

---

## НОВЫЕ ЛИТЫЕ МАТЕРИАЛЫ

УДК 621.746.5:533.9

**А. В. Шматко**, мл. науч. сотр., e-mail: blacknorfolk@gmail.com

**В. П. Лихошва**, д-р техн. наук, проф., зав. отделом,  
e-mail: plazer\_v@mail.ru

**А. П. Шатрава**, канд. техн. наук., ст. науч. сотр.,  
e-mail: shatrava@ptima.kiev.ua

**Е. А. Рейнталь**, науч. сотр., e-mail: reintal@i.ua

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины

### ЧИСЛЕННОЕ ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОвого ПОЛЯ В ПРОЦЕССЕ ПОЛУЧЕНИЯ БИМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ПОЛОСЫ ПО ЛИТЕЙНО-ПЛАЗМЕННОЙ ТЕХНОЛОГИИ

*В условиях литейно-плазменного способа получения биметаллических конструкций при заливке чугуна расплава на стальную заготовку с помощью численного моделирования исследовано изменение температурного поля в зоне заливки и затвердевания расплава. Обоснована необходимость предварительного нагрева подложки тепловым источником. Проанализированы два варианта конструкции внутренней полости заливочного узла и выбран оптимальный.*

**Ключевые слова:** биметаллическая конструкция, расплав, сталь, чугун, заготовка, подложка, тепловой источник, кристаллизатор, заливочное устройство, температурное распределение, зона первичного контакта, диффузионное соединение.

Конкурентоспособность большинства промышленных предприятий во многом зависит от производительности используемого оборудования и техники, которая в свою очередь обуславливается количеством плановых и аварийных простоев, связанных с износом деталей и механизмов. Особо остро проблема стоит при использовании горнодобывающей, землеройной и другой специализированной техники, работающей в условиях интенсивного абразивного и ударно-абразивного износа [1]. Одним из вариантов решения проблемы является использование биметаллических изделий, комплекс свойств которых обеспечивает как конструкционные, так и износостойкие характеристики [2].

Разработке способов получения биметаллических изделий уделяется значительное внимание. Известные процессы получения биметаллических и композиционных материалов, применяющие концентрированные источники энергии, такие, как дуговые, плазменные, лазерные, электроннолучевые, достаточно широко распространены и производительны, а технологии на их основе имеют

## Новые литые материалы

высокую степень автоматизации. Тем не менее, у них есть свои недостатки: в технологичности, структурообразовании, качестве поверхности, однородности химического состава и ограниченного выбора наплавляемых сплавов [3–12].

Непрерывный литейно-плазменный способ получения биметаллических конструкций (рис. 1) [13], разработанный сотрудниками ФТИМС НАН Украины, позволяет получать простые изделия (полоса биметаллическая), которые могут использоваться для износостойкой футеровки загрузочных бункеров сыпучих пород в дробильных установках, плоских участков ковшей роющей и погрузочной техники.

