

**Г.И. КОСТЮК**, д-р техн. наук, профессор, НАУ «ХАИ», Харьков;  
**Т.А. ПОСТЕЛЬНИК**, асп. НАУ «ХАИ», Харьков;  
**Р.В. ВОРОПАЙ**, асп. НАУ «ХАИ», Харьков.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СКОРОСТИ РЕЗАНИЯ И ПОДАЧИ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОБРАБОТКИ ЗАКАЛЕННОЙ СТАЛИ ШХ15

Приведены экспериментальные результаты исследования влияния режимов резания на работоспособность режущих пластин «Сандвик Коромант» Н13А, МС221 и МС222, ВК8 с покрытием 0,18HfN+0,82ZrN при точении закаленной стали ШХ15 и исследовано влияние скорости резания и подачи на стойкость РИ, снимаемый объем материала за период стойкости и производительность обработки.

**Ключевые слова:** режущие пластины, износ, покрытие, стойкость, снимаемый объем материала за период стойкости.

**Введение.** Наплавка твердых сплавов на детали, закалка, цементация и другие виды упрочнений приводят к существенному изменению геометрии детали в результате ее коробления, из-за чего она требует последующей обработки, чаще всего шлифования, но многие дефекты не могут быть устранены шлифованием. И тогда на первый план выступает точение, которое обеспечивает достаточную точность и требуемую шероховатость.

**Анализ основных достижений и литературы.** В то же время наплавка твердых сплавов и детонационное напыление не позволяют использовать детали без последующей формообразующей обработки, т.е. требуют использования точения, строгания, фрезерования или другой механической обработки. Все это говорит об актуальности и важности проводимых исследований [1–10].

Работа выполнялась в рамках программы Министерства образования и науки, молодежи и спорта Украины «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» и «Разработка технологических основ интегрированных технологий плазменно-ионной обработки деталей аэрокосмической техники», а также в рамках хозяйственных работ и договоров о сотрудничестве.

**Цель исследования, постановка задачи.** Проводились исследования работоспособности РИ из различных инструментальных материалов с покрытиями 0,18HfN+0,82ZrN. Исследовали износ режущего инструмента (РИ) – пластины Н13А производства фирмы «Сандвик Коромант», ВК8, МС221 и МС222 с покрытием 0,18HfN+0,82ZrN при точении стали 45,

закаленной в масле при температуре 820...840°C (выдержка 20 минут), и отпуске при температуре 300...320°C (выдержка 50 минут), твердость HRC=58.

**Материалы исследований.** Исследовалась обработка стали ШХ15 закаленной.

Таблица 1 – Физико-механические характеристики стали ШХ 15

Температура критических точек, °C

Ac <sub>1</sub>	Ac <sub>m</sub>	Arc <sub>m</sub>	Ar <sub>1</sub>	M <sub>n</sub>
724	900	713	700	210

Таблица 2 – Химический состав стали ШХ 15, %

C	Mn	Si	Cr	S	P	Ni	Cu
				не более			
0,95-1,05	0,20-0,40	0,17-0,37	1,30-1,65	0,020	00,027	0,30	0,25

Таблица 3 – Механические свойства стали ШХ 15

T <sub>исп</sub> , °C	σ <sub>0,2</sub> , МПа	σ <sub>в</sub> , МПа	δ <sub>5</sub> , %	Ψ, %	КCU, Дж/см <sup>2</sup>	Твердость	
						HRC <sub>3</sub>	НВ
Закалка при t = 840°C							
200	1960-2200	2160-2550	-	-	-	61-63	-
300	1670-1760	2300-2450	-	-	-	56-58	-
400	1270-1270	1810-1810	-	-	-	50-52	-
450	1370-1180-1270	1910-1620-1710	-	-	-	46-48	-
Закалка при t = 860°C							
400	-	1570	-	-	15	-	480
500	1030	1278	8	34	20	-	400
550	900	1080	8	36	24	-	360
600	780	930	10	40	34	-	325
650	690	780	16	48	54	-	280

