

**К.В.Баюл**

## **АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ, ИЗНОСА И КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ВАЛКОВ БРИКЕТНЫХ ПРЕССОВ**

Целью работы является анализ и обобщение информации об условиях эксплуатации, износе и конструктивных особенностях валков брикетных прессов. Выполнена оценка факторов, влияющих на износ и длительность работы валков брикетных прессов. Рассмотрено влияние конструктивного исполнения валков на их эксплуатационные характеристики. Определена база для создания расчетно–аналитического аппарата прогнозирования износа бандажей, что позволит на стадии проектирования прессового оборудования установить допустимую степень износа рабочей поверхности бандажей и разработать технические решения и рекомендации по продлению ресурса их эксплуатации.

**брикетные прессы, валки, бандажи, сегменты, износ, конструктивные особенности, ресурс эксплуатации**

### **Состояние вопроса и постановка задачи.**

Опыт эксплуатации валковых прессов конструкции Института черной металлургии НАН Украины (ИЧМ) на ряде промышленных предприятий при брикетировании различных шихт показал их техническую и экономическую эффективность. Необходимость расширения их эксплуатационных возможностей определяется растущими объемами переработки вторичных мелкофракционных сырьевых ресурсов методом брикетирования на предприятиях горно–металлургического комплекса. Валковые прессы, разработанные и производимые в ИЧМ, оснащены бандажированными валками. Бандажи валков – это сменные, быстроизнашивающиеся и достаточно дорогостоящие детали, их изготовление и замена требуют больших расходов времени и финансовых затрат. Их износ приводит к нарушению геометрических параметров формирующих элементов, отклонению брикетов от заданной формы и плотности, снижению их потребительских свойств и изменению энергосиловых параметров брикетирования. Независимо от того, из какого материала изготовлены бандажи, в процессе эксплуатации происходит износ их рабочих поверхностей. Поэтому актуален вопрос, до какой степени износа можно эксплуатировать бандажи с соблюдением режима работы пресса в пределах заданных технических характеристик и обеспечением формирования и выхода брикетов удовлетворительного качества. Важно также определить, как изменять режим работы пресса при наличии износа бандажей, разработать графики их замены, приемы ремонта и восстановления. Существует необходимость в совершенствовании методов изготовления бандажей и разработке новых конфигураций формирующих элементов, позволяющих продлить сроки эксплуатации бандажей и повысить качество продукции. Актуальным является изучение режимов эксплуатации бандажей валковых прессов с целью разработки технических решений, которые позволят увеличить срок их эксплуатации. Важным этапом при разработке спо-

способов повышения износостойкости и ремонтпригодности бандажей валковых прессов является сбор и обобщение экспериментальных данных об их эксплуатации, а также разработка прогнозных методов оценки износа и его влияния на энергосиловые и технологические параметры брикетирования.

**Целью работы** является анализ и обобщение информации об условиях эксплуатации, износе и конструктивных особенностях валков брикетных прессов.

**Изложение основных результатов аналитического исследования.**

Практический интерес представляют исследования, выполненные И.К.Белым [1, 2], в которых выделены пять основных факторов, влияющих на изнашивание бандажей валковых прессов:

1. абразивные свойства шихты и содержание в ней веществ, способствующих разрушению поверхностного слоя металла;
2. удельные давления при брикетировании;
3. качество материала бандажей и его термическая или термохимическая обработка;
4. внутренние напряжения в поверхностном слое формообразующих элементов бандажей, возникающие в результате их посадки на валок;
5. конфигурация формирующих элементов.

Соотношение между твердостью прессующей поверхности и частиц шихты определяет износостойкость прессующего инструмента. На абразивные свойства шихты оказывает влияние твердость, размер и форма ее частиц, гранулометрический состав, значения коэффициентов трения.

Схему износа прессующих поверхностей в очаге деформации валкового пресса условно можно разделить на две области (рис.1) [3].