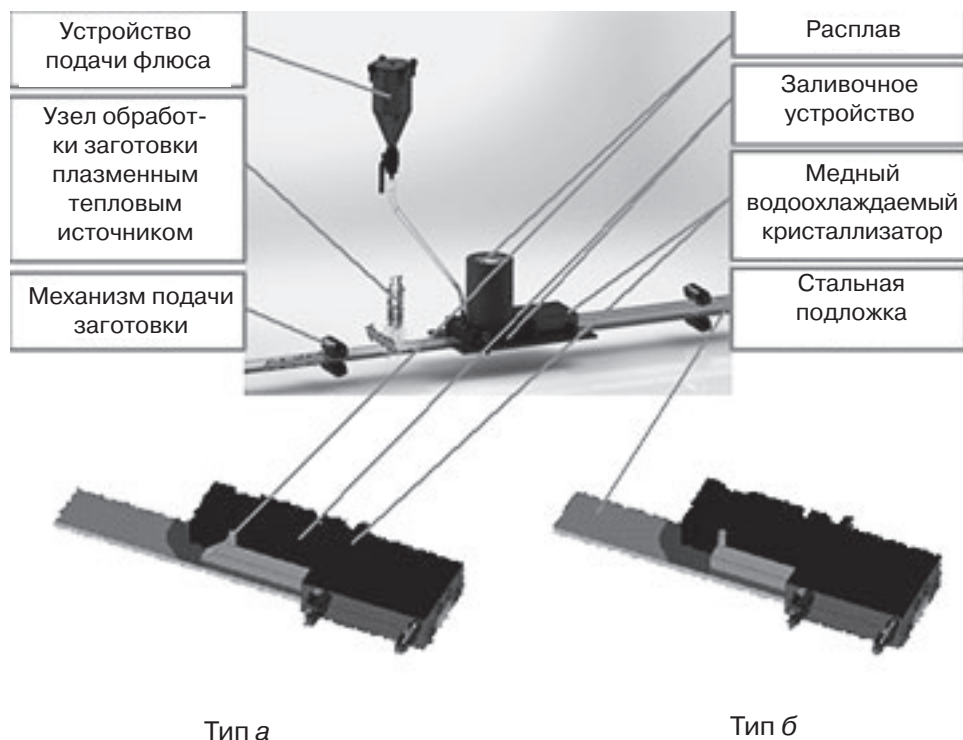


Рис. 1. Технологическая схема процесса получения биметаллической конструкции (биметаллическая полоса) литейно-плазменным способом, где варианты внутренней полости заливочного устройства: тип а – устройство с геометрией внутренней полости с наличием зоны, уменьшающей расстояние от зоны предварительного подогрева заготовки до зоны первичного контакта с жидким металлом; тип б – геометрия внутренней полости без наличия такой зоны

Основной принцип работы способа заключается в предварительном подогреве заготовки до температур, необходимых для диффузионного соединения с последующей заливкой жидким расплавом на обработанную поверхность и охлаждением в кристаллизаторе. Заливка расплава происходит в два этапа: – старт: начальное свободное заполнение внутренней полости жидким металлом без движения заготовки; – рабочий режим: заполнение свободного объема, который образуется по мере передвижения биметаллической конструкции в процессе работы (характеризуется постоянным расходом жидкого металла, который зависит от линейной скорости движения заготовки и габаритных размеров наплавляемого слоя).

Для сокращения затрат на проведение практических экспериментов было проведено имитационное численное моделирование. В рамках разработки технологии исследовано процесс заливки и динамику охлаждения заливаемого металла в заливочной системе и кристаллизаторе с целью определения необходимых начальных температурных параметров процесса.

В представленном исследовании рассматривали два типа литейного устройства

с разной геометрией внутренней полости: А – с наличием зоны, уменьшающей расстояние от зоны обработки заготовки плазменным источником до зоны первичного контакта с расплавом, которая подразумевает уменьшение тепловых потерь нагретой заготовки до момента контакта с металлом, Б – без нее.

Дополнительно рассматривали два случая начальной температуры стальной полосы: заготовка, без предварительного подогрева ( $T_{\text{н}} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ ); заготовка, предварительно прогретая до температуры  $T_{\text{н}} = 800 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Модель расчета гидродинамических параметров двухфазного потока газ-жидкость, учитывающая явления теплопереноса, построена на основе нижеобозначенных уравнений.

Уравнение движения для двухфазного потока газ-жидкость:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\beta_{\alpha} \rho_{\alpha} \vec{v}_{\alpha}) + \nabla \cdot (\beta_{\alpha} (\rho_{\alpha} \vec{v}_{\alpha} \otimes \vec{v}_{\alpha})) = -\beta_{\alpha} \nabla p_{\alpha} + (\beta_{\alpha} \mu_{\alpha} (\nabla \vec{v}_{\alpha} + (\nabla \vec{v}_{\alpha})^T)) + \sum_{\gamma=1}^{N_p} \left( \Gamma_{\alpha\gamma}^+ \vec{v}_{\gamma} - \Gamma_{\alpha\gamma}^+ \vec{v}_{\alpha} \right) + S_{M\alpha} M_{\alpha},$$

где  $\beta$  – объемная доля фазы;  $\alpha$  и  $\gamma$  – относятся к фазам газа и суспензии, соответственно,  $\beta = [0; 1]$ ;  $\rho(T)$  – плотность,  $\text{кг/м}^3$ ;  $\nabla$  – оператор набла;  $\vec{v}$  – векторное поле скоростей;  $\mu$  – динамическая вязкость,  $\text{Па}\cdot\text{с}$ ;  $M_{\alpha}$  описывает межфазные силы, действующие на одну фазу со стороны другой;  $S_{M\alpha}$  – источник импульса за счет внешних сил; слагаемое  $\Gamma_{\alpha\gamma}^+ \vec{v}_{\gamma} - \Gamma_{\alpha\gamma}^+ \vec{v}_{\alpha}$  описывает передачу импульса за счет межфазного массопереноса.

Уравнение неразрывности:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\beta_{\alpha} \rho_{\alpha}) + \nabla \cdot (\beta_{\alpha} \rho_{\alpha} \vec{v}_{\alpha}) = S_{MS\alpha} + \sum_{\gamma=1}^{N_p} \Gamma_{\alpha\gamma}^+$$

Слагаемое  $S_{MS\alpha}$  учитывает дополнительный источник массы;  $\Gamma_{\alpha\gamma}$  – массовый расход на единицу объема из фазы  $\gamma$  в фазу  $\alpha$  (это слагаемое присутствует только в том случае, когда происходит межфазовый массообмен).

Уравнение сохранения объема:

$$\sum_{\alpha=1}^{N_p} \beta_{\alpha} = 1,$$

где  $N_p$  – количество фаз,  $\alpha = 1, \dots, N_p$ .

