

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ОСНАСТКИ ДЛЯ НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ СЛИТКОВ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ В ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ КРИСТАЛЛИЗАТОР

*Якубович Е.А.*

*Самарский государственный технический университет, Самара, Россия*

**Ключевые слова:** плоский слиток, кристаллизация, оснастка, непрерывное литье, алюминиевые сплавы, электромагнитный кристаллизатор.

**Аннотация.** На основе анализа практики применения метода непрерывного литья слитков в электромагнитном поле показана роль электромагнитного кристаллизатора (ЭМК) в качестве формообразующей оснастки для получения плоских слитков алюминиевых сплавов. Определены направления совершенствования конструкций ЭМК, расширяющие технологические возможности метода формирования слитков в электромагнитном поле за счет повышения точности и стабильности размеров поперечного сечения слитка и возможности изменения профиля и размеров поперечного сечения слитка в процессе литья. Содержательная интерпретация полученных результатов используется для прогнозирования перспектив совершенствования инструментальной оснастки на базе моделирования и экспериментальных исследований конструкций ЭМК для производства слитков основных типоразмеров и видов сплавов.

## IMPROVEMENT OF TOOLING FOR CONTINUOUS CASTING OF ALUMINUM ALLOY INGOTS IN ELECTROMAGNETIC MOLD

*Yakubovich E.A.*

*Samara state technical university, Samara, Russia*

**Keywords:** flat ingot, crystallization, tooling, continuous casting, aluminum alloys, electromagnetic mold.

**Abstract.** Based on the analysis of the practice of applying the method of continuous casting of ingots in an electromagnetic field, the role of an electromagnetic mold (EMC) as a shaping tool for producing flat ingots of aluminum alloys is shown. Directions for improving EMC designs are determined, expanding the technological capabilities of the method of forming ingots in an electromagnetic field by increasing the accuracy and stability of the dimensions of the cross section of the ingot and the possibility of changing the profile and dimensions of the cross section of the ingot during the casting process. Meaningful interpretation of the obtained results is used to predict the prospects for improving tooling on the basis of modeling and experimental studies of EMC designs for the production of ingots of basic sizes and types of alloys.

Одним из наиболее эффективных методов производства слитков алюминиевых сплавов для последующего использования в процессах получения катаных и прессованных полуфабрикатов является непрерывное литье с формированием контура слитка электромагнитным полем [1], что обусловлено рядом существенных преимуществ этого вида заготовительного литья. Производственный комплекс, реализующий этот процесс, включает инструментальную формообразующую оснастку, основным элементом которой является электромагнитный кристаллизатор (ЭМК) [2]. Современные

ЭМК для производства слитков алюминиевых сплавов с использованием эффекта электромагнитного удержания расплава представляют собой сложные технологические объекты, в которых протекают взаимосвязанные физические процессы различной природы – электромагнитные, тепловые, гидродинамические, механические. Конструктивные подходы к углубленному анализу этих процессов с выходом на практическую реализацию и промышленное применение приведены в [3-5].

Самостоятельный интерес представляет определение направлений совершенствования конструкций ЭМК, расширяющих технологические возможности метода формирования слитков в электромагнитном поле.

Известные конструкции ЭМК, реализующие технологию кристаллизации слитка в электромагнитном поле, позволяют получать слитки неизменного профиля и сечения [6]. Размер поперечного сечения однозначно связан с размером разливочной полости, образуемой индуктором и не может быть изменен в процессе литья слитка. Вместе с тем в современном производстве возникает необходимость получения слитков, профиль и поперечное сечение которых изменяются по заранее задаваемой программе.

Электромагнитный кристаллизатор (рис. 1) обеспечивает возможность регулирования профиля и размеров поперечного сечения слитка в процессе литья, а также возможность отливки на одной установке слитков с различной площадью поперечного сечения.