Таблица 4 – Механические свойства стали ШХ 15 в зависимости от температуры испытаний

T <sub>исп</sub> , °C	σ <sub>0,2</sub> , МПа	σ <sub>в</sub> , МПа	δ <sub>5</sub> , %	Ψ, %	КCU, Дж/см <sup>2</sup>
Нагрев при 1150 °C и охлаждение до температур испытаний					
800	-	130	35	43	-
900	-	88	43	50	-
1000	-	59	42	50	-
1100	-	39	40	50	-
Образец диаметром 6 мм и длиной 30 мм, деформированный и отожженный. Скорость деформирования – 16 мм/мин; скорость деформации – 0,009 1/с					

Т <sub>исп</sub> , °С	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\sigma_b$ , МПа	$\delta_5$ , %	$\Psi$ , %	КСУ, Дж/см <sup>2</sup>
1000	32	42	61	100	-
1050	28	48	36	100	-
1100	20	29	72	100	-
1150	17	25	61	100	-
1200	18	22	76	100	-
Закалка при t = 830°C в масле; отпуск при 150°C – 1,5 ч					
25	-	2550	-	-	88
-25	-	2650	-	-	69
-40	-	2600	-	-	64

Таблица 5 – Предел выносливости стали ШХ 15 при n = 10<sup>6</sup>

Термообработка	Твердость НВ	$\sigma_{-1}$ , МПа
Отжиг	192	33
Закалка с 830 °С; отпуск при 150°C, охл. в масле	616	804

Таблица 6 – Теплостойкость стали ШХ 15

Температура, °С	Время, ч	Твердость HRC <sub>3</sub>
150-160	1	63

На режущий инструмент производства фирмы «Сандвик Коромант», ВК8, МС221 и МС222 покрытие 0,18HfN+0,82ZrN наносилось при потенциале на подложке 350 В, давлении азота P = 3·10<sup>-3</sup> мм рт.ст., время нанесения покрытия – 30 мин, микротвердость H<sub>μ</sub> = 36 ГПа.

Износ измерялся на инструментальном и оптическом микроскопах, где определялись также размеры лунки на передней поверхности.

Точение проводилось на модернизированном станке 1К62 при таких режимах резания: скорость резания – 0,8...3,38 м/с, глубина резания – 0,25 мм, подача – 0,15...0,6 мм/об.

**Результаты исследований.** Исследовалось влияние скорости резания и подачи на величину снимаемого объема при черновой (износ по задней поверхности h<sub>3</sub>=0,6 мм), получистовой (h<sub>3</sub>=0,4 мм) и чистовой (h<sub>3</sub>=0,25 мм) токарной обработке на снимаемый объем материала. Стойкость РИ и производительности обработки приведены на рис. 2–6.

Результаты исследования влияния скорости резания на снимаемый объем материала за период стойкости для чернового точения показаны на рис. 2, а (h<sub>3</sub> = 0,6 мм), для получистового – на рис. 2, б (h<sub>3</sub> = 0,4 мм) и для чистового точения – на рис. 2, в (h<sub>3</sub> = 0,25 мм). Видно, что при черновом точении с глубиной резания 0,25 мм и подаче 0,15 мм/об величина снимаемого объема материала за период стойкости велика – 1...2·10<sup>5</sup> мм<sup>3</sup>. Скорость резания влияет значительно при V = 1,6 м/с и снижается

практически в 10 раз, а при  $V = 0,83$  м/с это снижение достигает 40 раз (РП: ВК8 (Россия) с покрытием  $0,18\text{HfN}+0,82\text{ZrN}$ ).

