

DOI: 10.26730/1999-4125-2018-2-101-106

УДК 621.9.047

**ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АНОДНОГО ПОВЕДЕНИЯ
ПОКРЫТИЯ СИСТЕМЫ Ni-Cr-B-Si**

**POLARIZATION INVESTIGATIONS OF ANODIC BEHAVIOR
OF THE Ni-Cr-B-Si COATING**

Янпольский Василий Васильевич,
кандидат техн. наук., доцент, e-mail: yanpolskiy@corp.nstu.ru,
Vasily V. Yanpolskiy, Ph.D. (Engineering), Associate Professor
Иванова Мария Валерьевна,
аспирант, ассистент, e-mail: m.ivanova.2010@stud.nstu.ru,
Maria V. Ivanova, Ph.D. Student, assistant,
Кадырбаев Роман Маратович,
аспирант, ассистент, e-mail: kadyrbaev.2013@corp.nstu.ru,
Roman M. Kadyrbaev, Ph.D. Student, assistant
Андреев Артем Николаевич,
магистрант, e-mail: andreev.2012@stud.nstu.ru,
Artem N. Andreev, Graduate student

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г.Новосибирск, пр.
Карла Маркса, 20
Novosibirsk State Technical University, 20 Prospect K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russian
Federation

Аннотация: Рассмотрены особенности применения покрытий на хромоникелевой основе, в частности покрытия ПГ-10Н-01. Приведены поляризационные исследования электрохимического растворения покрытия в водных растворах нейтральных солей Na_2SO_4 , NaCl и NaNO_3 в потенциодинамическом режиме. Представлена схема установки для проведения экспериментальных исследований. Установлено, что растворение покрытия в водном растворе 10% Na_2SO_4 протекает в активном состоянии во всем исследуемом диапазоне потенциалов от 0 до 9 В при $i_{\text{max}}=13 \text{ А/см}^2$. Показано, что растворение покрытия ПГ-10Н-01 в 10% NaNO_3 протекает в активном состоянии до потенциала $\phi = 8 \text{ В}$ и в пассивном состоянии в области потенциалов потенциала $\phi = 8 \dots 9 \text{ В}$ при максимальной плотности тока $i_{\text{max}}=12,3 \text{ А/см}^2$. Установлено, что при электрохимическом растворении покрытия в растворе 10% NaCl наблюдаются участки пассивации, активации и транспассивации поверхности покрытия, связанные с образованием окисных пленок и хлоридов хрома на поверхности образца. Выявленные особенности электрохимического растворения хромоникелевого покрытия ПГ-10Н-01 позволяют установить режимы электроалмазного шлифования деталей с покрытиями.

Abstract: The features of application of the nickel-chromium coatings, in particular, PG-10N-01 coating are considered. Polarization investigations of the electrochemical dissolution of PG-10N-01 coating in aqueous solution of neutral salts NaNO_3 , Na_2SO_4 , NaCl in potentiodynamic modes are presented. The scheme of installation for conducting investigations is presented. It is found, that dissolution of the coating in an aqueous solution of 10% Na_2SO_4 takes place in the active state before the potential $\phi = 9 \text{ V}$ at $i_{\text{max}}=13 \text{ A/cm}^2$. When the coating PG-10N-01 is dissolved in 10% NaNO_3 solution, there are areas of active ($\phi = 1 \dots 8 \text{ V}$) and passive ($\phi = 8 \dots 9 \text{ V}$) dissolution at the maximum current density $i_{\text{max}}=12,3 \text{ A/cm}^2$. The revealed features of electrochemical dissolution of the chromium-nickel coating PG-10N-01 allow to set the values of electric powered diamond grinding of parts with coatings..

Ключевые слова: покрытие ПГ-10Н-01, электроалмазное шлифование, электрохимическое растворение, поляризационные исследования

Key words: PG-10N-01 coating, electric powered diamond grinding, electrochemical dissolution, polarization investigations.

