

- Pugachev, Yu.G. Voronov // Stal'. - 1966. - №10. - С. 883-884. (Rus.)
3. Bol'shakov, V.I. An evaluation of the surface of the grist hopper center of charge relative to the blast furnace / V.I. Bol'shakov, I.G. Murav'eva, Yu.S. Semenov, S.T. Shuliko // Metallurg. i gornorud. prom-st. - 2006. - №2. - С. 106-111. (Rus.)
4. Brusov, A.L. Effect of rotation frequency distribution of the element in the circumferential distribution of the charge / A.L. Brusov, A.F. Rybtsov, A.A. Bachinin i dr. // Izv. vuz. Chernaya metallurgiya. - 1987. - №9. - С. 19-22. (Rus.)
5. Bugaev, K.M. Influence the distribution of the blast to the tuyeres for gas flow in blast furnace / K.M. Bugaev, V.M. Antonov, G.V. Varshavskiy i dr. // Stal'. - 1987. - №2. - С. 17-22. (Rus.)
6. Listopadov, V.S. Investigation of the effect of gas flow distribution on the evenness of the gathering of materials on the circumference of blast furnace / V.S. Listopadov, K.A. Dmitrenko, A.A. Paranosenkov, N.M. Zagorovskaya // Metallurg. i gornorud. prom-st'. - 2008. - №6. - С. 11-15. (Rus.)
7. Mozhareno N.M. Investigation of the effect of gas flow distribution in a circle on the laws of descent of the materials in a "dry" area of the blast furnace / N.M. Mozhareno, A.A. Paranosenkov, N.M. Zagorovskaya // Metall i lit'e Ukrainy. - 2008. - №3-4. - С. 5-7. (Rus.)

Рецензент: А.А. Ищенко  
д-р техн. наук, профессор, ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 9.11.2011

УДК 621.746.393

©Лоза А.В.<sup>1</sup>, Чигарев В.В.<sup>2</sup>, Шишкин В.В.<sup>3</sup>, Рассохин Д.А.<sup>4</sup>

**О ВЛИЯНИИ КРЕМНИЯ И МАРГАНЦА НА СВОЙСТВА  
СЕРОГО ЧУГУНА И СТОЙКОСТЬ КРУПНЫХ СЛЯБИНГОВЫХ  
ИЗЛОЖНИЦ С БАНДАЖАМИ**

*В статье исследовано влияние кремния и марганца на структуру и свойства серого чугуна, предназначенного для изготовления изложниц. Установлено соотношение между этими элементами, которое позволяет получить заданные свойства чугуна и повышенный ресурс работы изделий из него.*

**Ключевые слова:** чугун, структура, кремний, марганец, изложница, механические свойства, напряжения, трещины.

*Лоза А.В., Чигарев В.В., Шишкин В.В., Рассохин Д.А. Вплив кремнію і марганцю на властивості сірого чавуну і стійкість великих слябінгових виливниць з бандажем. У статті досліджено вплив хімічних елементів кремній та марганець на структуру і властивості сірого чавуну при виготовленні виливниць. Встановлено співвідношення між цими елементами, яке дозволяє отримати задані властивості чавуну і підвищений ресурс роботи виробів.*

**Ключові слова:** чавун, структура, кремній, марганець, виливниця, механічні властивості, напруги, тріщини.

*A.V. Loza, V.V. Chigarev, V.V. Shishkin, D.O. Rassokhin. Influence of silicon and manganese upon the properties of gray cast iron and service life of moulds of slab rolling mills, equipped with shrouds. In the article was investigated the influence of chemical elements like silicon and manganese on gray cast iron structure and properties for casting molds production. The relationship between these elements, allowing obtaining of the specified properties of iron and increasing molds lifetime, is determined.*

<sup>1</sup> ассистент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

<sup>2</sup> д-р техн. наук, профессор, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

<sup>3</sup> к.т.н., доцент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

<sup>4</sup> аспирант, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

*Key words: cast iron structure, silicon, manganese, molds, mechanical properties, stress cracks.*