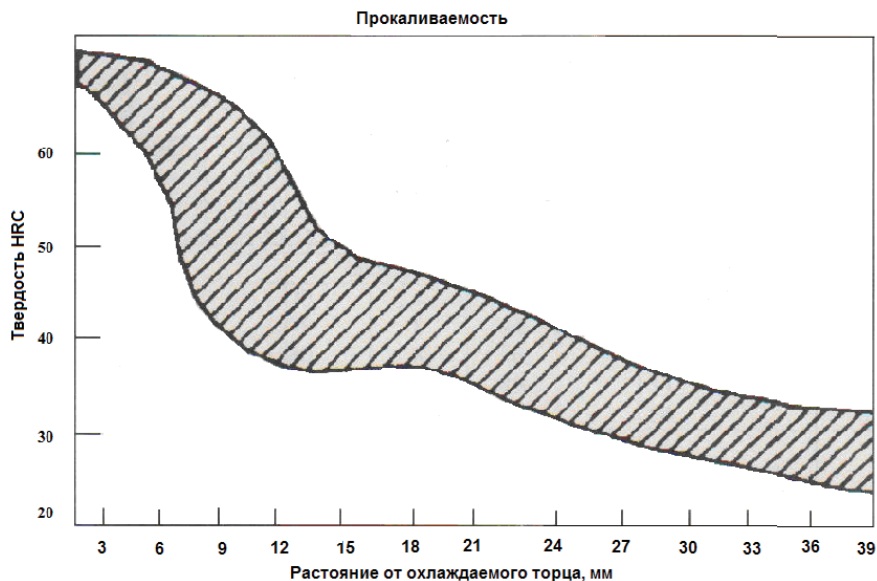


Рис. 1 – Полоса прокаливаемости стали ШХ15

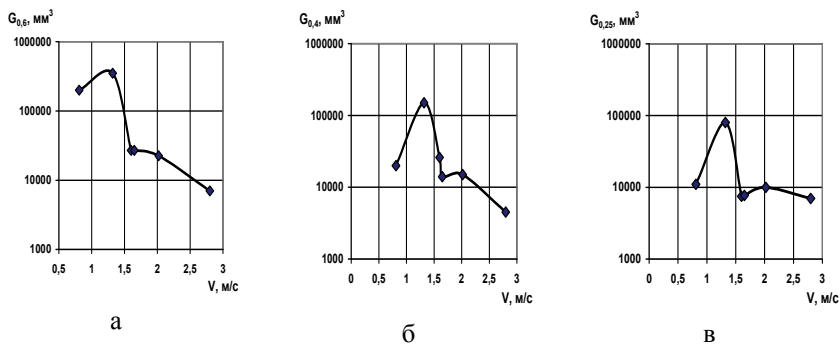


Рис. 2 – Зависимости снимаемого объема за период стойкости от скорости резания при точении закаленной стали ШХ15, РП – ВК8 (Россия) +  $0,12\text{HfN}+0,82\text{ZrN}$  при: а – черновом, б – получистовом, в – чистовом точении.

При получистовом точении при изменении скорости от 0,8 до 1,32 м/с наблюдается рост снимаемого объема за период стойкости до  $10^5$  мм<sup>3</sup>, затем быстрый (при  $V = 1,6$  м/с), а затем более медленный спад (при  $V = 2,02$  и 2,8 м/с).

При чистовом точении для глубины резания  $0,25 \text{ мм}$  и  $S = 0,15 \text{ мм/об}$  наблюдаются колебания значения  $G$ : для чистового – в диапазоне  $8 \dots 0,77 \cdot 10^4 \text{ мм}^3$ . При глубине резания  $0,25 \text{ мм}$  для чернового, получистового и чистового точения с ростом скорости резания снимаемый объем за период стойкости сначала повышается, а затем снижается, что связано с увеличением температуры в зоне резания и ее влиянием на прочностные характеристики РИ и покрытия, несмотря на то, что с ростом температуры падает коэффициент трения, но адгезионное взаимодействие материала РИ или покрытия (контакт возможен с материалом РИ в лунке, где изношено покрытие) и его отрыв осуществляются вместе с основным материалом РИ, для которого адгезия схватывания обычно больше, чем для покрытия.