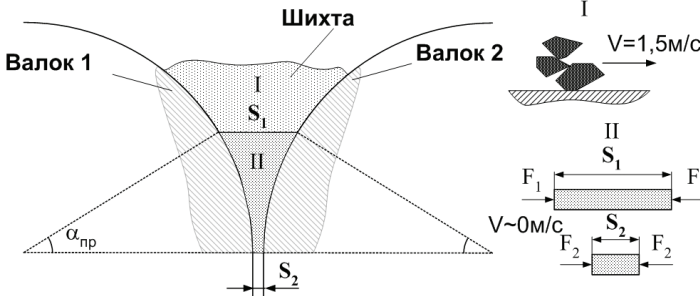


Рис.1. Схема износа прессующих поверхностей в очаге деформации валкового пресса

Граница, разделяющая их между собой, определяется углом прессования. В области I, расположенной до угла прессования, преобладают относительные тангенциальные перемещения частиц шихты вдоль поверхности валков; в области II – ниже угла прессования происходит формирование брикетов с преобладанием относительного смещения между частицами шихты. Как следствие в области I преобладает абразивный износ поверхности бандажа –

царапание поверхности частицами шихты, тогда как в области II точечные вдавливания частиц шихты, накапливаясь, ведут к возникновению усталостных явлений в поверхностных слоях металла. Практика эксплуатации валковых брикетных прессов показывает, что для них характерно неравномерное распределение износа по ширине рабочей поверхности – износ по краям намного меньше, чем в центральной части. Износ конкретно взятого формующего элемента неравномерный вдоль его контура.

На износостойкость, ремонтпригодность, технологические и эксплуатационные характеристики валков оказывает влияние их конструктивное исполнение. Известны три основных типа валков: цельные, с кольцевыми бандажами и с сегментами (рис.2). На рис.3 приведены общий вид бандажа (а) и сегмента (б).

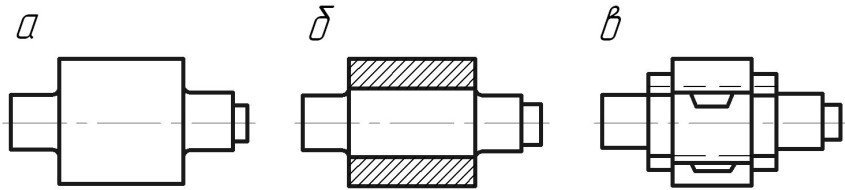


Рис.2. Типы валков

(а) – цельный; (б) – с кольцевым бандажом; (в) – с сегментами

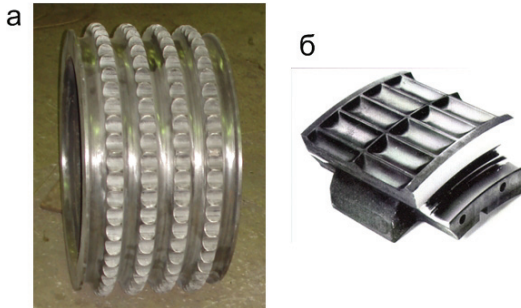


Рис.3. (а) – бандаж; (б) – сегмент

Цельные валки в практике брикетирования на сегодняшний день практически не применяются, что обусловлено низким уровнем их ремонтпригодности. При использовании валков с сегментами конструкция самих сегментов существенно влияет на надежность работы прессового оборудования. Анализ конструкций валковых прессов фирм «Körpet» и «Верех», проведенный специалистами ИЧМ и ВНИИМетмаша еще в 80-е годы, позволил выявить ряд конструктивных особенностей валков прессов. В ранних конструкциях сегментов (рис.4а) нагрузка действует не вдоль разделительной кромки между сегментами, а под некоторым углом. Это приводит к тому, что линия действия проходит вне опорной части сегмента и создает крутящий момент, который стремится оторвать его от поверхности валка. В более поздних конструк-

циях сегментов [3] (рис. 4б) их опорная часть выполнена таким образом, что линия действия силы прессования пересекает опорную часть сегмента и, таким образом, создается крутящий момент, обеспечивающий прижатие сегмента к опорной поверхности. Что же касается материалов прессующего инструмента, то указанные производители валковых прессов изготавливают сегменты из высоколегированных сталей с твердостью 60...64HRC, а бандажи из сталей и других материалов с высокой твердостью (56...58HRC) и ударной вязкостью, позволяющей переносить большие деформации без возникновения трещин.

