

УДК 621.91

## Исследования влияния метода магнитно-импульсной обработки на надежность резцов для тяжелых токарных станков

А.Ю. Андронов<sup>1, a</sup>, А.С. Янышкин<sup>2, b</sup>, Д.В. Лобанов<sup>2, c</sup>, Д.А. Рычков<sup>2, d</sup>

<sup>1</sup>Донбасская государственная машиностроительная академия, ул. Шкадинова 72, Краматорск, Украина

<sup>2</sup>Братский государственный университет, ул. Макаренко 40, Братск, Россия

<sup>a</sup>aandronov@list.ru, <sup>b</sup>yanyushkin@brstu.ru, <sup>c</sup>mf\_nauka@brstu.ru, <sup>d</sup>dielektrik84@mail.ru

Статья поступила 16.05.2013, принята 28.08.2013

*Рассмотрены результаты исследования влияния импульсного магнитного поля на надежность резцов для тяжелых токарных станков. Выполнены исследования микротвердости поверхности образцов пластин до и после магнитно-импульсной обработки. Методом рентгеноструктурного анализа исследовано влияние магнитно-импульсной обработки на параметры кристаллической решетки компонентов твердых сплавов, из которых изготовлены режущие пластины. Изменение параметра кристаллической решетки кобальта и карбида титана свидетельствует об упрочнении твердого сплава. Проанализированы и установлены рациональные значения параметров кристаллической решетки исследуемых твердых сплавов при различных режимах магнитно-импульсной обработки. Доказано повышение показателей надежности токарных резцов для тяжелых токарных станков в лабораторных и производственных условиях.*

**Ключевые слова:** надежность, резец токарный твердосплавный, тяжелый токарный станок, прочность, магнитно-импульсная обработка.

## Research into the influence of magnetic-pulse processing technique on cutting tools reliability for heavy-duty lathes

A.Yu. Andronov<sup>1, a</sup>, A.S. Yanyushkin<sup>2, b</sup>, D.V. Lobanov<sup>2, c</sup>, D.A. Rychkov<sup>2, d</sup>

<sup>1</sup>Donbass State Engineering Academy, 72 Shkadinova st., Kramatorsk, Ukraine

<sup>2</sup>Bratsk State University, 40 Makarenko st., Bratsk, Russia

<sup>a</sup>aandronov@list.ru, <sup>b</sup>yanyushkin@brstu.ru, <sup>c</sup>mf\_nauka@brstu.ru, <sup>d</sup>dielektrik84@mail.ru

Received 16.05.2013, accepted 28.08.2013

*The results of the research into the pulse magnetic field influence on the reliability of tools for heavy-duty lathes have been considered. The investigation of the sample plates surface microhardness before and after magnetic-pulse processing has been conducted. It has been revealed that microhardness of the plates made from T5K10 hard alloy increases after it undergoes magnetic-pulse processing. By means of the X-ray spectral analysis method, the effect of magnetic-pulse processing on the crystal lattice parameters of the hard alloys components, from which the cutting plates are made, has been studied. The change in the crystal lattice parameters of cobalt and titanium carbide is indicative of the hard alloy hardening. The most rational values of the crystal lattice parameters for the examined hard alloys under various magnetic-pulse processing modes have been analyzed and stated. The increase in reliability of turning tools for heavy-duty lathes under laboratory and factory conditions has been proved. Based on the conducted long-term operational tests of the assembly lathe-tools tips, it has been demonstrated that magnetic-pulse processing increases the cutting tool operation stability as evidenced by a twofold decrease in the stability dispersion range and coefficient of variation. Rational modes of magnetic-pulse processing to obtain the crystal lattice parameters of the components of hard alloys used for heavy-duty lathes pre-treatment have been determined.*

**Keywords:** reliability, carbide-tipped turning tool, heavy-duty lathe, strength, magnetic-pulse processing.

**Введение.** В настоящее время активно развиваются методы, повышающие качество продукции и надежности технологических систем [1, 2]. Этот процесс обусловлен повышением конкурентоспособности продукции производителей и возросшими требованиями потребителей. В настоящее время широко разрабатываются технологии упрочнения магнитными методами различных материалов, ведутся исследования влияния магнитной обработки на структуру и свойства обрабатываемых изделий и определение режимов обработки для различных условий [3].