Уравнение теплопроводности для жидкой фазы:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho h_{\text{общ}}) - \frac{\partial p}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v} h_{\text{общ}}) = \nabla \cdot (\lambda \nabla T) + \nabla \cdot (\vec{v} \cdot \tau) + W,$$

где  $p$  – давление,  $\text{Па}$ ;  $\lambda(T)$  – коэффициент теплопроводности,  $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{град})$ ;  $T$  – температура,  $^\circ\text{C}$ ;  $W$  – источник тепла,  $\text{Дж}$ ;  $h_{\text{общ}}$  – общая энтальпия;  $\tau$  – тензор напряжений.

$$h_{\text{общ}} = h + \frac{1}{2} v^2 \quad \tau = \mu (\nabla \vec{v} + (\nabla \vec{v})^T) - \frac{2}{3} \delta \nabla \cdot \vec{v}$$

Уравнение теплопроводности для решения нестационарной тепловой задачи в твердой фазе:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho c_p) = \nabla \cdot (\lambda \nabla T),$$

где  $c_p(T)$  – удельная теплоемкость, Дж/(кг·град).

Постановка задачи также включает в себя использование следующих начальных и граничных условий.

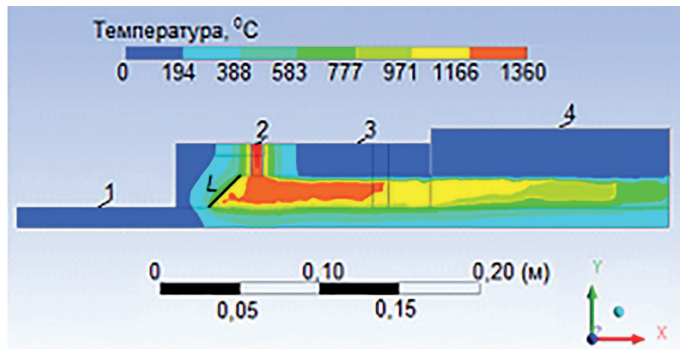
Начальные условия:  $T(x, y, z) = T_n$ ;  $T_n = \{T_0; 25\text{ }^\circ\text{C}\}$  (без предварительного нагрева заготовки);  $T(x, y, z) = T_n$ ;  $T_n = \{T_0; 800\text{ }^\circ\text{C}\}$  (с предварительным равномерным нагревом).

Граничные условия: температура заливки расплава  $T_3 = 1360\text{ }^\circ\text{C}$ ; массовый расход расплава во время заливки  $Q_m = 0,277\text{ кг/с}$ ; температура на стенках, граничащих с кристаллизатором,  $T_c = 25\text{ }^\circ\text{C}$ ;

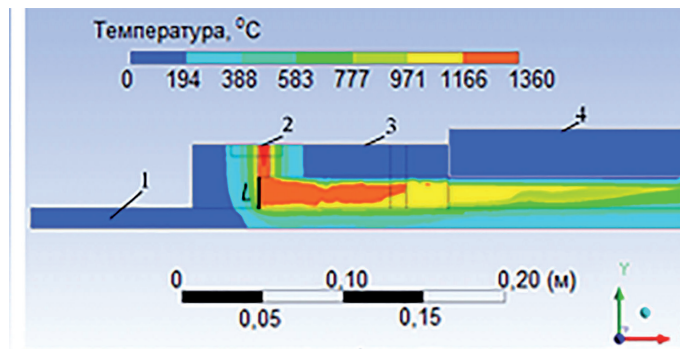
На первом этапе расчет произведен при условии подачи расплава на ненагретую подложку.

Полученные расчетные данные дают возможность определить изменение температурного поля во времени в области затвердевания заливочного материала на подложке. Результаты расчетов температурного состояния всей системы представлены на рис. 2. Исследовано изменение температуры во времени, состояние заливочного устройства, расплава в нем при заливке на «холодную» подложку (с начальной температурой  $T_n = 25\text{ }^\circ\text{C}$ ).

Подача жидкого металла на «холодную» подложку (см. рис. 2) для обоих типов



а



б

Рис.2. Распределение температуры в области заливки чугуна и металлической подложки при разных геометриях области заливки (при объемном расходе чугуна  $Q_v = 39,8\text{ см}^3/\text{с}$  в момент времени окончания заливки  $t = 6,8\text{ с}$ , начальная температура заготовки  $T_n = 25\text{ }^\circ\text{C}$ ; а, б – типы геометрии внутренней полости (согласно рис.1): 1 – металлическая подложка; 2 – заливочное отверстие, 3 – графитовая форма, 4 – кристаллизатор

конструкции приводит к ее нагреву в области заливки до температуры 600–800 °С. Следовательно, возможное соединение жидкого металла с твердой подложкой на основе металлургической связи практически исключено, даже по диффузионному механизму оно маловероятно. Можно сказать, что тепловое состояние в зоне контакта ставит под сомнение осуществление гарантированного прочного соединения жидкого и твердого металлов.

