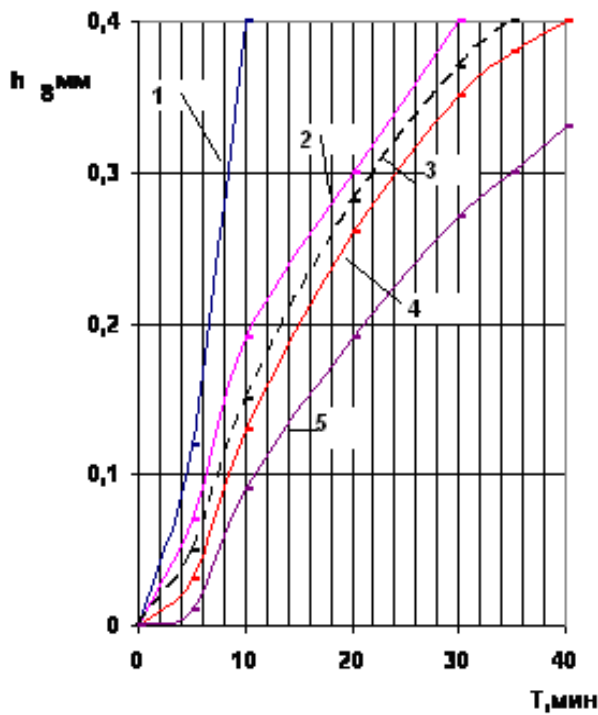


Рисунок 1 – Зависимость износа задней поверхности от времени обработки стали 38ХГСА.

Инструментальный материал: 1 – ВК4; с покрытием: 2 – Mo_2N ; 3 – TiN ; 4 – $0,5TiN+0,5AlN$; 5 – $0,2HfN+0,8ZrN$

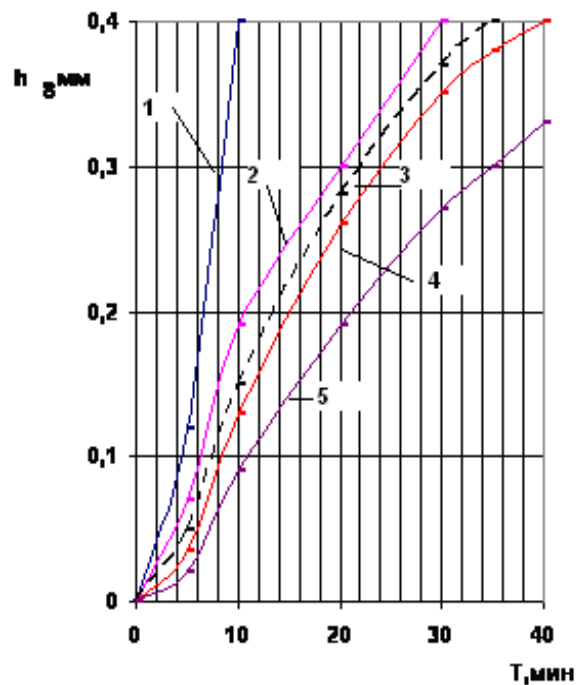


Рисунок 2 – Зависимость износа задней поверхности от времени обработки стали 38ХГСА.

Инструментальный материал: 1 – ВК6; с покрытием: 2 – Mo_2N ; 3 – TiN ; 4 – $0,5TiN+0,5AlN$; 5 – $0,2HfN+0,8ZrN$

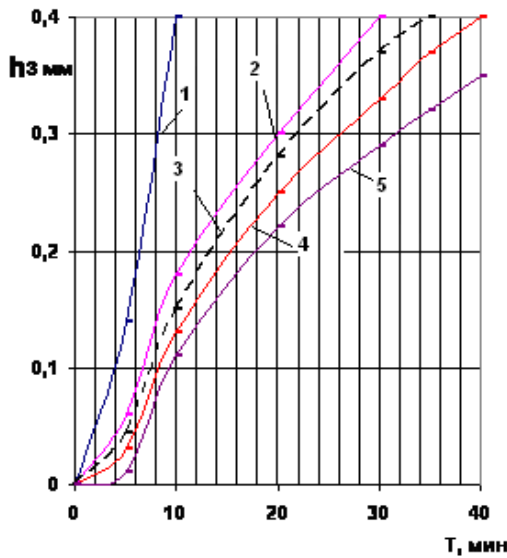


Рисунок 3 – Зависимость износа задней поверхности от времени (38ХГСА).
Инструментальный материал: 1 – ВК8; с покрытием: 2 – Mo_2N ; 3 – TiN ; 4 – $0,5\text{TiN}+0,5\text{HfN}$; 5 – $0,2\text{HfN}+0,8\text{ZrN}$