**Постановка проблеми.** Применение чугуна с повышенным содержанием легирующих элементов является одним из методов изменения его структуры и свойств при производстве изложниц для разливки стали. Для изложниц крупного развеса основными химическими элементами, определяющими эксплуатационные свойства материала изложницы, обычно являются кремний и марганец. Их содержание, как правило, регламентируется стандартами предприятий-изготовителей изложниц в определенных пределах. При этом производители ориентируются на выпуск продукции со среднестатистическими показателями стойкости изложниц. В то же время, даже в пределах допускаемого стандартами химического состава возможно получение различных соотношений основных химических компонентов, при которых может быть обеспечены как обычные, так и повышенные сроки эксплуатации изложниц, а также различные затраты на их ремонт.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Научно-практические аспекты исследований о влиянии химического состава на структуру чугуна рассмотрены в научных работах отечественных и зарубежных исследователей. Значительный вклад в решение данной проблемы внесли Абрамов В.В., Курганов В.А., Кукса А.В., Черкасов Л.М., Лесовой В.В., Краузе Л.А., Стец П.Д., Берестовецкий В.Л., и др.

Решение вопроса получения требуемой структуры чугуна для обеспечения максимальной стойкости изложниц связано с особенностями технологии их производства и эксплуатации. К изложницам различного сортамента предъявляются различные требования в отношении их прочности и аккумулирующей способности. Наибольшее количество исследований до настоящего времени выполнено применительно к изложницам среднего развеса, предназначенных для выпуска слитков сортового проката. В то же время на украинских предприятиях в значительных масштабах эксплуатируются изложницы, используемые для производства слитков крупного развеса (от 18 тонн и более). Их стойкость может быть увеличена при условии соблюдения определенной технологии производства и эксплуатации. При анализе возможности совершенствования существующей технологии изготовления изложниц необходимо учитывать прежде всего следующие факторы:

- 1) выбор оптимальной конструкции изложницы;
- 2) качество исходного чугуна для изготовления изложниц;
- 3) желательность внесения минимальных изменений в существующую технологию производства изложниц;
- 4) необходимость увеличения стойкости по наиболее часто встречающимся дефектам;
- 5) необходимость выбора технологии производства изложниц, обеспечивающей минимальные затраты на их производство и ремонт.

Общей характерной особенностью работы чугунных слябинговых изложниц является наличие несимметричных нагрузок и напряжений в их стенках, характерных как для стадии производства, так и для дальнейших стадий эксплуатации в различных периодах. Основными причинами выхода изложниц из строя являются: сквозные продольные трещины, сетка разгара и сколы нижнего торца на внутренней поверхности. Тяжелый режим эксплуатации при разливке стали в мартеновском и конвертерном цехе накладывает жесткие требования как на конструкцию изложницы, так и на материалы, из которых она изготавливается. При этом наличие бандажей в изложнице не вносит принципиальных изменений в схему её нагружения и условия работы. Главной характерной особенностью тепловой работы изложницы в процессе эксплуатации являются быстро нарастающие циклически повторяющиеся односторонние нагревы и последующие охлаждения, которые вызывают напряжения в материале стенок. Если эти напряжения достигают критических значений в какой-либо области изложницы, происходит образование дефектов: трещин и сколов, начинающихся на поверхности. Продольные трещины, как правило, берут начало на верхнем торце изложницы и развиваются по ее высоте. Для изложниц с неодинаковой толщиной стенки по периметру, например тип У1, максимальное количество трещин характерно для стенок с меньшей толщиной, т.е. по узкой грани изложницы. Поэтому технология производства изложниц должна быть построена таким образом, чтобы по узкой

грани изложницы материал стенки обеспечивал высокую устойчивость к резким сменам температуры.

**Цель статьи** – исследовать влияние кремния и марганца на механические свойства и структуру серого чугуна. Это позволит оптимизировать содержание указанных элементов с целью увеличения срока службы чугунных изделий, в частности - изложниц.

**Изложение основного материала.** Выбор материала для отливки изложниц в настоящее время ограничивается двумя марками: 1) чугун с пластинчатым графитом; 2) высокопрочный чугун с шаровидным графитом. Общие принципы выбора материала для производства изложниц следующие: 1) высокий уровень температурного порога циклической вязкости, 2) возможно более низкие значения коэффициента температурного расширения и модуля упругости, 3) повышение характеристик прочности, пластичности и циклической вязкости материала. Первым двум требованиям удовлетворяет чугун с пластинчатым графитом. Однако форма графита и металлическая основа чугуна могут отличаться для разных его марок в значительной степени.