Одним из решающих факторов, определяющих прочность твердосплавных режущих инструментов при их изготовлении и эксплуатации, являются их структурные параметры [4]. В первую очередь это касается размеров зерен и среднего расстояния между зернами, но эти зависимости имеют свое максимальное значение для разных марок твердых сплавов.

Отмечается большое влияние кобальта на прочность твердых сплавов [5], что, в свою очередь, влияет на рост возникающих в них трещин.

Получаемый эффект повышения качества от применения метода магнитно-импульсной обработки (МИО) объясняется метастабильным состоянием системы структуры твердого сплава и резонансным откликом ее компонентов на динамическое электромагнитное воздействие.

При МИО твердосплавных токарных резцов изучено влияние на структуру и свойства составляющих компонентов. Известно, что прочность твердых сплавов во многом определяется связующей фазой. Наблюдения за распространением разрушающей трещины показали, что в твердых сплавах марок ВК и ГТК разрушающая трещина распространяется в основном по кобальтовой фазе, а в двухкарбидных титановольфрамкобальтовых твердых сплавах – по фазе ( $Ti$ ,  $W$ )  $C$ ; кобальтовая составляющая может тормозить разрушающую трещину. Кобальтовая фаза твердых сплавов представляет собой твердый раствор вольфрама и углерода в кобальте. Микроструктура твердых сплавов может варьироваться в широком диапазоне (размер зерен карбидной фазы 0,5...50 мкм). С измельчением зерна и увеличением степени дисперсности твердость возрастает, и наоборот, пластичность максимальна у сплавов с 8...10 %  $Co$  и с одной зернистостью 5...6 мкм. Наличие макропор в структуре является причиной повышенного износа материала.

Упорядоченное расположение атомов кристаллических решеток компонентов твердого сплава отличается более низкой внутренней энергией в сравнении с неупорядоченным, особенно, если распределение атомов по определенным узлам кристаллических решеток происходит при сравнительно низкой температуре, когда энтропия, связанная с неупорядоченностью, играет менее существенную роль.

Под действием магнитного поля миграция атомов в металлах происходит более сложным образом по сравнению с диффузией только при термическом или им-

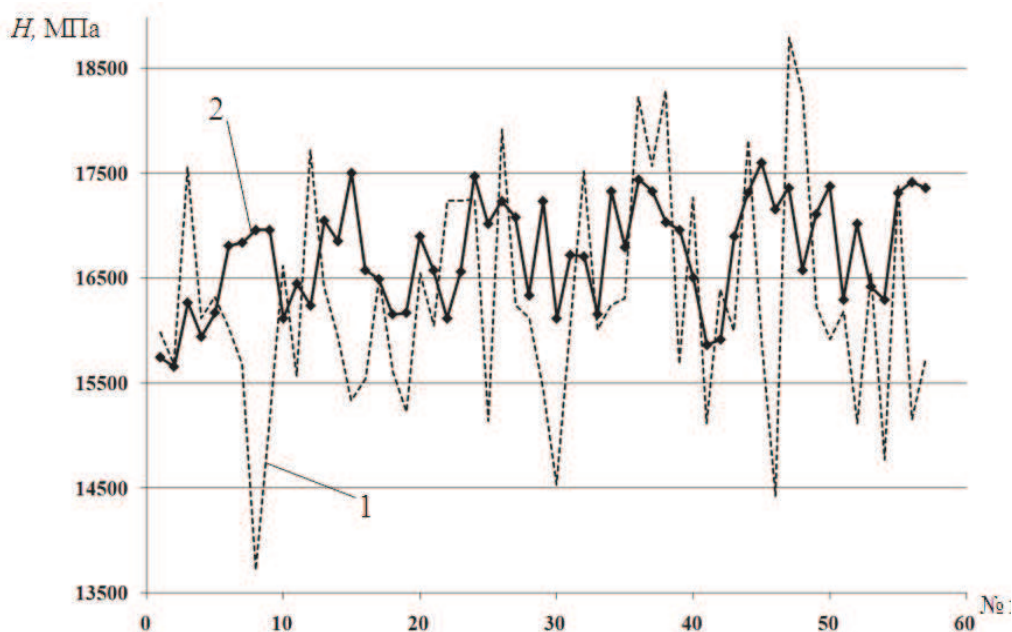
пульсном воздействиях и зависит как от величины и характера магнитного поля, так и магнитных характеристик диффундирующих материалов. В частности, достаточно хорошо изучен эффект ускорения диффузии в твердой фазе ферромагнетиков, если ферромагнитные атомы или диффузаны, или матрицы связаны с возникновением движущей силы переноса магнитной природы.

