

## **Системный подход к исследованию теплофизических процессов литья**

*С целью совершенствования традиционных и разработки новых технологий получения массивных отливок и слитков высокого качества выявлены особенности теоретического и экспериментального исследования высокотемпературных процессов литья.*

**Ключевые слова:** отливки, слитки, затвердевание, гранулы, плавление, системный анализ.

**В** литейном и металлургическом производстве широко применяют [1] различные методы экспериментального и теоретического изучения процессов формирования литых изделий разной массы, конфигурации и назначения. Результаты исследований используют для совершенствования традиционных технологий литья и разработки принципиально новых технологий получения конкурентоспособных литых изделий высокого качества с заданным уровнем их физико-механических и эксплуатационных свойств. При этом следует учитывать экономическую целесообразность проведения экспериментальных и теоретических исследований теплофизических процессов литья для получения информации о температурном состоянии литых заготовок и литейных форм.

Если результаты теоретического изучения взаимосвязанных процессов нагрева и плавления, охлаждения и затвердевания металлов и сплавов адекватно отражают закономерности нестационарного теплообмена между литой заготовкой и формой и между формой и окружающей средой, то теоретическое исследование является более эффективным, чем трудоемкое экспериментальное исследование высокотемпературных процессов литья.

Однако немногочисленные экспериментальные данные, полученные при изучении температурных режимов литья, полезно использовать для проверки на адекватность (соответствие) математических моделей затвердевания и плавления реальным условиям нестационарного теплообмена при литье. Кроме того, необходимо проверять, как согласуются результаты многовариантных расчетов температурных полей с известными экспериментальными данными термометрирования затвердевающих слитков и отливок или с достоверными результатами специально проведенных контрольных опытов по измерению температуры в системах отливка-форма, слиток-изложница, заготовка-кристаллизатор.

Наукоемкие теоретические исследования теплофизических процессов литья с применением быстродействующих персональных компьютеров (ПК) весьма актуальны, так как являются более информативными и экономичными, чем металло-, материало- и энергозатратные экспериментальные исследования высокотемпературных процессов литья. Теоретическое исследование фазовых переходов (затверде-

вание и плавление) способствует проведению системного анализа многофакторных теплофизических процессов формирования литых заготовок в разных технологиях литья, к которым относятся:

а) технологии литья в многоразовые постоянные металлические формы, в том числе [2-6]: кокильное литье, литье под давлением, центробежное литье, непрерывное литье и отливка слитков в изложницы;

б) технологии литья в неразрушаемые полупостоянные и разрушаемые одноразовые неметаллические формы, в том числе [7-11]: литье в графитовые формы, литье в песчаные формы, оболочковое литье в керамические формы, литье по выплавляемым моделям и литье по газифицируемым моделям.

Системный (комплексный) подход к проведению фундаментальных теоретических исследований многофакторных теплофизических процессов формирования широкой номенклатуры слитков и отливок, с применением современных компьютеров, имеет неоспоримые преимущества по сравнению с экспериментальным изучением высокотемпературных тепловых процессов литья, так как позволяет:

– применить методы математического моделирования к прогнозированию температурных полей в системе затвердевающая заготовка-литейная форма;

– получить для разных технологий литья закономерности теплообмена в системах слиток-изложница, отливка-форма и заготовка-кристаллизатор;

– выявить особенности внешнего и внутреннего теплообмена в процессе затвердевания слитков, отливок, центробежно- и непрерывнолитых заготовок;

– обобщить теоретические и экспериментальные данные по кинетике и времени затвердевания литых заготовок в исследуемых технологиях литья;

– сформулировать теплофизические механизмы затвердевания литых заготовок в разных условиях теплообмена между слитком и изложницей, отливкой и формой, непрерывнолитой заготовкой и кристаллизатором машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ).

Особенности теплоотдачи от жидкого и кристаллизующегося металла к стенкам металлических и неметаллических форм легче выявить с помощью системного анализа [12-15] процесса затвердевания отливок в постоянных, полупостоянных и разовых литейных формах и процесса затвердевания машиностроительных (кузнечных) и металлургических

(прокатных) слитков в изложницах. Это позволяет сопоставить интенсивность теплопередачи в зоне контакта слитка с изложницей и отливки с металлической или неметаллической формой, а также оценить эффективность влияния интенсивности теплообмена на теплофизические условия формирования структуры литого металла, на качество литых заготовок разной массы и на их геометрические размеры.

Обобщенный метод системного анализа многофакторных процессов литья полезно применять для расчетной оценки степени влияния теплового потока от жидкого и кристаллизующегося металла на характер распределения температуры по толщине (или радиусу) литых заготовок, с целью управления кинетикой их затвердевания и шириной двухфазной зоны кристаллизации металлических сплавов в температурном интервале ликвидус-солидус.

Системный анализ закономерностей теплообмена [16] между литой заготовкой и металлической формой (кокиль, изложница или кристаллизатор) и неметаллической формой (песчаная, керамическая или графитовая форма) позволяет выявить теплофизические особенности процессов кристаллизации узко- и широкоинтервальных сплавов и затвердевания отливок, слитков и непрерывнолитых заготовок разной массы и геометрии. Это способствует поиску технологических резервов интенсификации внешнего теплообмена между отливкой и формой, слитком и изложницей, заготовкой и кристаллизатором.

Например, при кокильном литье между затвердевающей отливкой и высокотеплопроводным толстостенным или тонкостенным кокилем реализуется интенсивный процесс теплообмена. При нагреве кокиля тепловым потоком от жидкого и кристаллизующегося металла распределение температуры по толщине кокиля не сильно отличается от равномерного распределения. Поэтому между поверхностью затвердевающей отливки и внутренней (рабочей) поверхностью толстостенного кокиля сохраняется относительно большой температурный напор (перепад температуры в зоне теплового контакта отливки с кокилем).

Металлические кокили имеют высокую теплоаккумулирующую способность и теплопроводность. Поэтому процесс внешнего теплоотвода от затвердевающей отливки через стенки кокиля в окружающую среду является высокоинтенсивным. Контактующие с поверхностью отливки рабочие слои массивного кокиля разогреваются не очень быстро, так как значительная часть теплоты, которая получена кокилем от затвердевающей отливки, легко отводится через его высокотеплопроводные стенки в окружающую среду.

Однако при литье в песчаные формы интенсивность теплообмена между затвердевающей отливкой, формой и окружающей средой значительно слабее, чем при литье в кокиль. По толщине низкотеплопроводных стенок песчаной формы температура распределена очень неравномерно за весь период затвердевания отливки и ее охлаждения в форме. Рабочие слои песчаной формы очень быстро разогреваются до высоких температур тепловым потоком от жидкого металла, тогда как наружные слои формы нагреваются значительно медленнее. Сильно нагре-

тые рабочие слои низкотеплопроводной песчаной формы затормаживают процесс внешнего теплообмена при передаче теплоты от затвердевающей отливки через стенки формы в окружающую среду.

Из-за низкой теплоаккумулирующей способности и теплопроводности песчаных форм их быстро нагретые рабочие слои сохраняют высокую температуру в процессе затвердевания отливок. Поэтому между поверхностью затвердевающей отливки и внутренней (рабочей) поверхностью песчаной формы образуется маленький температурный напор (перепад температуры в зоне контакта отливки с формой), что резко уменьшает интенсивность теплообмена в системе затвердевающая отливка-песчаная форма-окружающая среда. Это является основной причиной медленного процесса затвердевания массивных отливок в обычных песчаных формах.

Невысокая скорость затвердевания отливок в литейных формах на основе кварцевого песка приводит к очень низкой производительности традиционной технологии литья в песчаные формы. Поэтому необходимо существенно ускорить процесс затвердевания толстостенных отливок в газопроницаемых и податливых, но низкотеплопроводных песчаных формах за счет применения внешних воздействий на жидкий и кристаллизующийся металл.

Поиск простых и достаточно надежных путей значительного повышения производительности литейно-металлургических технологий [17, 18] получения слитков, массивных отливок, центробежно- и непрерывнолитых заготовок и выбор наиболее эффективных технологических способов улучшения качества литых изделий целесообразно проводить с помощью научно обоснованных теоретических, экспериментальных или комбинированных методов системного исследования сложных теплофизических процессов литья.

К прогрессивным способам теплофизического воздействия на процесс кристаллизации сплавов относятся [1, 19, 20] введение микрохолодильников в перегретый над температурой ликвидуса металлический расплав. С помощью системного анализа температурного состояния теплоаккумулирующих гранул и окружающего расплава можно выявить [21-23] теплофизические особенности процессов нагрева и плавления твердых добавок за счет внутреннего теплообмена между жидким металлом и равномерно распределенными в нем микрохолодильниками. Для этого необходимо оценить полное время плавления гранул в расплаве с учетом намерзания на них и последующего расплавления твердой корочки, которая образуется на поверхности гранул при тепловом взаимодействии частиц-микрохолодильников с жидким металлом.

Чтобы количественно оценить эффективность теплофизического воздействия введенных в объем затвердевающего слитка или массивной отливки микрохолодильников в виде металлических гранул на скорость снижения температуры жидкого металла до среднекалориметрической температуры системы расплав-гранулы, необходимо определить время полного (или частичного) снятия начального перегрева расплава над температурой начала кристаллизации сплава (температура ликвидус). Это позволит создать

теоретические предпосылки для значительного ускорения внутреннего теплоотвода от затвердевающей расплава к частицам-микрохолодильникам с разной теплоаккумулирующей способностью и начальной температурой металлических гранул (литая дробь, инокуляторы, модификаторы, легирующие или армирующие твердые добавки).

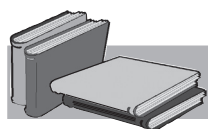
Цель интенсификации внутреннего и внешнего теплообмена при литье – ускорение процесса кристаллизации высокотемпературных сплавов в объеме медленно затвердевающих слитков и массивных отливок. На основе полученных результатов системного анализа тепловых процессов плавления и затвердевания, можно разрабатывать теплофизические механизмы ускорения процесса внутреннего теплоотвода от жидкого и кристаллизующегося расплава к гранулам-микрохолодильникам и процесса внешнего теплоотвода от поверхности затвердевающих слитков или толстостенных отливок к стенкам чугунных изложниц облицованных кокилей, или низкотемпературных форм на основе кварцевого песка.

Для поиска путей управления процессами формирования дендритной или недендритной структуры литого металла необходимо на основе результатов системного анализа процессов литья выбрать подходящий способ интенсификации внешнего теплоотвода от поверхности затвердевающих отливок через стенки низкотемпературных песчаных форм в окружающую среду. Это позволит оценить эффективность теплового влияния предварительно охлажденных рабочих слоев сухих форм и предваритель-

но замороженных [24] рабочих слоев сырых форм на процессы затвердевания литых заготовок и кристаллизации промышленных сплавов (стали, чугуны, бронзы, латуни, силумины и другие сплавы).

С помощью математического моделирования нестационарных процессов внутреннего и внешнего теплообмена при получении слитков и отливок по разным технологиям литья [25-27] можно осуществлять выбор оптимальных температурных режимов их затвердевания. С этой целью анализируются адекватные реальным условиям внутреннего и внешнего теплообмена математические постановки теплофизических задач плавления гранул в расплаве и затвердевания слитков в изложницах и отливок в литейных формах. Расчеты на ПК нестационарных температурных полей в разных системах слиток-изложница, отливка-форма, заготовка-кристаллизатор позволяют прогнозировать кинетику затвердевания литых заготовок с учетом двухфазной зоны кристаллизации литейных сплавов.

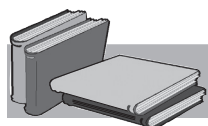
В итоге, облегчается проведение комплексного системного анализа сложных теплофизических процессов литья, что необходимо для оценки интенсивности внутреннего и внешнего теплообмена при введении в металлический расплав частиц-микрохолодильников. Это позволит [28] повысить эффективность теплового влияния низкотемпературных (охлажденных или замороженных) песчаных форм на процесс затвердевания массивных отливок с учетом теплофизического воздействия микрохолодильников или обломков дендритов на жидкий и кристаллизующийся металл.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Специальные способы литья: Справочник / Под. общ. ред. В. А. Ефимова. – М.: Машиностроение, 1991. – 736 с.
2. Литье в кокиль / Под ред. А. И. Вейника. – М.: Машиностроение, 1980. – 415 с.
3. Литье под давлением / Под ред. А. К. Белопухова. Изд. 2-е. – М.: Машиностроение, 1975. – 400 с.
4. Юдин С. Б., Левин М. М., Розенфельд С. Е. Центробежное литье. Изд. 2-е. – М.: Машиностроение, 1972. – 280 с.
5. Смирнов А. Н., Куберский С. В., Штепан Е. В. Непрерывная разливка стали. – Донецк: ДонНТУ, 2011. – 482 с.
6. Смирнов А. Н., Макуров С. Л., Сафонов В. М., Цупрун А. Ю. Крупный слиток. – Донецк: ДонНТУ, 2009. – 279 с.
7. Сосненко М. Н. Графитовые литейные формы. – М.: Машгиз, 1963. – 115 с.
8. Дорошенко С. П., Дробязко В. А., Ващенко К. И. Получение отливок без пригара в песчаных формах. – М.: Машиностроение, 1978. – 208 с.
9. Коротков А. И., Полевая А. М. Литье в оболочковые формы. – М.: Машгиз, 1963. – 297 с.
10. Литье по выплавляемым моделям / Под ред. Я. И. Шкленника и В. А. Озерова. – М.: Машгиз, 1961. – 455 с.
11. Степанов Ю. А., Гришин Д. С., Кирпиченков В. П., Паелов В. А. Литье по газифицируемому моделям. – М.: Машиностроение, 1976. – 224 с.
12. Мамишев В. А. Улучшение качества отливок и слитков с позиций системного анализа // Литейное производство в новом веке – как победить в конкуренции. – К.: ФТИМС НАН Украины, 2002. – С. 31-34.
13. Мамишев В. А., Шинский О. И., Соколовская Л. А. Системный анализ процесса затвердевания литых заготовок разной массы и назначения. – Процессы литья, 2010. – № 1. – С. 20-24.
14. Мамишев В. А. Системный анализ затвердевания литых заготовок с переменной кривизной границ двухфазной зоны. – Процессы литья. – 2014. – № 1. – С. 19-26.
15. Мамишев В. А. Системное исследование реотермических процессов течения и теплообмена при кристаллизации сплавов. – Процессы литья, 2015. – № 1. – С. 39-46.
16. Мамишев В. А. О повышении эффективности теплообмена в системе литая заготовка - форма - окружающая среда. – Металл и литье Украины, 2012. – № 11. – С. 31-35.
17. Мамишев В. А. О выборе толщины напорного участка питающе-рафинирующей прибыли слитка с помощью термического критерия качества литья / Процессы разливки стали и качество слитка // Ин-т проблем литья. Сб. науч. тр. – К.: ИПЛ АН УССР, 1989. – С.40-45.

18. *Мамишев В. А.* Реотермическая концепция управления кристаллическим строением литых изделий.– Процессы литья. – 2004. – № 3. – С. 43-48.
19. *Затуловский С. С.* Суспензионная разливка. – К.: Наукова думка, 1981. – 259 с.
20. *Кириевский Б. А., Черкасский В. Л.* Особенности суспензионного литья. – Литейное производство, 1978. – № 8. – С. 25-27.
21. *Соколовская Л. А., Мамишев В. А.* О математическом моделировании задач с фазовыми переходами в металлургии и литейном производстве. – Процессы литья, 2009. – № 2. – С. 24-29.
22. *Соколовская Л. А., Мамишев В. А.* О возникновении дополнительных центров кристаллизации при введении дроби в расплав. – Металл и литье Украины, 2014. – № 7. – С. 35-38.
23. *Мамишев В. А.* О прогнозировании воздействия источников и стоков тепла с различным темпом кристаллизации стали на качество макроструктуры слитков / Повышение качества стальных слитков // Ин-т проблем литья. Сб. науч. тр. – К.: ИПЛ АН УССР, 1988. – С. 43-47.
24. *Грузман В. М.* О судьбе и перспективах применения замороженных форм. – Литейное производство, 2009. – № 7. – С. 14-17.
25. *Соколовская Л. А., Мамишев В. А.* Теплофизическое обоснование программ расчета температурных полей при затвердевании слитков и крупных отливок с вводом в расплав литой дроби. – Процессы литья, 2015. – № 5. – С. 61-69.
26. *Соколовская Л. А.* Учёт теплового сопротивления неметаллических прослоек в контактной зоне теплообмена / Литейное производство: технология, материалы, оборудование, экономика и экология. Матер. междунар. научно-практ. конф. – Киев: ФТИМС НАН Украины, – 2011. – С. 256-258.
27. *Мамишев В. А.* Методика расчета термовременных параметров затвердевания литых заготовок разной конфигурации. – Процессы литья. – 2008. – № 5. – С. 43-49.
28. *Мамишев В. А., Шинский О. И., Соколовская Л. А.* Проблемные аспекты совершенствования технологии получения отливок в формах из кварцевого песка. – Металл и литье Украины, 2016. – № 5. – С. 28-34.



## REFERENCES

1. Efimov V. A. (1991). Special'nye sposoby lit'ia. Spravochnik. [Special casting methods. Reference book]. Moscow: Mashinostroenie [in Russian].
2. Veinik A. I. (1980). Lit'e v kokil'. [Chill casting]. Moscow: Mashinostroenie [in Russian].
3. Belopukhov A.K. (Eds.) (1975). Lit'e pod davleniem. [Pressure casting]. Moscow: Mashinostroenie [in Russian].
4. Yudin S. B., Levin M. M., Rozenfel'd S. E. (1972). Centrobezhnoe lit'e. [Centrifugal casting]. Moscow: Mashinostroenie [in Russian].
5. Smirnov A. N., Kuberskii S. V., Shtepan E. V. (2011). Nepreryvnaia razlivka stali. [Continuous steel casting]. Donetsk: DonNTU. [in Russian].
6. Smirnov A. N., Makurov S. L., Safonov V. M., Tsuprun A.Yu. (2009). Krupnyi slitok. [Large ingot]. Donetsk: DonNTU. [in Russian].
7. Sosnenko M. N. (1963). Grafitovye liteinye formy. [Graphite moulds]. Moscow: Mashgiz [in Russian].
8. Doroshenko S. P., Drobiazko V. A., Vashchenko K. I. (1978). Poluchenie otlivok bez prigara v peschanykh formakh. [Getting castings without burning-on in sand moulds]. Moscow: Mashinostroenie [in Russian].
9. Korotkov A. I., Polevaia A. M. (1963). Lit'e v obolochkovye formy. [Shell casting]. Moscow: Mashgiz [in Russian].
10. Shklennik Ya. I., Ozerov V. A. (1961). Lit'e po vyplavliaemym modeliam. [Investment casting]. Moscow: Mashgiz. [in Russian].
11. Stepanov Yu. A., Grishin D. S., Kirpichenkov V. P., Pavlov V. A. (1976). Lit'e po gazificiruemym modeliam. [Lost-foam casting] Moscow: Mashinostroenie [in Russian].
12. Mamihev V. A. (2002). Uluchshenie kachestva otlivok i slitkov s pozicii sistemnogo analiza [Improvement of the quality castings and ingots from the standpoint of system analysis]. Proceedings from Conference Foundry in the new century: How to win the competition. Liteinoe proizvodstvo v novom veke – kak pobedit' v konkurencii. Kiev: PTIMA of NAS of Ukraine. (pp. 31-34) [in Russian].
13. Mamihev V. A., Shinskii O. I., Sokolovskaia L. A. (2010). Sistemnyi analiz processa zatverdevaniia litykh zagotovok raznoi massy i naznacheniia [The system analysis of process solidification of the cast billets with different mass and purpose]. Protsessy lit'ia. – Casting processes, no. 1, pp. 20-24 [in Russian].
14. Mamihev V. A. (2014). Sistemnyi analiz zatverdevaniia litykh zagotovok s peremennoi kriviznoi granits dvukhfaznoi zony [The system analysis of solidification of the cast billets with variable curvature]. Protsessy lit'ia. – Casting processes, no. 1, pp. 19-26 [in Russian].
15. Mamihev V. A. (2015). Sistemnoe issledovanie reotermicheskikh processov techeniia i teploobmena pri kristallizacii splavov [System research of rheothermal processes of flow and heat transfer during crystallization alloys]. Protsessy lit'ia. – Casting processes, no. 1, pp. 39-46 [in Russian].
16. Mamihev V. A. (2012). O povyshenii effektivnosti teploobmena v sisteme litaia zagotovka-forma-okruzhaiushchaia sreda [About the increase of the efficiency of heat exchange in the system cast billet-mould-environment]. Metall i lit'e Ukrainy. – Metal and casting of Ukraine, no. 11, pp. 31-35 [in Russian].
17. Mamihev V. A. (1989). O vybere tolschiny napornogo uchastka pitaiusche-rafiniruiuschei pribyli slitka s pomosh'iu termicheskogo kriteriia kachestva lit'ia [About choice of the thickness of pressure the section of feeding and refining income of the ingot by means the thermal criterion of quality casting]. Protsessy razlivki stali i kachestvo slitka. – Processes casting of steel and quality of ingot. Institute of Cast Problems. Collection science works. Kiev: ICP of NAS of Ukraine. (pp.40-45) [in Russian].



18. Mamishev V. A. (2004). Reotermicheskaia koncepciia upravleniia kristallicheskim stroeniem litykh izdelii [The rheothermal conception of control by the crystalline structure of the cast wares]. *Protsessy lit'ja*. – Casting Processes, no. 3, pp. 43-48 [in Russian].
19. Zatulovskii S. S. (1981). Suspenzionnaia razlivka. [Suspension pouring]. Kiev: Naukova dumka, 259 p. [in Russian].
20. Kirievskii B. A., Cherkasskii V. L. (1978). Osobennosti suspenzionnogo lit'ia [Suspension casting peculiarities]. *Liteinoe proizvodstvo*. – Foundry, no. 8, pp. 25-27 [in Russian].
21. Sokolovskaia L. A., Mamishev V. A. (2009). O matematicheskom modelirovanii zadach s fazovymi perekhodami v metallurgii i liteinomu proizvodstve [About the mathematical modeling problems of phase transitions in the metallurgy and foundry]. *Protsessy lit'ia*. – Casting processes, no. 2, pp. 24-29 [in Russian].
22. Sokolovskaia L. A., Mamishev V. A. (2014). O vznikoventii dopolnitel'nykh centrov kristallizatsii pri vvedenii drobi v rasplav [About rise of additional crystallization centers in the time of introduce small shots in melt]. *Metall i lit'e Ukrainy*. – Metal and casting of Ukraine, no. 7, pp. 35-38 [in Russian].
23. Mamishev V. A. (1988). O prognozirovanii vozdeistviia istochnikov i stokov tepla s razlichnym tempom kristallizatsii stali na kachestvo makrostruktury slitkov [About prognostication of influence of the springs and gutters of heat with different tempo crystallization of steel on quality macrostructure of ingots]. *Povyshenie kachestva stal'nykh slitkov*. – Rise of the quality of steel ingots. Institute of Cast Problems. Collection science works. Kiev: ICP of NAS of Ukraine. (pp.43-47) [in Russian].
24. Gruzman, V. M. (2009). O sud'be i perspektivakh primeneniia zamorozhennykh form [About a fate and perspectives of application of frozen moulds]. *Liteinoe proizvodstvo*. – Foundry, no. 7, pp. 14-17 [in Russian].
25. Sokolovskaia L. A., Mamishev V. A. (2015). Teplofizicheskoe obosnovanie programm rascheta temperaturnykh polei pri zatverdevanii slitkov i krupnykh otlivok s vodom v rasplav litoi drobi [Thermophysical ground of the programs for calculation of the temperature fields at solidification of the ingots and large castings with introduction into the melt of the cast shot]. *Protsessy lit'ia*. – Casting processes, no. 5, pp. 61-69 [in Russian].
26. Sokolovskaia L. A. (2011). Uchet teplovogo soprotivleniia nemetallicheskiikh prosloek v kontaktnoi zone teploobmena [Account of heat resistance of non-metall interlayers in the contact zone of heat transfer]. *Proceedings from Foundry: technology, materials, equipment, economy and ecology. International Scientific and Practical Conference*. – *Liteinoe proizvodstvo: tehnologiya, materialy, oborudovanie, ekonomika i ekologiya. Mater. mezhdunarod.nauchno-pract. konf. Kiev: PTIMA NASU*. (pp. 256-258). [in Russian].
27. Mamishev V. A. (2008). Metodica rascheta termovremennykh parametrov zatverdevaniia litykh zagotovok raznoi konfiguratsii [Methodology of calculation of thermal and temporal parameters of solidification of the cast billets of different configuration]. *Protsessy lit'ia*. – Casting processes, no. 5, pp. 43-49 [in Russian].
28. Mamishev V. A., Shinskii O. I., Sokolovskaia L. A. (2016). Problemnye aspekty sovershenstvovaniia tekhnologii poluchenii otlivok v formakh iz kvarczevogo peska [The problem aspects of perfection of technology of making of castings in moulds from quartz sand]. *Metall i lit'e Ukrainy*. – Metal and casting of Ukraine, no. 5, pp. 28-34 [in Russian].

## Анотація

*Мамішев В. А., Шинський О. Й., Соколовська Л. А.*

**Системний підхід до вивчення теплофізичних процесів лиття**

*З метою вдосконалення традиційних та розробки нових технологій виготовлення масивних виливків і зливків високої якості виявлено особливості теоретичного та експериментального дослідження високотемпературних процесів лиття.*

## Ключові слова

*Виливки, зливки, тверднення, гранули, плавлення, системний аналіз.*

## Summary

*Mamishev V., Shinskii O., Sokolovskaia L.*

**The system approach to the research of thermophysical processes of casting**

*It is revealed the peculiarities of theoretical and experimental research of high temperature cast processes in order to improve the traditional and to develop the new technologies of production of massive castings and ingots of high quality.*

## Keywords

*Castings, ingots, solidification, granules, melting, system analysis.*

Поступила 30.11.16