Интерес представляет тепловое состояние заливочного материала (расплава) и поверхности области заливки, граничащей с графитовой, обозначенной как  $L$  (см. рис. 2). Температура в этой области должна быть близкой к температуре плавления заливочного материала во избежание образования твердой корочки, препятствующей заливке.

Получены зависимости изменения температуры заливочного материала от координаты линии  $L$  (рис. 3), взятой на середине боковой поверхности в разные моменты времени заливки для конструкции области заливки 1 (рис. 3, а). Расчетные значения, наблюдаемые в верхней части заливочной области (в моменты времени 3 и 4 с), ниже температуры плавления заливочного материала. В приведенные моменты времени значения температуры в этой области указывают на возможность образования корочки. Однако по мере заливки расплава температура в этой области повышается, а при полном заполнении полости (в момент времени  $t = 6,8$  с) температура на поверхности близка к температуре плавления материала, что может свидетельствовать о возможном подплавлении некоторой части закристаллизовавшегося металла (корочки).

Для конструкции внутренней полости б (рис. 3) температура на поверхности в течение заливки остается постоянной и равной температуре заливки (рис. 3, б). По окончании заливки температура постепенно падает.

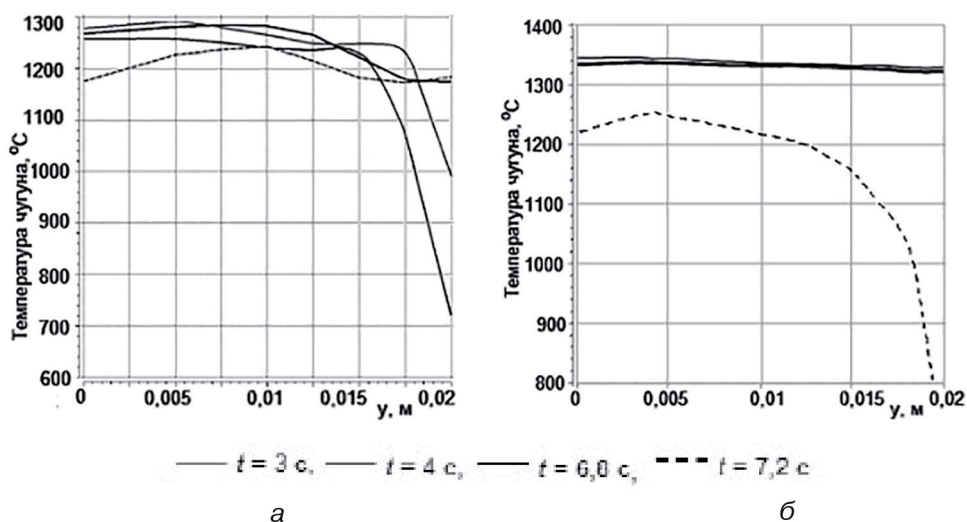
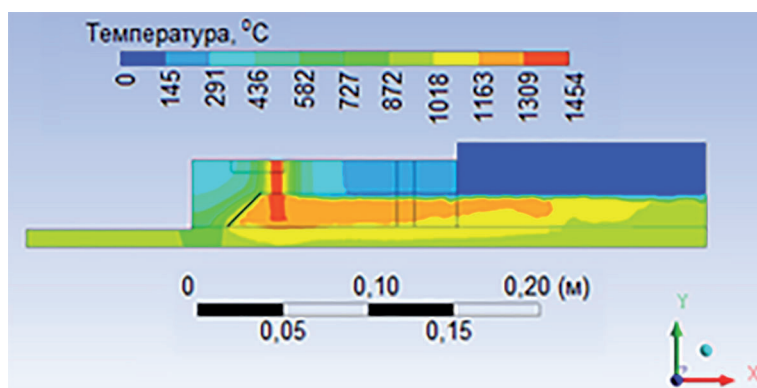


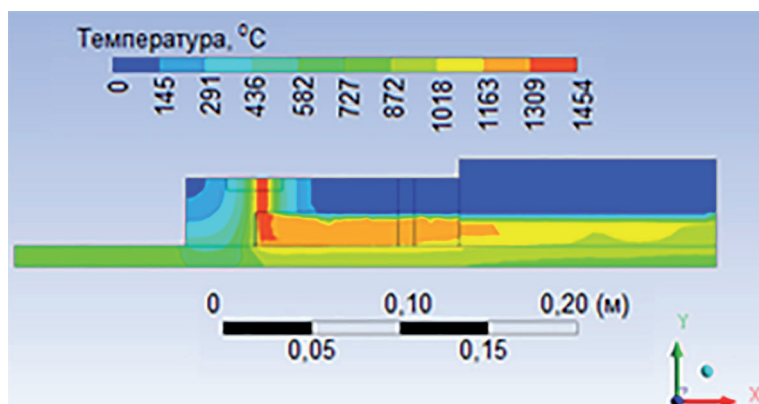
Рис 3. Изменение температуры чугуна вдоль линии  $L$  (обозначено на рис. 2) на границе с графитовой формой для областей заливки, начальная температура заготовки  $T_n = 25$  °С; а, б – типы геометрии внутренней полости (согласно рис.1)

Температура тыльной стороны заготовки (противоположной плоскости контакта с жидким расплавом) для обоих вариантов геометрии внутренней полости не превышает 500 °С (см. рис. 2). Наблюдается высокий градиент температур в области заливки по толщине подложки.

