

6. **Marukovich E. I., Stetsenko V. Yu., Stetsenko A. V.** O teorii kristallizacii metallicheskih rasplavov [On the theory of crystallization of metal melts]. *Litejnoe proizvodstvo = Foundry. Technologies and Equipment*, 2025, no. 6, pp. 6–11.
7. **Marukovich E. I., Stetsenko V. Yu., Nikitin K. V., Stetsenko A. V.** *Kristallizaciya metallov i splavov: monografiya* [Crystallization of metals and alloys: monograph]. Samara: Samar. state technical un-ty Publ., 2025, 192 p.
8. *Konstanty vzaimodejstviya metallov s gazami: spravochnik* [Constants of interaction of metals with gases: reference book]. Pod red. B. A. Kolacheva i Yu. V. Levinskogo, Moscow, Metallurgiya Publ., 1987, 368 p.
9. *Fiziko-himicheskie svoystva okislov: spravochnik* [Physicochemical properties of oxides: reference book]. Pod red. G. V. Samsonova, Moscow, Metallurgiya Publ., 1978, 472 p.
10. *Svoystva elementov. Ch. 1. Fizicheskie svoystva: spravochnik* [Properties of elements. Part 1. Physical properties: reference book]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1976, 600 p.



УДК 621.074

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ТОЧНОГО ЛИТЬЯ КАК ИНСТРУМЕНТ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО СУВЕРЕНИТЕТА

Л. И. РЯБОВА, И. В. ГЕЙКО, М. А. ЛАРИН, А. В. НИЩЕНКОВ,
ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева»,
г. Нижний Новгород, Россия, ул. Минина, 24. E-mail: kafmto@mail.ru

В статье рассматриваются вопросы, связанные с повышением энергоэффективности литья по выплавляемым моделям. Акцент ставится на необходимость технологического суверенитета в условиях текущей политической ситуации в мире. Предлагается применять кислородсодержащие окислители в качестве добавок в состав материала керамических оболочковых форм с целью сокращения ресурса электроэнергии, используемого для прокаливания оболочковых форм. При этом в 2,0–2,5 раза сокращаются энергозатраты на проведение операции прокаливания форм при сохранении высокого качества получаемых отливок.

Ключевые слова. Технологический суверенитет; точное литье; отливка; прокаливание оболочковых форм.

ENERGY EFFICIENCY IN INVESTMENT CASTING AS A TOOL FOR ENSURING TECHNOLOGICAL SOVEREIGNTY

L. I. RYABOVA, I. V. GEYKO, M. A. LARIN, A. V. NISHCHENKOV, Federal State Funded Educational Institution of Higher Education “Nizhny Novgorod State Technical University named after R. E. Alekseev”, Nizhny Novgorod, Russian Federation, 24, Minina str. E-mail: kafmto@mail.ru

The article examines issues related to improving the energy efficiency of investment casting using expendable pattern molds. The focus is placed on the need for technological sovereignty under the current global political conditions. The use of oxygen-containing oxidizers as additives to ceramic shell mold materials is considered as a means of reducing the consumption of electrical energy used for shell firing. This approach results in a 2.0–2.5-fold reduction in energy consumption for the shell burnout operation, while maintaining high casting quality.

Keywords. Technological sovereignty, investment casting, casting, shell mold burnout.

Понятие «импортозамещение» предусматривает замещение ввозимых промышленных товаров отечественными и таким образом обеспечивает переход к производству наукоемкой и высокотехнологичной продукции за счет роста темпов развития производства, инновационных технологий и повышения уровня квалификации кадров.

К основным компонентам стратегии импортозамещения относятся следующие: повышение качества продукции, развитие производства, внедрение инноваций, что представляет неотъемлемую компоненту в развитии государства, особенно в связи с текущей политической ситуацией.

Важнейшим фактором развития национальной экономики и ее промышленного сектора становится неуклонно повышающаяся энергоэффективность производств. При этом отставание отечественной экономики по уровню энергоэффективности от передовых стран вызывает необходимость энергоинжиниринга – процедуры, предусматривающей создание комплексных продуктов по повышению энергоэффективности конкретных производств.