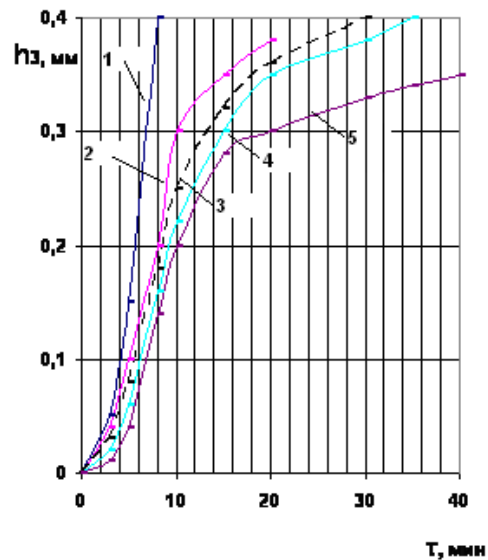


Рисунок 4 – Зависимость износа задней поверхности от времени (38ХГСА).
Инструментальный материал: 1 – ВК10; с покрытием: 2 – Mo_2N ; 3 – TiN ; 4 – $0,5\text{TiN}+0,5\text{HfN}$; 5 – $0,2\text{HfN}+0,8\text{ZrN}$;

Обобщенные результаты этих исследований в виде зависимости коэффициента сравнительной стойкости от содержания Co показаны на рис. 5 для покрытий Mo_2N , TiN , $0,5\text{TiN}+0,5\text{HfN}$.

Коэффициент сравнительной стойкости определяется следующим образом:

$$K = T_{\text{п}} / T,$$

где, $T_{\text{п}}$ – стойкость пластин, с покрытием, мин; T – стойкость пластин без покрытия, мин.

Стойкость в обоих случаях определялась как время до износа по задней поверхности h_3 , равные 0,4 мм.

Анализ результатов, приведенных на рис. 5, показывает, что наиболее приемлемо считать 6%-ное содержание Co по весу. В этом случае достигается максимальное повышение стойкости для твердосплавных пластин с покрытиями Mo_2N , TiN , $0,5\text{TiN}+0,5\text{HfN}$, $0,2\text{HfN}+0,8\text{ZrN}$. Причем максимальная стойкость реализовывалась для последнего покрытия.

Аналогичные зависимости для стали 35ХГСА при различной зернистости сплава ВК показаны на рис. 6 и 7, обобщенные данные последних исследований вынесены на рис.8. Здесь хорошо видна тенденция увеличения коэффициента относительной стойкости K с уменьшением зернистости сплава ВК. Наибольший коэффициент относительной стойкости имеет особо мелкозернистый сплав ВК60М ($K = 3.2 - 6.2$ с покрытием $0,2\text{HfN}+0,8\text{ZrN}$).

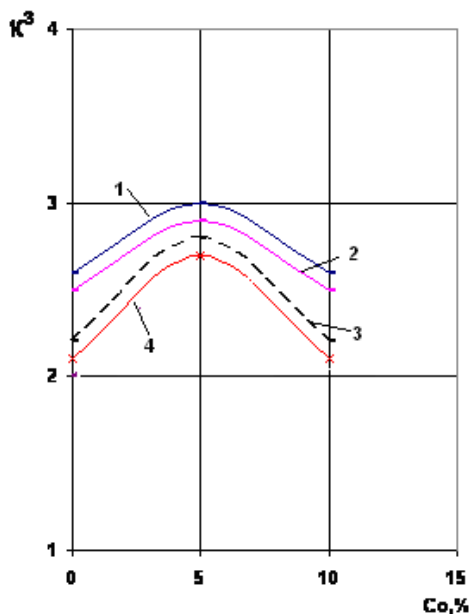


Рисунок 5 – Влияние содержание Co на коэффициент сравнительной стойкости для пары: 1 – ВК-38ХГСА с покрытием 2 – Mo_2N ; 3 – $0,5\text{TiN}+0,5\text{AlN}$; 4 – $0,2\text{HfN}+0,8\text{ZrN}$;

