

СИЛЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ТВЕРДЫМИ СПЛАВАМИ С РАЗЛИЧНЫМИ ПОКРЫТИЯМИ

Введение

В работах [1 – 11] было показано влияние покрытий на стойкость РИ, износостойкость и другие характеристики процесса резания, но адгезионное взаимодействие рассматривалось только в работе [], но и то не в связи с силами резания. Все это говорит о необходимости проведения исследования влияния адгезионного взаимодействия обрабатываемого материала и материала покрытия на РИ на силы резания.

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 материала аэрокосмических конструкций», «Разработка технологических основ интегрированных технологий плазменно-ионной обработки деталей аэрокосмической техники», а также в рамках хоздоговорных работ и договоров в сотрудничестве «Концепция применения плазменно-ионных покрытий, комбинированного упрочнения, нанопокровтий для повышения качественных характеристик деталей».

Методика измерения сил резания

Для возможности сравнения результатов исследования сил и коэффициента трения на моделирующей установке с реальным процессом резания проводилось определение сил резания P_y , P_z на стандартном динамометре тензометрического типа УДМ-100 с использованием СИИТ и компьютера IBM 586. Исследование выполнялось в условиях широкого изменения режимов резания t , S , V .

Результаты экспериментов и их обсуждение

На рис. 1 - 6 представлены зависимости главной P_z и радиальной P_y составляющих сил резания от скорости резания v , глубины резания t , подачи s , зернистости и содержания кобальта при точении стали 38ХС пластинками ВК6 с упрочняющими покрытиями Mo_2N , $0,5TiN + 0,5AlN$, TiN , $0,2HfN + 0,8ZrN$, HfN , Al_2O_3 и без них.

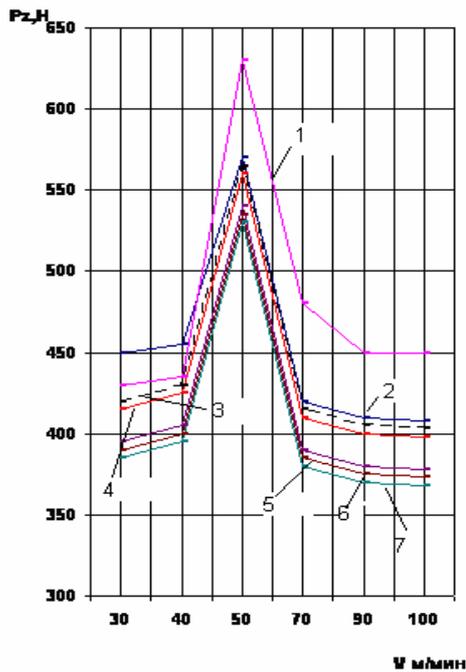


Рисунок 1 – Влияние скорости резания на главную составляющую силы резания. Обрабатываемый материал – сталь 38ХС.

Инструментальный материал:
 1 – ВК6 с покрытием; 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

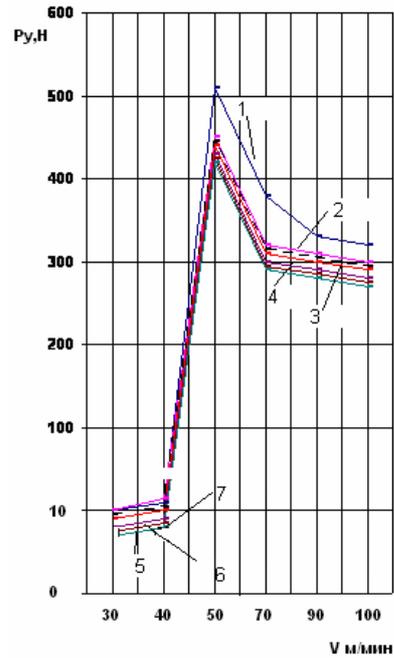


Рисунок 2 – Влияние скорости резания на силу резания P_y . Обрабатываемый материал – сталь 38ХС.

