

Научноёмкие технологии в машиностроении. 2025. № 8 (170). С. 31-40.  
Science intensive technologies in mechanical engineering. 2025. № 8 (170). P. 31-40.

Научная статья

УДК 621.91

doi: 10.30987/2223-4608-2025-8-31-40

## Повышение износостойкости твердосплавных режущих инструментов путем радиационной модификации микроструктуры твердого сплава

Владимир Федорович Макаров<sup>1</sup>, д.т.н.

Михаил Владимирович Песин<sup>2</sup>, д.т.н.

Валерий Юрьевич Столбов<sup>3</sup>, д.т.н.

Владимир Дмитриевич Онискив<sup>4</sup>, к.т.н.

Мария Александровна Ран<sup>5</sup>, аспирант

<sup>1, 2, 3, 4, 5</sup> Пермский национальный исследовательский политехнический университет,  
Пермь, Россия

<sup>1</sup> makarovv@pstu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0383-0208>

<sup>2</sup> m.pesin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>

<sup>3, 4</sup> valeriy.stolbov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>

<sup>5</sup> ranmasha06@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>

**Аннотация.** В статье представлены результаты исследований возможностей повышения износостойкости твердосплавных режущих инструментов при токарной обработке на основе воздействия радиационного облучения гамма-квантами на микроструктуру материала твердого сплава. Проведен анализ работ ученых физиков-атомщиков по исследованиям воздействия облучения гамма-квантами на изменения физико-химические свойств и перестройки микроструктуры на атомно-молекулярном уровне различных материалов, в том числе металлов и сплавов. Проведена модификация образцов твердосплавных режущих пластин на различных режимах облучения и последующие лабораторные и производственные испытания их износостойкости при точении различных сталей и титановых сплавов. Разработана методика испытаний модифицированных образцов на износостойкость. Проведены исследования химического состава твердого сплава, его микротвердости, остаточных напряжений на различных участках поверхности и микроструктуры режущих пластин. Выявлены рациональные условия и режимы модификации твердых сплавов, обеспечивающие наибольшую износостойкость твердосплавного инструмента. Проведены лабораторные и производственные сравнительные испытания на износостойкость различных режущих пластин из твердого сплава типа ВК8 до проведения модификации и после облучения гамма – квантами. Исследование износостойкости твердосплавных режущих инструментов проводилось в различных лабораториях резания Пермского национального исследовательского университета, Пермского технологического техникума при предприятии АО «ОДК-ПМ», предприятия «Кировградский завод твердых сплавов», предприятия АО «ОДК-Пермские моторы» по собственным отработанным методикам стойкости испытаний на различных универсальных токарно-винторезных станках и на станках с ЧПУ. В качестве обрабатываемых материалов использовались образцы заготовок из сталей 40Х, Ст. 45, 30Х13, титановых сплавов ВТ6 и ВТ20Л, чугуна СЧ25. В результате проведенных исследований установлено повышение износостойкости твердосплавного инструмента после модификации структуры твердого сплава на рациональных режимах облучения от 1,5 до 5 раз при токарной обработке в зависимости от физико-механических свойств обрабатываемых материалов и режимов резания. Высказана гипотеза, что упрочнение твердого сплава и повышение его износостойкости происходит в результате перестройки его микроструктуры, создания новых межатомных связей, уменьшению количества дефектов, перестройке наноструктуры кристаллических тел в более гармоничное упорядоченное равновесное состояние с меньшим внутренним напряжением.

**Ключевые слова:** износостойкость, твердый сплав, облучение гамма-квантами, модификация, токарная обработка, режимы резания, легированные и нержавеющие стали, титановые сплавы, сменные твердосплавные пластины

**Для цитирования:** Макаров В.Ф., Песин М.В., Столбов В.Ю., Онискив В.Д., Ран М.А. Повышение износостойкости твердосплавных режущих инструментов путем радиационной модификации микроструктуры твердого сплава // Научно-технические технологии в машиностроении. 2025. № 8 (170). С. 31–40. doi: 10.30987/2223-4608-2025-8-31-40

## Wear resistance increase in carbide cutting tools by radiation modification of the microstructure of the hard alloy

Vladimir F. Makarov<sup>1</sup>, D. Eng.

Mikhail V. Pesin<sup>2</sup>, D. Eng.

Valery Yu. Stolbov<sup>3</sup>, D. Eng.

Vladimir D. Oniskiv<sup>4</sup>, Ph.D Eng.