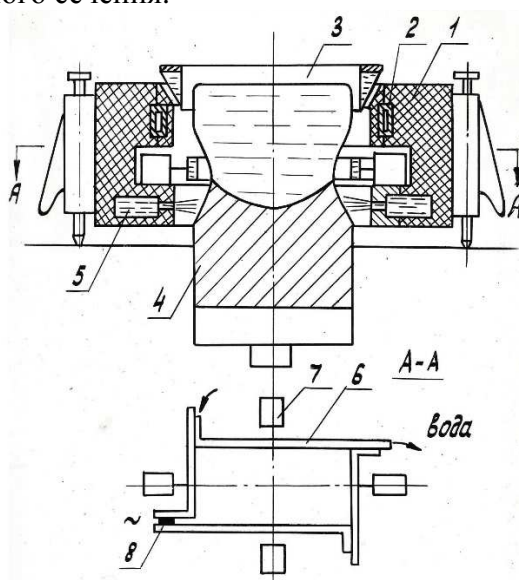


Рис. 1. Эскиз электромагнитного кристаллизатора

Конструктивно ЭМК содержит корпус 1, в котором установлен индуктор 2. Электромагнитный экран расположен между индуктором 2 и боковой поверхностью слитка 4. В корпусе выполнен коллектор охлаждения 5, обеспечивающий подачу охладителя на боковую поверхность слитка. Секционный индуктор 6 состоит из соединенных между собой по скользящей

посадке секций, образующих замкнутый контур. Секции выполнены полыми для пропускания охлаждающей воды. Для перемещения секций в плоскости, перпендикулярной продольной оси слитка, каждая секция снабжена приводным устройством 7. Для подвода электропитания к секционному индуктору две секции изолированы в месте соединения с помощью изоляционной прокладки 8, укрепленной на коротком плече одной из секций.

Конструкция ЭМК позволяет отливать слитки, размер поперечного сечения которых определяется размером разливочной полости, образованной секционным индуктором 6. Для перехода к формированию слитка нового размера необходимо произвести регулировку положения секций секционного индуктора, т.е. установить новый размер разливочной полости. Возможность отливки слитков разных размеров на одном агрегате заметно сокращает время на переналадку, позволяет снизить расходы на изготовление и обслуживание парка ЭМК на каждый типоразмер слитка, а также расширить сортамент слитков, отливаемых методом формирования в электромагнитном поле.

Одной из проблем промышленного освоения литья слитков в электромагнитном поле является сложность обеспечения стабильности размеров [8], причем для плоских слитков из-за особенностей бесконтактной кристаллизации в ЭМК традиционной конструкции возможно искажение строго прямоугольной формы поперечного сечения. Это связано с тем, что при создании равномерного электромагнитного давления по периметру плоского слитка его кристаллизация сопровождается значительной усадкой и деформацией широких граней и приводит к тому, что изменение размера поперечного сечения в центральной зоне слитка достигает 7% от толщины слитка. Прокатка таких слитков затруднена, что снижает технико-экономические показатели прогрессивного способа непрерывной разливки в электромагнитном поле.

Устранение этого недостатка и повышение точности поперечного сечения плоского слитка достигается созданием неравномерного по периметру слитка электромагнитного давления, возрастающего по направлению от центра широкой грани к ребру слитка, причем электромагнитное давление у ребра слитка составляет 1,05-1,15 от соответствующей величины в центре широкой грани. Ослабление электромагнитного давления в центре широкой грани приводит к тому, что слой жидкого металла в этой зоне имеет ширину, превосходящую ширину поперечного сечения твердого слитка. За счет этого происходящая в процессе кристаллизации усадка и деформация обеспечивает формирование твердого слитка со строго параллельными гранями.

Неравномерное электромагнитное давление вдоль широкой грани слитка создают, например, путем придания выпуклости широким граням индуктора, т.е. за счет создания неравномерного воздушного зазора между индуктором и поверхностью слитка. Эта задача может быть решена путем коррекции поля индуктора при помощи внешних магнитопроводов, а также нанесением на поверхность индуктора, обращенную к слитку, слоя ферромагнитного

материала переменной по периметру слитка толщины. В зоне минимального электромагнитного давления слой имеет максимальную толщину. Аналогичный эффект достигается, если шина индуктора в центре широкой грани выполнена из нескольких параллельно соединенных элементов.

Полученные по результатам работы данные используются для обоснования технических требований к системам охлаждения и регулирования электромагнитных параметров ЭМК, которыми оснащаются агрегаты для непрерывного литья плоских слитков алюминиевых сплавов, а также для синтеза основных алгоритмов контроля и управления процессом в направлении повышения энергоэффективности, обеспечения точности размеров и качества поверхности слитка и структуры литого металла. Дальнейшие перспективы развиваемого подхода определяются прежде всего ориентацией на анализ тенденций изменения и поиск оптимальных режимных и конструктивных параметров формообразующей оснастки на основе моделирования и экспериментальных исследований комплекса значимых особенностей функционирования ЭМК для основных деформируемых сплавов и типоразмеров слитков.

