

ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ БУРОВОГО ТВЕРДОСПЛАВНОГО ИНСТРУМЕНТА

*А.Г. ОВЧАРЕНКО¹, доктор техн. наук, профессор
В. В. МАРУСИН², доктор физ.-мат. наук, профессор
В. Ю. УЛЬЯНИЦКИЙ³, доктор техн. наук, профессор
А.Ю. КОЗЛЮК¹, канд. техн. наук, доцент
М.О. КУРЕПИН¹, инженер
(¹БТИ АлтГТУ, г. Бийск,
²ИТПМ СО РАН, г. Новосибирск,
³ИГиЛ СО РАН, г. Новосибирск)*

Поступила 13 октября 2014
Рецензирование 05 ноября 2014
Принята к печати 10 ноября 2014

Овчаренко А.Г. – 659305, Бийск, ул. Трофимова, 27
Бийский технологический институт,
филиал Алтайского государственного технического университета,
e-mail: pbuk@bti.secna.ru

Создание породоразрушающего инструмента с высокими эксплуатационными показателями является актуальной проблемой. Ее решение станет существенным резервом дальнейшего роста эффективности буровых работ.

Для повышения износостойкости бурового инструмента из твердого сплава типа ВК8 предложен метод комбинированной магнитно-импульсной обработки, включающий в себя предварительный нагрев и воздействие импульсного магнитного поля. Износостойкость образцов оценивалась на оборудовании для эрозионного тестирования согласно ASTM G76-07 «Standard Test Method for Conducting Erosion Tests by Solid Particle Impingement Using Gas Jets».

Результаты экспериментальных исследований показали, что при температуре предварительного нагрева 1000 °С, магнитной индукции 1,8 Тл и времени воздействия импульса $7 \cdot 10^{-4}$ с износ обработанных образцов в 2,5 раза меньше, чем необработанных контрольных образцов.

Предложенный метод обработки твердосплавных инструментов является перспективным для добывающей отрасли промышленности. В дальнейшем для исследований по применению комбинированной МИО требуется расширить номенклатуру бурового инструмента из твердого сплава.

Ключевые слова: магнитно-импульсная обработка, твердость, бурение, твердосплавный инструмент, упрочнение поверхности, износостойкость.

Введение

Важным материалом в производстве высококачественных шарошечных долот являются вольфрамкобальтовые твердые сплавы, применяемые для изготовления зубков и армирования зубьев фрезерованных шарошек, козырьков лап и других частей долота, подвергающихся в процессе работы абразивному износу.

В России твердосплавные зубки изготавливаются преимущественно из твердых сплавов марок ВК8, ВК10, ВК11, ВК13, ВК16 с различной формой вершин в зависимости от твердости обрабатываемой породы. Причем многие марки сплавов с одинаковым химическим, но различным гранулометрическим составом могут существенно отличаться по своим физико-механическим свойствам, что позволяет более точно

подбирать марку сплава при изготовлении зубков той или иной формы для эффективного разрушения конкретных горных пород.

Повышение износостойкости породоразрушающего инструмента является значительным резервом увеличения производительности труда при бурении скважин. Увеличение ресурса инструмента сокращает затраты времени на непроизводительные операции, повышает непрерывность рабочего процесса, снижает энергозатраты и материальные затраты на сооружение скважин.

Существующие способы упрочнения твердых сплавов из-за большой сложности и малой эффективности не нашли широкого применения при создании породоразрушающего инструмента. Практически отсутствуют способы повышения износостойкости серийно выпускаемого инструмента. Поэтому создание породоразрушающего инструмента с высокими эксплуатационными показателями является актуальной проблемой и ее решение станет существенным резервом дальнейшего роста эффективности буровых работ [1].

Одним из перспективных методов повышения долговечности твердосплавных металлорежущих инструментов является магнитно-импульсная обработка (МИО). В известной монографии Б.В. Малыгина [2] широко представлено магнитное упрочнение различных инструментов и деталей машин.