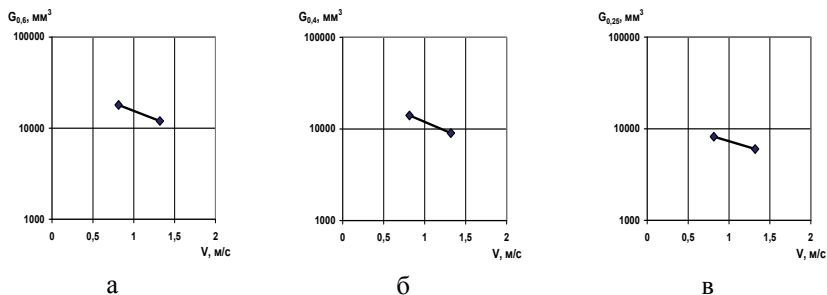


Рис. 3 – Зависимости снимаемого объема за период стойкости при точении закаленной стали ШХ15, РИ – ВК8 (СССР) +  $0,12\text{HfN}+0,82\text{ZrN}$  при: а – черновом, б – получистовом, в – чистовом точении.

На рис. 3 показаны результаты исследования влияния скорости резания на величину снимаемого объема материала за период стойкости при черновой (а), получистовой (б) и чистовой (в) обработке РИ из ВК8 (СССР) с покрытием  $0,18\text{HfN}+0,82\text{ZrN}$  (г). Видно, что рост скорости резания от  $0,8$  до  $1,32 \text{ м/с}$  приводит к снижению снимаемого объема за период стойкости для закаленной стали ШХ15, что позволяет хоть и менее эффективно использовать эти режимы для обработки закаленных деталей с существенными дефектами формы (бочкообразность, искривление оси, волнистость и др.). Малые снимаемые объемы материала для пластин, изготовленных еще в СССР, объясняются тем, что они имеют большой отрицательный передний угол и стружколом с большим радиусом, а стружка при обработке закаленных сталей имеет малый радиус скругления и на небольшой части передней поверхности (вблизи режущей кромки) реализуется ее контакт, а следовательно, сначала износ покрытия, а затем и основного материала РИ, а высокая температура вблизи режущей кромки на передней поверхности приводит к существенному дополнительному повышению температуры задней поверхности, что повышает и ее износ.

Исследование обработки закаленных сталей РИ из ВК8 (СССР) показало более высокую их работоспособность, чем ВК8 (Россия) с тем же покрытием.

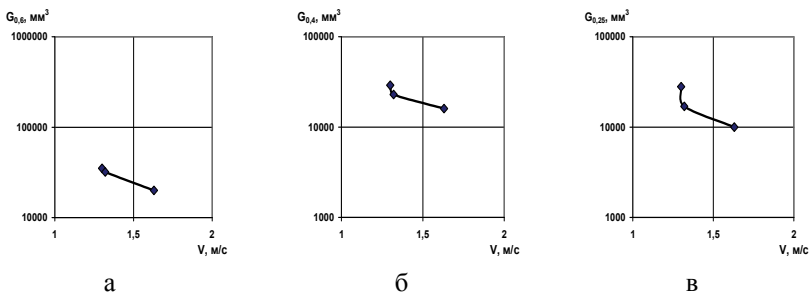


Рис. 4. Зависимости снимаемого объема за период стойкости при точении закаленной стали ШХ-15, РИ – Сандвик Коромант + 0,12HfN+0.82ZrN при: а – черновом, б – получистовом, в – чистовом точении