Инструментальный материал:
 1 – ВК6 с покрытием; 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

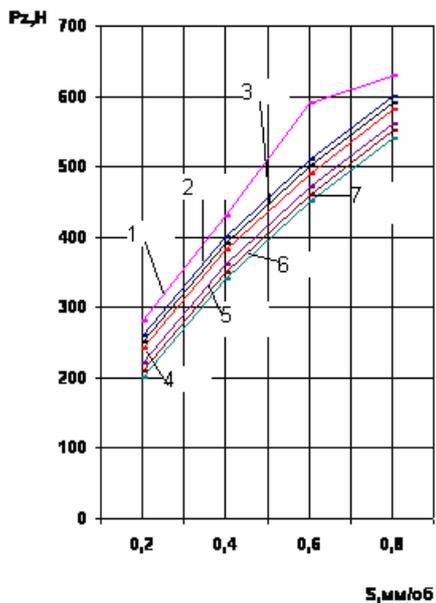


Рисунок 3 – Влияние глубины резания на составляющие силы резания P_z при обработке стали 38ХС пластинками 1 – ВК6 с покрытием; 2 – Mo_2N ;
 3 – $0,5\text{TiN}+0,5\text{AlN}$; 4 – TiN ; 5 –
 $0,2\text{HfN}+0,8\text{ZrN}$; 6 – HfN ; 7 – Al_2O_3

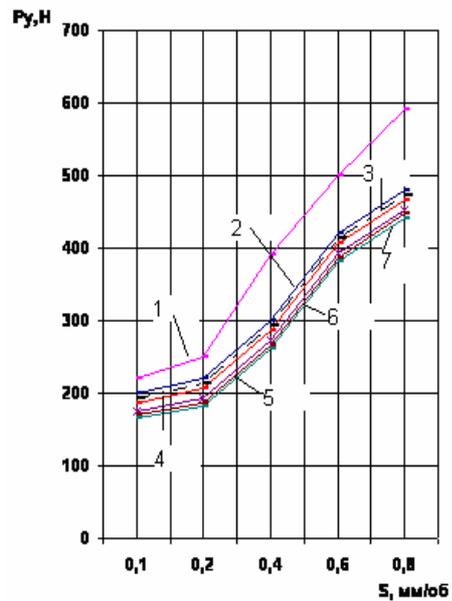


Рисунок 4 – Влияние глубины резания на составляющие силы резания P_y при обработке стали 38ХС пластинками 1 – ВК6 с покрытием; 2 – Mo_2N ;
 3 – $0,5\text{TiN}+0,5\text{AlN}$; 4 – TiN ; 5 –
 $0,2\text{HfN}+0,8\text{ZrN}$; 6 – HfN ; 7 – Al_2O_3

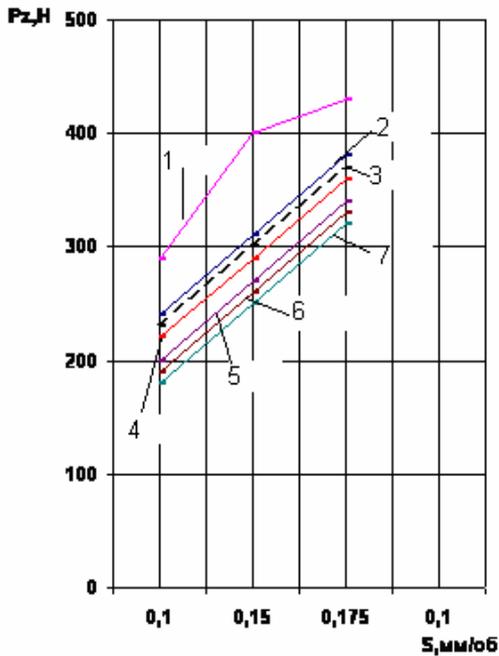


Рисунок 5 – Влияние глубины резания на составляющие силы резания P_z при обработке стали 38ХС пластинками 1 – ВК6 с покрытием; 2 – Mo_2N ; 3 – $0,5TiN+0,5AlN$; 4 – TiN ; 5 – $0,2HfN+0,8ZrN$; 6 – HfN ; 7 – Al_2O_3

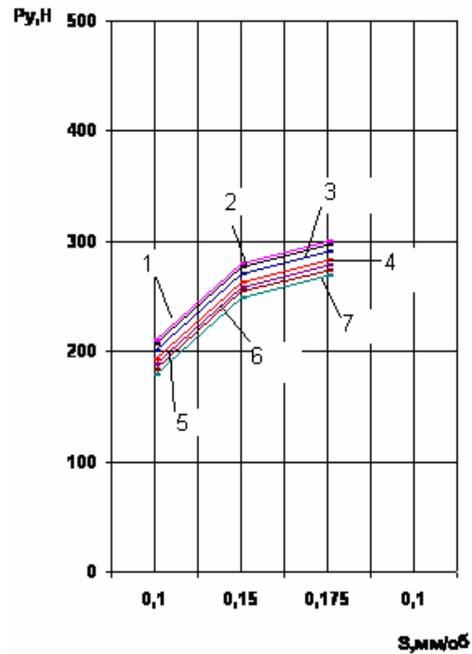


Рисунок 6 – Влияние подачи на составляющие силы резания P_y при точении стали 38ХС пластинками 1 – ВК6 с покрытием; 2 – Mo_2N ; 3 – $0,5TiN+0,5AlN$; 4 – TiN ; 5 – $0,2HfN+0,8ZrN$; 6 – HfN ; 7 – Al_2O_3