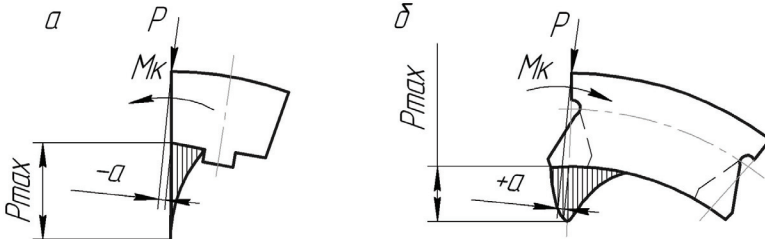


Рис.4. Распределение усилий в сегментах разных конструкций

Сотрудниками ИЧМ сделана разработка [4] конструкции валков с сегментами. Отличительной чертой предлагаемого технического решения является то, что каждый из узлов фиксации сегментов с валками выполнен в виде двух клиньев с парой полуцилиндрических продольных выступов в каждом клине на стороне противоположающей их наклонной поверхности. Типичные зарубежные конструкции валков прессов для брикетирования с применением сегментов описаны в работах [5–8]. Известно большое количество подобных конструктивных решений, отличающихся между собой рядом индивидуальных особенностей, но всем им присущи общие достоинства и недостатки. Как показывает производственная практика, независимо от конструктивного исполнения, замена поврежденных сегментов в прессе практически невозможна, то есть, при ремонте приходится менять весь комплект. Увеличение рабочей ширины валка с сегментами ограничено недостаточной прочностью сегментов, условиями изготовления формирующих элементов и технологией брикетирования. Сложность изготовления комплекта сегментов обуславливает их высокую стоимость. Несмотря на большое разнообразие конструктивных решений, вышеуказанные особенности определяют ограниченность применимости валков с кольцевыми сегментами.

Наибольшее распространение на практике получили валки, оснащенные кольцевыми бандажами. В отличие от сегментов бандажи более просты и удобны с точки зрения конструктивного исполнения и изготовления. В сочетании с современными методами изготовления и ремонта кольцевые бандажи позволяют обеспечивать высокие эксплуатационные характеристики прессового оборудования. На износ и эксплуатационные показатели бандажей оказывают влияние условия их закрепления на валках. Извест-

ны варианты крепления бандажей на валок с помощью горячей посадки и различного рода крепежных элементов.

При посадке бандажа на валок с натягом (рис.5) в них возникают напряжения, которые действуют на границе бандажа и места его крепления (ступицы).

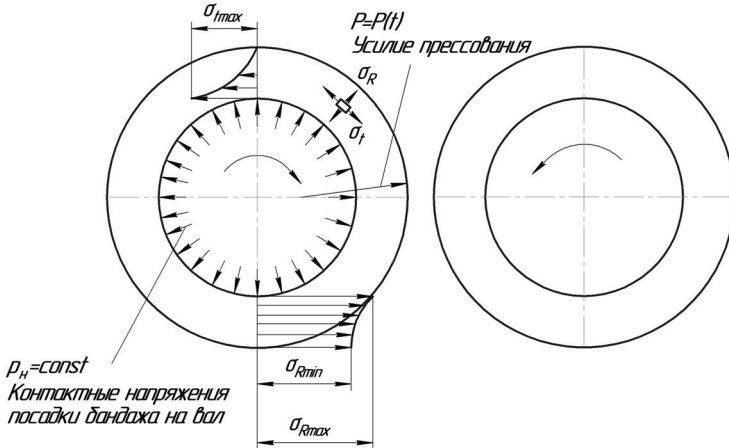


Рис.5. Схема распределения напряжений, возникающих в кольцевых бандажах при посадке с натягом

Наличие контактных напряжений на границе бандажа и сопрягаемой с ним детали подразумевает возникновение статических растягивающих напряжений  $\sigma_R$  и  $\sigma_t$  в бандаже, которые достигают своего максимума на внутренней поверхности. Давление прессования  $P$  представляет собой периодическую нагрузку, приводящую к возникновению усталостных явлений в металле бандажа. Эта нагрузка характеризуется высокими значениями напряжений с малой амплитудой на внутреннем диаметре и более низких значений напряжений, но с большей амплитудой на наружном диаметре бандажа. В целом, изменения значений этих напряжений обладают малой частотой и близки к статическим. В результате того, что бандаж, посаженный на вал с натягом, находится под действием внутренних напряжений, на его поверхности возникают микротрещины, что ускоряет абразивное изнашивание. При увеличении натяга или твердости материала после закалки величина напряжений в материале бандажа достигает предела текучести. В этом случае при полном охлаждении собранного валка бандаж разрушается. Поэтому более предпочтительными являются варианты крепления бандажей без использования посадок в горячем состоянии с натягом. К таким вариантам относят крепления с помощью клиновых колец, шпонок, болтовых и замковых соединений. Помимо пресующих поверхностей в бандажах валковых прессов износу подвержены также места крепления на вал (ступицу, ось). Цельные валки восприни-

мают приложенные к ним нагрузки всем объемом валка. В случае эксплуатации бандажированных валков жесткость оси и жесткость валка различная. Поэтому при изгибающих усилиях в области контакта между бандажом и осью, особенно на краевых участках, происходят их взаимные микроперемещения, происходящие циклически при каждом обороте валка, которые приводят к износу контактирующих поверхностей в этой зоне.