Свойства серого передельного чугуна определяются содержанием в нем C, Si, Mn, P, S, и условиями производства самого чугуна на различных доменных печах в различные периоды. По мнению исследователей, составу чугуна принадлежит наиболее важная роль в определении его механических свойств. Влияние состава проявляется главным образом в изменении структуры чугуна, однако известное значение имеет также состав фаз, особенно твердых растворов. Важнейшими элементами, влияющими на механические свойства и структуру чугуна, являются углерод и кремний, причем во всех случаях, главное и наиболее интенсивное воздействие, по опубликованным данным, оказывает углерод [1, 2, 3]. По литературным данным, повышение содержания углерода в сером чугуне приводит в общем к уменьшению прочности, модуля упругости и твердости, и к увеличению пластичности и циклической вязкости. Абсолютное содержание и соотношение указанных химических элементов определяют строение металлической основы, характер распределения и строение графитовой фазы чугуна. Содержание углерода в чугуне определяется технологией ведения доменной плавки.

Наиболее важным в практическом отношении легирующим элементом, по опубликованным данным [2], является кремний, который вместе с углеродом оказывает наибольшее влияние на структуру и свойства чугуна. Оценивая влияние легирующих элементов, в первую очередь, кремния, на кристаллизацию матрицы чугуна, следует учитывать не только среднее содержание его в металле, но также характер и степень микроликвации, образуемой в процессе кристаллизации. Вследствие неравномерного распределения элементов, в том числе кремния, процессы кристаллизации происходят неодновременно по всему объему и развиваются в разной степени, что приводит часто к образованию различных структур в соседних микрообъемах [4]. Практикой эксплуатации изложниц установлено, что содержание кремния в чугуне изложниц на нижнем пределе (до 0,6 %) приводит к отбелу чугуна в стенках изложниц и ухудшает их стойкость против образования трещин. Существует наиболее оптимальный интервал содержания кремния в чугуне, применяемом для производства изложниц. По опубликованным данным различных авторов, он соответствует содержанию кремния 0,9-1,2 %. Однако данные, полученные авторами статьи в результате исследований, и анализа работы крупных слябинговых изложниц на одном из меткомбинатов Украины за несколько лет, показывают, что для сортамента применяемых изложниц типа У-1 оптимальное содержание кремния зависит от условий эксплуатации изложниц. При завышенном содержании кремния и длительном времени пребывания изложницы в контакте с кристаллизующимся слитком интенсивнее развиваются окислительные процессы при температурах эксплуатации изложниц, которые способствуют росту чугуна и образованию сетки разгара. Рост чугуна при содержании кремния выше 1,1% напрямую способствует образованию и развитию трещин. По литературным данным, повышенное содержание кремния в доменном чугуне обуславливает в его структуре легирование феррита этим элементом, что обеспечивает более низкие механические свойства чугуна при нормальных и повышенных температурах за счет большой склонности к трещинообразованию. Поэтому фактическое содержание кремния в чугуне рекомендуется получать в интервале 0,6-1,1 %.

Среди других элементов на свойства чугуна в первую очередь оказывает влияние марганец. Проведенными ранее исследованиями установлено положительное влияние повышенного содержания марганца на прочностные свойства чугуна и эксплуатационную стойкость излож-