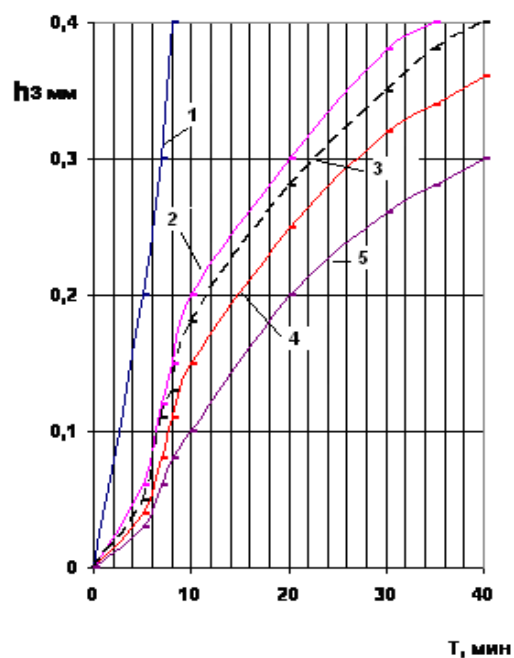


Рисунок 6 – Зависимость износа задней поверхности от времени (35ХГСА). Инструментальный материал: 1 – ВК60М; с покрытием: 2 – Mo_2N ; 3 – TiN ; 4 – $0,5\text{TiN}+0,5\text{HfN}$; 5 – $0,2\text{HfN}+0,8\text{ZrN}$;

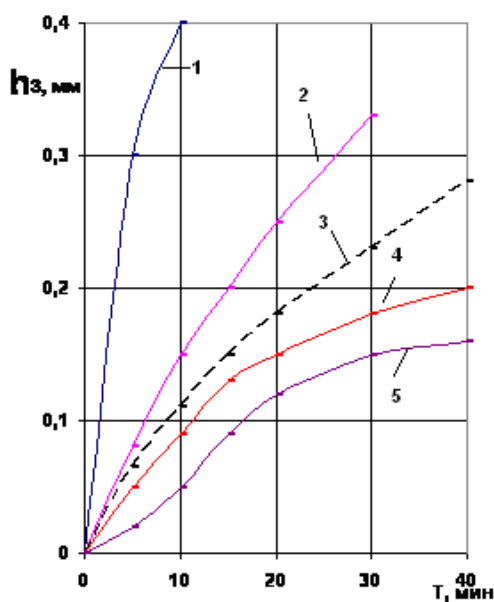


Рисунок 7 – Зависимость износа задней поверхности от времени. Инструментальный материал: 1 – ВК60М с покрытием: 2 – Mo_2N ; 3 – TiN ; 4 – $0,5\text{TiN}+0,5\text{AlN}$; 5 – $0,2\text{HfN}+0,8\text{AlN}$

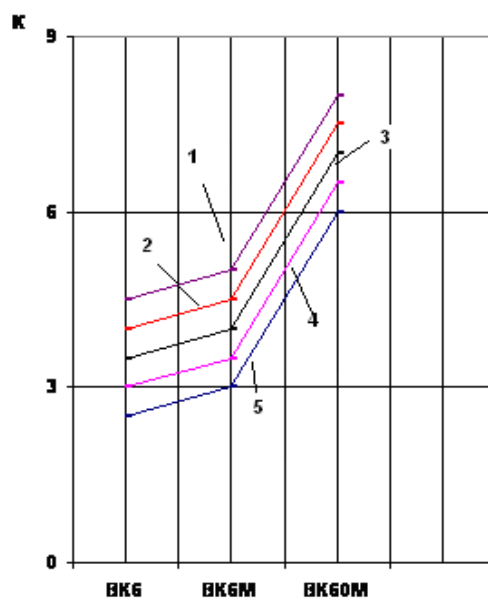


Рисунок 8 – Зависимость коэффициента сравнительной стойкости от зернистости сплава ВК при обработке стали: 1 – 35ХГСА при $V=70\text{м/мин}$ с покрытием: 2 – Mo_2N ; 3 – TiN ; 4 – $0,5\text{TiN}+0,5\text{AlN}$; 5 – $0,2\text{HfN}+0,8\text{AlN}$

Зависимость коэффициента сравнительной стойкости от зернистости сплава ВК с 6%-ным содержанием Со (вес) при точении стали 38ХС показан на рис.9. Здесь также заметна тенденция роста К с уменьшением зернистости. Максимальный К имеет сплав ВК60М с тем же покрытием $0,2\text{HfN}+0,8\text{ZrN}$.

