

**Андрущенко М.И.,
Осипов М.Ю.,
Куликовский Р.А.,
Капустян А.Е.,
Магда Е.С.**

Запорожский национальный
технический университет,
г. Запорожье, Украина
E-mail: mosipov61@ukr.net

**МАТЕРИАЛЫ, ТЕХНОЛОГИЯ И
СПЕЦИАЛЬНАЯ ОСНАСТКА ДЛЯ
УПРОЧНЕНИЯ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ
ШТАМПОВ ДЛЯ ПРЕССОВАНИЯ ПОЛЫХ
ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОГНЕУПОРОВ
ЧАСТЬ 2. ОСОБЕННОСТИ УПРОЧНЕНИЯ И
ВОССТАНОВЛЕНИЯ ШТАМПОВ
НАПЛАВКОЙ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ
УСЛОВИЯХ**

УДК 621.791.927.5:669.15

На основании результатов предварительных лабораторных испытаний наплавленного металла на сопротивляемость абразивному изнашиванию, представленных в первой части данной работы, а также с учетом производственного опыта выбраны семь типов электродных материалов для дуговой наплавки рабочих кромок штампов, применяемых при прессовании полых цилиндрических огнеупоров. Структура наплавленного металла в пределах выбранной группы изменялась от ферритной до заэвтектической с мартенсито-аустенитной основой и 40...50 % эвтектических и первичных карбидов.

Выбраны оптимальные режимы наплавки наружной и внутренней кромок штампов и предложена специальная оснастка (водоохлаждаемые формирователи), обеспечивающая необходимую скорость охлаждения и заданную однородную структуру наплавленного металла.

Проведены производственные испытания наплавленных штампов при изготовлении алюмосиликатных огнеупоров. Установлено, что относительно высокий потенциал металла заэвтектического состава практически невозможно реализовать из-за скалывания фрагментов наплавленного слоя. Оптимальное сочетание надежности в работе и износостойкости достигается в наплавленном металле типа 65X11НЗ с мартенситно-аустенитной структурой благодаря частичному превращению метастабильного аустенита в мартенсит деформации.

Ключевые слова: штамп, структура, абразивное изнашивание, условия изнашивания, наплавленный металл, скорость охлаждения, феррит, мартенсит, аустенит, износостойкость, микротвердость.

Введение

В первой части данной работы [1] представлены результаты анализа условий изнашивания штампов и предъявляемых к ним требований. Показано, что рациональным способом восстановления и упрочнения штампов является наплавка их рабочих кромок. Представлены результаты испытаний на сопротивляемость абразивному изнашиванию предварительно выбранных стандартных электродных материалов девятнадцати типов, которые условно разделены на семь структурных групп.

Было установлено, что износостойкостью в пределах ряда испытанных материалов отличается в 25 раз. Однако судить о приемлемости испытанных материалов только по результатам лабораторных исследований нельзя в связи с тем, что кроме износостойкости условия эксплуатации предъявляют и другие требования. В частности должна отсутствовать склонность наплавленного металла к скалыванию рабочей кромки в процессе прессования; рабочая поверхность штампа должна обладать сопротивляемостью шаржированию частицами прессуемой массы. Также оптимальные режимы наплавки небольших образцов для испытаний в лабораторных условиях и натуральных деталей, могут заметно отличаться.

Цель работы

Целью второй части работы было выбор режимов и техники наплавки кромок штампов, испытание их на сопротивляемость изнашиванию в производственных условиях, оценка эксплуатационной надежности наплавленного металла и сопротивляемости шаржированию рабочей поверхности штампов огнеупорного производства.

Материалы, методика исследований и результаты испытаний

Результаты лабораторных испытаний [1] позволили значительно сократить количество электродных материалов, выбранных для исследований в производственных условиях, а также существенно

уменьшить объемы трудоемких и дорогостоящих испытаний натуральных деталей на промышленных предприятиях.

Для испытаний были отобраны электродные материалы, представляющие каждую из семи структурных групп материалов, испытанных ранее [1] (табл.). Очевидно, что восстановление кромок штампов электродами АНО-4 или ЦЛ-11 малоперспективно для обеспечения достаточной износостойкости. Однако их включили в перечень материалов для испытаний в производственных условиях, поскольку наплавленный ими металл обладает высокой эксплуатационной надежностью, исключающей риск скалывания кромок, и поэтому они часто применяются на предприятиях.