В дальнейшем расчет проводили при условии подачи расплава на предварительно нагретую до температуры 800 °С подложку (рис. 4). Результаты для конструкции по типу а (рис. 4, а) показали, что температура заливочного материала и поверхности подложки при заливке на предварительно нагретую подложку отличается от аналогичных значений температуры при заливке на холодную подложку. Эти отличия можно назвать качественными, поскольку значения температуры расплава



а



б

Рис. 4. Распределение температуры в области заливки чугуна и металлической подложке при разных геометриях внутренней полости заливочного устройства при объемном расходе чугуна  $Q_v = 39,8 \text{ см}^3/\text{с}$  в момент времени окончания заливки  $t = 6,8 \text{ с}$ , начальная температура заготовки  $T_{\text{н}} = 800 \text{ }^\circ\text{C}$ ; а, б – типы геометрии внутренней полости (согласно рис. 1)

и подложки в области контакта превышают пороговые значения температур возможного диффузионного соединения. В частности, из рис. 4, а видно, что расплав, заливаемый на нагретую подложку, передает ей часть тепла и температура в области контакта расплава с подложкой достигает значений выше температуры  $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ .

В области, ограниченной поверхностью  $L$ , в зоне контакта с расплавом температуры также выше, чем в процессе заливки на ненагретую подложку.

Траектория движения расплава в зоне уменьшения расстояния к тепловому источнику способствует размыванию твердой корочки, которая образуется на стенках заливочного устройства (рис. 5).

Аналогичные результаты получены для конструкции по типу б (рис. 4, б). В области контакта расплава с подложкой температуры превышают пороговые значения возможного диффузионного соединения.

В области контакта формы с нагретой подложкой (см. рис. 4) наблюдается отвод тепла от подложки к графитовой форме. Причем, чем больше площадь контакта (рис. 4, б), тем больше потери тепла подложкой в области контакта. Это можно отнести к неблагоприятному фактору, устранение которого необходимо и возможно либо при дополнительном нагреве графитовой формы, либо повышением температуры нагрева подложки.

Из графиков зависимости температуры заливочного материала от координаты линии  $L$  (рис. 6) видно, что для конструкции типа а, в начальные моменты времени

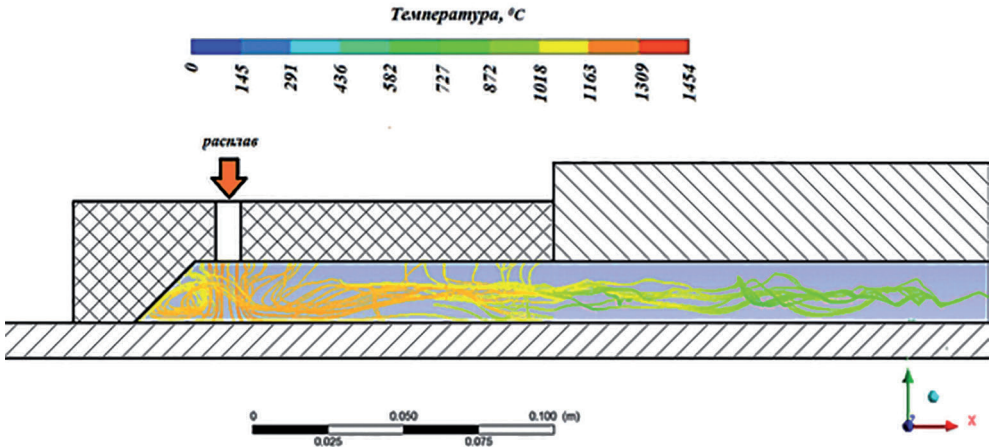


Рис. 5. Траектория движения чугуна при заливке расплава в полость с геометрией по типу а