Maria A. Ran<sup>5</sup>, Ph.D student

<sup>1,2,3,4,5</sup> Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia

<sup>1</sup> makarovv@pstu.ru

<sup>2</sup> m.pesin@mail.ru

<sup>3,4</sup> valeriy.stolbov@gmail.com

<sup>5</sup> ranmasha06@yandex.ru

**Abstract.** The article presents the results of research into the possibilities of increasing the wear resistance of carbide cutting tools during turning based on the effects of gamma-ray radiation on the microstructure of a hard alloy material. The analysis of the work of atomic physicists on the effects of gamma-ray radiation on changes in the physical and chemical properties and rearrangement of microstructure at the atomic and molecular level of various materials, including metals and alloys, is carried out. The modification of carbide cutting plates samples under various ray treatment conditions and subsequent laboratory and production tests of their wear resistance during turning of various steels and titanium alloys were carried out as well. A testing routine of modified samples for wear resistance has been developed. Studies of the chemical composition of the hard alloy, its microhardness, residual stresses on various parts of the surface and the microstructure of the cutting plates have been undertaken. The rational conditions and modes of modification of hard alloys providing the greatest wear resistance of the carbide tool are revealed. Laboratory and production comparative tests were performed on the wear resistance of various cutting plates made of hard alloy type WCo8 before modification and after ray treatment with gamma rays. The wear resistance of carbide cutting tools was studied in various cutting laboratories of Perm National Research University, Perm Technological College at JSC ODK-PM, Kirovgrad Plant of Hard Alloys, JSC ODK-Perm Motors using their own proven methods of resistance testing on various engine lathes and CNC-machines. Samples of blanks made of 40X, st.45, 30X13 steels, WTi6 and WTi20L (ALZrVMo) titanium alloys, and GG(VG) were used as processed materials. As a result of the conducted research, an increase in the wear resistance of a carbide tool has been established after modification of the structure of a hard alloy under rational ray treatment conditions from 1.5 to 5 times during turning, depending on the physico-mechanical properties of the processed materials and cutting modes. As a result of the conducted research, an increase in the wear resistance of a carbide tool has been established after modification of the structure of a hard alloy under rational ray treatment conditions from 1.5 to 5 times during turning, depending on the physical mechanical properties of the processed materials and cutting modes. It is hypothesized that hardening of a hard alloy and an increase in its wear resistance occur as a result of the restructuring of its microstructure, new interatomic bonds, a decrease in the number of defects, and the restructuring of crystalline bodies nanostructures into a higher harmonious, ordered equilibrium state and lower internal stress.

**Keywords:** wear resistance, hard alloy, gamma radiation, modification, turning, cutting modes, alloyed and stainless steels, titanium alloys, replaceable carbide plates

**For citation:** Makarov V.F., Pesin M.V., Stolbov V.Yu., Oniskiv V.D., Ran M.A. Wear resistance increase in carbide cutting tools by radiation modification of the microstructure of the hard alloy / Science intensive technologies in mechanical engineering. 2025. № 8 (170). P. 31–40. doi: 10.30987/2223-4608-2025-8-31-40

### Введение

Проблема повышения износостойкости режущих инструментов в машиностроении особенно актуальна стала в нашей стране в последнее время в связи с нарастающим расширением объемов производства новых видов

современных изделий из различных труднообрабатываемых материалов. Кроме того, в связи с санкциями западных стран прекращены поставки эффективных режущих инструментов, применяемых на современных станках и обрабатывающих центрах при производстве различных изделий машиностроения. Сегодня

специалисты инструментальщики пытаются различными методами повысить износостойкость режущих инструментов. Это применение различных покрытий, упрочняющие обработки, дополнительная термообработка твердых сплавов и другие методы. Среди них сегодня актуальными являются и радиационные методы воздействия.

Радиационное воздействие на различные материалы – это сегодня предмет многочисленных актуальных исследований [2 – 6]. Главная цель подобных экспериментов связана с радиационной модификацией свойств облучаемого материала.

Гамма-излучение является одним из видов электромагнитного излучения с самой высокой энергией и самой короткой длиной волны в спектре электромагнитных волн [1]. Оно возникает при разрядке ядерных энергетических уровней, то есть при переходе ядер атомов из состояния с большей энергией в состояние с меньшей энергией. Электрический заряд и масса покоя гамма-квантов имеют нулевое значение, они не взаимодействуют с электрическими и магнитными полями. Этим объясняется выдающиеся параметры проникающей способности гамма-излучения (до 2,5 км в воздухе). Безусловно этот вид облучения не имеет аналогов для процесса модификации толстостенных изделий или металлов и сплавов.

В качестве технологии модификации исследуемого твердого сплава типа ВК8 выбрано радиационное облучение с помощью воздействия на структуру материала гамма-квантов. Известны технологии упрочнения композиционных и полимерных материалов путем гамма-облучения [7]. Однако исследований влияния воздействия гамма-квантов на свойства металлических функциональных материалов гораздо меньше [8], хотя интерес к этой технологии в последнее время значительно вырос в связи с неотложной необходимостью импортозамещения режущих инструментов и существенного повышения производительности процессов обработки материалов резанием.

Механизмами воздействия гамма-квантов на любой материал принято выделять следующие основные эффекты взаимодействия гамма-квантов с веществом: явление фотоэффекта, эффект Комптона, рождение электрон-позитронных пар и ядерный фотоэффект [9]. Если энергия превышает 10 МэВ, гамма-квант способен выбивать нуклоны из ядра атома. Этот механизм взаимодействия получил название

ядерного фотоэффекта. При этом выбитый со своей орбиты свободный электрон может создавать новые электронно-дырочные пары [9]. Поток фотонов порождает электронную активность, причем энергия налетающих на атом электронов зачастую вполне достаточна для того, чтобы сместить его. Вероятно, это самый очевидный механизм взаимодействия электрона с атомом. Он приводит к разрыву межатомных связей.