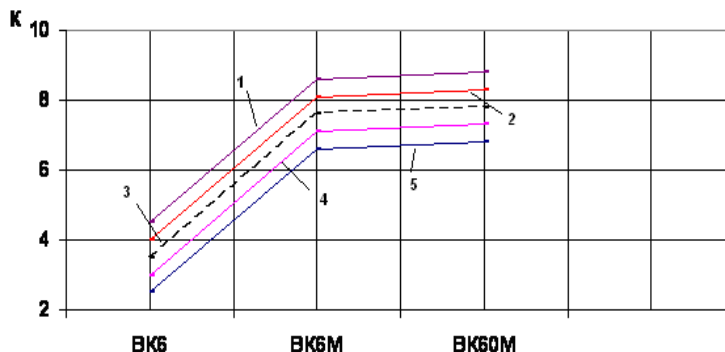


Рисунок 9 – Зависимость коэффициента сравнительной стойкости от зернистости сплава ВК при обработке стали: 1 – 38ХС при $V=60\text{м/мин}$ покрытием: 2 – Mo_2N ; 3 – TiN ; 4 – $0,5\text{TiN}+0,5\text{AlN}$; 5 – $0,2\text{HfN}+0,8\text{AlN}$

Для выявления рационального состава содержания Со для сплава ВК при точении стали 38ХС были проведены исследования, обобщенные результаты которых показаны на рис.10. С точки зрения максимального увеличения стойкости для сплавов ВК с упрочняющим покрытием КИБ оптимальным следует считать 6%-ное (вес) содержание кобальтовой фазы и покрытие $0,2\text{HfN}+0,8\text{ZrN}$.

Диаграммы стойкости в зависимости от зернистости и содержания кобальта для твердосплавных пластин группы ВК, показанных на рис. 9, убедительно подтверждают соображения, высказанные выше, - наибольший эффект имеют покрытия, наносимые на инструментальную твердосплавную подложку, имеющую особо зернистую структуру и 6% содержание Со (вес) – (рис.10). Влияние покрытий связано с двояким эффектом: как покрытие $0,2\text{HfN}+0,8\text{ZrN}$ снижает адгезионное взаимодействие с обрабатываемым материалом, снижая силы резания и коэффициент стружки, что способствует снижению износа. В то же время это покрытие имеет высокую твердость, что также снижает износ РИ.

Зависимость длины пути резания для сплава ВК6 с покрытиями Mo_2N , TiN , $0,5\text{TiN}+0,5\text{AlN}$, $0,2\text{HfN}+0,8\text{ZrN}$ и без упрочнения при точении стали 38ХС с постоянной подачей $S = 0,15\text{ мм/об}$ и глубиной резания $t = 0,5\text{ мм}$ от скорости показана на рис. 11.

Наблюдается увеличение длины пути резания для пластин с покрытиями от 1,5 до 8,5 раза и более по сравнению с пластинками без покрытия. Сближение кривых «L – V» с ростом скорости резания, несомненно, связано с увеличением температуры и потерей твердости и износостойкости свойств пленки Mo_2N , обладающей порогом теплостойкости в пределах $850...900^\circ\text{C}$, в то же время покрытия TiN ,

0,5TiN+0,5AlN и 0,2HfN+0,8ZrN обладают более высокими прочностными характеристиками при высоких температурах.

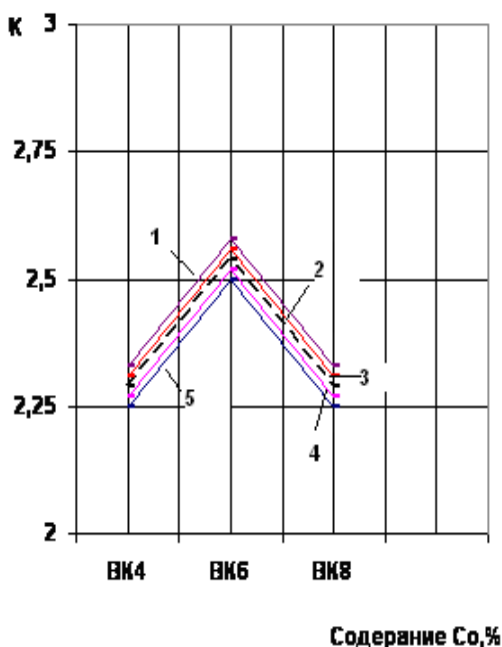


Рисунок 10 – Влияние содержания кобальта на коэффициент сравнительной стойкости при обработке стали: 1 – 38XC при $V=60$ м/мин с покрытием: 2 – Mo₂N; 3 – TiN; 4 – 0,5TiN+0,5AlN; 5 – 0,2HfN+0,8AlN