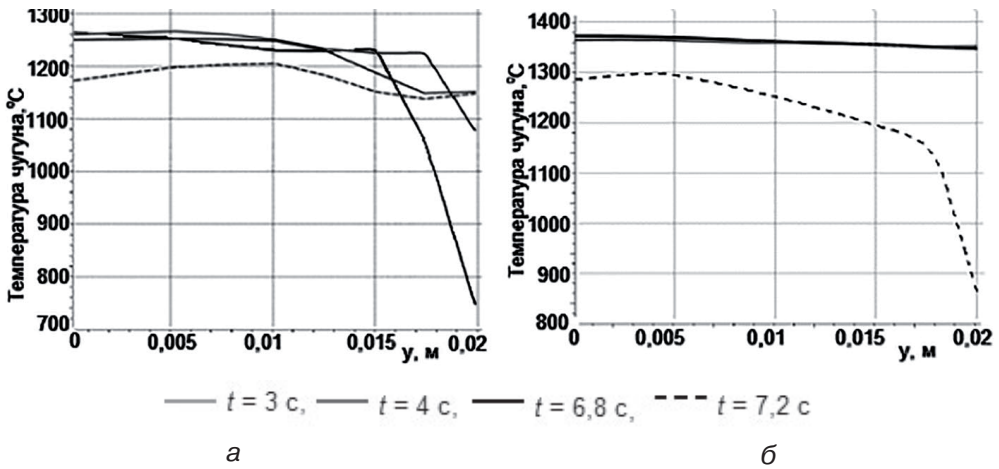


Рис. 6. Изменение температуры чугуна вдоль линии L (обозначено на рис. 2) на границе с графитовой формой для областей заливки, начальная температура заготовки  $T_{н} = 800 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ; а, б – типы геометрии внутренней полости (согласно рис. 1)

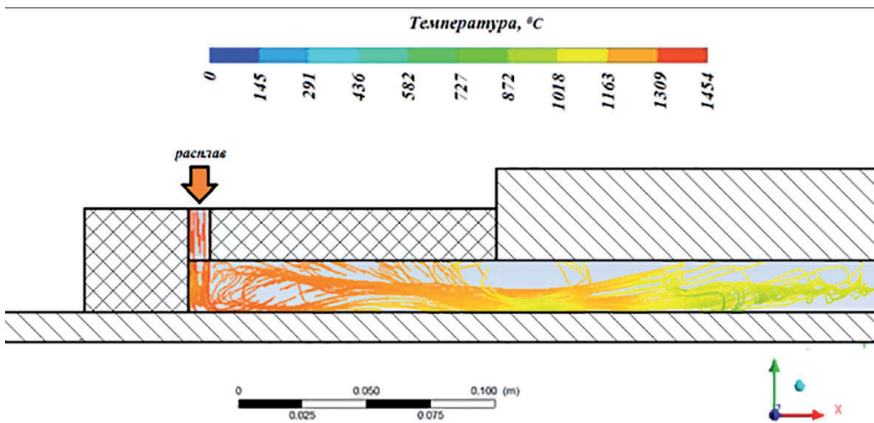


Рис. 7. Траектория движения чугуна при заливке расплава в полость с геометрией по типу б

заливки возможно образование корочки, толщина которой во время последующей заливки уменьшается. Активность перемешивания и поступление более горячего расплава приводит к тому, что корочка более тонкая в случае конструкции типа б (рис. 7).

Таким образом, на основании полученных данных можно сделать вывод о том, что для гарантированного соединения расплава с твердой подкладкой целесообразно применять предварительный ее нагрев до температур свыше 800 °С. Но наличие устройства подачи флюса между зоной обработки заготовки плазменным источником и зоной первичного контакта заготовки с расплавом требуют минимизации этого расстояния, что ведет к выбору конструкции А (рис.1) для уменьшения тепловых потерь нагретой заготовки.

Расчеты состояния теплового поля, включающего расплав, область контакта расплава с подложкой и графитовой формой во времени, дают возможность определения временных параметров затвердевания всего залитого материала, и, в случае необходимости, корректировки времени заливки и параметров кристаллизатора.

### Выводы

На основе анализа полученных результатов установлено, что при практическом проведении процесса заготовки без предварительного нагрева невозможно получить диффузионное соединение на границе «сталь-чугун». Для обеспечения соединения подложки с заливаемым расплавом необходим предварительный нагрев до температур  $T_{\text{н}} > 800$  °С.

Распределение температуры в системе указывает, что оба варианта геометрии внутренней полости имеют право на существование, но больший приоритет имеет конструкция с наличием зоны, уменьшающей расстояние от зоны обработки заготовки плазменным источником до зоны первичного контакта с жидким расплавом, для минимизации тепловых потерь подложки.

Таким образом, расчеты состояния теплового поля, включающего расплав, область контакта расплава с подложкой и фильерой во времени, дают возможность определения временных параметров затвердевания всего залитого материала, и, в случае необходимости, корректировки времени заливки и параметров кристаллизатора.