Метод магнитно-импульсной обработки металлов известен достаточно давно и основан на технологическом использовании энергии сильных импульсных магнитных полей. Первая в мире промышленная магнитно-импульсная установка типа «Magneform-1» была изготовлена в 1962 году известной американской фирмой General Dynamics Corporation [3]. В бывшем СССР работы по исследованию и разработке технологического оборудования для обработки металлов давлением МИО были начаты в 1962 году в Харьковском политехническом институте под научным руководством С.М. Фертика. Итогом работы этой группы ученых явился известный справочник по МИО металлов [4].

Результаты исследований [5, 6] показали, что магнитная импульсная обработка позволяет дополнительно повысить твердость и прочность

материалов, не упрочняемых термической обработкой. Так, после импульсной обработки стали 08 ее твердость по Бринеллю (НВ) повысилась с 1142 до 1550 МПа. У конструкционной стали 40Х твердость по Роквеллу (HRC) возросла с 32 до 36 единиц, а у инструментальной стали Х10СФЮТ – с 60 до 65 единиц.

При этом отмечается, что импульсное воздействие приводит к существенному измельчению зерна (в 2...3 раза), для новых зерен характерна зубчатость границ. Таким образом, после импульсного воздействия в сталях наблюдаются структурные признаки двух процессов: высокоскоростной сдвиговой микропластической деформации по механизму двойникования и динамической рекристаллизации.

Если для быстрорежущих сталей метод МИО для повышения износостойкости в настоящее время находит широкое применение, то для твердых сплавов в ряде работ использование МИО вызывает сомнения [7]. Однако в работе [8] приводятся экспериментальные данные по различным высокоэнергетическим воздействиям на зубки буровых коронок, изготовленных из твердого сплава ВК8: облучение гамма-квантами, быстрыми электронами и магнитно-импульсной обработкой. При этом отмечается, что МИО является наиболее технологичным методом из использованных, приводит к увеличению микротвердости и уменьшению размеров зерна карбида вольфрама в твердом сплаве.

Новым решением поверхностного упрочнения твердосплавного металлорежущего инструмента служит комбинированная магнитно-импульсная обработка, которая основана на воздействии импульсного магнитного поля высокой напряженности на предварительно нагретую обрабатываемую поверхность с целью улучшения ее механических и физических свойств [9–10]. Новизна и эффективность предлагаемого способа подтверждается патентом РФ на изобретение №2339704 [11].

С учетом сказанного целью данной работы является оценка возможности применения метода комбинированной магнитно-импульсной обработки для повышения износостойкости твердосплавных зубков, используемых в качестве породоразрушающего инструмента при бурении скважин.

Материалы и методика исследования

В качестве объектов исследования на экспериментальной установке комбинированной МИО были выбраны зубки для шарошечных долот из твердого сплава ВК8 (рис. 1).



Рис. 1. Зубки для шарошечных долот

Твердый сплав ВК8 является композиционным материалом и состоит из связки (кобальт) и наполнителя (карбиды вольфрама). При этом кобальт является ферромагнетиком, что позволяет использовать магнитную обработку для упрочнения инструмента.

В качестве основного рабочего элемента экспериментальной установки для обработки зубков шарошечных долот использовался индуктор для магнитно-импульсной обработки, состоящий из концентратора магнитного поля и катушки индуктивности (рис. 2). Применение такой конструкции индуктора позволило создавать необходимую напряженность магнитного поля при обработке инструментов различной формы [12].

МИО зубков для шарошечных долот из твердого сплава ВК8 проводилась в следующей последовательности.

1. Образец устанавливался в индуктор печи и производился предварительный нагрев токами высокой частоты (ТВЧ). Диапазон температур предварительного нагрева был выбран с учетом анализа предыдущих

экспериментов с металлорежущими инструментами из аналогичного материала и физических свойств кобальта, у которого точка Кюри равна $1121\text{ }^{\circ}\text{C}$ [9–10, 13].

2. Затем производилась подача образца в индуктор для МИО и обработка импульсным магнитным полем при величине магнитной индукции, равной $1,8\text{ Тл}$, соответствующей магнитному насыщению кобальта [13]. Время воздействия импульса составляло $7 \cdot 10^{-4}\text{ с}$.

3. После МИО образцы выдерживались на неметаллической подложке для завершения в металле превращений 1-го и 2-го рода и уменьшения избыточной энергии. Время выдержки обработанных образцов составляло 24 ч.