Изменение скорости переноса в случае слабых магнитных полей у не ферромагнитных металлов или сплавов экспериментально подтверждено для случаев диффузии как в твердой, так и в жидкой фазе [6].

Наложение переменного магнитного поля приводит к расширению диффузионной зоны, что является прямым доказательством влияния указанного фактора на ускоряющую диффузию. Известно, что переменное магнитное поле вызывает индукционные токи [3].

Изменение свойств кобальтовой фазы при МИО сводится к перестройке параметра кристаллической решетки под воздействием магнитного поля. Энергия, необходимая для рекристаллизации или выделения дисперсной фазы, выше энергии магнитного поля, что создает эффект МИО. Итак, МИО не может влиять на фазовый состав или текстуру материала. Однако выделение фазы, кристаллизация или напряжения могут развиваться вдоль таких кристаллографических направлений, что энергия кристаллизации, или выделение, будет минимальна в определенном направлении, что зависит от направления магнитного поля.

**Исследование влияния МИО на стабильность режущих свойств пластин из твердых сплавов.** Для оценки влияния МИО на стабильность режущих свойств пластин (для предварительной токарной обработки), изготовленных из твердых сплавов, на примере сплава Т5К10 проанализировано изменение микротвердости до и после обработки (рис. 1).



**Рис. 1.** Сравнительная картина измерения микротвердости поверхности пластин из твердого сплава Т5К10: 1 – без МИО; 2 – после МИО

Измерение микротвердости поверхностного слоя выполнено с помощью прибора ПМТ-3. Величина нагрузки на индентор составляла  $P = 0,5$  Н.

Величину микротвердости определяли по формуле:

$$H_{\mu} = \frac{1854P}{d^2},$$

где  $P$  – нагрузка на индентор,  $H$ ;  $d$  – размер диагонали отпечатка,  $\mu\text{км}$

Анализ отпечатков проводился с помощью программы MicroHardness, которая предоставляет возможность измерения микротвердости с определенным шагом для измерения толщины слоев с графическим представлением результатов. В ходе измерений проводился автоматический отсев результатов, не удовлетворяющих требованиям ГОСТ 9450-76.

На основании анализа распределения микротвердости на поверхности исследуемого твердого сплава было доказано, что после МИО численное значение ее увеличивается в среднем от 16,1 ГПа до 16,9 ГПа, а коэф-

фициент вариации значений микротвердости снижается от 0,13 до 0,07 (значимость различий средних значений коэффициента вариации проверена по критерию Стьюдента).

В качестве метода исследования структуры твердого сплава в исходном состоянии и после обработки использовался рентгеноструктурный анализ как наиболее эффективный и объективный способ определения всего комплекса структурных характеристик многофазных кристаллических твердых тел в соответствии с методикой [9].

Съемка исследуемых дифрактограмм поверхностей твердых сплавов (рис. 2) осуществлялась на дифрактометре рентгенометричном общего назначения ДРОН-3М. Применялось  $\text{Cu}$ -излучение (длина волны  $\text{Cu}$ -излучения  $\lambda_{\alpha 1} = 1,5405$  нм,  $\lambda_{\alpha 2} = 1,5443$  нм,  $K_{\beta} = 1,3922$  нм), что позволяет получить дифрактограммы в необходимом диапазоне углов Брегга  $2\theta$  ( $30 \dots 90^\circ$ ).