## Список литературы

1. Брыков М. Н. Износостойкость сталей и чугунов при абразивном изнашивании: Научное издание / М. Н. Брыков, В. Г. Ефременко, А. В. Ефременко. – Херсон: Гринь Д. С., 2014. – 364 с.
2. Каричковский П. Н. Способы повышения технического ресурса, эксплуатационной надежности рабочих органов дробильно-размольного оборудования / П. Н. Каричковский, И. О. Шинский, Л. М. Клименко // *Металл и литье Украины*. – 2009. – № 7–8. – С. 56–60.
3. Орлик А. Г. Разработка технологии механизированной дуговой наплавки покрытия с заданным комплексом свойств, стойкого к гидроабразивному износу / А. Г. Орлик, Г. Г. Гернышев // *Машиностроение*. – 2008. – № 8. – С. 53–61.
4. Голованенко С. А. Производство биметаллов / С. А. Голованенко, А. В. Меандров. – Москва: Машиностроение, 1966.
5. Вайнерман А. Е. Плазменная наплавка / А. Е. Вайнерман, М. Х. Шорохов, В. Д. Веселков, В. С. Новосадов. – Москва: Машиностроение, 1985.
6. Хасуи А. Наплавка и напыление / А. Хасуи, О. Мorigаки. – Москва: Машиностроение, 1966.
7. Гологорский Е. Г. Механизированные способы наплавки и напыления деталей строительных, дорожных и коммунальных машин / Е. Г. Гологорский. – Москва: МИКХиС, 1998 – 96 с.
8. Патент України на винахід UA № 70473A, B21D 11/06. Спосіб відливання біметалічної безперервнолітої заготовки / Т. М. Тітова, А. П. Огурцов, В. І. Большаков, І. О. Павлюченков, Г. А. Бялик; В. Г. Герасименко, С. І. Адамчук. – № u2003109217; заявл. 13.10.2003; опубл. 15.10.2004. – Бюл. № 10.
9. Патент України на винахід UA № 69114A, B22D 11/00. Спосіб одержання біметалічної безперервнолітої заготовки / Т. М. Тітова, В. І. Большаков, Л. Г. Тубольцев. – № u2003121119; заявл. 08.12.2003; опубл. 16.08.2004. – Бюл. № 8.



10. Лехов О. С. Исследование совмещенного процесса непрерывного литья и деформации для производства биметаллических полос / О. С. Лехов, В. В. Турлаев, И. В. Лисин, М. Ю. Туев // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. – 2014. – № 4. – С. 69–73.
11. Белоусов Ю. В. Современные высокопроизводительные технологии наплавки узлов и агрегатов металлургического цикла / Ю. В. Белоусов, Е. И. Корягин, Е. В. Таранина, С. В. Разумей, В. А. Оприщенко // Новые и нетрадиционные технологии в ресурсо- и энергосбережении: материалы научно-технической конференции (30 сентября – 1 октября 2008 года). – Одесса, 2008. – С. 5–8. – URL: [www.atmu.net.ua/downloads/archive/Odessa2008.pdf](http://www.atmu.net.ua/downloads/archive/Odessa2008.pdf).
12. Ткачев В. Н. Индукционная наплавка твердых сплавов / В. Н. Ткачев, Б. М. Фихштейн, Н. В. Казинцев, В. А. Алдырев. – Москва: Машиностроение, 1970. – 177 с.
13. Патент України на корисну модель UA №54486, B2C 19/00. Спосіб одержання зносостійких багатшарових металевих виливків / Лихошва В. П., Найдек В. Л., Каричковський П. М., Пелікан О. А., Глушков Д. В., Надашкевич Р. С. – № u201005922; заявл. 17.05.2010; опубл. 10.11.2010. – Бюл. № 21/2010.