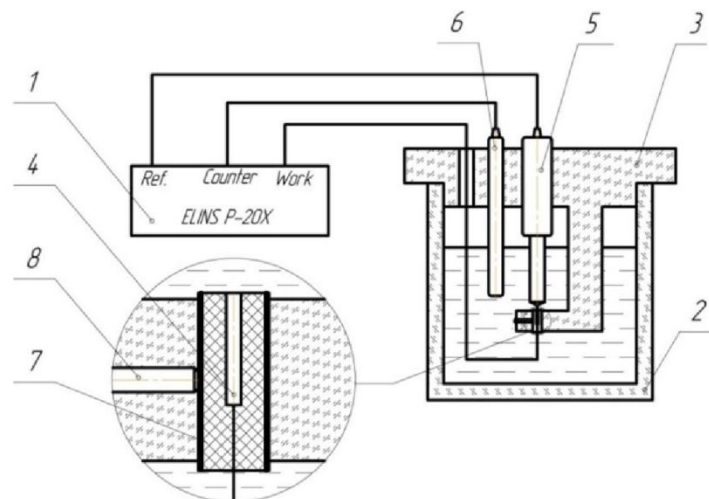


Рис. 1. Схема установки для проведения поляризационных исследований
1 – потенциостат Elins P-20X; 2 – емкость для электролита; 3 – крышка с кронштейном; 4 – рабочий электрод (Work); 5 – электрод сравнения (Ref.); 6 – вспомогательный электрод (Counter); 7 – эбонитовая оправка; 8 – крепежный винт.

Fig. 1. Installation scheme for polarization investigations
1 – potentiostat Elins P-20X; 2 – electrolyte tank; 3 – cover with support; 4 – work electrode; 5 – reference electrode; 6 – counter electrode; 7 – ebonite mandrel; 8 – machine screw

Формирование износостойких и высокопрочных покрытий является эффективным методом улучшения эксплуатационных характеристик изношенных и новых деталей. Для этих целей широкое применение находят покрытия на хромоникелевой основе, в частности сплавы системы Ni-Cr-B-Si, способные противостоять коррозии, высоким температурам, износу и другим неблагоприятным факторам. Кроме того, повышенное содержание углерода, хрома и бора в исходном порошке способствует формированию при наплавке покрытия с высокой твердостью и износостойкостью в условиях абразивного и адгезионного изнашивания.

Одним из распространенных методов нанесения покрытия является вакуумная электронно-лучевая наплавка. Применение данного метода нанесения покрытия позволяет устранить многие недостатки, присущие распространенным в настоящее время методам дуговой наплавки и наплавки токами высокой частоты [1, 2].

Для достижения заданной точности размеров и формы после наплавки требуется обработка нанесенных покрытий. Традиционные методы финишной обработки, такие как абразивное шлифование вызывают дефекты на поверхности нанесенного покрытия, вследствие высоких контактных температур и сил резания. Одним из возможных методов обработки высокопрочных материалов является электроалмазное шлифование, которое хорошо зарекомендовало себя при обработке твердых сплавов, быстрорежущих сталей и изно-

состойких покрытий. Поскольку электроалмазное шлифование совмещает процессы электрохимического растворения обрабатываемого материала с процессами механического резания зернами алмазного круга [3 - 5], то производительность обработки во многом определяется особенностями анодного растворения покрытия в выбранных составах электролитов [6].

Таким образом, для эффективного применения электроалмазного шлифования при обработке хромоникелевых покрытий на основе порошкового материала ПГ-10Н-01 необходимо изучить характер электрохимического растворения покрытия в различных составах электролитов.

Особенности электрохимического растворения покрытия ПГ-10Н-01 изучались при проведении поляризационных потенциодинамических исследований, устанавливающих зависимость плотности тока i от потенциала анода ϕ [7].

Поскольку напряжение при электроалмазном шлифовании составляет 8 -10 В [8, 9], то и развертка потенциала производилась от 0 до 9 В со скоростью 100 мВ/с. Поляризационные исследования проводились в трехэлектродной ячейке на потенциостате Elins P-20X (рис. 1).

В исследованиях использовался платиновый электрод сравнения, в качестве вспомогательного электрода применялась медь марки М1. Зазор между исследуемым образцом и электродом сравнения устанавливался при помощи щупа ГОСТ 882-75 и составлял 0,5 мм.