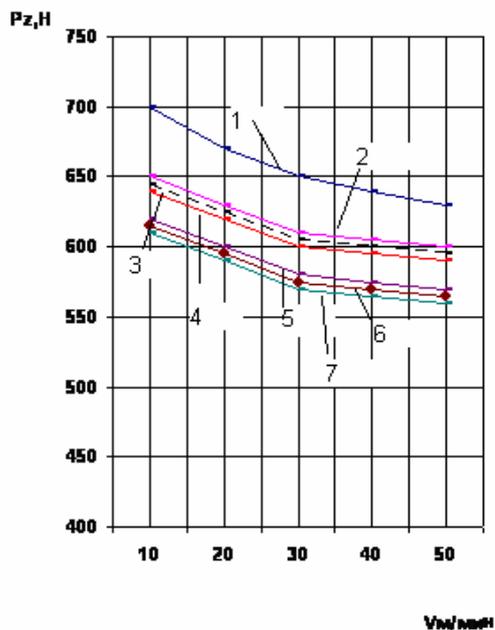


Рисунок 7 – Влияние скорости резания на главную составляющую силы резания P_z при обработке стали ЭИ702 пластинками 1 – ВК6 с покрытием; 2 – Mo_2N ; 3 – $0,5TiN+0,5AlN$; 4 – TiN ; 5 – $0,2HfN+0,8ZrN$; 6 – HfN ; 7 – Al_2O_3

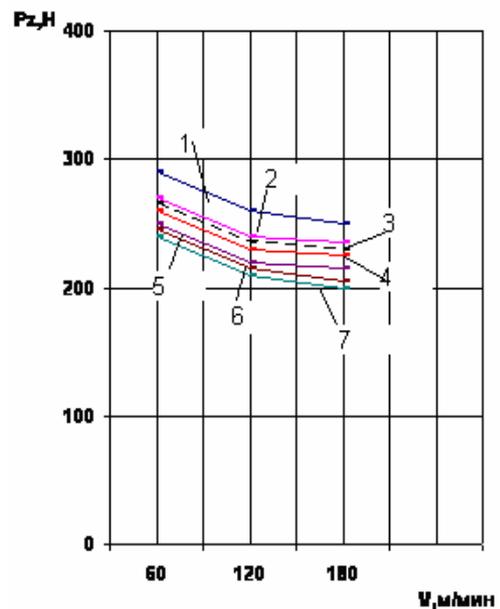


Рисунок 8 – Влияние скорости резания на главную составляющую силы резания при обработке стали 38ХС пластинками 1 – ВК6 с покрытием; 2 – Mo_2N ; 3 – $0,5TiN+0,5AlN$; 4 – TiN ; 5 – $0,2HfN+0,8ZrN$; 6 – HfN ; 7 – Al_2O_3

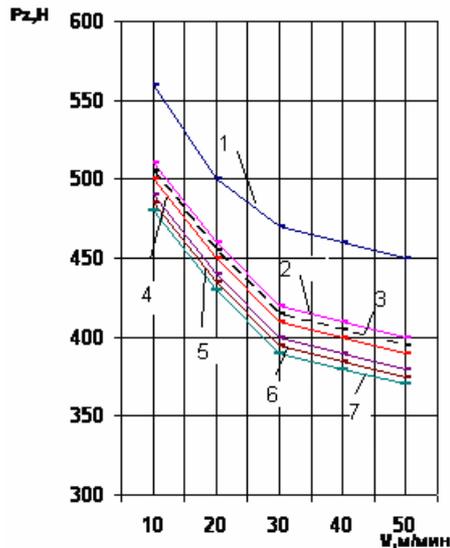


Рисунок 9 – Влияние скорости резания на главную составляющую силы резания P_z при обработке стали ЭИ702 пластинками 1 – VK6 с покрытием; 2 – Mo_2N ; 3 – $0,5TiN+0,5AlN$; 4 – TiN ; 5 – $0,2HfN+0,8ZrN$; 6 – HfN ; 7 – Al_2O_3