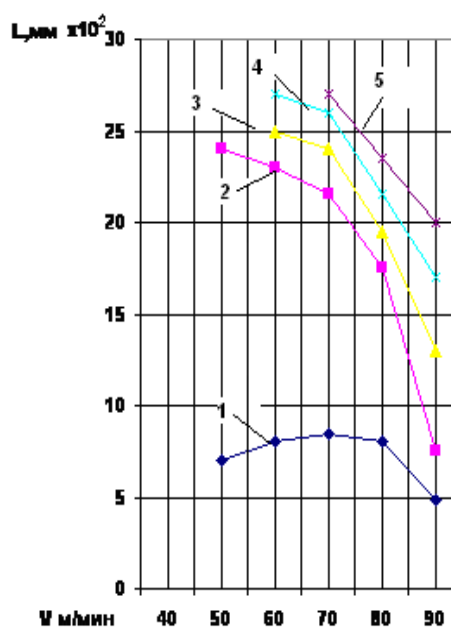


Рисунок 11 – Зависимость длины пути резания от скорости. Инструментальный материал: 1 – VK6 с покрытием: 2 – Mo₂N; 3 – TiN; 4 – 0,5TiN+0,5AlN; 5 – 0,2HfN+0,8AlN (38XC).

Зависимость $T - V$ для сплава VK6 при точении стали 38XC представлена на рис.12. Здесь видна та же тенденция снижения разницы по стойкости между пластинами VK6 с покрытиями и без покрытий. Особенно интенсивно это различие снижается при скоростях резания выше 80 м/мин, когда резко ухудшается работоспособность пленок на основе Mo₂N, а остаются высокими для 0,2HfN+0,8ZrN.

На рис.13. показаны зависимости $T - V$ для сплава T5K10 с покрытиями и без покрытия при точении стали 35ХГСА. Разница в стойкости для скоростей резания 130...180 м/мин составляла 1,8 – 4 раза.

Изменение скорости резания от 98 до 180 м/мин при $S = \text{const} = 0,15$ мм/об и $t = \text{const} = 0,5$ мм при точении стали 38XC сплавом T5K10, имеющем покрытия Mo₂N, TiN, 0,5TiN+0,5AlN, 0,2HfN+0,8ZrN и без упрочнения, наблюдалось увеличение длины пути резания на 60...140% для пластинок с покрытиями (рис. 14).

Особый интерес представляли исследования по выявлению возможностей покрытий Mo₂N, TiN, 0,5TiN+0,5AlN, 0,2HfN+0,8ZrN при обработке жаропрочных сталей и сплавов.

Так, износ РИ из ВК60М при обработке сплава ЭИ654 с теми же покрытиями представлен на рис. 15. Наблюдается существенное снижение износа при применении покрытий, особенно $0,2\text{HfN}+0,8\text{ZrN}$.

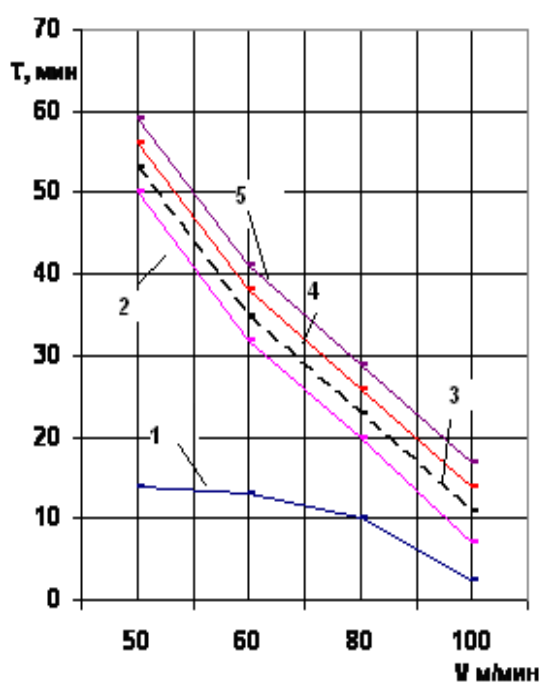


Рисунок 12 – Зависимость «Скорость резания – стойкость». Инструментальный материал: 1 – ВК6 с покрытием: 2 – Mo_2N ; 3 – TiN ; 4 – $0,5\text{TiN}+0,5\text{AlN}$; 5 – $0,2\text{HfN}+0,8\text{AlN}$ (38ХС)