После наплавки производилась механическая обработка наплавленных кромок.

Таблица

Марки электродных материалов, тип и структура наплавленного металла

| Электрод, группы [1] | Марка материала | Тип наплавленного металла | Структура наплавленного металла |
|----------------------|-----------------|---------------------------|--|
| 1 | АНО-4 | сталь 10 | Преимущественно ферритная |
| 2 | ЦЛ-11 | 08Х19Н10Г2Б | Аустенитная |
| 3 | ОМГ-Н | 65Х11Н3 | Аустенито-мартенситная |
| | ПП-АН105 | 90Г13Н4 | Аустенитная |
| 4 | ОЗН-400М | 17Г4С1 | Бейнитная |
| 5 | ЭН-60М | 70Х3СМТ | Мартенситная |
| 6 | ПП-АН106 | 10Х14Т | Мартенсито-ферритная |
| 7 | Т-590 | 330Х25Г2С2Р | Мартенсито-аустенитная основа + 40...50 % эвтектических и первичных карбидов |

Одной из технологических проблем процесса наплавки является низкая скорость охлаждения наплавленного металла. Во-первых, это затрудняет получение заданной структуры, особенно если речь идет о необходимости получить метастабильный остаточный аустенит [2]. Во-вторых, если восстанавливаются цементованные детали, то в околошовной зоне из-за термического влияния процесса наплавки, происходит снижение сопротивляемости шаржированию рабочей поверхности зернами абразивной массы. В-третьих, на кромке штампа сложно сформировать наплавленный валик необходимой геометрической формы, что увеличивает расходы на материалы и механическую обработку.

В связи с этим для наплавки наружной и внутренней рабочих кромок цилиндрических штампов предлагается использовать специальные приспособления (водоохлаждаемые формователи). Приспособления для наплавки наружной кромки верхнего штампа (рис. 1, а) и нижнего (рис. 1, б) представляют собой медный диск, собранный герметично по общей схеме (рис. 2) со стальным корпусом, в котором предусмотрен канал для проточной воды.



Рис. 1 – Общий вид рабочих поверхностей приспособления для наплавки наружной кромки штампов

Существенной особенностью рабочей поверхности кристаллизатора, является наличие на ней выступа высотой 0,8...1,2 мм, что гарантирует зазор между наплавляемой кромкой, и поверхностью кристаллизатора. Это обеспечивает формирование наплавленного валика с оптимальным припуском на механическую обработку (рис. 3).

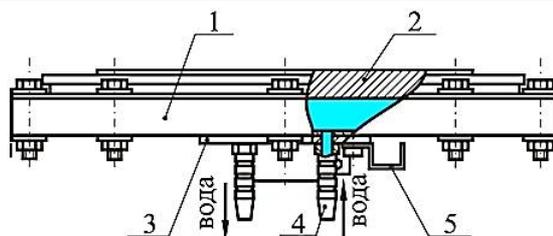


Рис. 2 – Общая схема приспособления для наплавки наружной кромки верхнего и нижнего штампов пресс-форм:
1 – стальной корпус; 2 – медный кристаллизатор; 3 – фланец; 4 – штуцер; 5 – фиксатор гибкого шланга



Рис. 3 – Форма наплавленного валика на кромке штампа при наплавке:
1 – без формователя; 2 – с формователем

Приспособление для наплавки внутренней кромки представляет собой пуансоноподобный полый цилиндр (рис. 4) в верхней части которого на резьбе крепится сменный медный кристаллизатор, охлаждаемый проточной водой.

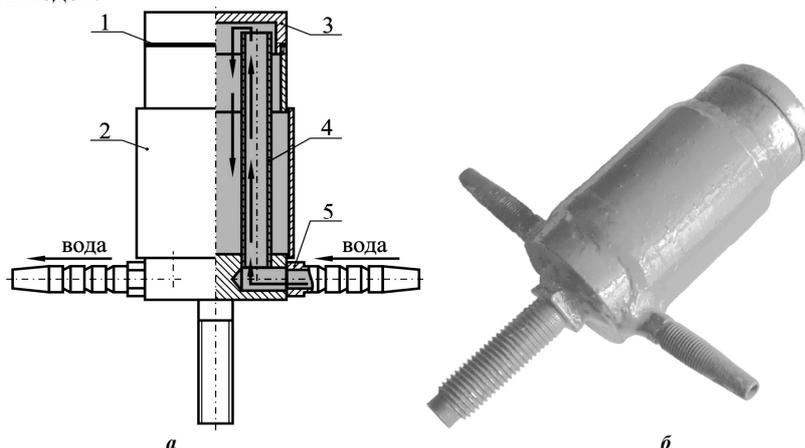


Рис. 4 – Схема (а) и общий вид (б) приспособления для наплавки внутренней кромки штампов:
1 – кольцо из резины; 2 – корпус; 3 – медный кристаллизатор; 4 – трубка; 5 – штуцер