ниц. Содержание марганца влияет на комплекс механических свойств чугуна. Марганец, начиная с содержания 0,7 %, заметно повышает твердость чугунов всех типов, особенно в тех случаях, когда он действует не только как легирующий, но и как антиграфитизирующий элемент. Марганец, повышая растворимость углерода в железе, замедляет образование графита, что оказывает положительное влияние на жаростойкость чугуна изложниц. Содержание марганца на верхнем пределе в передельном чугуне способствует перлитизации матрицы и снижению коэффициента линейного расширения, задерживает или полностью предотвращает разложение эвтектоидных карбидов, увеличивая стойкость изложниц против разгара. В то же время, анализ показывает, что по условиям производства на металлургических комбинатах, содержание марганца в жидком чугуне на выпуске из доменной печи, как правило – пониженное. По литературным данным [5, 6], максимальную стойкость имеют изложницы с содержанием марганца 0,8-1,2 %. Однако валовые показатели промышленных плавов по содержанию марганца, после корректировки его химического состава в отделении доводки жидкого чугуна, на ряде предприятий дают диапазон изменения его содержания 0,43-0,92 %. По имеющимся данным, характеристики прочности, пластичности и вязкости серого чугуна сначала повышаются при увеличении содержания марганца, а затем падают, вследствие возрастания неоднородности структуры, образования карбидов и увеличения внутренних напряжений. Падение пластичности и вязкости обычно начинается уже при концентрациях 0,7% Mn, а прочности – при 1,0-1,2 %, хотя пределы эти для прочности в сильной степени зависят от состава чугуна и условий производства: они повышаются, например, при увеличении содержания углерода и кремния [1]. Поэтому в условиях действующего производства задача стоит в определении наиболее оптимальных соотношений химических элементов в составе чугуна с тем, чтобы они обеспечивали наилучший комплекс его свойств и более длительный срок эксплуатации изложниц.

Для установления зависимости стойкости изложниц от колебаний химического состава чугуна исследовали пробы (образцы) доменного передельного чугуна различных плавов, и контролировали технологию производства чугунных изложниц со стальными бандажами. Количество основных химических элементов в чугуне варьировалось в пределах диапазона, ограниченного стандартом металлургического комбината (СТП). После передачи изложниц в эксплуатацию их техническое состояние фиксировалось через равные промежутки эксплуатации, а стойкость оценивалась по общему количеству наливов.

При исследовании образцов доменного чугуна проводили химический анализ металла, визуальный осмотр изломов, исследование микроструктуры. Микрошлифы для металлографического исследования изготавливались в поперечном сечении образцов. Микроструктура была изучена на оптическом микроскопе до и после травления 4%-ным спиртовым раствором азотной кислоты при увеличении  $\times 100$ ,  $\times 500$ . Микроструктура оценивалась по ГОСТ 3443-87. По внешнему виду сопряженных поверхностей изломов было оценено кристаллическое строение, неоднородность макростроения, наличие зон крупнокристаллического и мелкокристаллического строения (рис. 1).

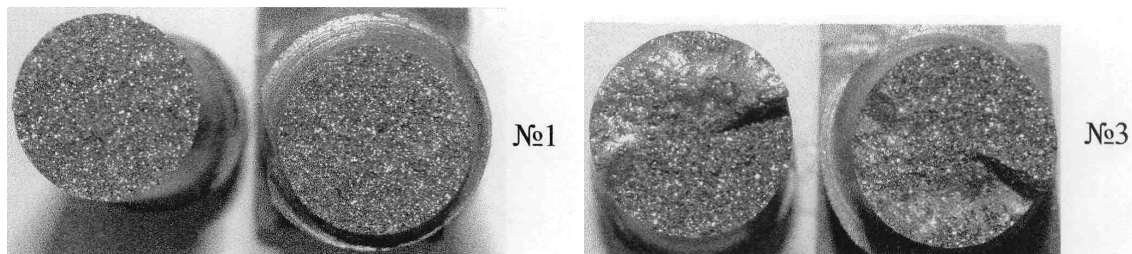


Рис. 1 - Поверхности изломов исследованных образцов чугуна

Анализ макроструктуры исследованных образцов показывает, что при одинаковой технологии производства изложниц, даже при незначительных колебаниях содержания элементов Si и Mn в химическом составе исходного чугуна, изломы образцов могут быть различными по кристаллическому строению, а также иметь различное количество усадочных дефектов. Количество пор в макроструктуре зависит от содержания C, Si, Mn. При анализе образцов от различных изложниц отмечены случаи, когда изменения структуры чугуна происходили при из-

менении указанных элементов даже на 0,15-0,20 %.

Структура чугуна по всей высоте толстостенных слябинговых изложниц (кроме краевых участков) в большинстве случаев имеет вид, представленный на рис.2.