Результатом износа элементов крепления может явиться нарушение целостности конструкции, т.е. смещение бандажа относительно оси, его проворачивание, что может привести к нарушению нормального режима получения брикетов из-за рассогласования полуформ формующих элементов, ухудшению условий демонтажа изношенных бандажей во время проведения ремонтных работ, а, в крайних случаях, к выходу бандажа из строя и аварийным ситуациям.

Расширение номенклатуры материалов перерабатываемых методом брикетирования в валковых прессах способствует развитию методов защиты валков от износа. При использовании обычных методов получения литой детали или заготовки прессующего инструмента свойства материала примерно одинаковы по всему объему. Такие детали условно классифицируются как сплошные. Величина износостойкого слоя в данном случае незначительна и, в основном, определяется методами термообработки. Изготовление такого прессинструмента не требует больших финансовых затрат, но и его износостойкость, соответственно, невысока. Центробежное литье, наплавка и методы порошковой металлургии (горячее изостатическое прессование, напыление и т.п.) более дорогостоящи, но при этом позволяют получить толщину износостойкого слоя от нескольких сотых долей миллиметра до 35мм и производить повторное нанесение износостойкого покрытия, что увеличивает ресурс эксплуатации детали. Выбор метода защиты валков от износа определяется конструктивным исполнением валков, а также условиями эксплуатации валков и финансово-техническими возможностями предприятия. При применении любого из методов важным является выбор правильного режима термообработки с целью получения заданных механических характеристик прессующего инструмента.

В работах [1, 9–12] рассмотрены вопросы износостойкости и выбора материалов для изготовления бандажей. В работе [1] исследована износостойкость валков, оснащенных сегментами из различных сталей и сплавов. Для изготовления сегментов сборных бандажей рекомендованы при брикетировании высокоабразивных шихт сталь 9ХЛ и сплав Х14Г2Н, для малоабразивных шихт – сталь 35Л. В работе [9] с помощью лабораторной установки, смонтированной на базе гидравлической испытательной машины, исследована износостойкость ряда материалов и сплавов с твердостью 65...63 HRC, которые могут быть использованы при изготовлении бандажей. Результаты исследований, хотя и дают инструмент для прогнозирования износостойкости материала бандажей, тем не менее, предложенная в работе методика не позволяет учесть реальную картину износа бандажей. По словам самих ее авторов, не рассмот-

рено влияние на процесс износа изменения величины внутренних напряжений, возникающих в формующих элементах при брикетировании шихты. Исследования [10, 11], посвящены созданию износостойких покрытий бандажей с использованием методов порошковой металлургии. Экспериментально в лабораторных и промышленных условиях исследована износостойкость ряда композитных материалов и бандажей, изготовленных с их применением. Разработана математическая модель формирования свойств износостойкого покрытия, которая включает аналитические зависимости между температурой, микроструктурой и напряженно– деформированным состоянием.

В 2003 г. на ОАО «Никопольский завод ферросплавов» при участии специалистов ИЧМ был создан комплекс брикетирования отсевов ферросплавов (БОФ). Валковый пресс, входящий в состав технологической линии комплекса, разработан специалистами ИЧМ и изготовлен экспериментально– производственным предприятием института. Валки пресса оснащены бандажами (рис. 3а) с зубчато– желобчатой конфигурацией рабочих поверхностей позволяющими получать брикеты «пельменеобразной» формы (рис.6). С ростом износа бандажей снижается механическая прочность брикетов. То есть, одними из критериев, указывающих на необходимость проведения ремонтных работ по восстановлению или замене бандажей, являются показатели качества брикетов. В работе [2] приведена эмпирическая зависимость прочности брикетов от степени износа формующих элементов, выведенная для условий брикетирования конкретной шихты.