Таблица - Химический состав порошка ПГ-10Н-01
 Table - PG-10N-01 powder chemistry

Cr, %	B, %	Si, %	Fe, %	C, %	Ni
14 - 20	2,8 - 3,4	4,0 - 4,5	4,0 - 4,5	0,6 - 1,0	основа

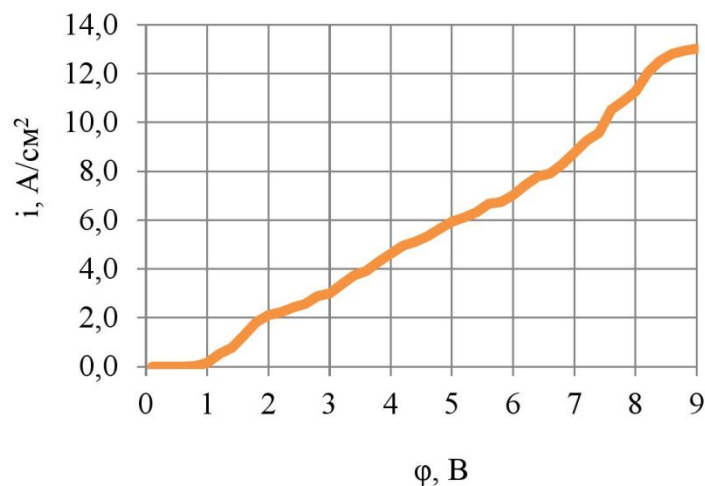


Рис. 2. Кривая электрохимического растворения покрытия на основе порошкового материала ПГ-10Н-01 в 10% водном растворе Na_2SO_4

Fig. 2. The electrochemical dissolution curve of the coating based on PG-10H-01 powder material in a 10% aqueous Na_2SO_4 solution

Образцы для исследований представляют собой пластинки покрытия ПГ-10Н-01, отрезанные от подложки электроэрозионным методом. Образцы устанавливались в оправки и заливались эпоксидной смолой ЭДП-8 ГОСТ 10587-84 так, чтобы растворялся только торец образца, площадь поперечного сечения которого составляла 1 мм^2 . Химический состав хромоникелевого порошка ПГ-10Н-01 представлен в таблице.

Известно, что щелочные и кислотные растворы электролитов способствуют увеличению скорости растворения материала за счет высокой электропроводности [10- 12]. Однако эти электролиты агрессивно воздействуют на технологическое оборудование и представляют опасность для обслуживающего персонала. Поэтому для электроалмазного шлифования применяют растворы нейтральных солей. В связи с этим для проведения поляризационных исследований были выбраны следующие водные растворы: NaCl , NaNO_3 и Na_2SO_4 .

Результаты поляризационных исследований анодного поведения покрытия ПГ-10Н-01 в водном растворе 10% Na_2SO_4 представлены на рисунке 2.

В 10% водном растворе NaNO_3 (рис. 4) характер поляризационной кривой аналогичен рас-

творению покрытия в растворе сульфата натрия. До потенциала $\phi = 1 \text{ В}$ растворение практически не наблюдается. В диапазоне потенциалов от 1 до 8 В происходит активное растворение, что сопровождается значительным ростом плотности тока. Вероятно, что активный процесс растворения происходит за счет анионов NO_3^- , которые вытесняют кислород, препятствуя образованию на поверхности металла окисной пленки. Увеличение потенциала анода от 8 В до 9 В приводит к частичному торможению процесса анодного растворения, о чем свидетельствует прекращение роста плотности тока, достигая максимального значения в $12,3 \text{ А/см}^2$.

Поляризационные кривые электрохимического растворения покрытия ПГ-10Н-01 в водном растворе 10% NaCl представлены на рисунке 4.

Электрохимическое растворение покрытия ПГ-10Н-01 в 10% водном растворе NaCl сопровождается областью пассивации поверхности в диапазоне потенциалов от $\phi = 0$ до $\phi = 3 \text{ В}$. Вероятно, торможение процесса обусловлено образованием на поверхности исследуемого материала окисной пленки. Несмотря на небольшую толщину, порядка $30 \dots 50 \text{ \AA}$, окисные пленки обладают значительным омическим сопротивлением.