Для возможности установки кристаллизаторов в удобное положение и для обеспечения их вращения с необходимой скоростью при наплавке предлагается специальная установка (рис. 5). Она включает в себя: вращатель-манипулятор с электроприводом (двигатель постоянного тока) 12 и двухступенчатый червячный редуктор 2, опоры скольжения 3 с валами 5 для крепления сменных кристаллизаторов 1 и 4.

Вращатель смонтирован на поворотном столе 6, что позволяет устанавливать ось вращения в любое положение от горизонтального до вертикального. На валах 5 установлены скользящие токосъемники 7, с помощью которых подается напряжение от источника питания к детали, которая наплавляется. Чтобы избежать передачи сварочного напряжения через вращающиеся детали редуктора и их «подгорания», опоры и вал токосъемника изолированы от редуктора.

Стол вращателя смонтирован на механизме вертикального подъема 8, который может перемещаться по колонне 9 на расстояние до 600 мм для установки кристаллизаторов в необходимое для наплавки положение. На колонне расположен кронштейн 10 для крепления держателя полуавтомата при наплавке в автоматическом режиме. Колонна закреплена на платформе 11.

Электродвигатель постоянного тока (0,1 кВт), позволяет осуществлять вращение кристаллизаторов со штампами в диапазоне $0,5 \dots 5 \text{ мин}^{-1}$, что обеспечивает возможность изменения скорости наплавки круглых штампов в достаточно широком диапазоне.

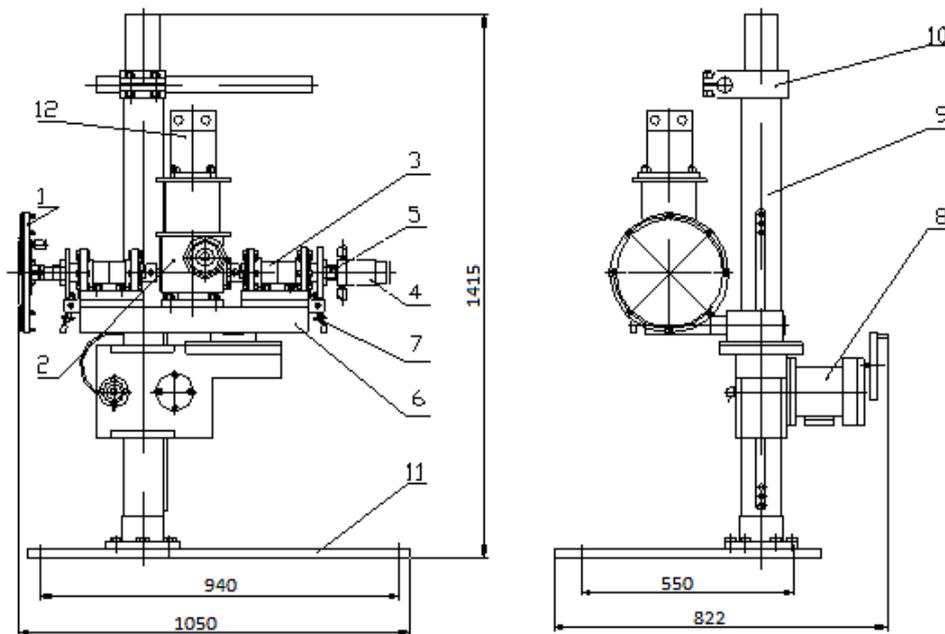


Рис. 5 – Установка для наплавки цилиндрических штампов

В процессе разработки технологии упрочнения и восстановления штампов изучалось влияние способов и режимов наплавки, угла наклона кромки штампа, скорости наплавки на форму и качество наплавленного валика.