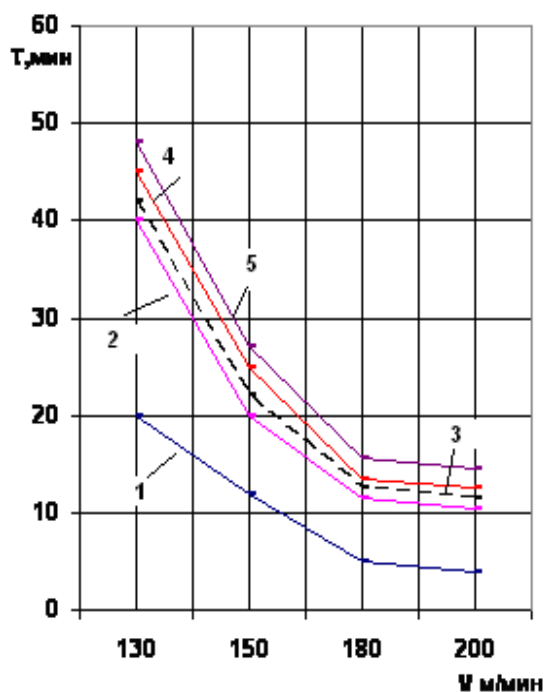


Рисунок 13 – Зависимость «скорости – стойкости». Инструментальный материал: 1 – Т5К10 с покрытием: 2 – Mo_2N ; 3 – TiN ; 4 – $0,5\text{TiN}+0,5\text{AlN}$; 5 – $0,2\text{HfN}+0,8\text{AlN}$ (35ХГСА)

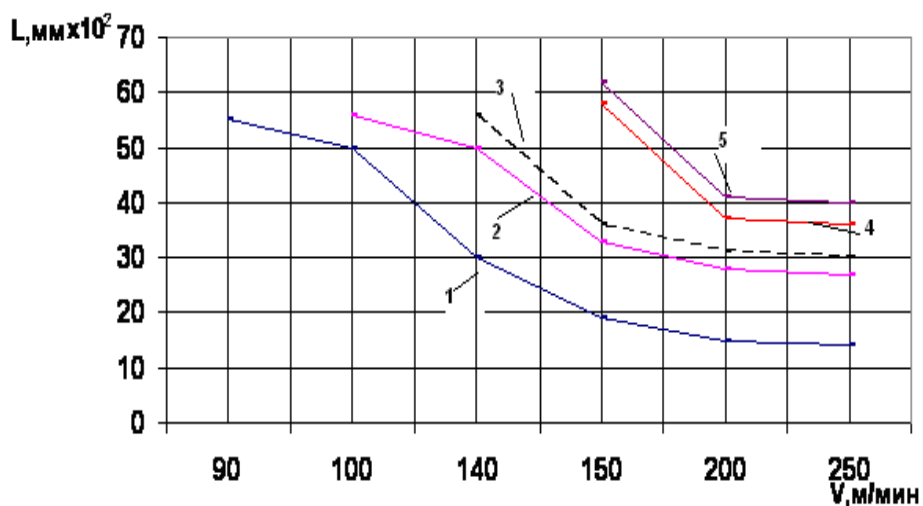


Рисунок 14 – Зависимость длины пути резания от скорости. Инструментальный материал: 1 – Т5К10 с покрытием: 2 – Mo_2N ; 3 – TiN ; 4 – $0,5\text{TiN}+0,5\text{AlN}$; 5 – $0,2\text{HfN}+0,8\text{AlN}$ (38ХС)