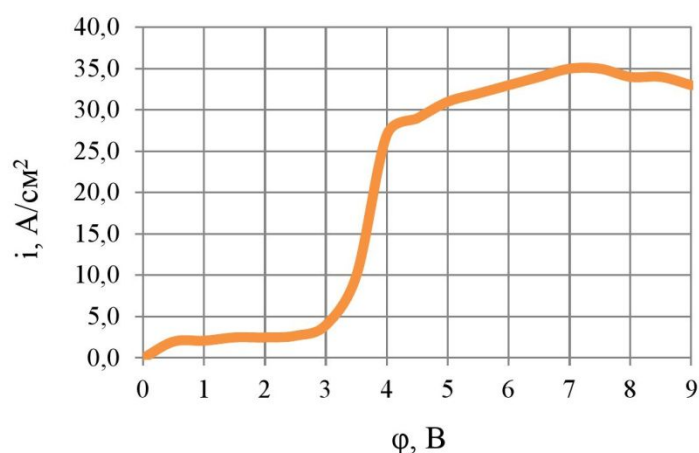


Рис. 4. Кривая электрохимического растворения покрытия на основе порошкового материала ПГ-10Н-01 в 10% водном растворе NaCl

Fig. 4. The electrochemical dissolution curve of the coating based on PG-10H-01 powder material in a 10% aqueous NaCl solution

Наличие Cr в составе покрытия и активирующих анионов хлора в составе раствора приводят к образованию водорастворимого соединения CrCl_2 . В диапазоне потенциалов $\phi = 3$ В до $\phi = 7,5$ В наблюдается увеличение плотности тока, что может свидетельствовать об активном растворении материала. В области потенциалов от $\phi = 7,5$ В до 9 В вновь наблюдается пассивация поверхности электрода, о чем свидетельствует замедление роста плотности тока. Максимальная плотность тока при растворении покрытия в хлоридном растворе достигает 35 A/cm^2 .

Выводы

Для обеспечения геометрической точности

при электроалмазной обработке активирующие электролиты нежелательны, т.к. при этом растравление обрабатываемого материала будет происходить не только в зоне обработки, но и во всех местах контакта электролита и материала [14, 15].

Основываясь на графиках электрохимического растворения в водных растворах солей хлорида, сульфата и нитрата натрия для процесса электроалмазного шлифования покрытия на основе порошкового материала ПГ-10Н-01 рекомендуется 10% водный раствор нейтральной соли NaCl, обеспечивающий высокую плотность тока в диапазоне потенциалов от 7,5 до 9 В.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Electron beam in technology surfacing of the powder rapid steel / Gnyusov S.F., Ignatov A.A., Durakov V.G. // В сборнике: Proceedings - International Symposium on Discharges and Electrical Insulation in Vacuum, ISDEIV Sep. "25th International Symposium on Discharges and Electrical Insulation in Vacuum, ISDEIV 2012", 2012. - С. 561-563.
2. Электронно-лучевая наплавка в вакууме: оборудование, технология, свойства покрытий / Панин В.Е., Белюк С.И., Дураков В.Г., Прибытков Г.А., Ремпе Н.Г. // Сварочное производство, 2000. - № 2. - С. 34-38.
3. Янюшкин А.С. Поверхность алмазного круга после электроалмазного шлифования быстрорежущей стали / Янюшкин А.С., Попов В.Ю. // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки, 2002. Т. 2. - С. 146-151.
4. Рахимьянов Х.М. Современные электрофизические технологии в машиностроении // Инновации в машиностроении (ИнМаш - 2017): сборник трудов VIII Международной научно-практической конференции, 28-30 сент. 2017 г. – Новосибирск, 2017. – С. 266-276.
5. Юшков В.В. Опыт внедрения абразивной и алмазной обработки при восстановлении деталей машин // – М.: Машиностроение, 1989. – 64 с.
6. Рахимьянов Х.М. Электроалмазная обработка напыленных износостойких покрытий / Рахимьянов Х.М., Моисеенко А.Н., Янпольский В.В. // Инженерия поверхностного слоя деталей машин: сборник трудов Международной научно-практической конференции 9-11 декабря 2009 г., г. Кемерово. - Кемерово., КузГТУ, 2009. - С. 365-368.
7. B.Walther. Electrochemical dissolution of hard metal alloys / B.Walther, J.Schilm, [A.Michaelis](#), M.M.Lohrengel // Electrochimical Acta Volume 52, Issue 27, 2007. – pp. 7732-7737.