#### **Список литературы**

1. Гецелев З.Н., Балахонцев Г.А., Квасов Ф.И. и др. Непрерывное литье в электромагнитный кристаллизатор. – М.: Metallurgy, 1983. – 152 с.
2. Якубович Е.А. Особенности инструментальной оснастки для формирования слитка при непрерывном литье в ЭМК // Современные материалы, техника и технологии. – 2017. – №6(14). – С. 150-155.
3. Гецелев З.Н., Балахонцев Г.А., Черепок Г.В. Развитие и усовершенствование установок и технологии для отливки слитков алюминиевых сплавов в ЭМК // Цветные металлы. – 1980. – №2. – С. 59-63.
4. Специальные способы литья: Справочник / Под общ. ред. В.А. Ефимова. – М.: Машиностроение, 1991. – 436 с.
5. Напалков В.И., Черепок Г.В., Махов С.В., Черновол Ю.М. Непрерывное литье алюминиевых сплавов: справочник / ред. Напалков В.И. – М.: Интернет Инжиниринг, 2005. – 511 с.
6. Черепок Г.В., Якубович Е.А. Совершенствование технологии непрерывного литья слитков деформируемых алюминиевых сплавов // Высокие технологии в машиностроении: Материалы Всеросс. науч.-техн. интернет-конф. – Самара: СамГТУ, 2014. – С. 111-112.
7. Базаров А.А., Навасардян А.А., Бондарева Н.В. Конструкция электромагнитного кристаллизатора алюминия периодического действия // Вестник Самар. гос. техн. ун-та. Сер. технические науки. – 2021. – Т. 29, №2. – С. 100-116.
8. Гецелев З.Н., Будников В.Ф., Дьячков В.В. К вопросу стабилизации размеров слитка при литье в электромагнитный кристаллизатор // Технология легких сплавов. – 1978. – №10. – С. 12-18.

#### **References**

1. Getsellev Z.N., Balakhontsev G.A., Kvasov F.I. et al. Continuous casting into electromagnetic crystallizer. – M.: Metallurgy, 1983. – 152 p.

2. Jakubovich E.A. Features of tool tooling for the formation of ingot in continuous casting in EMC // Modern materials, techniques and technologies. 2017, no. 6(14), pp. 150-155.
3. Getselev Z.N., Balakhontsev G.A., Cherepok G.V. Development and improvement of installations and technology for aluminum alloys ingots casting in EMC // Non-ferrous metals. 1980, no. 2, pp. 59-63.
4. Special Casting Methods: reference book / General ed. V.A. Efimov. – M.: Mechanical Engineering, 1991. – 436 p.
5. Napalkov V.I., Cherepok G.V., Makhov S.V., Chernovol Yu.M. Continuous casting of aluminum alloys: reference book / ed. Napalkov V.I. – M.: Internet Engineering, 2005. – 511 p.
6. Jakubovich E.A. Improvement of continuous casting technology of deformable aluminum alloys // High technology in mechanical engineering: Materials of the All-Russian Scientific and Technical internet conf. – Samara: SamSTU, 2014. – P. 111-112.
7. Bazarov A.A., Navasardyan A.A., Bondareva N.V. Construction of electromagnetic crystallizer of periodical action // Bulletin Samar. State Techn. Un-ty. Ser. Technical Sciences. 2021, vol. 29, no. 2, pp.100-116.
8. Getselev Z.N., Budnikov V.F., D'yachkov V.V. On the issue of ingot size stabilization during casting in an electromagnetic mold // Light Alloy Technology. 1978, no. 10, pp. 12-18.

|  |   |
|--|---|
| <b>Якубович Ефим Абрамович</b> – кандидат технических наук, профессор кафедры «Металловедение, порошковая металлургия, наноматериалы»<br>eyakubovich@mail.ru | <b>Yakubovich Efim Abramovich</b> – candidate of technical science, professor of the Department «Metal science, powder metallurgy, nanomaterials» |
|--|---|

*Received 06.10.2022*