После выдержки образцы исследовались на износостойкость с помощью оборудования для эрозионного тестирования согласно ASTM G76-07 «Standard Test Method for Conducting Erosion Tests by Solid Particle Impingement Using Gas Jets». Испытания образцов проводились в пределах от 5 до 50 мин с шагом 5 мин. В качестве частиц эрозионного тестера использовались частицы электрокорунда нормальной марки 13А зернистостью 20П, при этом давление воздуха на входе в сопло было $0,4\text{ МПа}$, а расстояние от сопла до образца составляло 11 мм. Скорость частиц на выходе из сопла была равна 65 м/с при внутреннем диаметре отверстия на выходе соплового устройства 6 мм. Износ образцов оценивался весовым методом в граммах.

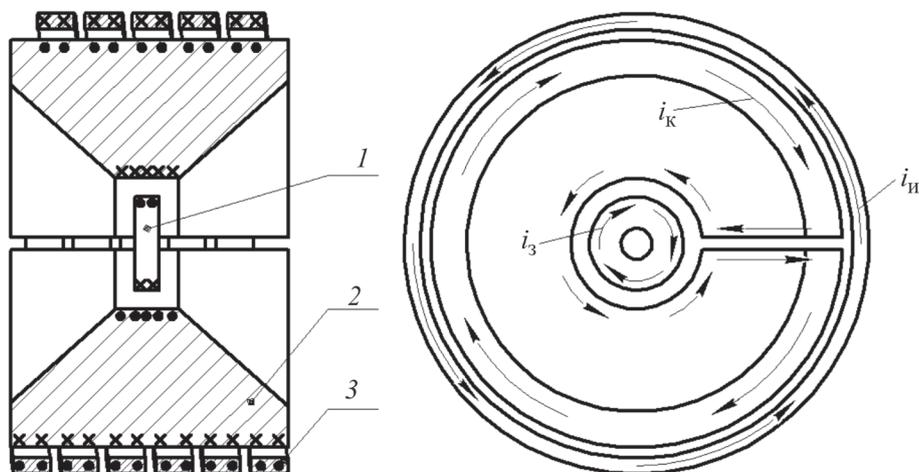


Рис. 2. Индуктор для магнитно-импульсной обработки:

1 – индуктор; 2 – концентратор магнитного поля; 3 – обрабатываемая заготовка; i_n – электрический ток в индукторе; i_k – электрический ток в концентраторе магнитного поля; i_z – электрический ток в заготовке

Результаты и обсуждение

Результаты исследования сведены в таблицу и на их основе построены зависимости износа образцов m в миллиграммах от времени износа τ в минутах (рис. 3). Каждому значению точки на кривых соответствует среднее арифметическое трех экспериментальных значений для каждой температуры предварительного нагрева образцов.

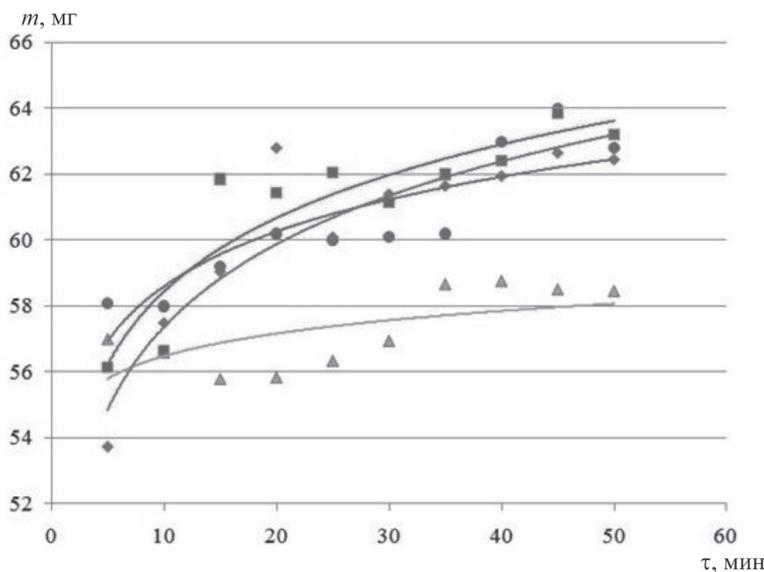


Рис. 3. Кривые износа образцов твердосплавных зубков марки ВК8:

Сплошные линии – кривые износа образцов, точки – эксперимент, образцы, обработанные при температуре предварительного нагрева соответственно: \blacklozenge – при температуре 800 °C; \blacksquare – при температуре 900 °C; \blacktriangle – при температуре 1000 °C; \bullet – контрольные образцы (без предварительного нагрева и МИО)

Анализ экспериментальных исследований показал, что износ образцов, обработанных при температуре предварительного нагрева, равной 1000 °C, на кривой износа в 2,5 раза меньше, чем износ контрольных образцов (без нагрева и МИО). Полученный эффект значительного увеличения износостойкости можно объяснить увеличением микротвердости поверхностного слоя образцов и уменьшением остаточных и усталостных напряжений в структуре материала. Износ образцов, обработанных при более низких температурах предварительного нагрева, равных 800 и 900 °C соответственно, а также износ контрольных необработанных образцов имеют близкие значения износа (см. таблицу).

Это говорит о том, что МИО образцов при этих температурах предварительного нагрева незначительно влияет на износостойкость материала твердосплавных зубков.

Из рис. 3 видно, что в результате проведения исследования получены экспериментальные точки, имеющие значительный разброс от аппроксимирующих кривых. Возможно, это связано с неотработанной технологией изготовления опытных образцов (зубков), различным гранулометрическим составом твердых сплавов и поставкой для исследования твердосплавных зубков из разных партий.

Износ твердосплавных зубков марки ВК8 после комбинированной МИО

Время, мин	Износ образцов, граммы			
	Контрольные образцы	Температура предварительного нагрева		
		800 °C	900 °C	1000 °C
5	0,0581	0,0537	0,0561	0,0570
10	0,0580	0,0575	0,0566	0,0566
15	0,0592	0,0590	0,0618	0,0558
20	0,0602	0,0628	0,0614	0,0558
25	0,0600	0,0601	0,0620	0,0563
30	0,0601	0,0614	0,0611	0,0569
35	0,0602	0,0616	0,0620	0,0586
40	0,0630	0,0619	0,0624	0,0587
45	0,0640	0,0626	0,0638	0,0585
50	0,0628	0,0624	0,0632	0,0584

Выводы

Проведенные исследования показали значительное увеличение износостойкости твердосплавных зубков марки ВК8 при температуре предварительного нагрева 1000 °С и индукции магнитного поля 1,8 Тл. Можно утверждать, что предложенный способ обработки твердосплавных зубков, используемых в качестве породоразрушающего инструмента при бурении скважин, является перспективным для добывающей и других отраслей промышленности. Необходимо расширить номенклатуру бурового инструмента из твердого сплава для исследований по применению и поиску оптимальных режимов комбинированной МИО.

Список литературы

1. *Рябчиков С.Я.* Объемное упрочнение твердосплавного и алмазного породоразрушающего инструмента с целью повышения его эксплуатационных показателей: дис. ... д-ра техн. наук. – Томск, 2002. – 309 с.
2. *Малыгин Б.В.* Магнитное упрочнение инструмента и деталей машин. – М.: Машиностроение, 1989. – 112 с. – ISBN 5-217-00448-7.
3. *Furth H.P., Waniek R.W.* New ideas on magnetic forming // *American Machinist / Metalworking Manufacturing*. – 1962. – Vol. 106. – P. 92–95.
4. *Белый И.В., Фертик С.М., Хищенко Л.Т.* Справочник по магнитно-импульсной обработке металлов. – Харьков: Вища школа, 1977. – 168 с.
5. *Дураченко А.М., Малиночка Е.Я.* Влияние импульсной обработки на релаксационные спектры аморфных сплавов на основе железа и никеля // *Известия Академии наук СССР. Металлы*. – 1985. – № 6. – С. 167–170.

6. *Воробьева Г.А., Иводитов А.Н., Сизов А.М.* О структурных превращениях в металлах и сплавах под воздействием импульсной обработки // *Известия Академии наук СССР. Металлы*. – 1991. – № 6. – С. 131–137.

