

**Соснин А. А., Жилин С. Г., Комаров О. Н.**  
**A. A. Sosnin, S. G. Zhilin, O. N. Komarov**

**АНАЛИТИЧЕСКОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ПРОЦЕССА  
ФОРМИРОВАНИЯ ПРОТЯЖЁННОЙ ПОКОВКИ В УСТРОЙСТВЕ ЛИТЬЯ  
И ДЕФОРМАЦИИ МЕТАЛЛА**

**ANALYTICAL FORECASTING OF THE STABILITY OF THE PROCESS FORMATION  
OF A LONG FORGING IN A CASTING DEVICE AND DEFORMATION OF METAL**

**Соснин Александр Александрович** – кандидат технических наук, старший научный сотрудник Хабаровского Федерального исследовательского центра Дальневосточного отделения Российской академии наук (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681005, Россия, Хабаровский край, г. Комсомольск-на-Амуре, ул. Metallургов, 1; тел. +7(4217) 54-95-39. E-mail: sosnin@imim.ru.

**Aleksandr A. Sosnin** – PhD in Engineering, Senior Researcher, Khabarovsk Federal Research Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (Russia, Komsomolsk-on-Amur); 681005, Russian Federation, Khabarovsk region, Komsomolsk-on-Amur, st. Metallurgists 1; tel. +7(4217)54-95-39. E-mail: sosnin@imim.ru.

**Жилин Сергей Геннадьевич** – кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник Хабаровского Федерального исследовательского центра Дальневосточного отделения Российской академии наук (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681005, Россия, Хабаровский край, г. Комсомольск-на-Амуре, ул. Metallургов, 1; тел. +7(4217)54-95-39. E-mail: zhilin@imim.ru.

**Sergey G. Zhilin** – PhD in Engineering, Associate Professor, Leading Researcher, Khabarovsk Federal Research Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (Russia, Komsomolsk-on-Amur); 681005, Russian Federation, Khabarovsk region, Komsomolsk-on-Amur, st. Metallurgists 1; tel. +7(4217)54-95-39. E-mail: zhilin@imim.ru.

**Комаров Олег Николаевич** – кандидат технических наук, доцент, врио директора Института машиноведения и металлургии Дальневосточного отделения Российской академии наук Хабаровского Федерального исследовательского центра Дальневосточного отделения Российской академии наук (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681005, Россия, Хабаровский край, г. Комсомольск-на-Амуре, ул. Metallургов, 1; тел. +7(4217)54-95-39. E-mail: olegnikolaevitsch@rambler.ru.

**Oleg N. Komarov** – PhD in Engineering, Associate Professor, Acting Director of the Institute of Machinery and Metallurgy of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (IMM FEB RAS) of the Khabarovsk Federal Research Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (Russia, Komsomolsk-on-Amur); 681005, Russian Federation, Khabarovsk region, Komsomolsk-on-Amur, st. Metallurgists 1; tel. +7(4217)54-95-39. E-mail: olegnikolaevitsch@rambler.ru.

**Аннотация.** Существуют различные технологические процессы получения длинномерных металлоизделий, каждый из которых обладает своими преимуществами перед другими. В Институте машиноведения и металлургии Дальневосточного отделения Российской академии наук разработано и изготовлено устройство, реализующее процесс, обеспечивающий получение металлопрофиля в непрерывном режиме. Оно позволяет совместить в одном агрегате несколько технологических этапов, но требует соблюдения точных температурных параметров процесса. В результате применения математической модели по уточнённым значениям температур удалось реализовать возможность управления параметрами математического и физического моделирования процессов формирования протяжённой поковки в устройстве литья и деформации металла.

**Summary.** There are various processes used to produce long metalware and each has advantages over others. Institute of Machines and Metallurgy Science of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences has designed and made a device for continuous producing of metal profiles. It allows combining several process stages in one but under the condition that the process temperature parameters are exactly maintained. The mathematical model with adjusted temperatures allowed controlling the mathematic and physical simulation parameters for long forge forming in the metal casting and deforming unit.

**Ключевые слова:** непрерывный процесс, математическая модель, граничные условия, технологические параметры, распределение температур.

**Key words:** continuous process, mathematical model, boundary conditions, technological parameters, temperature distribution.

УДК 004.942,621.7.043

Работа выполнена в рамках государственного задания ХФИЦ ДВО РАН.

Одним из стратегических направлений развития предприятий машиностроительного комплекса и металлургии в аспекте повышения конкурентоспособности и долгосрочного функционирования на рынке продукции является внедрение ресурсо- и энергосберегающих технологий. Достижение результатов в этом направлении возможно за счёт совмещения в одном агрегате технологических цепочек, что позволяет в значительной степени повысить производительность [2; 3; 5].

Традиционные многостадийные процессы формирования протяжённого металлопрофиля с контролируемым сечением, как правило, состоят из длинной цепочки технологических этапов: производство стали, разливка и прокат [4], которые в совокупности имеют невысокую энергоэффективность. В Институте машиноведения и металлургии Дальневосточного отделения Российской академии наук разработано и изготовлено устройство, реализующее процесс, обеспечивающий получение металлопрофиля в непрерывном режиме [1]. Особенностью конструктивного исполнения этого агрегата является совмещение трёх технологических этапов получения протяжённого металлопрофиля в одной установке.

На рис. 1 представлены фрагменты протяжённых поковок, полученных на экспериментальном агрегате. Видно, что рост числа дестабилизирующих факторов при получении поковки приводит к образованию геометрических и поверхностных дефектов (см. рис. 1, а), а при соблюдении технологических параметров в требуемом диапазоне получаемый продукт не имеет дефектов (см. рис. 1, б).