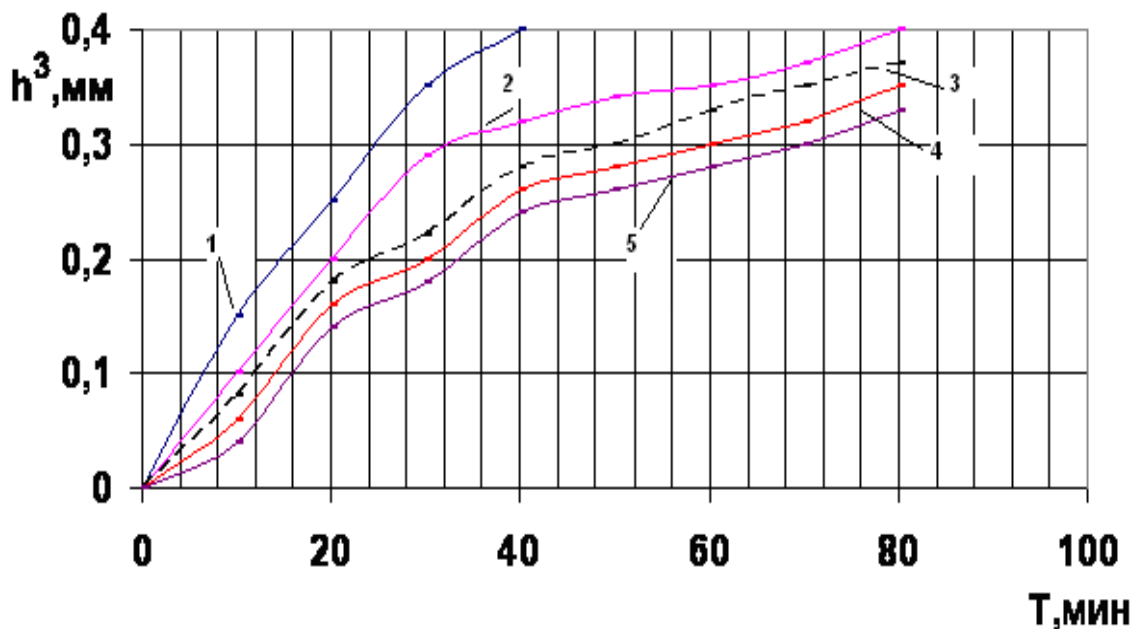


Рисунок 15 – Зависимость износа задней поверхности от времени.
 Инструментальный материал: 1 – VK60M (ЭИ654) с покрытием: 2 – Mo₂N;
 3 – TiN; 4 – 0,5TiN+0,5AlN; 5 – 0,2HfN+0,8AlN

На рис. 16 – 19 показаны результаты этих исследований.

При обработке сплава ЭИ564 наблюдается увеличение стойкости в 1,5 – 3 раза для пластинок VK60M с покрытиями Mo₂N, TiN, 0,5TiN+0,5AlN, 0,2HfN+0,8ZrN. Характерное снижение разницы по стойкости между пластинками с покрытиями и без покрытий с ростом скорости резания имело место и при обработке сплава ЭИ654 (рис.16).

На рис. 17 показана зависимость длины пути резания от скорости при точении стали 40X пластинками VK60M с покрытием КИБ и без покрытий. И здесь наблюдается снижение разницы в стойкости при увеличении скорости. При скорости резания 115 м/мин разница между пластинками с покрытием и без упрочнения составляет 75%.

Можно отметить более чем двукратное повышение стойкости при точении титанового сплава BT14 пластинками VK60M с покрытиями AlO₂, Al₂O₃, HfN, 0,2HfN+0,8ZrN (рис.18). Влияние покрытий на износ связан с адгезионным взаимодействием титанового сплава с материалом покрытий (рис. 19). Так, в этом случае не использовались покрытия с наличием титана, чтобы снизить адгезионное взаимодействие, а применялись Mo₂N, Al₂O₃, HfN, 0,2HfN+0,8ZrN, которые кроме низкого адгезионного взаимодействия с BT14 имеют высокую твердость (35 ГПа), что существенно выше, чем HfN и Al₂O₃ (хотя последние с точки зрения адгезионного взаимодействия более приемлемы).

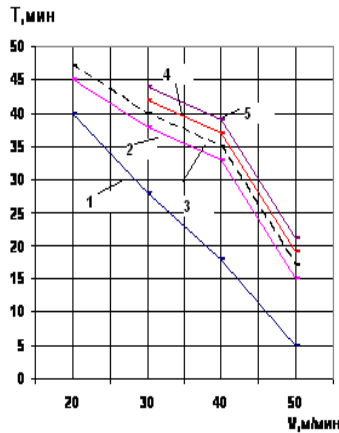


Рисунок 16 – Зависимость «стойкость-скорость» для 1 – «VK60M-ЭИ654» с покрытием: 2 – Mo_2N ; 3 – TiN; 4 – $0,5TiN+0,5AlN$; 5 – $0,2HfN+0,8AlN$