Интерес к проблеме энергосбережения проявляется как со стороны государства, так и со стороны собственников предприятий, заинтересованных в повышении эффективности своего производства. Одним из важнейших факторов снижения производственных затрат является повышение энергоэффективности предприятий, а значит, извлечения дополнительной прибыли и заполнение новых рыночных ниш.

В себестоимости литья энергетические затраты, как правило, составляют 50–60 %, а материалы – 30–35 % [1]. В связи с этим промышленные предприятия вынуждены эффективно использовать и экономить энергию и материальные ресурсы.

На территории Приволжского федерального округа более 300 машиностроительных предприятий реализуют технологический процесс точного литья, характеризующийся высокой точностью геометрии получаемых отливок, позволяющей минимизировать затраты на последующую механическую обработку отливок до получения готовой детали.

Создание литейной продукции требуемого качества в соответствии с техническими условиями, государственными и международными стандартами часто является проблемным на действующих предприятиях. Эти проблемы заключаются в получении отливок с высокой дефектностью, технологических потерях при плавке и производстве литья, высоких энергетических затратах, нерациональном использовании технологических материалов, в загрязненности окружающей среды.

Проблема ресурсосбережения – одна из центральных проблем современного литейного производства, поскольку оно характеризуется высокими материало- и энергоемкостью, а большинство его технологий требует объемных затрат, связанных с обеспечением работы оборудования, экологической безопасности и стабилизации качества выпускаемой продукции. В этом смысле литье по выплавляемым моделям не является исключением.

В практике точного литья термин «ресурсосбережение» в полной мере выступает как синоним энергосбережения. Основанием для этого служит тот факт, что энергоемкость такого технологического процесса в 2–3 раза выше, чем у других способов литья. Кроме того, нерациональное использование ресурсов во многом обусловлено имеющими место слабым учетом и контролем их расходования, а также несовершенством действующей технологии.

При этом для практики точного литья актуально рассматривать понятие не энергосбережения, а энергоэффективности, которое более полно выражает состояние предприятия в данный момент времени в отношении возможности интегрирования новых технологий.

В отличие от энергосбережения, направленного главным образом на уменьшение энергопотребления, энергоэффективность (т. е. полезность энергопотребления) представляет собой показатель, отражающий полезное (эффективное) расходование энергии.

Энергоэффективность – это рациональное использование энергии, или «пятый вид топлива» – использование меньшего количества энергии для обеспечения установленного уровня потребления энергии в ходе реализации производственных технологических процессов [2].

Проведенный авторами данной статьи технологический аудит ряда предприятий Приволжского федерального округа, реализующих технологический процесс литья по выплавляемым моделям, убедительно доказал, что основным проблемным местом технологии точного литья в действующем производстве выступает изготовление многослойных оболочковых литейных форм. При этом наиболее длительной, трудоемкой, энергоемкой операцией во всем технологическом цикле точного литья, определяющей качество оболочковых форм и будущих отливок, является прокаливание форм перед подачей их на заливку металлическим расплавом.

Повысить энергоэффективность процесса точного литья можно за счет применения кислородсодержащих окислителей в качестве добавок в состав материала керамических оболочковых форм с целью сокращения ресурса электроэнергии, используемого для прокаливания оболочковых форм. Речь идет о технологии низкотемпературного прокаливания [3]. При этом ключевую роль играют температура начала термического разложения вещества (в сравнении с температурами полиморфных превращений кварца) и технический вариант прокаливания оболочковых форм (без опорного наполнителя или с ним).

Для прокаливания в опорном наполнителе число слоев оболочки, как правило, делают меньшим, чем у оболочек, прокаливаемых без опорного наполнителя. Это связано с тем, что наполнитель, окружающий оболочку во время прокаливания, препятствует расширению формы и соответственно развитию (распространению) трещин.

При проведении прокаливания без опорного наполнителя число слоев оболочки, как правило, увеличивают по сравнению с предыдущим вариантом с целью предотвращения разрушения оболочки. Кроме того, возможен вариант замены кварцевого песка на материалы с меньшим коэффициентом линейного термического расширения либо применение «дуплекс-процессов» [4] для защиты оболочки от трещинообразования и возможного разрушения.

Проведен анализ возможных вариантов применения технологических добавок и выбор оптимального. В условиях действующего производства выполнено успешное экспериментальное опробование и внедрение данной технологии. Ее реализация на производстве позволила сократить энергозатраты на