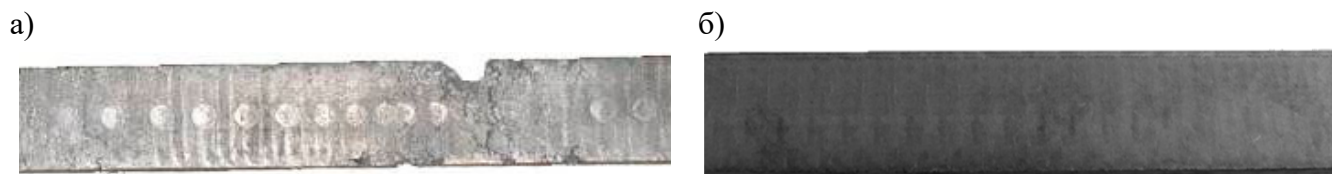


Рис. 1. Фрагменты поковок, полученных на экспериментальном агрегате:  
а – поковка с дефектами; б – поковка без дефектов

Таким образом, геометрия, структура и свойства получаемой поковки формируются в достаточно узком диапазоне технологических параметров: величины и скорости обжата, температур стенок кристаллизатора и расплава, поступающего в устройство, определяющих интенсивность теплоотвода. Экспериментально установлено, что параметром, обуславливающим устойчивость процесса, в большей степени является температурный режим, при котором металлоизделие будет формироваться в наиболее благоприятных условиях с наименьшими значениями напряжений.

Целью настоящей работы является реализация возможности управления параметрами математического и физического моделирования процессов формирования протяжённой поковки в устройстве литья и деформации металла.

Для достижения поставленной цели были произведены математические вычисления по методу, разработанному В. И. Одиноким [6] для решения задач упругости и пластичности. Для уточнения используемого в расчётах распределения температуры в объёме кристаллизатора был

проведён ряд экспериментов с использованием сплава АД0, представляющего собой технический алюминий, содержащий незначительное количество примесей (кремний, железо, магний, титан, цинк, медь и марганец). Сплав АД0 легко поддаётся формовке и механической обработке, устойчив к коррозии и отличается повышенной прочностью.

На рис. 2 представлен вид одной четвёртой части составного кристаллизатора этого агрегата, где схематично показаны точки, в которых установлены датчики измерения температуры (верхняя стенка кристаллизатора не показана). В качестве датчиков измерения температуры использованы термоэлектрические преобразователи (термопары) градуировки ХА(К) по ГОСТ Р8.585-2001 с диаметром проволоки 0,5 мм. Показания термопар фиксировали с помощью многоканального измерителя температуры марки «Термодат-29М1» (ТУ 4218-004-12023213-2004, государственный реестр средств измерения России № 17602-04).

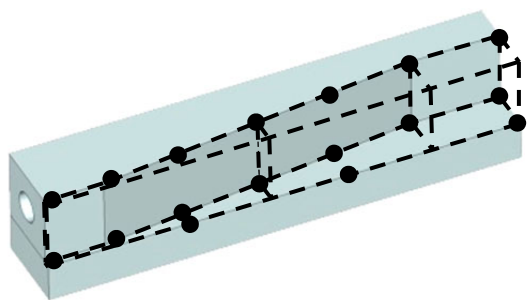


Рис. 2. Расположения термопар в кристаллизаторе

Значения поля температур установившегося режима, полученного в результате эксперимента, подставляли в математическую модель процесса в качестве начальных условий для формирования уточнённой картины процессов, происходящих в ходе изготовления протяжённого металлопрофиля.

В результате физического эксперимента благодаря установленным согласно рис. 2 термопарам получены уточнённые значения температур на стенках кристаллизатора. После уточнения математической модели получены значения напряжений и было установлено, что благодаря математической модели расчётные напряжения,

полученные по уточнённым температурам, превышают исходные значения в среднем на 3-5 МПа.

Если учесть, что предел прочности пластически деформированного технического алюминия марки АД0 составляет 90 МПа, то значения рассчитанных напряжений не выходят за рамки предела прочности, что обуславливает стойкость получаемых металлоизделий к разрушению при изготовлении.

Конечная математическая модель может быть использована в расчёте технологического процесса с целью прогнозирования проблемных участков формирования металлоизделия в устройствах литья и деформации металла, определения температур и напряжений в металлоизделии на различных участках кристаллизатора устройств такого типа.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Chernomas V. V., Lovizin N. S., Sosnin A. A. Stability criteria for manufacturing metal products on a horizontal metal casting and deformation plant // *Journal of Machinery Manufacture and Reliability*. 2012. 41(2), p. 158-162.
2. Georgi-Maschler, T. Maßnahmen zur Produktivitätssteigerung an einer Aluminium-Bandgießanlage // *Proceeding of Aachner Stahlkolloquium*. – Aachen, 2013. – P. 187-196.
3. Jungbaue A., Linzer B., Viehböck A. Give Me Five – Rizhao Steel Counts on Arvedi ESP for High-Quality Hot Strip Production // *AISTech 2015*, Cleveland, Oh, USA. Proceedings. P. 2374-2379.
4. Kartavtcev S. V., Matveev S. V., Neshporenko E. G. Heat-electrical regeneration way to intensive energy saving in an electric arc furnaces // *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2018. Vol. 136. 012003. (5p.).
5. Müller J., Geerkens C., Emling W. H. CSP casting technology – 25 years of success // *The Iron and Steel Technology Conference and Exposition (AISTech 2015)*, Cleveland, Oh, USA. Proceedings. P. 2380-2389.
6. Odinokov, V. I., Sosnin, A. A. Mathematical simulation of metal deformation using horizontal foundry-forging module // *Journal of Machinery Manufacture and Reliability*. 2012. 41(3), p. 223-228.