Установлено, что каждому из двух приведенных типов структуры соответствует определенное соотношение химических элементов, прежде всего Mn и Si. Соотношение данных элементов влияет на размер и форму графитовых включений. При этом наличие графита в чугуне (особенно пластинчатого) всегда создает внутренние надрезы. Из двух сравниваемых структур серого чугуна в структуре 1-го типа (рис.2 а) графитовые включения оказывают меньшее «надрезывающее» влияние на металлическую основу чугуна. В то же время, в структуре 2-го типа (рис.2.б) острее край графитовых включений. Это может приводить к локальному повышению напряжений в металле при механических и температурных нагрузках. Теоретически такая структура хуже сопротивляется процессу образования и роста трещин. Возможно поэтому серый чугун с пластинчатым графитом характеризуется сравнительно низкой прочностью и очень низкой пластичностью.

При прочих равных условиях производству образованию структуры 1-го типа способствует химический состав чугуна, в котором Mn/Si находится в пределах 0,75-1,0. Второй тип структуры (рис.2.б) в условиях промышленного производства толстостенных отливок получается за пределами указанного соотношения Mn/Si.

Исследования проб чугуна показали, что включения графита в металле образцов имеют пластинчатую прямолинейную форму. Однако различие в размерах графитовых включений может составлять от 45-90 мкм до 750 мкм. Такая разница в размерах, возможно, объясняется наличием крупнокристаллической и мелкокристаллической зон в изломе образцов. У всех исследованных образцов микроструктура металлической основы состоит из пластинчатого перлита и феррита. При этом дисперсность перлита у различных образцов может изменяться от 0,5 до 1,5 мкм.

Для изучения влияния структуры серого чугуна на стойкость слябинговых изложниц было проведено исследование работы промышленной партии изложниц. В целях более объективной оценки работы изложниц информация по тем из них, которые были выпущены с отклонениями от установленной технологии, в расчет не принималась.

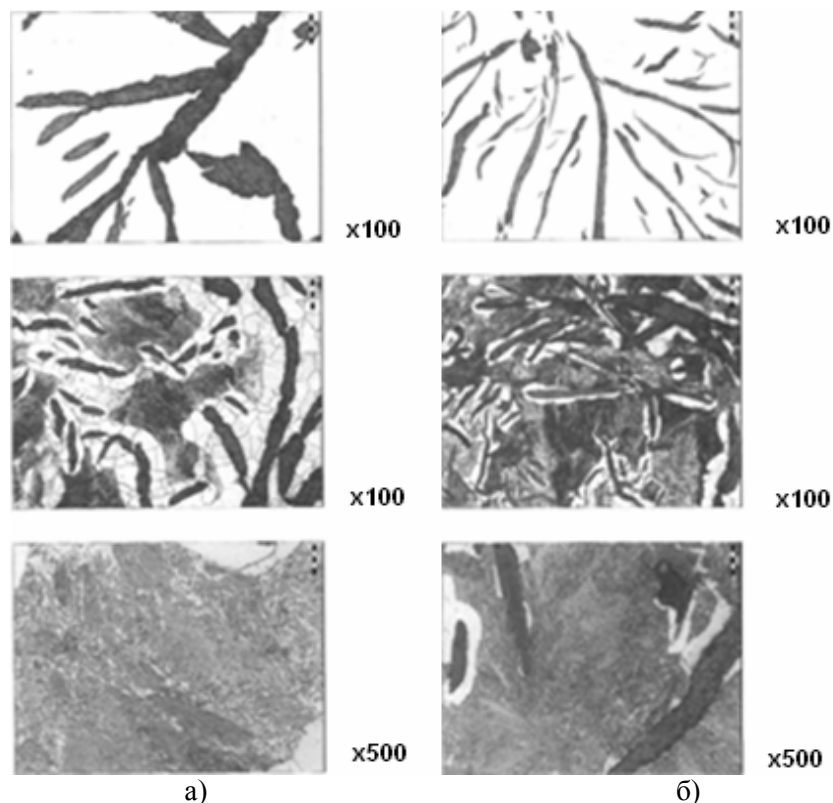


Рис. 2 - Структура чугуна с пластинчатым графитом

Анализ работы парка изложниц за период в несколько месяцев показал, что изложницы с незначительными различиями в химическом составе, но различной структурой чугуна, как правило, имеют значительную разницу в сроках службы. Показатели стойкости исследованной партии чугунных изложниц представлены на рис.3.