При получистовом точении (РИ – Сандвик Коромант с покрытием 0,18 HfN + 0,8 ZrN,  $t = 0,25$  мм,  $S = 0,6$  мм/об) (рис. 4) закаленной стали ШХ15 характер изменения величины снимаемого объема, как и для ВК8 с покрытием, сначала растет ( $V_p = 0,81...1,23$  м/с), а затем падает, что объясняется конкурирующими процессами: снижением коэффициента трения и ростом адгезионного взаимодействия между контактирующими поверхностями РИ (сначала покрытия, а затем и основного материала РИ) с обрабатываемым материалом, а высокие значения снимаемого материала за период стойкости при высокой подаче (0,6 мм/об) объясняются реализацией температуры, при которой наступает разупрочнение закаленного материала (реализуются условия, близкие к сверхтекучести), что приводит к существенному снижению сил резания, а значит, и к повышению  $G$ .

Увеличение глубины резания более 0,25 мм приводит к быстрому разрушению (сколу) режущей части РИ, что не позволило провести исследования влияния глубины резания на снимаемый объем материала за период стойкости, производительность и стойкость.

Результаты исследования влияния подачи на величину снимаемого объема за период стойкости показаны на рис. 5. Видно, что для чернового и получистового точения максимальная величина  $G$  достигается при подаче 0,6 мм/об, что объясняется реализацией температуры материала детали (стружки), при которой реализуется существенное его разупрочнение в зоне стружки, тогда как материал детали сохраняет твердость и остальные физико-механические характеристики. При малых подачах реализуется сначала небольшой рост  $G$  (до  $S = 0,2$  мм/об), затем спад при  $S = 0,35$  мм/об, а затем рост более чем на порядок для чернового и получистового точения, тогда как для чистового точения это увеличение незначительно.

Получистовое точение дает высокую точность и малую шероховатость, а это значит, что режим чистового точения можно не использовать.

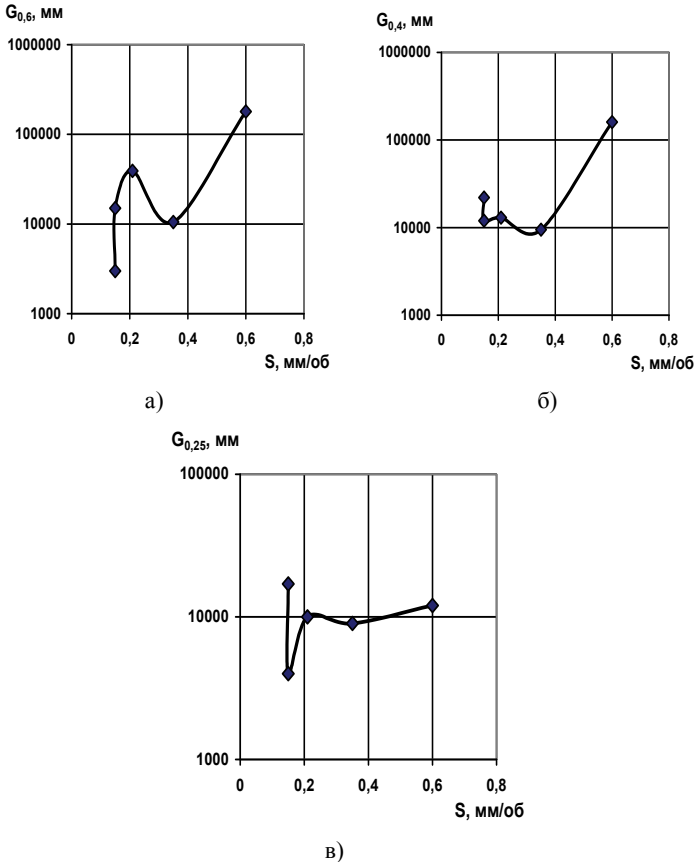


Рис. 5. Зависимости снимаемого объема материала (при критическом износе: а –  $h_{3,п} = 0,6$  мм; б –  $h_{3,п} = 0,4$  мм; в –  $h_{3,п} = 0,25$  мм) от подачи при глубине резания  $t = 0,25$  мм и скорости резания  $V = 1,23 \dots 1,5$  м/с (точение закаленной стали ШХ15 HRc = 58)

В то же время кроме величины снимаемого объема материала за период стойкости важными характеристиками являются стойкость и производительность обработки, результаты исследования которых от подачи показаны на рис. 6, видно что с ростом подачи для РИ Сандвик Коромант с покрытием  $0,12\text{HfN}+0,827\text{N}$  стойкость сначала падает до  $S = 0,35$  мм/об, а затем растет и достигает максимума при  $S = 0,6$  мм/об. Производительность обработки с ростом подачи растет.