Известно, что средняя энергия межатомных связей в веществе составляет 2...5 эВ, то разумно предположить как возможность разрыва существующих связей, так и вероятность возникновения новых связей в процессе радиационного воздействия гамма-облучением. Собственно сочетание этих двух процессов и определяют возможную модификацию свойств материала.

При этом механизмы стока несовершенств в совокупности с процессами аннигиляции приводят к уменьшению количества дефектов и перестройке структуры кристаллических тел в более гармоничное, равновесное состояние. Таким образом наноструктура упорядочивается, а внутренние напряжения в кристалле снижаются [2, 12, 13]. Характерным признаком упорядочивания структуры металла является уменьшение его удельного электрического сопротивления [11].

Это приводит внутреннюю структуру к самоорганизации и к более упорядоченному, равновесному состоянию. Последнее обстоятельство играет доминирующую роль, к примеру, в процессах снижения износа режущего инструмента.

С другой стороны, при увеличении концентрации одиночных дефектов, как правило происходит упрочнение металла. Параметры твердости могут увеличиваться в пять и более раз, однако при этом заметно снижается пластичность.

Таким образом, взаимодействие гамма-излучения с металлами и сплавами включает в себя два конкурирующих процесса: с одной стороны происходит накопление радиационных дефектов, с другой стороны – имеет место их аннигиляция и упорядочение структуры кристаллов.

Следует добавить, что облучение также меняет и физико-химические свойства поверхности твердых тел [13]. Прежде всего здесь имеются в виду такие свойства как адсорбция,

окислительные и каталитические реакции, коррозионная стойкость.

Учитывая все изложенное выше, необходимо признать, что полная физическая картина наблюдаемых при радиационной модификации явлений достаточно далека от полного понимания и требует дополнительных исследований.

Поэтому, высказанные предположения о повышении износостойкости режущих инструментов после модификации твердого сплава проверялись на практике при токарной обработке различных материалов в лабораторных и производственных условиях.

### Методика проведения экспериментальных исследований.

В ходе проведения работ исследовалось влияние обработки гамма-квантами на физико-химические свойства и износостойкость токарных резцов из твердого сплава типа ВК8 при токарной обработке конструкционных легированных, нержавеющей сталей, чугунов и титановых сплавов. Для проведения экспериментальных исследований токарные резцы подвергнуты радиационной модификации гамма-облучением с использованием источников  $^{60}\text{Co}$  на предприятии АО «Кобальт» по четырем

вариантам с различными режимами и дозами облучения: А, В<sub>воздух</sub>, С и В<sub>азот</sub>. Облучение проводилось в открытой атмосфере и в атмосфере азота для четвертого варианта с дозой облучения В<sub>азот</sub>.

Испытания на износостойкость токарных резцов из твердого сплава типа ВК-8 проводились при точении различных материалов на различных универсальных токарных станках и токарных станках с ЧПУ в лабораторных и производственных условиях по специально разработанным методикам испытаний.

В лаборатории резания материалов кафедры ИТМ ПНИПУ исследования проводились на универсальном токарно-винторезном станке с УЦИ (устройство цифровой индикации) фирма JET, модель GH-1640ZX (Китай) (рис. 1, а). В качестве режущего инструмента выбран сборный токарный проходной резец с механическим креплением режущей пластинки. Для этого использована державка PCLNR2525-M12 и сменные многогранные пластины CNMG 120408-46 производства фирмы Сандвик МКТС (Россия) из твердого сплава типа ВК8 (рис. 1), подвергнутые облучению разными дозами гамма-квантов, при точении заготовок из легированной стали 40Х и титанового сплава ВТ20 в состоянии поставки.

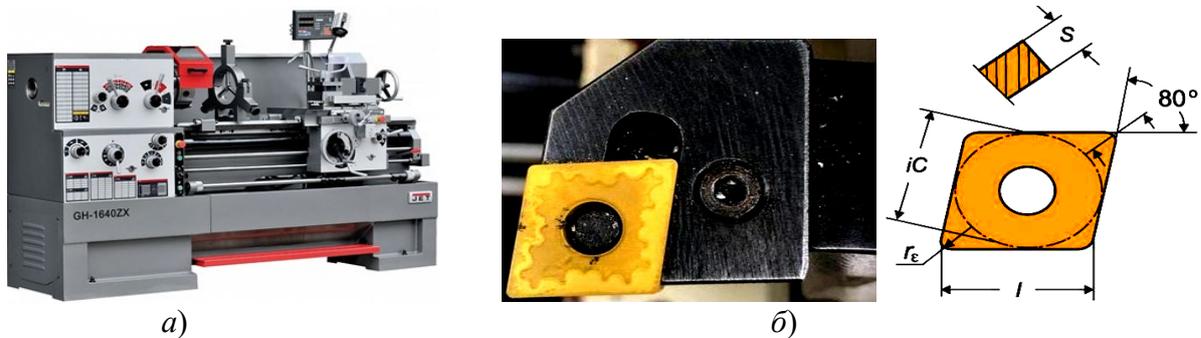


Рис. 1. Общий вид токарно-винторезного станка GH-1640 ZX (Китай) (а) и сборных токарных резцов со сменной твердосплавной пластиной CNMG 120408 и державкой PCLNR 2525 M12 (б) для проведения исследований износостойкости в ПНИПУ