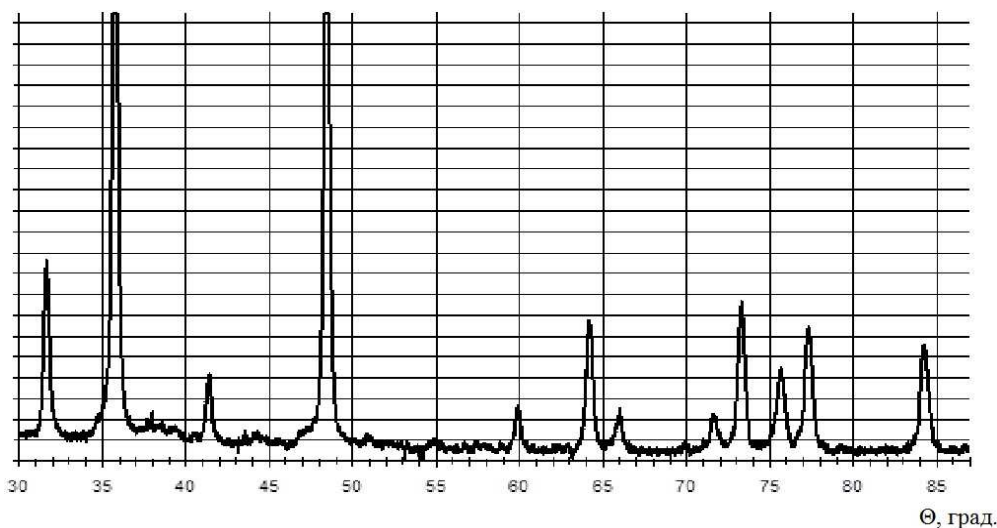


Рис. 2. Дифрактограммы образцов пластин сплава Т5К10

Экспериментально задача анализа макронапряжений сводится к точному определению межплоскостных расстояний (рис. 3, 4).

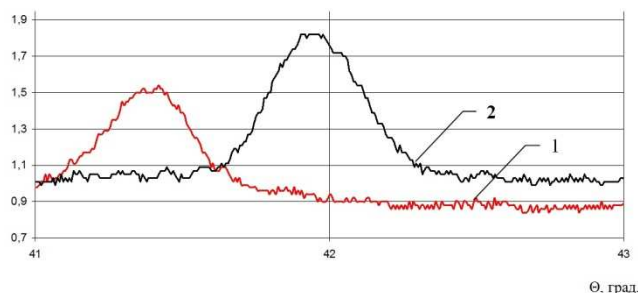


Рис. 3. Дифракционные линии (100)  $\text{Co}$  (1 – без МИО; 2 – после МИО)

Изменения параметра кристаллической решетки  $\text{Co}$  и  $\text{TiC}$  после обработки показывают, что линии (100)  $\text{Co}$  и (220)  $\text{TiC}$  смещаются в сторону больших углов, что свидетельствует об уменьшении параметра решетки, искажений и подтверждает наличие деформации сжатия ко-

бальтовой фазы твердого сплава Т5К10 и свидетельствует о повышении прочности твердого сплава.

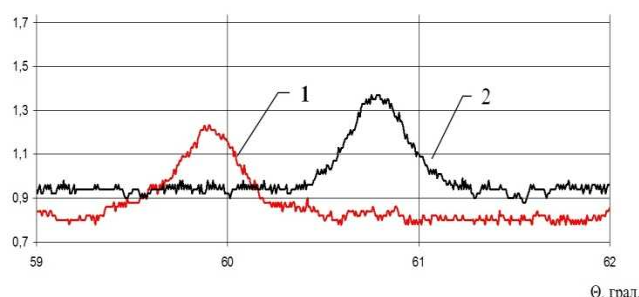


Рис. 4. Дифракционные линии (100)  $\text{Co}$  (1 – без МИО; 2 – после МИО)

Кроме того, самым простым способом оценки искажений является измерение отношения интенсивности линии и фона на рентгенограммах образцов; увеличение соотношения  $I_{\text{hkl}}/I_{\text{фон}}$  соответствует уменьшению погрешностей решеток.

Положение линии (100) *Co* изменилось от 41,4° до 41,93°; интенсивность от  $I_{hkl}/I_{фон} = 1,53/0,88 = 1,739$  до  $I_{hkl}/I_{фон} = 1,99/0,98 = 2,031$ .

Положение линии (220) *TiC* изменилось от 59,92° до 60,75°; интенсивность от  $I_{hkl}/I_{фон} = 1,23/0,8 = 1,538$  до  $I_{hkl}/I_{фон} = 1,41/0,88 = 1,602$ .