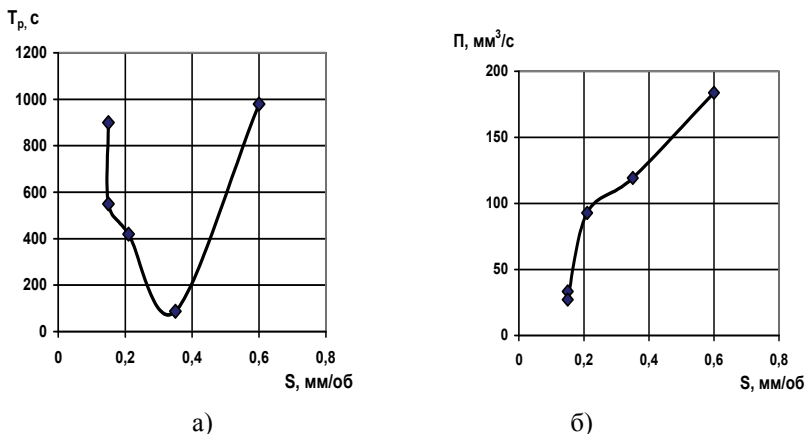


Рис. 6. Зависимости: а – стойкости РИ  $T_p$ ; б – производительности точения  $\Pi$  от подачи при точении закаленной стали ШХ15 (HRC = 58)

### Выводы.

1. Выявлено влияние скорости резания на снимаемый объем материала за период стойкости при черновой, получистовой и чистовой обработке, который при подаче 0,15 мм/об сначала растет (0,8...1,35 м/с), а затем при больших скоростях падает как для РИ из ВК8, так и для Сандвик Коромант (пластина Н13 с покрытием 0,18 HfN + 0,82 ZrN), а затем после скорости резания 1,35 м/с падает.

2. Подача существенно влияет на снимаемый объем материала за период стойкости, который повышается практически более чем в 40 раз при подаче 0,6 мм/об. При этой подаче, очевидно, реализуется температура, при которой в материале стружки происходит разупрочнение (режим, близкий к высокотемпературной сверхтекучести), когда силы резания снижаются существенно, что и приводит к росту величины  $G$ .

3. Стойкость с ростом подачи сначала снижается до  $S = 0,35$  мм/об, а затем существенно растет (при  $S = 0,6$  мм/об) более чем 10 раз.

4. Производительность с ростом скорости резания растет более чем в 6 раз для Сандвик Коромант с 0,18 HfN + 0,82 ZrN при подаче 0,6 мм/об.

5. Проведенные исследования позволяют утверждать, что можно выбрать режимы резания (скорость резания, подачу, глубину резания), позволяющие обеспечить высокую точность обработки, включая точность формы, а также низкую шероховатость  $R_z = 0,25$  мкм.

**Список литературы:** 1. Костюк Г.И. Эффективные покрытия и модифицированные упрочненные слои на режущих инструментах / Г.И. Костюк. - К.: Изд-во Междунар. академии наук и инновац. технологий, 2012. – 728 с. 2. Костюк Г.И. Физико-технические основы нанесения покрытий, ионной имплантации и ионного легирования, лазерной обработки и упрочнения, комбинированных технологий. Книга 1. Физические процессы плазменно-ионных, ионно-лучевых, плазменных, светолучевых и комбинированных технологий [Текст] / Г.И.