Fig. 1. General view of the GH-1640 ZX turning machine (China) (a) and unitized turning tools with a replaceable carbide plate CNMG 120408 and a holder RCLNR 2525 M12 (b) for conducting wear resistance studies in PNRPU

В лаборатории резания технологического техникума при предприятии АО "ОДК-ПМ" (Пермь) исследования износостойкости таких же пластин проводились на универсальном токарно-винторезном станке с бесступенчатым регулированием скорости резания ИЖ 250ИТВМ.01 при точении титанового сплава ВТ20 (рис. 2, а) и при точении титанового сплава ВТ6 облученными гамма-квантами

токарными резцами с напайными пластинами сплава ВК8 (рис. 2, б) с целью изучения влияния переточки этих резцов на изменение износостойкости. Кроме того, здесь же на токарном станке с ЧПУ мод. ETASIS (Китай) проведены исследования износостойкости аналогичных модифицированных сменных пластин из сплава ВК8 при точении заготовок из нержавеющей стали 30Х13 в состоянии поставки.



a)



б)

Рис. 2 Общий станка (a) и вид напайного токарного резца (б) с пластинками твердого сплава ВК8 после очередной переточки пластинки

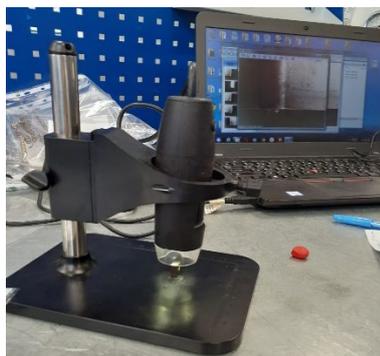
Fig. 2 General view of a machine tool (a) a brazed-tip tool (b) with WCo8 hard alloy plates after the next plate reworking

В испытательной лаборатории инструментального предприятия ООО «Кировградский завод твердых сплавов» (КЗТС Свердловская обл.) сравнительные исследования износостойкости режущих многогранных пластин после модификации проводились специалистами предприятия на универсальном станке мод. 16К20 при точении чугунных заготовок СЧ 25 и на станке с ЧПУ Okuma 16M30Ф3 при точении специальных заготовок из стали 45 по методике предприятия. На предприятии КЗТС для сравнительных испытаний предложили сравнить износостойкость до модификации и после облучения твердосплавных режущих пластин своего производства CNMA 120408 В35-85445 при обработке чугунных заготовок

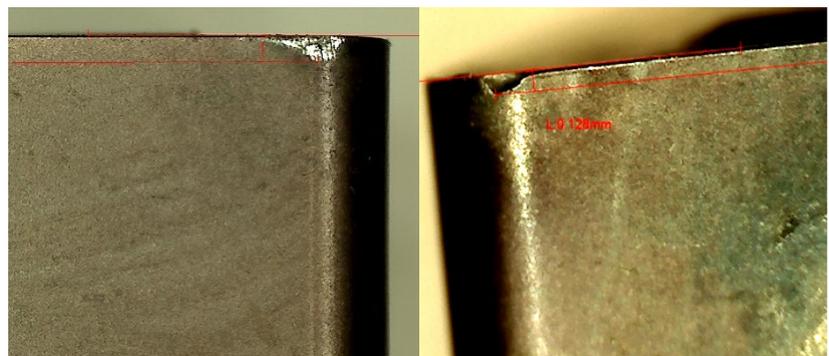
из СЧ25 и пластин CNMG 120408 PM TC23 PT-P-37 при точении стали 45.

Режимы резания заготовок выбраны на основе рекомендаций каталогов фирмы Сандвик МКТС и КЗТС, а также из опыта предприятий машиностроения.

Износ токарных пластин измерялся по задней поверхности со стороны главной режущей кромки (ГРК), вспомогательной режущей кромки (ВРК) и вершины резца (В) предварительно лупой Бринеля, окончательно – на электронного микроскопа PSE 200 с увеличением  $50^{\times} \dots 200^{\times}$ . Общий вид процесса измерения износа и примеры фотографий износа и выкрашивания режущих кромок представлены на рис. 3.



a)



б)

Рис. 3 Общий вид электронного микроскопа PSE 200 (a) и пример фотографии измерения величины износа и выкрашивания режущей кромки (б), зафиксированных на компьютере

Fig. 3 General view of the PCE 200 electron microscope (a) and an example of a photograph measuring the amount of wear and discoloration of the cutting edge (b), recorded on a computer

Обработка заготовок проводилась до появления износа, не превышающего 0,4...0,5 мм. При этом рассчитывался путь и время резания до предельного износа.