Для линий (110) *WC* и (002) *WC* особых изменений не было отмечено (рис. 5).

Повышение прочности твердосплавного инструмента после МИО подтверждено лабораторными испытаниями токарных резцов методом «разрушающей подачи» [8] и объясняется уменьшением напряжений растяжения в кобальтовой фазе, что препятствует распространению разрушающих трещин в кобальтовой фазе твердого сплава, то есть ведет к повышению его прочности.

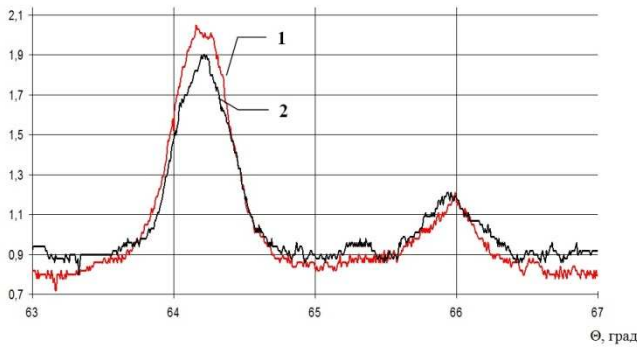


Рис. 5. Дифракционные линии (220) *TiC* (1 – без МИО; 2 – после МИО)

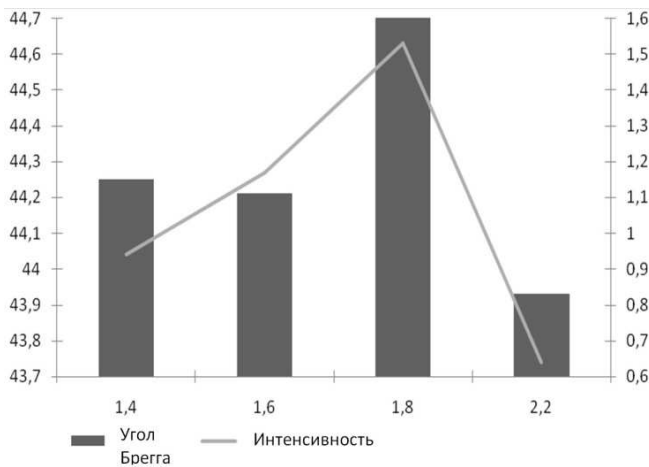


Рис. 6. Характер изменения углов Брегга и интенсивности линии (100) *Co* (обработка при напряженности магнитного поля: 1 –  $H = 1,4 \cdot 10^5$  А/м; 2 –  $H = 1,6 \cdot 10^5$  А/м; 3 –  $H = 1,8 \cdot 10^5$  А/м; 4 –  $H = 2,2 \cdot 10^5$  А/м)

Испытания проводились в соответствии с методикой длительных испытаний на надежность режущего инструмента. Для оценки эффекта упрочнения твердосплавных резцов, повышения их безотказности проведен ряд эксплуатационных испытаний в условиях ПАО НКМЗ (г. Краматорск), на токарном станке КЖ16274Ф3, модульными резцами с высотой державки  $H = 45$  мм, при обработке вала из стали 90ХФ (таблица 1) со следующими режимами:  $t = 12$  мм,  $S = 1,6$  мм/об.,  $v = 52$  м/мин (рис. 7).

Анализ результатов испытаний показал увеличение среднего периода устойчивости упрочненного

инструмента, а также уменьшение коэффициента вариации стойкости инструмента и изменения закона распределения устойчивости с Вейбулла до нормального, что позволило повысить гамма-процентный период устойчивости от 7 до 35 мин. при повышении среднего периода в 1,6 раза, что особенно важно для станков с ЧПУ.