7. *Орлов А.С.* Повышение работоспособности режущих инструментов путем упрочнения импульсной магнитной обработкой: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Иваново, 2012. – 20 с.

8. *Сухорукова С.Е.* Выбор и обоснование метода повышения стойкости буровых коронок: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М., 2013. – 20 с.

9. *Овчаренко А.Г., Козлюк А.Ю., Курепин М.О.* Повышение износостойкости пластин из твердого сплава // *Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты)*. – 2010. – № 2. – С. 13–15.

10. Исследование влияния комбинированной магнитно-импульсной обработки на качество твердосплавного инструмента / А.Г. Овчаренко, А.Ю. Козлюк, М.О. Курепин, А.Г. Тюрин, Д.С. Терентьев // *Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты)*. – 2011. – № 3. – С. 95–98.

11. Способ комбинированной магнитно-импульсной обработки поверхностей инструментов и деталей машин: патент 2339704 Российская Федерация: МПК⁸ С 21 D 1/04, С 21 D 9/22 / А.Г. Овчаренко, А.Ю. Козлюк; патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» (АлтГТУ). – № 2007105490/02; заявл. 13.02.2007; опубл. 27.11.2008, Бюл. № 33. – 7 с.

12. *Овчаренко А.Г., Козлюк А.Ю., Курепин М.О.* Индукторы для комбинированной магнитно-импульсной обработки инструментов различной формы // *Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты)*. – 2008. – № 3. – С. 11–12.

13. *Мишин Д.Д.* Магнитные материалы: учеб. пособие. – М.: Высшая школа, 1981. – 335 с.

OBRAVOTKA METALLOV

(METAL WORKING AND MATERIAL SCIENCE)

N 4(65), October – December 2014, Pages 29–35

Improving the wear resistance of the drilling carbide tools

Ovcharenko A.G.¹, D.Sc. (Engineering), Professor, e-mail: pbuk@bti.secna.ru

Marusin V.V.², D.Sc. (Physics and Mathematics), Professor, e-mail: marusin@itam.nsc.ru

Ulyanizkiy V.Yu.³, D.Sc. (Engineering), Professor, e-mail: ulianv@mail.ru

Kozlyuk A.Yu.¹, Ph.D. (Engineering), Associate Professor, e-mail: andrey-pbuk@mail.ru

Kurepin M.O.¹, Engineer, e-mail: btimish@mail.ru

¹ Biysk Technological Institute, Branch of I.I. Polzunov Altai State Technical University, 27 Trafimova st., Biysk, Altai region, 659305, Russian Federation

² Khristianovich Institute of Theoretical and Applied Mechanics SB RAS, 4/1 Institutskaya str., Novosibirsk, 630090, Russian Federation

³ Lavrentyev Institute of Hydrodynamics of the Siberian Branch of the RAS, 15 Ac. Lavrentieva ave., Novosibirsk, 630090, Russian Federation

Abstract

Creating a rock cutting tool with high performance is a burning problem and its solution will be a significant reserve of the further rise in the efficiency of drilling.

The method of combined magnetic-pulse treatment including preheating and effects of pulsed magnetic field to improve the wear resistance of drilling tools carbide type VK8 is proposed. Wear resistance of the samples are evaluated on the equipment for erosion testing according to ASTM G76-07 «Standard Test Method for Conducting Erosion Tests by Solid Particle Impingement Using Gas Jets».

The results of experimental investigations show that the preheating temperature of 1000 °C, the magnetic induction of 1.8 T and a pulse influence time $7 \cdot 10^{-4}$ s of the wear treated samples are 2.5 times less than the untreated control samples.

The proposed method of processing carbide tools is promising for mining industry. In future research on the application of the combined magnetic-pulse treatment of drilling carbide tools will be expanded.

Keywords:

magnetic-pulse treatment, hardness, drilling, carbide tools, surface hardening, wear resistance.