Сравнительные исследования поверхностной твердости модифицированных пластин твердого сплава проводились ультразвуковым твердомером марки. Исследования химического состава и остаточных напряжений в твердом сплаве образцов из материала типа ВК8 проводились на оборудовании лаборатории многофункциональных материалов Уфимского университета науки и технологий.

Исследования химического состава образцов твердого сплава типа ВК8 проводились с применением энергодисперсионного метода на растровом электронном микроскопе JeolJSM с соответствующей приставкой.

Исследования и оценку поверхностных остаточных напряжений на исследуемых пяти образцах (рис. 4, а) проводили неразрушающим методом по схеме, показанной на рис. 4, б, путем рентгеноструктурного анализа различных поверхностей с помощью специального дифрактометра Уран-100.

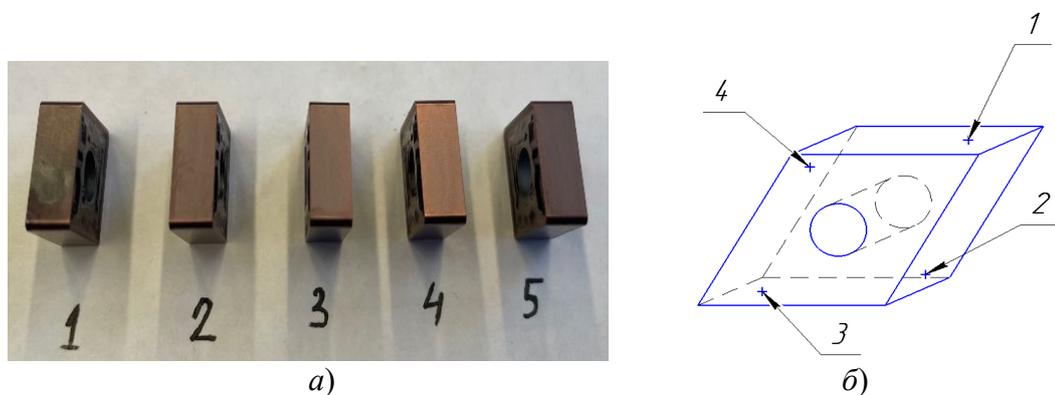


Рис. 4. Внешний вид исследуемых пяти образцов твердого сплава (а) и схема измерений остаточных напряжений на поверхностях (б)

Fig. 4. The appearance of the studied five samples of hard alloy (a) and the measurement scheme of residual stresses on the surfaces (b)

На дифрактометре используется рентгеновская трубка с  $V$  излучением. Анодное напряжение 16 кВ, ток 150 мкА. Выбрана линия дифракции плоскости (111), соответствующая углу  $\theta_0 = 76,1^\circ$ . Каждая область поверхностей образца измерялась по шести углам наклона  $\psi = 0^\circ, 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 40^\circ, 45^\circ$ . При измерении глубина проникновения излучения 5 мкм, размер пятна 4 мм. В соответствии со схемой на рис. 2, а проведены измерения остаточных поверхностных напряжений в четырёх точках каждого образца. Образец под номером 1 не модифицирован. По результатам измерения углов дифракции  $\theta$  для шести углов наклона  $\psi = 0^\circ, 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 40^\circ, 45^\circ$ , строился график степени деформации, вычислялась линия тренда и значение остаточного напряжения.

## Анализ и обсуждение

### 1. Исследование влияния облученгамма-квантами на изменения физико-химических свойств твердого сплава

На первом этапе проведены исследования химического состава и структуры твердого сплава, чтобы убедиться, что исследуется именно твердый сплав типа ВК8. Кроме того, сравнивались результаты химсостава модифицированного сплава (образец № 2) и немодифицированного сплава (эталон). Результаты энергодисперсионного анализа, проведенного для образцов под № 1 (эталон) и модифицированного образца № 2, представлены в табл. 1.

### 1. Результаты анализа химического состава исследуемого твердого сплава

#### 1. The results of the analysis of the chemical composition of the studied hard alloy

Спектр		В стат.	С %	Fe %	Co %	W %	Итог %
Эталон	Спектр 1	Да	1,04	0,00	12,68	86,28	100.00
	Спектр 2	Да	0,91	0,30	8,29	90,50	100.00
	Спектр 3	Да	0,00	0,33	2,22	97,45	100.00
Образец № 2	Спектр 1	Да	0,74	0,00	7,75	91,51	100.00
	Спектр 2	Да	0,96	0,00	12,22	86,82	100.00
	Спектр 3	Да	0,51	0,00	5,47	94,02	100.00

В результате анализа данных таблицы 2 установлено, что исследуемые твердые сплавы по химическому составу соответствуют твердому сплаву ВК8. Кроме того, установлено практически отсутствие влияния облучения гамма-квантами на изменение химического состава твердого сплава ВК8. Однако в различных точках исследуемых спектров твердого

сплава можно видеть значительные отклонения процентного содержания углерода, вольфрама и кобальта.