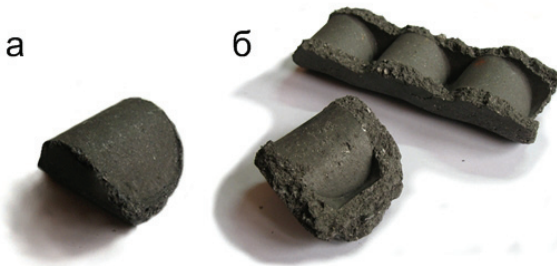


Рис.6. Брикеты пельменеобразной формы, полученные на неизношенных (а) и на изношенных (б) бандажах

Получены экспериментальные данные об износе нескольких комплектов бандажей [12]. Комплект бандажей из стали 40ХН с твердостью рабочей поверхности 58...62HRC за период эксплуатации до их замены, позволяет произвести 1000...1500т брикетов из отсевов силикомарганца фракции – 6мм при использовании органического связующего. Износ рабочих поверхностей бандажей за период эксплуатации составляет до 5...8мм на днище и боковых поверхностях желобов и до 4,5...5мм зубьев. В среднем скорость износа бандажей составляет от 3 до 12мкм/ч. Отмечено известное ранее явление неравномерности величины износа по ширине

бандажа. Ряды формующих элементов, расположенные ближе к середине валка, более изношены, чем крайние ряды. Данное явление объясняется неравномерным поступлением шихты в очаг деформации. Основная масса материала при гравитационной подаче шихты в пресс сыпается на среднюю часть валков, вследствие чего, в этой части формующие элементы наиболее максимально заполняются шихтой, что обеспечивает большее уплотнение брикетов. В крайних рядах формующих элементов недостаточное поступление шихты в формующие элементы сопряжено как с условиями подачи, так и с влиянием трения шихты о стенки загрузочного устройства. Неравномерный износ формующих элементов по ширине бандажа приводит к тому, что регулирование величины зазора между валками путем их сведения не позволяет устранить его неравномерность и существенно уменьшить количество просыпи. Одним из первых технических решений, направленных на снижение негативного влияния неравномерности износа рабочих поверхностей бандажей на качество брикетов, является разработка [13], сделанная сотрудниками института. Суть данного изобретения заключается в следующем. При брикетировании мелкофракционной шихты в валковом прессе за счет трения материала о стенки загрузочного устройства движение материала в межвалковое пространство затруднено. Поэтому предложено уменьшить размеры крайних, прилежащих к стенкам загрузочного устройства рядов формующих элементов, за счет чего увеличивается степень уплотнения материала, при этом уменьшается количество просыпи и неполностью сформированных брикетов, повышается прочность брикетов, а также производительность и КПД прессы.

**Заключение.** В ИЧМ выполнены исследования степени и характера влияния конфигурации формующих элементов на энергосиловые и технологические параметры валковых прессов [14–18]. Проведены теоретические исследования прочности формующих элементов различной конфигурации, показана возможность оценки качественной картины износа. Данные исследования являются основой для создания расчетно–аналитического аппарата для прогнозирования износа бандажей и оценки его влияния на технологические и энергосиловые параметра процесса брикетирования. Создание такого аппарата позволит на стадии проектирования прессового оборудования установить допустимую степень износа рабочей поверхности бандажей и разработать технические решения и рекомендации по продлению ресурса их эксплуатации.

1. *Белый И.К.* Исследование износа и технологических методов повышения надежности и долговечности вальцовых брикетных прессов. Кандидатская диссертация. – Днепропетровск, ДГИ. – 1968.