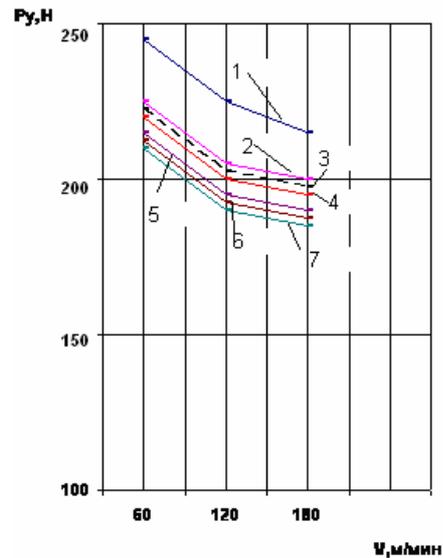


Рисунок 10 – Влияние скорости резания на радиальную составляющую силы резания P_y при обработке стали 38ХС пластинками 1 – VK6 с покрытием; 2 – Mo_2N ; 3 – $0,5TiN+0,5AlN$; 4 – TiN ; 5 – $0,2HfN+0,8ZrN$; 6 – HfN ; 7 – Al_2O_3

Проанализируем влияние скорости резания на силы резания P_z и P_y .

Видно, что с ростом скорости от 50 до 100 м/мин существенно уменьшаются силы резания P_z и P_y (рис.1), имея экстремальные значения при $V = 50$ м/мин. При скоростях 30 - 40 м/мин силы P_z и P_y по величине несколько выше для пластинок VK6 с покрытием Mo_2N , $0,5TiN + 0,5AlN$. Это явление можно объяснить следующим образом.

В диапазоне скоростей резания 30 – 40 м/мин идет интенсивное наростообразование, связанное с адгезией частиц обрабатываемого материала с контактной площадкой передней поверхности инструмента в застойной зоне. Однако для пластинок VK6 с покрытиями КИБ адгезия с частицами обрабатываемого материала заметно ниже, поэтому наростообразование выражено слабее, чем для пластинок VK6 без покрытий. Это и является причиной несколько больших значений P_z и P_y при скоростях резания $V = 30$ м/мин и $V = 40$ м/мин, так как при интенсивном наростообразовании величина фактического переднего угла выше угла заточки, что и способствует снижению P_z и P_y . При увеличении скорости резания до 50 м/мин застойная зона интенсивно прогревается, идет разупрочнение нароста и, как следствие этого, его разрушение, одновременно уменьшается фактический передний угол, силы резания P_z и P_y растут и при $V = 50$ м/мин они для пластинок из VK6 с покрытиями уже меньше, что, несомненно, связано с уменьшением сил трения.

Таблица

Значение разности электроотрицательности обрабатываемых материалов и ряда покрытий на РИ

Обрабатываемый материал \ Покрытие	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
Mo ₂ N 0,98	0,83 2	10	0,74 0,79	9	0,83 082	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

В то же время для покрытия TiN, $0,2\text{HfN} + 0,8\text{ZrN}$, HfN, Al_2O_3 для всех исследованных скоростей резания, сил резания P_z и P_y (для BK6) наблюдаются силы резания меньше чем сила РИ без покрытий, что, очевидно, связано с более низкой адгезионной активностью этих покрытий к стали 38Х. Если принять, что адгезионная активность зависит от разницы электроотрицательности обрабатываемого материала и покрытия (чем меньше, тем меньше адгезия), то, сопоставляя с данными таблицы 1 можно утверждать, что эксперимент подтверждает это предположение.

Аналогичные исследования проведены по выявлению влияния глубины резания (t) и подачи (S) на силы резания P_z и P_y при точении стали 38Х пластинками из BK6 с теми же покрытием (рис. 3 и 4) установлено, что покрытия снижают силу резания (при ее возрастании с увеличением t) на 15-30% для глубины резания 0,1-0,8 мм причем наибольшее снижение достигается для малых глубин резания, но и для больших глубин оно может составлять около 30% для $0,2\text{HfN} + 0,8\text{ZrN}$, HfN, Al_2O_3 что говорит о возможности эффективности увеличения глубины резания при применении покрытий с малым адгезионным взаимодействием (см. таблицу).