При выборе режимов наплавки исходили из следующих общепринятых требований к технологическим процессам наплавочных работ [3]:

- режимы не должны выходить за пределы диапазона, при которых состав наплавленного металла отклоняется более чем на 10 % от номинального;
- режимы должны обеспечивать минимально возможное участие основного металла в наплавленном валике;
- должно быть обеспечено устойчивое горение дуги;
- должна быть обеспечена высокая производительность при соблюдении вышеприведенных требований.

Диапазон режимов, рекомендуемых в литературе достаточно широк.

Исследования технологического процесса наплавки штампов в производственных условиях показали, что параметры режима при наплавке электродами диаметром 4 мм должны находиться в следующих пределах:

- напряжение дуги – 28...32 В;
- сила тока – 160...180 А;
- скорость наплавки находится в пределах 0,5...0,9 м/мин, в зависимости от необходимых размеров наплавленного валика;
- род тока и полярность выбираются в зависимости от типа электродного покрытия.

Наплавка порошковыми проволоками проводилась в соответствии с рекомендуемыми режимами [4]. Наплавка кромок опытных штампов осуществлялась как с использованием принудительного охлаждения, так и с охлаждением на воздухе.

Производственные испытания наплавленных штампов проводили при изготовлении шамотных огнеупоров. Относительную износостойкость определяли по количеству выпущенной продукции до достижения на кромках предельно допустимой величины износа. Эксплуатационную надежность и работоспособность восстановленных штампов оценивали по отсутствию или наличию сколов на рабочих кромках и степени шаржирования поверхности штампа.

Установлено, что относительно высокий потенциал металла, наплавленного электродами Т-590, практически невозможно реализовать из-за скалывания фрагментов наплавленного слоя.

Металл, наплавленный электродами ЭН-60М, также недолговечен в эксплуатации. Очевидно, это связано с тем, что металл данного химического состава требует предварительного подогрева, что противоречит требованию обеспечения повышенной сопротивляемости шаржированию рабочих поверхностей штампов.

Оптимальное сочетание надежности в работе и износостойкости достигается в наплавленном ме-

талле типа 65X11H3 с аустенито-мартенситной структурой благодаря частичному превращению метастабильного аустенита в мартенсит деформации. В результате самоупрочнения в процессе изнашивания микротвердость поверхности трения достигает уровня 10 ГПа, что выше твердости мартенсита закалки. Известно, что кроме повышения микротвердости при образовании мартенсита деформации, положительное влияние на сопротивляемость изнашиванию оказывают сопутствующие этому явлению процессы – релаксация напряжений благодаря равномерному распределению дислокаций, образование мелкодисперсных карбидов по плоскостям скольжений, рассеивание энергии, вносимой абразивом. Хотя сравнительный анализ результатов некоторых работ [5...9] показывает, что положительная роль этих процессов в сравнении с повышением микротвердости поверхности трения существенно ниже.

Сплавы, наплавленные электродными материалами остальных марок (таблица) обладают достаточной эксплуатационной надежностью. Однако при этом они характеризуются существенно более низкой износостойкостью (более пяти раз) по сравнению с металлом типа 65X11H3.

Необходимо отметить достаточно высокую сходимость испытаний на износостойкость в лабораторных и производственных условиях.

Положительная роль регулирования термического цикла наплавки путем ускорения скорости теплоотвода водоохлаждаемыми формователями от рабочих поверхностей штампов и наплавленного металла заключалась ещё и в том, что снижалась степень разупрочнения цементованного слоя в околослойной зоне (рис. 6), и благодаря этому понижался уровень шаржирования и налипания штампов огнеупорной массой. Это в свою очередь обеспечивало увеличение производительности работы прессов, поскольку уменьшается потребность в остановках оборудования для зачистки штампов и повышается качество прессуемых изделий.