8. Электрохимическое растворение покрытий из порошковых материалов / Рахимьянов Х.М., Кrasil'ников Б.А., Янпольский В.В., Никитенко М.И., Моисеенко А.Н. //Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты), 2011. - № 2. - С. 3-5.
9. Справочник по электрохимическим и электрофизическим методам обработки // Г.Л. Амитан, И.А. Байсупов, Ю.М. Барон и др.; под общ. Ред. В.А. Волосатова. – Л.: Машиностроение. Ленингр. Отд-ние, 1988. - 719 с.
10. M. Abdallah,. Electrochemical Behavior of Nickel Alloys and Stainless Steel in HNO₃ using Cyclic Voltammetry Technique / M. Abdallah, B.A.AL Jahdaly , M.M. Salem, A. Fawzy, E.M. Mabrouk // JMES Volume 8, Issue 4, 2017 - pp. 1320-1327.
11. Электрохимическая размерная обработка металлов и сплавов. Проблемы теории и практики. Монография / О.И. Невский, В.М. Бурков, Е.П. Гришина, Е.Л. Гаврилова, А.В. Балмасов, А.В. Носков, М.Г. Донцов. - ГОУ ВПО Иван. гос. хим.-технол. ун-т. – Иваново, 2006. - 282 с.
12. Вишняцкий, А.Л. Электрохимическая и электромеханическая обработка металлов / А. Л. Вишняцкий, И. З. Ясногородский, И. П. Григорчук -Л.: Машиностроение, 1971, вып.3. - 211 с.
13. Мороз И. И. Электрохимическая обработка металлов. – М.: Машиностроение, 1969 г. – 208 с.
14. Ming P. Electrochemical grinding for unclosed internal cylinder surface / Ming P., Zhu D., Xu Z. //14th Conference of Abrasive Technology in China: Nanjing, PEOPLES R, 2007. - pp. 360-364.
15. Кадырбаев Р. М. Формирование микрорельефа поверхности детали с покрытием после электроалмазного шлифования / Р. М. Кадырбаев, М. В. Иванова, Т. В. Козич ; науч. рук. В. В. Янпольский // Наука. Технологии. Инновации : материалы Всерос. науч. конф. молодых ученых, Новосибирск, 02–06 дек. 2014 г. : в 11 ч. – Новосибирск, 2014. – Ч. 3. – С. 18-22.

REFERENCES

1. Electron beam in technology surfacing of the powder rapid steel / Gnyusov S.F., Ignatov A.A., Durakov V.G. // В сборнике: Proceedings - International Symposium on Discharges and Electrical Insulation in Vacuum, ISDEIV Sep. "25th International Symposium on Discharges and Electrical Insulation in Vacuum, ISDEIV 2012". 2012. P. 561-563.
2. Elektronno-luchevaya naplavka v vakuumе: oborudovanie, tekhnologiya, svoystva pokrytiy [Electron beam surfacing in vacuum: equipment, technology, properties of coatings] / Panin V.E., Belyuk S.I., Durakov V.G., Pribytkov G.A., Rempe N.G. // Svarochnoe proizvodstvo [Welding International]. 2000. No 2. P. 34-38.
3. Yanyushkin A.S. Poverkhnost' almaznogo kruga posle elektroalmaznogo shlifovaniya bystrorezhushchey stali [Surface of diamond wheel after electric-diamond grinding of high-speed steel] / Yanyushkin A.S., Popov V.Yu // Trudy Bratskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye i inzhenernye nauki [Proceedings of Bratsk State University. Series: Natural and Engineering Sciences]. 2002. Volume.2. P. 146-151.
4. Rakhimyanov Kh.M. Sovremennye elektrofizicheskie tekhnologii v mashinostroenii [Modern electrophysical technologies in machine building] // Innovatsii v mashinostroenii (InMash - 2017): sbornik trudov VIII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, 28-30 sent. 2017 g. [Innovations in mechanical engineering (InMash-2017): Proceedings of the VIII International Scientific and Practical Conference, September 28-30. 2017]. Novosibirsk, 2017. P. 266-276 .
5. Yushkov V.V. Opyt vnedreniya abrazivnoy i almaznoy obrabotki pri vosstanovlenii detaley mashin [Experience in the introduction of abrasive and diamond processing when restoring machine parts]// Moscow. Machine building. 1989. 64 P.
6. Rakhimyanov Kh.M. Elektroalmaznaya obrabotka napylennykh iznosostoykikh pokrytiy [Electrochemical treatment of sputtered wear-resistant coatings] / Rakhimyanov Kh.M., Moiseenko A.N., Yanpol'skiy V.V // Inzheneriya poverkhnostnogo sloya detaley mashin: sbornik trudov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii 9-11 dekabrya 2009 g., g. Kemerovo. [Engineering of the surface layer of machine parts: proceeding of the International Scientific and Practical Conference 9-11 December 2009, Kemerovo] Kemerovo., KuzSTU. 2009. P. 365-368.
7. B.Walther. Electrochemical dissolution of hard metal alloys / B.Walther, J.Schilm, [A.Michaelis](#), M.M.Lohrengel // Electrochimical Acta, 2007. Volume 52, Issue 27. P. 7732-7737.
8. Elektrokhimicheskoe rastvorenie pokrytiy iz poroshkovykh materialov [Electrochemical dissolution of coatings from powder materials] / Rakhimyanov Kh.M., Krasil'nikov B.A., Yanpol'skiy V.V., Nikitenko M.I., Moiseenko A.N. //Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty)[Metal Working and Material Science]. 2011.No 2. P. 3-5.
9. Spravochnik po elektrokhimicheskim i elektrofizicheskim metodam obrabotki [Handbook of electrochem-