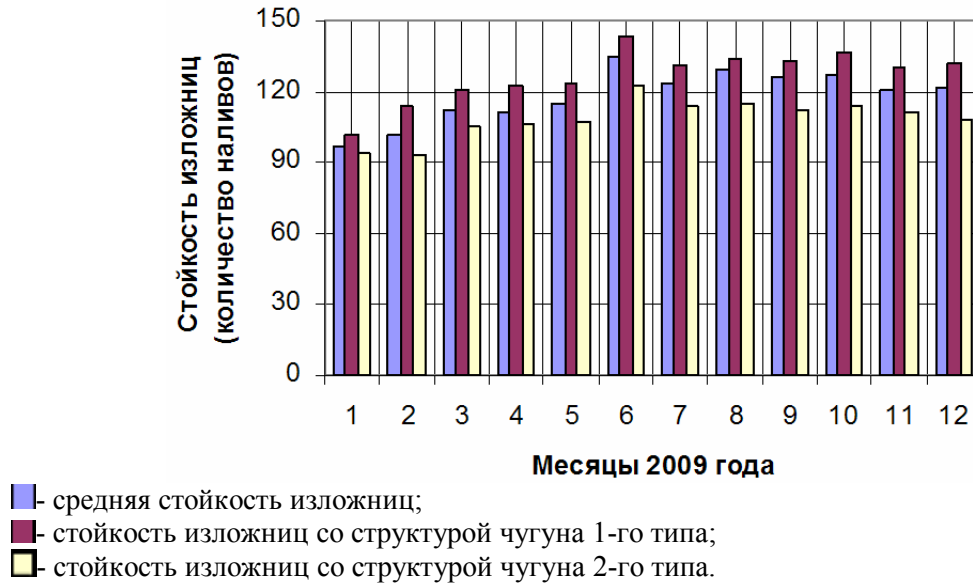


Рис. 3 - Стойкость 18-ти чугунных изложниц по месяцам 2009 г.

Согласно опубликованным данным, чугун с различной структурой имеет также и различный уровень механических свойств, установленных по результатам механических испытаний [7].

Оценивая возможное влияние изменения химсостава чугуна на его механические свойства, можно предположить, что не существует как однозначных рекомендаций по точному содержанию всех химических элементов в чугуне, так и требований к его повышенным механическим свойствам. Очевидно, имеется оптимальный уровень прочностных свойств, обеспечивающий длительную эксплуатационную стойкость изложниц.

Таким образом, при решении проблемы повышения стойкости изложниц, главная задача состоит в создании условий для получения заданной структуры. Требуемая структура чугуна может быть обеспечена заданным химическим составом и определенным соотношением основных химических элементов. Такой состав чугуна позволяет получить наиболее благоприятный комплекс свойств чугуна для изделий, работающих в условиях значительных температурных градиентов.

### Выводы

1. Важным показателем изделий из серого чугуна является содержание основных элементов химического состава: С, Mn и Si. Регулированием соотношения Mn/Si возможно обеспечить получение требуемой структуры чугуна и соответствующих этой структуре свойств. Это позволяет увеличивать ресурс работы изделий из чугуна.
2. Для изделий из серого пердедельного чугуна, например, толстостенных чугунных отливок, соотношение Mn/Si в пределах 0,75-1,0 обеспечивает благоприятную структуру чугуна с пластинчатым графитом и повышенную стойкость при эксплуатации в условиях высоких температур.
3. При дальнейшем совершенствовании технологии производства чугунных изделий в направлении снижения расхода материалов можно получить необходимые свойства металла при меньшем расходе легирующих за счет соблюдения рекомендованного соотношения Mn/Si.

### Список использованных источников:

1. Гиршович Н.Г. Кристаллизация и свойства чугуна в отливках / Н.Г. Гиршович // Изд-во Машиностроение. – 1966. – С.562.