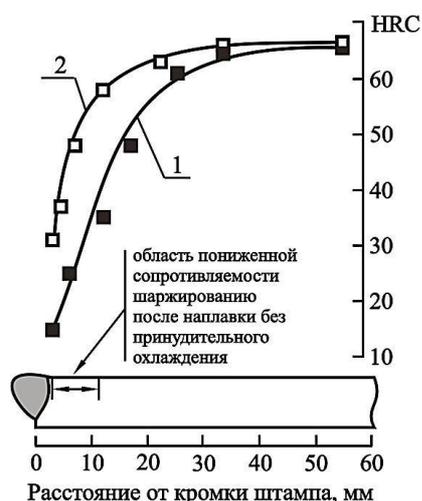


Рис. 6 – Изменение твердости поверхности восстановленного штампа в зависимости от способа охлаждения: 1 – на воздухе; 2 – с использованием водоохлаждаемого формователя

Выводы

1. Для испытаний в производственных условиях выбраны семь типов электродных материалов для дуговой наплавки рабочих кромок штампов, применяемых при прессовании полых цилиндрических огнеупоров. Структура наплавленного металла в пределах выбранной группы изменялась от ферритной до заэвтектической с мартенсито-аустенитной основой и 40...50 % эвтектических и первичных карбидов.

2. Выбраны оптимальные режимы наплавки наружной и внутренней кромок штампов. Разработана специальная оснастка (водоохлаждаемые формователи), обеспечивающая необходимую скорость охлаждения и заданную однородную структуру наплавленного металла, а также снижающая склонность к разупрочнению и шаржированию цементованной рабочей поверхности штампов после наплавки. Предложена установка для наплавки штампов с заданной скоростью в любом необходимом пространственном положении.

3. Установлено, что потенциал металла, наплавленного электродами Т-590 невозможно реализовать из-за скалывания наплавленного слоя. Металл, наплавленный электродами ЭН-60М, также ненадежен в эксплуатации в связи с тем, что он требует предварительного подогрева детали.

Наиболее оптимальное сочетание надежности в работе и износостойкости достигается в наплавленном металле типа 65X11H3 с мартенситно-аустенитной структурой не включающих карбидных фаз благодаря частичному превращению метастабильного аустенита в мартенсит деформации.

Литература

1. Андрущенко М.И. Материалы, технология и специальная оснастка для упрочнения и восстановления штампов для прессования полых цилиндрических огнеупоров. Часть 1. Анализ условий изнашивания штампов и исследования износостойкости металла, наплавленного стандартными электродными материалами / М.И. Андрущенко, М.Ю. Осипов, Р.А. Куликовский, А.Е. Капустян, Е.С. Магда // Проблемы трибологии (Problems of Tribology). – 2016. – №1. – С. 53-63.
2. Андрущенко М.И. Управление структурным состоянием и сопротивляемостью абразивному изнашиванию наплавленного металла технологическими методами / М.И. Андрущенко, Р.А. Куликовский, А.В. Холод, М.Ю. Осипов // Проблемы трибологии (Problems of Tribology). – 2014. – №3. – С. 35-41.
3. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением / Под ред. Патона Б.Е. – М.: Машиностроение, 1974. – 789 с.
4. Наплавочные материалы стран членов СЭВ // Киев – Москва, 1979. – 620 с.
5. Попов В.С. Долговечность оборудования огнеупорного производства / В.С. Попов, Н.Н. Брыков, Н.С. Дмитриченко, П.Г. Приступа – М.: Металлургия, 1978. – 232 с.
6. Восстановление и повышение износостойкости и срока службы деталей машин / Под ред. В.С. Попова – Запорожье: Изд-во ОАО «Мотор Сич», 2000. – 394 с.
7. Андрущенко М.И. Влияние углерода и хрома на способность к упрочнению и износостойкость бескарбидных сталей в условиях абразивного изнашивания / М.И. Андрущенко, О.Э. Рузов, Р.А. Куликовский, Н.Н. Брыков // Проблемы трибологии (Problems of Tribology). – 2003. – №2. – С. 112-116.
8. Андрущенко М.И. Способность к самоупрочнению поверхности трения в процессе абразивного изнашивания и износостойкость сталей в зависимости от содержания углерода и хрома / М.И. Андрущенко, Р.А. Куликовский, М.Ю. Осипов, А.В. Холод, А.Е. Капустян // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2014. – №1. – С. 92-99.
9. Koval A.D. Principles for developing grinding media with increased wear resistance. Part 1. Abrasive wear resistance of iron-based alloys / A.D. Koval, V.G. Efremenko, M.N. Brykov, M.I. Andrushchenko, R.A. Kulikovskii, A.V. Efremenko // Journal of Friction and Wear. – 2012. – Vol.33, No.1. – pp. 39-46.