Сравнительные осредненные результаты исследований поверхностной твердости пластин до и после модификации приведены в табл. 2.

### 2. Зависимость твердости материала от дозы гамма-облучения

#### 2. The dependence of the hardness of the material on the dose of gamma radiation

Доза облучения, Мрад	Без облучения	А	В (воздух)	В (азот)	С
Твердость, HRC	41,7	41,9	40,3	41,3	41,5

В результате анализа данных таблицы 3 установлено, что в исследованном диапазоне доз облучения отсутствует значимая закономерность по их влиянию на твердость материала. Разброс значений твердости находится в пределах среднего значения 41,34 HRC. Эти

результаты также коррелируют с данными работы [19].

Результаты измерения остаточных напряжений в исследуемых модифицированных образцах № 2, 3, 4 и немодифицированном образце № 1 представлены в табл. 3.

### 3. Результаты измерений остаточных напряжений при различных дозах облучения

#### 3. Results of measurements of residual stresses at different radiation doses

Образец	№ 1 без облучения	№ 2 А	№ 3 В <sub>воздух</sub>	№ 4 В <sub>азот</sub>	№ 5 С
Напряжение, Мпа	-548	-554	-584	-397	-569
	-616	-633	-601	-451	-644
	-658	-699	-745	-516	-689
	-674	-756	-776	-585	-749
Средние значения	-624 ± 90	-661 ± 138	-677 ± 156	-487 ± 129	-663 ± 121
Минимальные значения	-548	-554	-584	-397	-569
Минимальные значения	-674	-756	-776	-585	-749

Анализ данных таблицы 4 показал, что остаточные сжимающие напряжения на трех модифицированных образцах № 2, № 3 и № 5 незначительно увеличились на 5...7 %, а у образца № 4 уменьшились по сравнению с немодифицированным образцом № 1.

## 2. Исследование влияния облучения твердосплавных токарных резцов на повышение износостойкости при точении различных сталей и сплавов

В результате проведения предварительных длительных стойкостных исследований влияния различных доз облучения гамма-квантами установлено, что из четырех рассмотренных режимов облучения различными дозами гамма-квантов наибольший эффект по повышению износостойкости твердого сплава ВК8 обеспечивается на режиме облучения  $V_{\text{воздух}}$ . Поэтому этот режим облучения принят как самый рациональный и все последующие

исследования износостойкости твердосплавных резцов проводились резцами, облученными по режиму  $V_{\text{воздух}}$ . По результатам сравнительных исследований износостойкости модифицированных и немодифицированных резцов строились и анализировались графики комплексного износа резцов по задней поверхности со стороны главной режущей кромки (ГРК), вспомогательной режущей кромки (ВРК) и вершины резца (В). Пример построения такого сравнительного графика изменения износа модифицированных (М) и немодифицированных (О) режущих пластин при точении образцов из легированной стали 40Х в лаборатории резания ПНИПУ на одних и тех же режимах резания представлен на рис. 6. По данным графика можно установить, что износостойкость режущих модифицированных пластин (М) повысилась в не менее двух раз по сравнению с немодифицированными пластинами (О) твердого сплава ВК8.

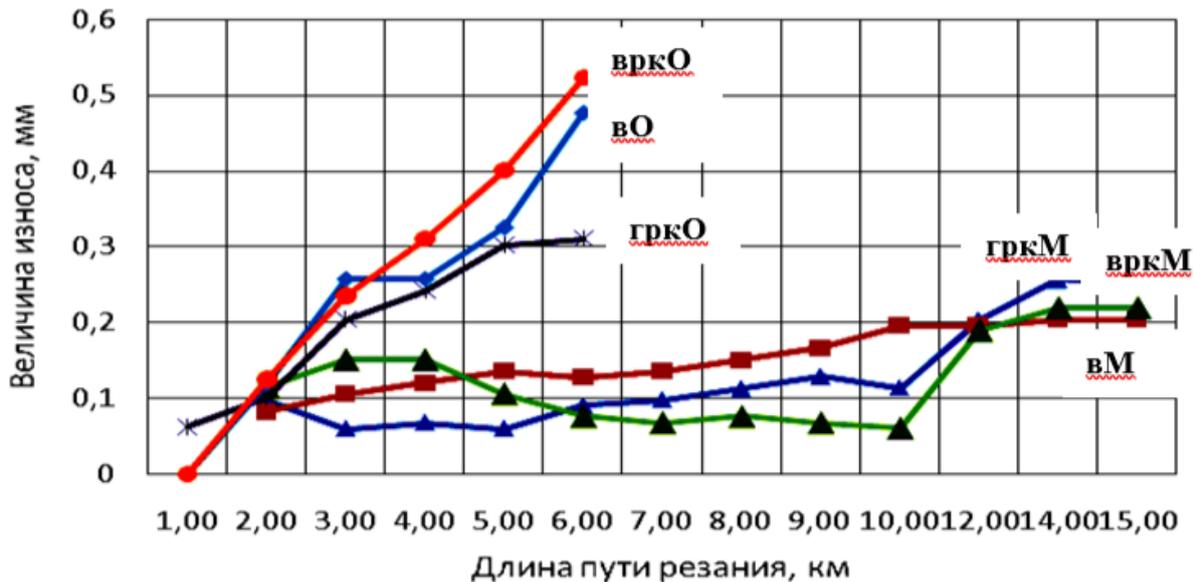


Рис. 5. Пример построения графика сравнительных исследований изменения износа режущих пластин из твердого сплава ВК8 по длине пути резания немодифицированных (О) и модифицированных (М) на рациональных режимах облучения