ical and electrophysical methods of processing] // G.L. Amitan, I.A. Baysupov, Yu.M. Baron i dr.; pod obshch. Red. V.A. Volosatova. Leningrad.: Mashinostroenie. 1988. 719 P.

10. M. Abdallah. Electrochemical Behavior of Nickel Alloys and Stainless Steel in HNO_3 using Cyclic Voltammetry Technique / M. Abdallah, B.A.AL Jahdaly, M.M. Salem, A. Fawzy, E.M. Mabrouk // JMES, 2017 Volume 8, Issue 4. P. 1320-1327.

11. Elektrokhimicheskaya razmernaya obrabotka metallov i splavov. Problemy teorii i praktiki [Electrochemical dimensional processing of metals and alloys. Problems of theory and practice]. Monografiya / O.I. Nevskiy, V.M. Burkov, E.P. Grishina, E.L. Gavrilova, A.V. Balmasov, A.V. Noskov, M.G. Dontsov. Ivanovo. Ivanovo State University of Chemistry and Technology, 2006. 282 p.

12. Vishnitskiy A.L. Elektrokhimicheskaya i elektromekhanicheskaya obrabotka metallov [Electrochemical and electromechanical processing of metals] / A. L. Vishnitskiy, I. Z. Yasnogorodskiy, I. P. Grigor'chuk. Leningrad, Machine building. 1971, No 3. 211 P.

13. Moroz I.I. Elektrokhimicheskaya obrabotka metallov [Electrochemical processing of metals]. Moscow. Machine building. 1969. 208 P.

14. Ming P. Electrochemical grinding for unclosed internal cylinder surface / Ming P., Zhu D., Xu Z. //14th Conference of Abrasive Technology in China: Nanjing, PEOPLES R.2007. P. 360-364.

15. Kadyrbaev R. M. Formirovanie mikrorel'efa poverkhnosti detali s pokrytiem posle elektroalmaznogo shlifovaniya [Formation of the surface microrelief of a coated part after electric-diamond grinding] / R. M. Kadyrbaev, M. V. Ivanova, T. V. Kozich; nauch. ruk. V. V. Yanpol'skiy // Nauka. Tekhnologii. Innovatsii: materialy Vseros. nauch. konf. molodykh uchenykh, Novosibirsk, 02–06 dek. 2014 g. : v 11 ch. [Science. Technologies. Innovations: proceedings of All-Russian Scientific Conference of Young Scientists, Novosibirsk, December 2-6, 2014: in 11 parts]. Novosibirsk, 2014. Part 3. P. 18-22.

Поступило в редакцию 19.04.2018

Received 19.04.2018