Таблица 1

Результаты сравнительных ускоренных лабораторных испытаний твердосплавных сборных резцов, упрочненных МИО (станок мод. КЖ16274Ф3, сталь 90ХФ, характер припуска непрерывный)

Параметры реза	Режимы испытаний			$S_p$ , мм/об	$V_{Sp}$
	Тип конструкции	Материал	$t$ , мм		
PSBNR/L	T5K10	12	20	1,82	0,42
SNMM	T5K10+МИО	12	20	2,20	0,24

Анализ результатов сравнительных эксплуатационных испытаний сборных твердосплавных резцов с пластинами, упрочненными МИО, показал изменение показателей надежности: коэффициент вариации устойчивости снизился в 2,33 раза, средний период устойчивости повысился в 1,6 раза, гамма-процентный период устойчивости ( $\gamma = 80\%$ ) повысился в 3,5 раза, что особенно важно для тяжелых токарных станков с ЧПУ.

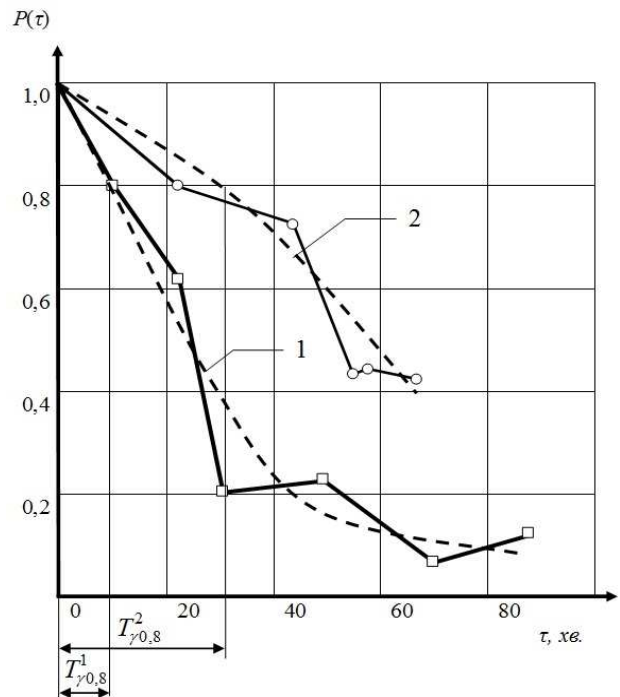


Рис. 7. Результаты безотказной работы токарных резцов с пластинами T5K10 (1 – T5K10; 2 – T5K10+МИО), — статистические — теоретические

### Заключение

Установлено, что после МИО режущих элементов токарных резцов с пластинами из твердых сплавов численное значение микротвердости увеличивается, коэффициент вариации рассеивания значений снижается в среднем в два раза. Это приводит к повышению стабильности структуры твердого сплава, обуславливающей повышение надежности режущих инструментов и среднего периода стойкости в 1,6 раза. Эксплуатационные длительные испытания режущих пластин сборных токарных резцов показали, что МИО повышает стабильность эксплуатации режущего инструмента, о чем свидетельствует уменьшение диапазона рассеивания стойкости и уменьшение коэффициента вариации более чем в два раза.

Определены рациональные режимы МИО для получения параметров кристаллической решетки компонентов твердых сплавов, используемых для предварительной обработки на тяжелых токарных станках, которая имеет максимальное значение прочности. Напряженность магнитного поля при этом равна  $1,8 \cdot 10^5$  А/м, продолжительность обработки 2 мин., время выдержки после обработки более 24 ч, частота импульсов магнитного поля  $f = 5$  Гц

### Литература

1. Янюшкин А.С., Попов В.Ю. Шероховатость поверхности после шлифования по методу двойного травления // Объединенный науч. журн. 2002. № 21. С. 65.
2. Янюшкин А.С., Сафонов С.О., Торопов В.А., Стебеньков Ю.Н., Лосева Н.Р., Ереско Т.Т., Баранов А.Н., Лобанов Д.В., Попов В.Ю., Сурьев А.А., Якимов С.А., Лосев А.Б., Федоров Б.В. Совершенствование технологических процессов машиностроительных производств: моногр. Братск: Изд-во БрГУ, 2006. 302 с.
3. Майборода В.С., Ульяненко Н.В., Дюбнер Л.Г. Застосування магнітно-абразивної обробки для зміцнення різального інструменту // Вісн. ЖДТУ. 2003. № 3 (27). С. 22–31.