Исследовалось влияние подачи на силы резания P_z и P_y (рис. 5, 6). Видно, что с ростом подачи для РИ из BK6 с покрытиями и без них силы растут, с увеличением подачи снижение сил резания составляет 10-15%, это говорит о том, что повышение подачи менее эффективно для увеличения снижаемого объема за период стойкости для твердых сплавов BK, наибольшее снижение сил резания дают покрытия Al_2O_3 , HfN и $0,2\text{HfN} + 0,8\text{ZrN}$, но в то же время Al_2O_3 и HfN обладают относительно низкой микротвердостью, тогда как покрытие $0,2\text{HfN} + 0,8\text{ZrN}$ имеет микротвердость 35 ГПа, что говорит о его эффективном использовании для повышения износостойкости РИ.

При исследовании влияния глубины и подачи на силы резания влияние покрытий в порядке снижения сил резания такой же Mo_2N , $0,5\text{TiN} + 0,5\text{AlN}$, TiN, $0,2\text{HfN} + 0,8\text{ZrN}$, HfN, Al_2O_3 , что еще раз подтверждает справедливость критерия: минимум адгезионной активности реализуется при минимуме разности электроотрицательностей. Так для 38ХС и Al_2O_3 она равна нулю (таблица).

Проведено исследование влияния скорости резания (от 60 до 180 м/мин) на силы резания P_z и P_y при точении стали 38ХС пластинами из Т5К10 с теми же покрытиями. Видно, что снижение сил резания составляет от 10 до 27% для силы P_z , а для силы P_y – от 12 до 25%. В этом случае с ростом скорости резания силы резания убывают, последовательность снижения сил резания за счет применения покрытий сохранилась. Проведено также исследование влияния скорости резания за счет применения покрытий (от 10 до 50 м/мин) при точении сплава ЭИ702 пластинками из BK6 с покрытиями (Mo_2N ; $0,5\text{TiN} + 0,5\text{AlN}$; TiN; $0,2\text{HfN} + 0,8\text{ZrN}$; HfN; Al_2O_3). В этом случае влияние

покрытий более существенно и составляет для P_z от 7 до 28%, а для P_y от 9 до 17%. С ростом скорости резания силы резания снижаются особенно существенно для ВК6 с покрытиями $0,2\text{HfN} + 0,8\text{ZrN}$, HfN , Al_2O_3 , что позволяет предполагать возможность существенного повышения скоростей резания. Отмечается снижение сил резания для покрытий при снижении разности электроотрицательностей между обрабатываемым материалом и материалом покрытия.

Выводы

Показано, что для стали 38ХС существуют скорости от 30 до 50 Н/мин, когда наблюдается рост сил резания с увеличением скорости резания, и для ряда покрытий Mo_2N , $0,5\text{TiN} + 0,5\text{AlN}$, TiN на ВК6 силы резания даже больше, чем без покрытий, что связано с высокой адгезионной активностью и образованием нароста, частично снижающего силы резания для РИ без покрытия.

В диапазоне скоростей от 50 до 100 м/мин для РИ из ВК6 и практически для всех покрытий силы резания существенно снижаются, причем особенно для покрытий $0,2\text{HfN} + 0,8\text{ZrN}$, HfN , Al_2O_3 .

Снижение сил резания P_z и P_y за счет покрытий осуществляется в порядке его увеличения Mo_2N ; $0,5\text{TiN} + 0,5\text{AlN}$; TiN ; $0,2\text{HfN} + 0,8\text{ZrN}$; HfN ; Al_2O_3 , что соответствует убыванию разности электроотрицательностей обрабатываемого материала и материала покрытия (см. таблицу).

Влияние глубины резания менее существенно, чем подачи. Так, увеличение глубины в 8 раз приводит к увеличению сил резания в 2,5-3 раза. Тогда как увеличение подачи только в 2 раза приводит к увеличению сил резания в 1,4-1,8 раза. Это говорит о том, что для увеличения снимаемого объема материала за период стойкости более эффективно увеличивать глубину резания.

Применение покрытий на РИ из Т5К10 при точении стали 38ХС показывает, что в диапазоне скоростей резания 60...180 м/мин есть возможность снижения сил резания, причем с ростом скорости резания силы резания снижаются. Все это говорит о том, что повышение скоростей резания позволит повысить температуру в зоне резания и приблизиться к условиям для сверхтекучести обрабатываемого материала и к новым методам проектирования РИ с учетом аэродинамического обтекания.

Проведенные исследования влияния скорости резания на силы резания для сплава ЭИ 702 и РИ из ВК6 с покрытиями показали эффективность их применения, причем наилучшими покрытиями оказались $0,2\text{HfN} + 0,8\text{ZrN}$, HfN , Al_2N при скоростях резания 10...50 м/мин, с ростом скоростей резания силы резания существенно снижаются, что также говорит о возможности повышения скорости резания.

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.