2. Фомин С.Ф. Влияние некоторых факторов на трещинообразование в чугунных изложницах / С.Ф. Фомин // Теплофизика в литейном производстве. – Минск : Изд-во Академии наук БССР, 1963. – С. 260-264.
3. Горев К.В. Кристаллизация чугуна в зависимости от содержания углерода и кремния / К.В. Горев, Э.Н. Проскурина // Теплофизика в литейном производстве. – Минск: Изд-во Академии наук БССР, 1963.- С. 430-454.
4. Неижко И.Г. Графитизация и свойства чугуна/ И.Г. Неижко // Киев : Наукова думка, 1989.- 204 с.
5. Лесовой В.В. Связь химического состава и структуры доменного передельного чугуна со стойкостью изложниц / В.В. Лесовой, Л.А. Краузе, В.Л. Берестовецкий и др. // Повышение стойкости изложниц: сб. науч. работ// М. : Metallurgiya. 1975, №3.- С.10-22.
6. Кукса А.В. Чугунные сталеразливочные изложницы / А.В. Кукса // М. : Metallurgiya. 1989. - 151 с.
7. Лоза А.В. Исследование свойств чугунных слябинговых изложниц в зоне образования трещин / А.В. Лоза, В.В. Шишкин //Захист металургійних машин від поломок: зб. наук. пр. / ПДТУ. – Маріуполь, 2008. - Вип. 10. - С.37-41.

#### **Bibliography:**

1. N. G. Girshovich Crystallization and properties of cast iron in castings / N. G. Girshovich // M.: Mashinostroenie. – 1966. - P. 562. (Rus.)
2. S. F. Fomin The influence of some factors on the crack in cast iron molds / S. F. Fomin // Thermophysics in foundries. - Minsk: Izd Byelorussian Academy of Sciences, 1963. - P. 260-264. (Rus.)
3. K.V. Gorev Crystallization of iron, depending on the carbon and silicon / K.V. Gorev, E.N. Proskurina // Thermophysics in foundries. - Minsk: Izd Byelorussian Academy of Sciences, 1963. - P. 430-454. (Rus.)
4. I.G. Neizhko. Graphitization and properties of iron / I.G. Neizhko // Kiev: Naukova Dumka, 1989. - 204p. (Rus.)
5. V.V. Lesovoy, L.A. Krause, V.L. Berestovetsky Relationship of chemical composition and structure of pig iron from blast resistant mold / V.V. Lesovoy, L.A. Krause, V.L. Berestovetsky etc. // Increased resistance of molds: Sat. scientific. work // Moscow: Metallurgiya. 1975, № 3. - P.10-22. (Rus.)
6. A.V. Kuksa Cast iron casting molds / A.V. Kuksa // Moscow: Metallurgiya. 1989. – 151 p.
7. A.V. Loza. Investigation of the properties of cast-iron molds slyabingovyh in the area of cracking / A.V. Loza, V.V. Shishkin // Zahist metalurgiynih machine breakdowns vid: ST. of Sciences. Ave / PDTU. - Mariupol, 2008. - № 10. - P.37-41. (Rus.)

Рецензент: А.Д. Размышляев  
д-р техн. наук, проф. ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 19.10.2011

УДК 621.86.001.66

©Карпенко Т.М.,<sup>1</sup> Лоза О.А.,<sup>2</sup> Якименко Н.Г.<sup>3</sup>

### **КОНСТРУЮВАННЯ ПІДЙОМНО-ТРАНСПОРТНИХ МАШИН З ВРАХУВАННЯМ ГАЛЬМУВАННЯ**

*Робота присвячена дослідженню процесів руху і гальмування підйомних механізмів барабанного типу вантажопідйомних і металургійних машин з метою раціонального поєднання інерційних конструктивних і дисипативних параметрів, які забезпечать повернення робочого органу в вихідне положення при вимкненому двигуні.*

**Ключові слова:** рівняння Лагранжу II роду, контрвантаж, потенційна енергія, канат, шахтна кліть, шибер, Mathcad.

<sup>1</sup> канд. фіз.-мат. наук, доцент, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь

<sup>2</sup> канд. техн. наук, доцент, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь

<sup>3</sup> студентка ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь