

УДК 621.74:620.18

**ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ В ЗАГОТОВИТЕЛЬНОМ
ПРОИЗВОДСТВЕ ОПТИМИЗАЦИЕЙ ЭНЕРГОЕМКОСТИ ВНЕШНЕГО
ВОЗДЕЙСТВИЯ НА КРИСТАЛЛИЗАЦИЮ ЛИТОГО МЕТАЛЛА**

**IMPROVED SAFETY TECHNOLOGIES IN BLANK PRODUCTION OPTIMIZATION
OF INTENSITY OF EXTERNAL INFLUENCE ON THE CRYSTALLIZATION
OF CAST METAL**

©Балакин Ю. А.,

канд. техн. наук,

Московский государственный университет технологий

и управления им. К. Г. Разумовского

(Первый казачий университет),

г. Москва, Россия, ur.balakin@mail.ru

©Balakin Yu.,

Moscow State University of Technology and Management

named after K.G. Razumovsky (the First Cossacs University),

Moscow, Russia, ur.balakin@mail.ru

Аннотация: Методом термодинамики необратимых процессов проведен расчет и оптимизация расходов внешней энергии на процесс кристаллизации слитков и отливок. Обсуждены научные и практические результаты работ по оптимизации параметров технологии и повышению безопасности процессов получения заготовок в металлургическом и литейном производствах.

Abstract: The method of thermodynamics irreversible processes was applied for the calculation and optimization of the consumption of external energy on crystallization of ingots and castings. The scientific and practical results of work on optimization of the technology's parameters an increase of safety for the process of receiving the blanks in metallurgical and founding production were discussed.

Ключевые слова: внешнее воздействие, энергоемкость, металл, кристаллизация, производство, безопасность.

Keywords: external effects, energy intensity, metal, crystallization, manufacturing, safety.

Применение в металлургии и литейном производстве прогрессивных технологий обработки жидкого и кристаллизующегося металла упругими колебаниями, электромагнитным полем, регулируемым давлением и т.п. актуально, но требует решения как теоретических проблем: создания теоретических основ внешних воздействий на процесс кристаллизации металлов, так и практических работ по внедрению в заготовительное производство эффективных и безопасных технологий.

Методика расчета расходов внешней энергии на затвердевающие металлы является частью авторской теории внешних воздействий и разработана следующим образом. Все физические методы воздействия на затвердевание металлов и сплавов основаны процессах на передаче энергии от источника поля в жидкий и кристаллизующийся расплав.

Такие процессы описываются методами термодинамики. Внешнее воздействие (ВнВ) на термодинамическую систему (расплав) учтено в рассматриваемой модели. Для этого выполнено преобразование системы из изолированной в открытую, которая взаимодействует с внешними источниками энергии. Из термодинамики известно, что открытая система может отклоняться от равновесия, поэтому исследуется методами термодинамики неравновесных процессов [1, 2].

Методы неравновесной термодинамики применены автором к анализу устойчивости процесса кристаллизации при ВнВ на расплав. В итоге получено оригинальное выражение объемного расхода энергии ВнВ для гомогенного затвердевания сферических зародышей твердой фазы. Это отношение энергии ВнВ на весь объем расплава к объему обрабатываемого жидкого металла. Для начала реальной кристаллизации выражение объемного расхода энергии ВнВ преобразовано к виду:

$$Q_o = k\rho S_{пл} \Delta T / A,$$

где k – коэффициент, зависящий от механизма кристаллизации и формы зародыша, ρ – плотность твердой фазы, $S_{пл}$ – энтропия плавления металла, ΔT – переохлаждение и A – атомная масса металла.

По аналогии с данной формулой составлены выражения для других случаев кристаллизации. Проведен анализ этих соотношений. Он показал, что энергоемкость ВнВ существенно зависит от значений коэффициента k . Его величина изменяется от 0,375 для гомогенной до значительно меньших значений 0,005 для гетерогенной кристаллизации [3].

Наибольшие энергозатраты характерны для начала устойчивой кристаллизации расплава и далее с ростом зародышей до критического размера уменьшаются. Энергия ВнВ способствует переохлаждению расплава. В результате уменьшается величина критического размера зародышей твердой фазы, изменяются другие параметры затвердевания, что способствует известным экспериментальным данным.

Выявлена сильная зависимость расхода энергии ВнВ от энтропии плавления. Она характеризует степень беспорядка в системе при ВнВ на кристаллизацию металла, т.е. изменение подвижности частиц расплава под влиянием внешней энергии при формировании различных структур кристаллических решеток металлов.

Эта интуитивная догадка дает основание для гипотезы о механизме влияния энергии ВнВ: при формировании кластерных (предзародышевых, упорядоченных) структур расплава, а затем при образовании и росте из них зародышей в процессе обработки системы ВнВ, расход энергии извне возрастает для более плотноупакованных структур, характеризующихся типами кристаллических решеток металлов, в последовательности от ОЦК к ГПУ или ГЦК.