Получено 10.09.2018

## References

1. Brykov, M. N., Efremenko, V. G. & Efremenko, A. V. (2014) Durability of steels and cast irons in abrasive wear: Scientific edition. Xerson: Grin D.S. [in Russian].
2. Karichkovskij, P.N., Shinskij, I.O., Klimenko, L.M. (2009) Methods of increasing the technical resource, operational reliability of the working bodies of crushing and grinding equipment. Metall i lit'e Ukrainy, vol. 7–8, pp. 56–60 [in Russian].
3. Orlik, A.G. & Gernyshev, G.G. (2008) Development of technology of mechanized arc surfacing coated with a given set of properties, resistant to hydroabrasive wear. Mashinostroenie, vol. 8, pp. 53–61 [in Russian].
4. Golovanensko, S.A. & Meandrov, A.V. (1966) Production of bimetals. Moskva: Mashinostroenie. [in Russian].
5. Vajnerman, A. E., Shoroxov, M. X., Veselkov, V. D. & Novosadov, V. S. (1985) Plasma surfacing. Moskva: Mashinostroenie. [in Russian].
6. Hasui, A., Morigaki, O. (1985) Surfacing and spraying. (Popova, V. N., Trans.). Moscow: Mashinostroenie. [in Russian].
7. Gologoskij, E.G. (1998) Mechanized methods of surfacing and spraying parts of construction, road and municipal machines. Moskov: MIKHIS [in Russian].
8. Titova, T. M., Ogurcov, A. P., Bolshakov, V. I., Pavlyuchenkov, I. O., Byalik, G. A., Gerasimenko, V. G. & Adamchuk, S. I. (2004) Ukrainian Patent UA №70473. Kiev: Derdavne pidpriemstvo «Ukrains'kij institut intelektual'noi vlasnosti». Bimetallic continuous casting method [in Ukrainian].
9. Titova, T. M., Bolshakov, V. I. & Tubolcev, L.G. (2004) Ukrainian Patent UA №69114. Kiev: Derzhavne pidpriemstvo «Ukrains'kij institut intelektual'noi vlasnosti» Method for producing bimetallic continuous cast casting [in Ukrainian].
10. Lexov, O. S., Turlaev, V. V., Lysin, I. V. & Tuev, M. Yu. (2014) Investigation of the combined process of continuous casting and deformation for the production of bimetallic bands. Vestnik MGTU im. G. I. Nosova, vol. 4, pp. 69–73 [in Russian].
11. Belousov, Yu. V., Koryagin, E. I., Taraniina, E. V., Razumey, S. V. & Oprishhenko, V. A. (2008) Modern high-performance welding technology of units of the metallurgical cycle. Nauchno-prakticheskaja konferencija «novye i netradicionnye texnologii v resurso- i energosberezhenii» (pp. 5–8). Odessa. URL: [www.atmu.net.ua/downloads/archive/odessa2008.pdf](http://www.atmu.net.ua/downloads/archive/odessa2008.pdf) [in Russian].
12. Tkachev, V. N., Fixshein, B. M., Kazince, N. V., Aldyrev, V. A. (1970) Induction hardfacing of hard alloys. Moscow: Mashinostroenie [in Russian].
13. Lixoshva, V. P., Naidek, V.L., Karichkovskij, P. M., Pelican, O. A., Glushkov, D. V. Nadashkevich, R. S. (2010) Ukrainian Patent UA №54486. Kiev: Derzhavne pidpriemstvo «Ukrains'kij institut intelektual'noi vlasnosti» Method of obtaining wear-resistant multilayer metal castings [in Ukrainian].

Received 10.09.2018

**А. В. Шматко**, мол. наук. співр., e-mail: blacknorfolk@gmail.com

**В. П. Лихошва**, д-р техн. наук, проф., зав. відділом, e-mail: plazer\_v@mail.ru

**О. П. Шатрава**, канд. техн. наук, ст. наук. співр., e-mail: shatrava@ptima.kiev.ua

**Є. А. Рейнталь**, наук. співр., e-mail: reintal@i.ua

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ

### **ЧИСЕЛЬНЕ ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛООВОГО ПОЛЯ В ПРОЦЕСІ ОТРИМАННЯ БІМЕТАЛІЧНОЇ СМУГИ ПО ЛИВАРНО-ПЛАЗМОВІЙ ТЕХНОЛОГІЇ**

*В умовах ливарно-плазмового способу отримання біметалевих конструкцій при заливанні чавунного розплаву на сталеву заготовку за допомогою чисельного моделювання досліджено зміну температурного поля в зоні заливання і кристалізації розплаву. Обґрунтовано необхідність попереднього нагрівання підкладки тепловим джерелом. Проаналізовано два варіанти конструкції внутрішньої порожнини ливарного вузла та обрано оптимальний.*

**Ключові слова:** біметалева конструкція, розплав, сталь, чавун, заготовка, підкладка, джерело тепла, кристалізатор, ливарний пристрій, розподіл температур, зона первинного контакту, дифузійне з'єднання.

**A. V. Shmatko**, Junior Researcher, e-mail: blacknorfolk@gmail.com

**V. P. Likhoshva**, Doctor of Engineering Sciences, Prof., Head of Department, e-mail: plazer\_v@mail.ru

**O. P. Shatrava**, Candidate of Engineering Sciences, Senior Researcher, e-mail: shatrava@ptima.kiev.ua

**Ye. A. Reyntal**, Researcher, e-mail: reintal@i.ua

Phisico-technological Institut of Metals and Alloys NAS of Ukraine, Kyiv

### **NUMERICAL SIMULATION OF THE THERMAL FIELD IN THE PROCESS OF OBTAINING A BIMETALLIC STRIP IN THE FOUNDRY-PLASMA TECHNOLOGY**

*In the conditions of the foundry-plasma method for producing bimetallic structures, when casting a cast iron melt onto a steel billet, the temperature field in the zone of pouring and solidification of the melt was studied using numerical simulation. The necessity of preliminary heating of the substrate by a thermal source is substantiated. Two variants of the design of the internal cavity of the pouring unit were analyzed and the optimal one was chosen.*

**Keywords:** bimetallic construction, melt, steel, cast iron, billet, substrate, heat source, crystallizer, casting device, temperature distribution, primary contact zone, diffusion bond.