Поступила в редакцію 23.02.2017

Andrushchenko M.I., Osipov M.Y., Kulikovskiy R.A., Kapustian O.YE., Magda E.S. **Materials, technology and special equipment for strengthening and restoration of dies for pressing the hollow cylindrical refractory. Part 2. Features of hardening and restoration of welding dies in a production environment**

Based on preliminary laboratory test results of deposited metal on abrasion resistance presented by the first part of this study, as well as the chosen manufacturing experience seven types of electrode materials for arc welding working edges of dies used in the extrusion of hollow cylindrical refractories. Weld metal structure within a selected group changed from ferrite to hypereutectic with martensite-austenite base and 40-50 % of eutectic and primary carbides.

Optimal modes surfacing outer and inner edges of the stamps and offered special equipment (water-cooled conditioners), providing the necessary cooling rate and given a uniform structure of the deposited metal.

Carried out production tests surfaced dies in the manufacture of alumino-silicate refractories. It is found that a relatively high potential hypereutectic composition of the metal is virtually impossible to realize due to spallation fragments deposited layer. The most optimal combination of the reliability and durability of the weld metal is achieved with the type of 65X11H3 austenite-martensite structure, due to the partial conversion of the metastable austenite to martensite.

Key words: stamp, structure, abrasion, wear conditions, the weld metal cooling rate, ferrite, martensite, austenite, wear resistance, microhardness.

References

1. Andrushhenko M.I. Materialy, tehnologija i special'naja osnastka dlja uprochnenija i vosstanovlenija shtampov dlja pressovaniya polyh cilindricheskikh ogneuporov. Chast' 1. Pnaliz uslovij iznashivaniya shtampov i issledovaniya iznosostojkosti metalla, naplavlennogo standartnymi jelektrodnymi materialami / M.I. Andrushhenko, M.Ju. Osipov, R.A. Kulikovskij, A.E. Kapustjan, E.S. Magda // Problemy tribologii (Problems of Tribology). - 2016. - №1. - S. 53-63.
2. Andrushhenko M.I. Upravlenie strukturnym sostojaniem i soprotivljaemost'ju abrazivnomu iznashivaniu naplavlennogo metalla tehnologicheskimi metodami / M.I. Andrushhenko, R.A. Kulikovskij, A.V. Holod, M.Ju. Osipov // Problemy tribologii (Problems of Tribology). - 2014. - №3. - S. 35-41.
3. Tehnologija jelektricheskoy svarki metallov i splavov plavleniem / Pod red. Patona B.E. - M.: Mashinostroenie, 1974. - 789 s.
4. Naplavochnye materialy stran chlenov SJeV // Kiev – Moskva. –1979. – 620 s.
5. Popov V.S. Dolgovechnost' oborudovaniya ogneupornogo proizvodstva / V.S. Popov, N.N. Brykov, N.S. Dmitrichenko, P.G. Pristupa. – M.: Metallurgija, 1978. – 232 s.
6. Vosstanovlenie i povyszenie iznosostojkosti i sroka sluzhby detalej mashin / Pod red. V.S. Popova - Zaporozh'e.: Izd-vo OAO "Motor Sich", 2000. - 394 s.
7. Andrushhenko M.I. Vlijanie ugleroda i hroma na sposobnost' k uprochneniju i iznosostojkost' bekarbidnyh stalej v uslovijah abrazivnogo iznashivaniya / M.I. Andrushhenko, O.Je Ruzov, R.A. Kulikovskij, N.N. Brykov // Problemy tribologii (Problems of Tribology). – 2003. – №2. – S. 112-116.
8. Andrushhenko M.I. Sposobnost' k samouprochneniju poverhnosti trenija v processe abrazivnogo iznashivaniya i iznosostojkost' stalej v zavisimosti ot sodержaniya ugleroda i hroma / M.I. Andrushhenko, R.A. Kulikovskij, M.Ju. Osipov, A.V. Holod, A.E. Kapustjan // Novi materiali i tehnologii v metalurgii ta mashinobuduvanni. – 2014. – №1. – S. 92-99.
9. Koval A.D. Principles for developing grinding media with increased wear resistance. Part 1. Abrasive wear resistance of iron-based alloys / A.D. Koval, V.G. Efremenko, M.N. Brykov, M.I. Andrushchenko, R.A. Kulikovskii, A.V. Efremenko // Journal of Friction and Wear. – 2012. – Vol.33, No.1. – pp. 39-46.