Fig. 5. An example of plotting comparative studies of wear changes in WKo8 hard alloy cutting plates along the length of the cutting path of unmodified (O) and modified (M) under rational ray treatment conditions.

Общие результаты длительных стойкостных сравнительных исследований износостойкости токарных резцов из твердого сплава

ВК8 при точении различных сталей и сплавов в различных лабораториях резания приведены в сводной таблице 4.

#### 4. Результаты длительных стойкостных сравнительных исследований износостойкости токарных резцов из твердого сплава ВК8

#### 4. The results of long-term resistance comparative studies of wear resistance of turning tools made of hard alloy WKo8

Место испытаний	Станок	Обработанный материал	Инструмент	Скорость, м/мин	Подача, мм/об	Глубина мм	Повышение износостойкости, раз
ПНИПУ (Пермь)	GH-1640ZX (Китай)	Ст. 40X	пластины CNMG 120408-46	180	0,3	0,5	2,5
КЗТС (Кировград, Свердловская обл)	16K20	СЧ25	пластины CNMA 120408-B35-85445	90	0,42	1,5	1,5
КЗТС (Кировград, Свердловская обл)	Okuma 16M30Ф3	Ст. 45	пластины CNMG 120408-PM-TC23 PT37	350	0,15	1,5	1,5
Технолог. Техникум (Пермь)	ИЖ 250ИТВО М-01	ВТ 20	пластины CNMG 120408-46	80	0,3	0,5	1,6
Технолог. Техникум (Пермь)	ETASIS (Китай)	Сталь30 X13	пластины CNMG 120408-46	300	0,3	0,5	2,0
Технолог. Техникум (Пермь)	ИЖ 250ИТВО М-01	ВТ6	напайные резцы с ВК8	60	0,2	0,5	три переточки 1,5...2,0

В результате анализа полученных данных шести сравнительных испытаний на износостойкость модифицированных токарных резцов при точении различных сталей и сплавов в лабораторных и производственных условиях на соответствующих рациональных режимах резания без применения СОЖ установлено безусловное повышение износостойкости токарных резцов из твердого сплава ВК8 в 1,5 – 2,5 раза в зависимости от физико-механических свойств обрабатываемого материала и применяемого оборудования.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведенных исследований можно сделать выводы:

1. Как следует из вышеизложенного описания возможных механизмов воздействия гамма-квантов на материал, по мнению авторов, повышение износостойкости твердого сплава ВК8 вызвано механизмом стока несовершенств в совокупности с процессами их аннигиляции. Это приводит к уменьшению количества дефектов и перестройке структуры кристаллических тел в новое упорядоченное состояние, существенно повышая при этом межзеренную адгезию и снижая уровень накопленных микронапряжений. Данное

утверждение косвенно подтверждают результаты испытаний образцов на изменение электросопротивления до и после модификации, а также повышение поверхностных сжимающих остаточных напряжений.

2. Износостойкость модифицированных резцов возрастает от 1,5 до 2,5 раз в зависимости от обрабатываемого материала и режимов резания. Возможно, что необходимая доза гамма-облучения, приводящая к наибольшему эффекту повышения эксплуатационных характеристик, для каждого обрабатываемого металлического материала является темой отдельного исследования. Однако, общая тенденция повышения износостойкости режущего инструмента после радиационной модификации материала не вызывает сомнения и ее можно использовать в практике повышения эффективности

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. **Ободовский И.М.** Радиационные технологии. Применение в лабораторных исследованиях, материаловедении и нанотехнологиях. М: ИД Интеллект, 2015. 296 с.

2. **Keizo M., Song C.** Radiation processing of polymer materials and its industrial applications. Published by Jong Wiley and Sons Inc. Hoboken, New Jersey (2012).

3. Naikwadi A.T., Sharma B.K., Keyur D. Bhatt K. D., Mahanwar P.A. Gamma radiation processed polymeric materials for high performance applications: A Review. *Frontiers in Chemistry*. Published 10, (2022).

4. Онискив В.Д., Столбов В.Ю., Макаревич Ю.Л., Чунаев В.Ю. Некоторые результаты исследования прочности и радиационной стойкости углеродо-базальтового композиционного материала // Все материалы. 2024. № 3. С. 11–16.