4. Kals H. I., Gielise P. I. The significance of structural parameters in failure of cemented carbides: Annals of CIRP, 1975. 24/1. P. 65–68.
5. Kim C.S., Massa T.R., Rohrer G.S. Modeling the Relationship Between Microstructural Features and the Strength of WC-Co Composites // Int. J. Ref. Metals. Hard. Mater, 2006. 24 [1–2]. P. 89 – 100.
6. Миркин Л.И. Рентгеноструктурный контроль машиностроительных материалов: справочник: М.: Машиностроение, 1979. 134 с.
7. Ковалев В.Д., Васильченко Я.В., Клименко Г.П., Андронов А.Ю., Ткаченко Н.А. Применение обработки импульсным магнитным полем для упрочнения деталей машин и режущего инструмента // Вестн. двигателестроения. 2004. № 4. С. 149–151.
8. Хае Г.Л. Прочность режущего инструмента: М.: Машиностроение, 1975. 168 с.
9. Горелик С.С., Расторгуев Л.Н., Скаков Ю.А. Рентгенографический и электронографический анализ металлов. М.: Металлургиздат, 1963. 366 с.

### References

1. Yanyushkin A.S., Popov V.Yu. Surface roughness after grinding by the dual etching technique // Obyedinenny nauch. zhurn. 2002. № 21. S. 65.
2. Yanyushkin A.S., Safonov S.O., Toropov V.A., Steben'kov Yu.N., Loseva N.R., Eresko T.T., Baranov A.N., Lobanov D.V., Popov V.Yu., Sur'yev A.A., Yakimov S.A., Losev A.B., Fedorov B.V. The improvement of the operating procedures in mechanical engineering: monogr. Bratsk: Izd-vo BrGu, 2006. 302 s.
3. Mayboroda V.S., Ul'yankenko N.V., Dyubner L.G. The employment of magnetic abrasive treatment for cutting tool strengthening // Vestn. ZhGTU. 2003. №3 (27). S. 22–31.
4. Kals H. I., Gielise P. I. The significance of structural parameters in failure of cemented carbides: Annals of CIRP, 1975. 24/1. Pp. 65–68.
5. Kim C.S., Massa T.R., Rohrer G.S. Modeling the Relationship Between Microstructural Features and the Strength of WC-Co Composites: Int. J. Ref. Metals. Hard. Mater, 2006. 24 [1–2]. Pp. 89 – 100.
6. Mirkin L.I. The X-ray diffraction inspection of engineering materials: reference book. M.: Mashinostroeniye, 1979. 134 s.
7. Kovalev V.D., Vasil'chenko Ya.V., Klimenko G.P., Andronov A.Yu., Tkachenko N.A. The use of the pulsed magnetic field treatment for machine parts and cutting tools strengthening// Vestn. dvigatelestroeniya. 2004. № 4. S. 149–151.
8. Haet G.L. The cutting tool strength. M.: Mashinostroeniye, 1975. 168 s.
9. Gorelik S.S., Rastorguev L.N., Skakov Yu. A. The metals X-ray and electron-diffraction analysis. M.: Metallurgizdat, 1963. 366 s.

УДК 666.97.031

## Экспериментальный анализ процесса виброактивации приготовления бетонных смесей в виброреснителе гравитационного типа

К.В. Малахов<sup>1,а</sup>, Д.В. Лобанов<sup>2,б</sup>

<sup>1</sup>Тюменский государственный нефтегазовый университет, ул. Республики 47, Тюмень, Россия

<sup>2</sup>Братский государственный университет, ул. Макаренко 40, Братск, Россия

<sup>а</sup>kirill@007.ru, <sup>б</sup>d\_lobanov@mail.ru

Статья поступила 12.04.2013, принята 2.08.2013

*Бетоны и строительные растворы представляют собой искусственные материалы, получаемые из смеси, состоящей из вяжущих веществ (цемента, извести) и заполнителей (щебня, гравия и песка). Основные физико-механические свойства бетона, в частности его прочностные свойства, в значительной степени зависят от однородности структуры. Поэтому, приготавливая бетонную смесь, следует стремиться к достижению максимально возможной ее однородности, которая зависит как от однородности свойств составляющих смеси, так и от равномерности их распределения. Одним из наиболее эффективных методов, повышающих качество бетона, является вибрационная обработка. Представленное в данной статье опи-*