С целью проверки выдвинутой гипотезы проведены расчеты энтропии плавления для 20 распространенных в промышленности металлов с различными типами кристаллических решеток и значения максимальных расходов внешней энергии при разных типах кристаллизации. Величину переохлаждения фиксировали на уровне 10К.

Исследуемые металлы разделены на 4 группы по типам кристаллических решеток. Если взять за основу групповые средние значения удельной объемной энергии ВВ, то по возрастанию усредненных групповых величин расходов внешней энергии получен следующий ряд структур: ОЦК (5,65); ГПУ (6,34); ГЦК (8,11). В скобках указаны расходы для гомогенной кристаллизации зародышей сферической формы. Аналогичная картина получена при кубической форме центров твердой фазы.

Влияние энергии ВнВ на металлы 4-ой группы с аномалией при фазовых переходах неоднозначно и требует дополнительных исследований.

В целом анализ удельной энергии воздействия на металлы, кристаллизующиеся с образованием кубических и гексагональной кристаллических решеток, удовлетворительно подтверждает сформулированный выше механизм влияния внешней энергии на затвердевание металлов.

Расчетные значения расходов энергии ВнВ удовлетворительно согласуются с экспериментальными данными опубликованных работ, что свидетельствует о достаточно высокой степени достоверности разработанной теоретической модели влияния ВнВ на кристаллизацию металлов.

Таким образом, применение и развитие метода термодинамики необратимых процессов к оценке физических методов воздействия на процесс кристаллизации металлов позволило установить важную зависимость энергоемкости технологии ВнВ и структуры слитка или отливки, а также решить проблему теоретических расчетов расходов внешней энергии на процессы в жидких и затвердевающих средах.

Проведены работы по оптимизации энергетических параметров процесса ВнВ на кристаллизацию металлов. Для этого использован энергетический коэффициент, полученный при моделировании данного процесса. Он определен как соотношение внешней энергии ее источника и свободной энергии Гиббса системы (расплава металла), необходимой для устойчивого затвердевания металла или другого вещества. За критерий оптимизации принят показатель измельчения структуры металла.

Расчетами по модели и опытными данными показано, что полученные выше соотношения и величины расходов внешней энергии близки к оптимальным значениям при величине энергетического коэффициента близкой к единице. В этом случае технология литья заготовки безопасна. При значениях указанного коэффициента меньших единицы процесс ВнВ был не эффективен, а при его величинах существенно больше единицы на практике часто возникали выплески металла из металлической формы, или появление трещин разрушения для земляной формы. Следовательно, оптимизация расхода внешней энергии повышает безопасность технологий заготовительного производства.

Результаты работы могут быть использованы для развития теории и практики литейных процессов и внепечной обработки металлов и сплавов различными методами ВнВ. Это направление, имеющее целью определение рациональных энергетических характеристик технологий получения высококачественных заготовок деталей машин, а также непосредственно связанную с ней разработку безопасных технологий заготовительного производства.

Список литературы:

1. Балакин Ю. А. Разработка технологии обработки литейных инструментальных сталей вибрацией и модифицированием с целью повышения качества отливок: дисс. ... канд. техн. наук. М., 1995. 191 с.
2. Балакин Ю. А., Гладков М. И. Энергоемкость внешнего воздействия на затвердевающий металл с позиций термодинамики // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2001. №6. С. 44-46.
3. Балакин Ю. А. Теоретические основы внешних воздействий на процесс кристаллизации металлов. М.: Буки Веди, 2014. 168 с.

References:

1. Balakin, Yu. A. (1995). Development of technology of processing of casting tool steels by vibration and modification with the purpose of improvement of quality of castings: Dis. kand. ... cand. tech. sciences. Moscow, 191. (in Russian)
2. Balakin, Yu. A., & Gladkov, M. I. (2001). Energy intensity of external action on solidifying metal from the position of thermodynamics. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Chernaya metallurgiya*, (6), 44-46. (in Russian)
3. Balakin, Yu. A. (2014). Theoretical bases of external influences on the process of crystallization of metals. Moscow, Buki Vedi, 168. (in Russian)

*Работа поступила
в редакцию 22.12.2017 г.*

*Принята к публикации
26.12.2017 г.*

Ссылка для цитирования:

Балакин Ю. А. Повышение безопасности технологий в заготовительном производстве оптимизацией энергоемкости внешнего воздействия на кристаллизацию литого металла // Бюллетень науки и практики. Электрон. журн. 2018. Т. 4. №1. С. 150-153. Режим доступа: <http://www.bulletennauki.com/balakin-yu> (дата обращения 15.01.2018).

Cite as (APA):

Balakin, Yu. (2018). Improved safety technologies in blank production optimization of intensity of external influence on the crystallization of cast metal. *Bulletin of Science and Practice*, 4, (1), 150-153