References

1. Ryabchikov S.Ya. *Ob''emnoe uprochnenie tverdospлавного i almaznogo porodorazrushayushchego instrumenta s tsel'yu povysheniya ego ekspluatatsionnykh pokazat.* Diss. dokt. tekhn. nauk [Volumetric hardening of hard-alloy and diamond rock cutting tool for improve its operational performance. Dr. eng. sci. diss.]. Tomsk, 2002. 309 p.
2. Malygin B.V. *Magnitnoe uprochnenie instrumenta i detalei mashin* [Magnetic hardening of tools and machine parts]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1989. 112 p. ISBN 5-217-00448-7
3. Furth H.P., Waniek R.W. New ideas on magnetic forming. *American Machinist / Metalworking Manufacturing*, 1962, vol. 106, pp. 92–95.
4. Belyi I.V., Fertik S.M., Khimenko L.T. *Spravochnik po magnitno-impul'snoi obrabotke metallov* [Magnetic-pulse treatment of metals: Handbook]. Kharkov, Vishcha shkola Publ., 1977. 168 p.
5. Durachenko A.M., Malinochka E.Ya. Vliyanie impul'snoi obrabotki na relaksatsionnye spektry amorfnykh splavov na osnove zheleza i nikelya [Effect of pulse treatment on the relaxation spectra of amorphous alloys based on iron and nickel]. *Izvestiya Akademii Nauk SSSR. Seriya Metally – Bulletin of the Academy of Sciences of the USSR. Series: Metals*, 1985, no. 6, pp. 167–170.
6. Vorob'eva G.A., Ivoditov A.N., Sizov A.M. O strukturnykh prevrashcheniyakh v metallakh i splavakh pod vozdeistviem impul'snoi obrabotki [Structural transformations in metals and alloys under the influence of pulse processing]. *Izvestiya Akademii Nauk SSSR. Seriya Metally – Bulletin of the Academy of Sciences of the USSR. Series: Metals*, 1991, no. 6, pp. 131–137.
7. Orlov A.S. *Povyshenie rabotosposobnosti rezhushchikh instrumentov putem uprochneniya impul'snoi magnitnoi obrabotkoi.* Avtoref. diss. kand. tekhn. nauk [Increasing the efficiency of cutting tools by pulsed magnetic hardening treatment. Author's abstract of Ph.D. eng. sci. diss.]. Ivanovo, 2012. 20 p.
8. Sukhorukova S.E. *Vybor i obosnovanie metoda povysheniya stoikosti burovnykh koronok.* Avtoref. diss. kand. tekhn. nauk [Selection and justification of the method of increasing the resistance of crown bits. Author's abstract of Ph.D. eng. sci. diss.]. Moscow, 2013. 20 p.
9. Ovcharenko A.G., Kozlyuk A.Yu., Kurepin M.O. Povyshenie iznosostoikosti plastin iz tverdogo splava [The increase of wear resistance for the hard-facing alloys plates]. *Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty) – Metal Working and Material Science*, 2010, no. 2 (47), pp. 13–15.
10. Ovcharenko, A.G., Kozlyuk A.Yu., Kurepin M.O., Tyurin A.G., Terentiev D.S. Issledovanie vliyaniya kombinirovannoi magnitno-impul'snoi obrabotki na kachestvo tverdospлавного instrumenta [The investigation of effect combined magnetic pulse treatment on quality hardmetal tools]. *Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty) – Metal Working and Material Science*, 2011, no. 3 (52), pp. 95–98.

11. Ovcharenko A.G., Kozlyuk A.Yu. *Sposob kombinirovannoi magnitno-impul'snoi obrabotki poverkhnosti instrumentov i detalei mashin* [The method of combined magnetic-pulse treatment of surfaces of tools and machine parts]. Patent RF, no. 2339704, 2008.

12. Ovcharenko A.G., Kozlyuk A.Yu., Kurepin M.O. Induktory dlya kombinirovannoi magnitno-impul'snoi obrabotki instrumentov razlichnoi formy [Induction coils for combined magnetic impulse work of tools of various shapes], *Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty) – Metal Working and Material Science*, 2008, no. 3, pp. 11–12.

13. Mishin D.D. *Magnitnye materialy* [Magnetic materials]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1981. 335 p.

Received 13 October 2014

Revised 05 November 2014

Accepted 10 November 2014