Костюк. - К.: Изд-во АИНУ, 2002. - 596 с. **3. Костюк Г.И.** Физико-технические основы нанесения покрытий, ионной имплантации и ионного легирования, лазерной обработки и упрочнения, комбинированных технологий. Книга 2. Справочник для расчета основных физических и технологических параметров, оценки возможностей, выбора типа технологий и оборудования [Текст] / Г.И. Костюк. - К.: Изд-во АИНУ, 2002. - 482 с. **4. Костюк Г.И.** Эффективный режущий инструмент с покрытием и упрочненным слоем: [Текст] справ./ Г.И. Костюк. - К.: Антика, 2003. - 412 с. **5. Костюк Г.И.** Физико-технические основы роботизированного производства [Текст]: учеб. пособие / Г.И. Костюк. - Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2006. - 614 с. **6. Kostyuk G.I.** The effective cutting tools having the coating and hardened layers [Text]: monograph-reference book / G.I. Kostyuk. - Kh.:National aerospace university named after N. E. Gukovsky «КНАВ», 2007. - 633 p. **7. Костюк Г.И.** Исследование эффективности механической обработки стали 16ХЗМВФНБ-Ш РИ с покрытием 0,18HfN+0,82ZrN [Текст] / Г.И. Костюк, А.В. Фадеев, А.Н.Костюк // Вісник інженерної академії України: сб. науч. тр. – Вып. 3. - Х., 2011. – С. 67 - 70. **8.** Эффективность токарной обработки закаленной стали 40Х РИ с покрытием [Текст] / Г.И. Костюк, К.П. Исяк, И.С.Татаркина, А.А.Бреус // Вестн. Нац. техн. ун-та «ХПИ»: сб. науч. тр. Нац. техн. ун-та «ХПИ». – Вып. 40. - Х., 2011. – С. 9 - 12. **9.** Исследование износа пластин с покрытием при эффективном точении закаленной стали 65Г [Текст] / Г.И. Костюк, И.В. Дощечкина, А.Н. Костюк, Р.В. Воропай // Вестн. Нац. техн. ун-та «ХПИ»: сб. науч. тр. Нац. техн. ун-та «ХПИ». – Вып. 3. - Х., 2011. – С. 50 - 54. **10. Костюк Г.И.** Повышение работоспособности покрытий на РИ при обработке сталей с учетом адгезионного взаимодействия [Текст] / Г.И.Костюк, В.А. Фадеев, О.О. Бруйка // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 3(63). - Х., 2010. – С. 63 - 72.

*Поступила в редакцию 20.06.2012*

УДК 621.91

**Исследование влияния скорости резания и подачи на эффективность обработки закаленной стали шх15 / Г.И. Костюк, Т.А. Постельник, Р.В. Воропай // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Технології в машинобудуванні. – Х. : НТУ «ХПІ», 2012. – № 53(959). – С.127-135. – Бібліогр.: 10 назв.**

Наведено експериментальні результати дослідження впливу режимів різання на роботоздатність різальних пластин «Сандвік Коромант» Н13А і ВК8 з покриттям 0,18HfN+0,82ZrN при точінні загартованої сталі ШХ15 і досліджено вплив швидкості різання, подачі та глибини різання на їхню стійкість, об'єм матеріалу, що знімається за термін стійкості, та продуктивність, оброблення.

**Ключові слова:** різальні пластини, зношування, покриття, стійкість, об'єм матеріалу, що знімається за період стійкості.

Experimental results of research of cutting condition of cutting plates of "Sandvik Koromant" H13A and BK8 with a covering 0,18HfN+0,82ZrN are resulted at точении the tempered steel ШХ 15 and research of influence speed cutting, throw in feed and depth cutting of their firmness and the removed volume of a material during firmness is shown and productivity.

**Keywords:** cutting plates, deterioration, a covering, the firmness, the removed volume of a material during firmness.