5. Клопотов А.А., Тимошников Ю.А., Иванов Ю.Ф. Влияние облучения гамма-квантами на структурно-фазовое состояние сплава ВК-8 // Вестник Омского университета. 1999. Вып. 2. С. 29–31.

6. Feynman R., Leighton R., Sands M. *Feynman Lectures on Physics 9. Quantum Mechanics*. 2nd edn. MIR Moscow (1965).

7. Тимошенко Ю.А., Клопотов А.А., Иванов Ю.Ф. Изменение структурно-фазового состояния сплава ВК-8 под действием потока гамма-квантов. // Известия вузов. Черная металлургия. 2001. № 4. С. 40–43.

8. Чернов И.П., Тимошенко Ю.А., Мамонтов А.П., Коротченко В.А., Лапскер И.А., Семухин Б.С. Изменение структуры сплава ВК при воздействии малых доз гамма-облучения. // Атомная энергия. 1984. Том 57. Вып. 1. С. 59–68.

9. Осколкова Т.Н., Глезер А.М. Современное состояние научной проблемы поверхностного упрочнения карбидовольфрамовых твердых сплавов (обзор). // Известия вузов. Черная металлургия. 2017, том 60, № 12. С. 980–991.

10. Чернов И.П., Мамонтов А.П. Упорядочение структуры кристаллов ионизирующим излучением (эффект малых доз ионизирующего излучения) // Известия Томского политехнического университета. 2000. Том 303 (1). С. 74–80.

11. Oniskiv V., Stolbov V., Ibragimova E. Effect of gamma irradiation on morphology and local element composition of basalt-based composite material // *Journal of Digital Science*. 5 (2), 2023.

12. Ермолаев В.А., Мамонтов А.П., Рябчиков С.Я. Особенности структуры и текстуры твердых сплавов до и после гамма-облучения. Деп. М.: ЦНИИ эконом. и информ. цветн. металлургии, № 1771. БУ ВИНТИ «Депонированные научные работы», № 10 (156), 1984. 28 с.

## REFERENCES

1. Obodovsky I.M. *Radiation technologies. Application in laboratory research, materials science and nanotechnology*. Moscow: Intellect, 2015, 296 p.

2. Keizo M., Song C. *Radiation processing of polymer materials and its industrial applications*. Published by Jong Wiley and Sons Inc. Hoboken, New Jersey (2012).

3. Naikwadi A.T., Sharma B.K., Keyur D. Bhatt K. D., Mahanwar P.A. Gamma radiation processed polymeric materials for high performance applications: A Review. *Frontiers in Chemistry*. Published 10, (2022).

4. Oniskiv V.D., Stolbov V.Yu., Makarevich Yu.L., Chu-naev V.Yu. Some study results of strength and radiation resistance of carbon-basalt composite materials // *Proc. 2024 (total)*, no. 3, pp. 11–16.

5. Klopotov A.A., Timoshnikov Yu.A., Ivanov Yu.F. The effect of gamma-quantum irradiation on the structural and phase state of the VKo8 alloy // *Bulletin of Omsk University*. 1999, Issue 2, pp. 29–31.

6. Feynman R., Leighton R., Sands M. *Feynman Lectures on Physics 9. Quantum Mechanics*. 2nd edn. MIR Moscow (1965).

7. Timoshenko Yu.A., Klopotov A.A., Ivanov Yu.F. Variation of structure phase state of VK8 alloy under action of gamma quanta. // *Izvestiya vuzov. Ferrous metallurgy*. 2001, no. 4, pp. 40–43.

8. Chernov I.P., Timoshenkov Yu.A., Mamontov A.P., Korotchenko V.A., Lapsker I.A., Semukhin B.S. Changes in the structure of VK alloy produced by low-ray doses // *Atomic energy*. 1984, vol. 57, Issue 1, pp. 59–68.

9. Oskolkova T.N., Glezer A.M. The current state of the scientific problem of surface hardening of hard tungsten-carbide alloys (review). // *Izvestiya vuzov. Ferrous metallurgy*. 2017, volume 60, no. 12, pp. 980–991.

10. Chernov I.P., Mamontov A.P. Ordering of the crystal structure by ionizing radiation (small dose ionizing radiation effect) // *Proceedings of Tomsk Polytechnic University*. 2000, vol. 303 (1), pp. 74–80.

11. Oniskiv V., Stolbov V., Ibragimova E. Effect of gamma irradiation on morphology and local element composition of basalt-based composite material // *Journal of Digital Science*. 5 (2), (2023).

12. Ermolaev V.A., Mamontov A.P., Ryabchikov S.Ya. Features of the structure and texture of hard alloys before and after gamma irradiation. Dep. Moscow: Central Research Institute of Economics. and inform. Non-ferrous Metallurgy, no. 1771. BU VINITY "Deposited scientific papers", no. 10 (156), 1984, 28 P.

**Вклад авторов:** все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Contribution of the authors:** the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 15.05.2025; одобрена после рецензирования 22.05.2025; принята к публикации 28.05.2025.

The article was submitted 15.05.2025; approved after reviewing 22.05.2025; assepted for publication 28.05.2025.