2. *Белый И.К.* Теоретические и экспериментальные исследования, разработка и внедрение высокоэффективных конструкций машин для брикетирования мелкозернистых материалов: Дис.на соискание ученой степени докт.техн.наук: – Днепропетровск, ДГИ, 1973. – 351 с.
3. *Shumacher, M.; Thisen, W.:* HEXADUR® – Ein neuer Verschleißschutz für Hochdruck– Walzenmühlen, ZKG– International, 50 (1997) 10, pp. 529– 539.
4. *A. c. 1328229 СССР*, МКИЗ В 30 В 11/16. Пресс для брикетирования сыпучих материалов [Текст] / В.Ф.Тарасенко, В.А.Носков, Л.А.Тубольцева (СССР). – № 4072049/22–27 ; заявл. 27.03.86 ; опубл. 07.08.87.
5. *United States Patent 4,337,023*, Int.Cl. B29C 3/02; B29C 15/00. Roller press for compacting and briquetting of bulk material / Heins Koppem, Hans– Georg Bergendahl, Hartmut Rieschel, Friedhelm Coch; Assignee: Maschinenfabrik Koppem GmbH & Co. KG. – Appl. No.: 261,700; Filed: May 8, 1981; Jun. 29, 1982.
6. *United States Patent 4,097,215*, Int.Cl. B29C 1/00; B29C 3/02. Segmented briquetting roll / Karl R. Komarek; Assignee: K. R. Komarek, Inc. – Appl. No. 796,223; Filed: May 12, 1977; Jun. 27, 1978.
7. *United States Patent 3,907,486*, Int.Cl. B29C 3/02. Means for internally cooling briquetting machine rolls and segment / Frank Kennedy; Assignee: United States Steel Corporation. – Appl. No. 516,557; Filed: Oct 21, 1974; Sept. 23, 1975.
8. *Пат. 2116201* Российская Федерация, МПК67 В 30 В 11/18. Валок брикетировочного пресса / Буркян С.П.; заявитель и патентообладатель С.П.Буркян, Ю.Н.Логинов, Н.А.Бабайлов, Л.И.Полянский, Д.М.Сергеев. – №95122609/02; заявл. 26.12.95; опубл. 27.07.98.
9. *Testing the relative wear characteristics of different alloys for roller press forming elements by Dr. Roman T. Dec, Prof. Marek Hryniewicz, Richard K. Komarek* (30th Biennial Conference of the Institute for Briquetting and Agglomeration, Savannah, GA, Proceedings, Vol.30, October 21–24, 2007, pp.130– 139).
10. *Hotter A., Theisen W., Broeckmann C.* Quenching Simulation of PM Coated Tools // Transactions of materials and heat treatment proceedings of the 14– th IFHTSE congress. – Vol.25, No.5, October 2004. – pp.752–757.
11. *Broeckmann C., Hotter A., Packeisen A.* Cladding of briquetting tools by hot isostatic pressing for wear resistance // International Journal of Powder Metallurgy. – 2008. – 44 (5). – P.49– 56.
12. *Носков В.А.* Опыт освоения промышленного комплекса брикетирования отсегов ферросплавов на ОАО «НЗФ» / В. А. Носков, К. В. Баюл, В. А. Неведомский // XIII Международная научно– практическая конференция «Экология и здоровье человека. Охрана воздушного и водного бассейнов. Утилизация отходов». Сборник научных статей. – Том II. – Харьков. – 2005. – С.243–247.
13. *A. c. 1335483 СССР*, МКИЗ В 30 В 11/18. Пресс для брикетирования порошкообразных материалов [Текст] / В.А.Носков, В.Ф.Тарасенко, Б.Н.Маймур (СССР). – № 3991291/22–27; заявл. 16.12.85; опубл. 07.09.87.
14. *Носков В.А.* Исследование влияния конфигурации формирующих элементов на напряженно– деформированное состояние и параметры уплотнения мелкофракционных шихт / В.А.Носков, К.В.Баюл // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2005. – № 2. – С.104–108.
15. *Носков В.А.* Исследование уплотнения и напряженно– деформированного состояния мелкофракционных шихт в валковом прессе / В.А.Носков, К.В.Баюл, И.В.Харун // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2006. – №4. – С.142–146.

16. *Носков В.А.* Оценка влияния конфигурации формирующих элементов на энергосиловые параметры брикетирования в валках / В.А.Носков, К.В.Баюл // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии. Сб.научн.трудов ИЧМ НАН Украины. – Вып. 14. – 2006. – С.278–285.
17. *Носков В.А.* Исследование напряженного состояния и характера износа бандажей брикетировочных валковых прессов / В.А.Носков, К.В.Баюл // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2007. – №1. – С.78–82.
18. *Разработка* параметров формирующих элементов валковых прессов для брикетирования мелкофракционных металлургических отходов [Текст] [Рукопись]: диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук / К.В.Баюл; научн. рук. В.А.Носков; НМетАУ. – Днепропетровск, 2008. – 173 с. – Библиогр.: с. 158–172. – (в пер.) На правах рукописи.

*Статья рекомендована к печати:*

*Ответственным редактором  
раздела «Металлургическое машиноведение»  
академиком НАН Украины В.И.Большаковым*

### ***К.В.Баюл***

#### **Аналіз умов експлуатації, зносу та конструктивних особливостей валків брикетних пресів**

Метою роботи є аналіз та узагальнення інформації про умови експлуатації, зносі та конструктивних особливостях валків брикетних пресів. Виконано оцінку чинників, що впливають на знос та тривалість роботи валків брикетних пресів. Розглянуто вплив конструктивного виконання валків на їх експлуатаційні характеристики. Визначено база для створення розрахунково–аналітичного апарату прогнозування зносу бандажів, що дозволить на стадії проектування пресового обладнання встановити допустимий ступінь зносу робочої поверхні бандажів та розробити технічні рішення й рекомендації щодо подовження ресурсу їх експлуатації.