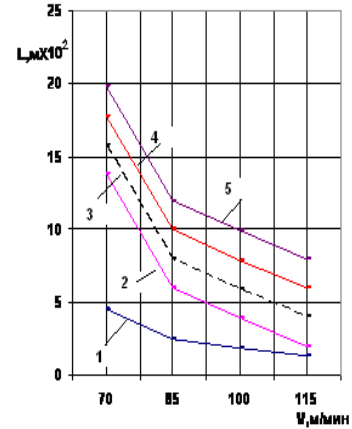


Рисунок 17 – Зависимость длины пути резания от скорости. Инструментальный материал: 1 – VK60M с покрытием: 2 – Mo_2N ; 3 – TiN; 4 – $0,5TiN+0,5AlN$; 5 – $0,2HfN+0,8AlN$ (40X)

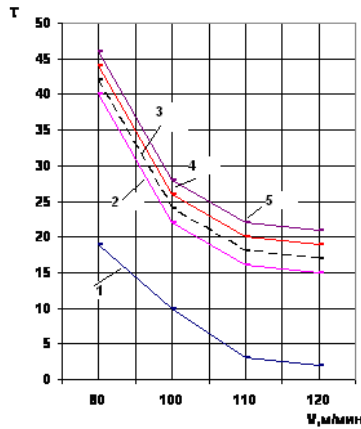


Рисунок 18 – Зависимость «стойкость-скорость» для пары 1 – «VK60M-ВТ14» с покрытием: 2 – Mo_2N ; 3 – TiN; 4 – $0,5TiN+0,5AlN$; 5 – $0,2HfN+0,8AlN$

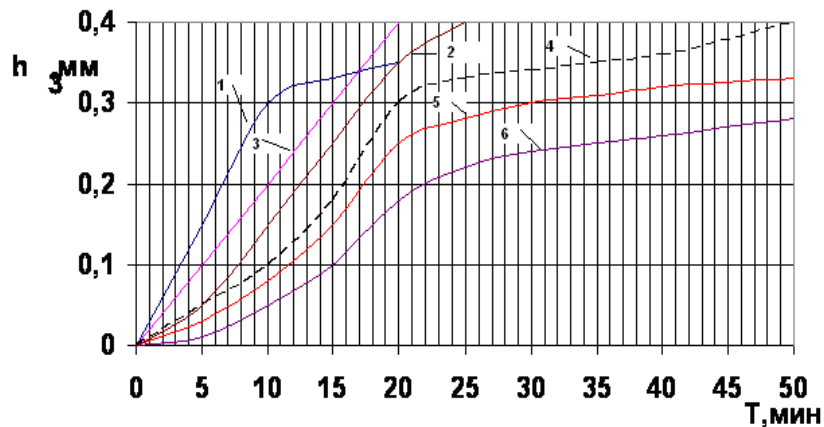


Рисунок 19 – Зависимость износа задней поверхности от времени. Обрабатываемый материал – ВТ14. Инструментальный материал – VK60M
1 – $V = 80$ м/мин; 2 – $V = 103$ м/мин с покрытием: 3 – $0,5AlN+0,5TiN$ ($V = 80$ м/мин); 4 – $0,5AlN+0,5TiN$ ($V = 103$ м/мин); 5 – $0,2HfN+0,8ZrN$ ($V = 80$ м/мин); 6 – $0,2HfN+0,8ZrN$ ($V = 103$ м/мин)

Выводы

Показано, что для наиболее эффективного использования покрытий необходимо учитывать их адгезионное взаимодействие с обрабатываемым материалом, требуется обеспечение его минимума и в тоже время более высокой твердости покрытий, что в совокупности обеспечит максимальную работоспособность РИ с покрытием.

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: моногр. / Г.И. Костюк. – Х.: Харьк. авиац. ин-т, 2007. – 610 с.

4. Костюк Г.И. Научные основы создания современных технологий: учеб. пособие / Г.И. Костюк. – Х.: Харьк. авиац. ин-т, 2008. – 601 с.

5. Костюк Г.И. Физико-технические основы роботизированного производства: учеб. пособие / Г.И. Костюк. – Х.: Харьк. авиац. ин-т, 2006. – 614 с.

6. Kostyuk G.I. The effective cutting tools having the coating and hardened layers: monograph-reference book / G.I. Kostyuk. – Kharkov: "KHAI", 2007. – 633 p.

7. Костюк Г.И. Наноструктуры и покрытия: перспективы и реальность: учеб. пособие / Г.И. Костюк. – Х.: Харьк. авиац. ин-т, 2009, 403с.