

ВЛИЯНИЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ОСНАСТКИ НА ДЕФОРМАЦИЮ ДОННОЙ ЧАСТИ ПЛОСКОГО СЛИТКА ПРИ НЕПРЕРЫВНОМ ЛИТЬЕ В ЭМК

Якубович Е.А.

Самарский государственный технический университет, Самара, Россия

Ключевые слова: непрерывное литье, плоский слиток, инструментальная оснастка, электромагнитный кристаллизатор, затравка, деформация, донная часть, коробление.

Аннотация. В статье выполнен анализ специфического процесса деформации донной части плоского слитка на начальном этапе непрерывного литья в электромагнитный кристаллизатор (ЭМК). Приводятся оценки роли ЭМК и затравки как элементов формообразующей оснастки в создании условий и развитие процесса деформации, приводящего к возникновению зазора между опорной поверхностью слитка и затравкой. Указано на возможности снижения величины зазора за счет регулирования скорости литья в ходе формирования донной части слитка. Сделан вывод о необходимости системного решения вопросов совершенствования конструкции инструментальной оснастки в сочетании с поиском оптимальных технологических режимов непрерывного литья слитков.

INFLUENCE OF TOOLING ON THE DEFORMATION OF A FLAT INGOT BOTTOM PART DURING CONTINUOUS CASTING IN EMC

Yakubovich E.A.

Samara state technical university, Samara, Russia

Keywords: continuous casting, flat ingot, tooling, electromagnetic mold, seed, deformation, bottom part, warpage.

Abstract. The article analyzes the specific process of deformation of the bottom part of a flat ingot at the initial stage of continuous casting into an electromagnetic mold (EMC). Evaluations are given of the role of the EMC and the seed as elements of the shaping tooling in the creation of conditions and development of the deformation process, leading to the appearance of a gap between the supporting surface of the ingot and the seed. It is pointed out that it is possible to reduce the gap size by controlling the casting speed during the formation of the bottom part of the ingot. It is concluded that it is necessary to systematically address the issues of improving the design of tooling in combination with the search for optimal technological modes of continuous casting of ingots.

Принципиальные преимущества метода непрерывного литья слитков алюминиевых сплавов в электромагнитный кристаллизатор (ЭМК) позволили полностью исключить недостатки, свойственные слиткам, получаемым традиционным методом в контактные водоохлаждаемые кристаллизаторы: ликвидировать механическую обдирку поверхности при производстве всех видов полуфабрикатов, улучшить технологичность металла в процессе деформирования, повысить конечные физико-механические свойства полуфабрикатов [1-3].

Вместе с тем практика промышленного производства показывает, что этот процесс обладает принципиальной спецификой, связанной с особенностями начального нестационарного этапа формирования плоского

слитка, протекающего под действием основных формообразующих элементов инструментальной оснастки: электромагнитного кристаллизатора (ЭМК) и затравки (поддона), которая обеспечивает формирование донной части слитка и служит его опорой в процессе литья. Основные затруднения связаны с неизбежной деформацией (короблением) донной части слитка, оцениваемой по величине зазора между слитком и затравкой. Отмеченное приводит к возможности появления горячих трещин, нарушению устойчивости слитка с сопутствующими проливами жидкого металла и технологической остановке процесса литья, снижению выхода годного за счет обрезки некондиционной донной части слитка (рис. 1).

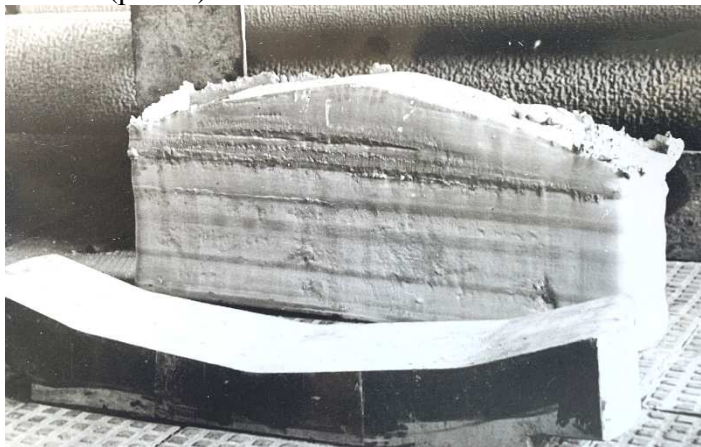


Рис. 1. Затравка и некондиционная донная часть плоского слитка

С увеличением габаритов плоских слитков (толщина до 600 мм, ширина до 2000 мм) деформация донной части проявляется особенно сильно [4]. При определенных условиях в зазор, возникающий между слитком и затравкой, попадает охлаждающая вода, что может привести к взрывному парообразованию и аварийному выбросу жидкого металла в зону обслуживания.

Объективное экспериментальное определение деформации донной части, оцениваемой по величине зазора между слитком и затравкой, затруднительно и требует применения специальных датчиков.

Важнейшим элементом инструментальной оснастки является электромагнитный кристаллизатор (рис. 2), где 1 – индуктор, 2 – коллектор охлаждения, 3 – экран, 4,5 – верхний и нижний пояса охлаждения, 6 – донная часть слитка, 7 – затравка. Рисунок 3 демонстрирует промышленный вариант ЭМК для получения плоских слитков.

Конструктивными особенностями ЭМК, применяемых на практике, предусмотрены один или несколько фиксированных поясов охлаждения слитка, расположенных на разных уровнях по вертикали (рис. 2). Верхний пояс обеспечивает начальное образование корочки и ее развитие до полного затвердевания слитка. Нижние пояса предназначены для усиления и вариативности интенсивности охлаждения в зависимости от типоразмеров

слитка и типа сплава. Охлаждающая жидкость может подаваться на поверхность слитка под острым углом или под углом, близким к прямому. В последнем случае поток струй носит импактный характер, чем достигается интенсификация процесса охлаждения за счет увеличения коэффициента теплообмена в области натекания до 2-4 раз по сравнению с охлаждением поверхности струями по касательной к поверхности [5].

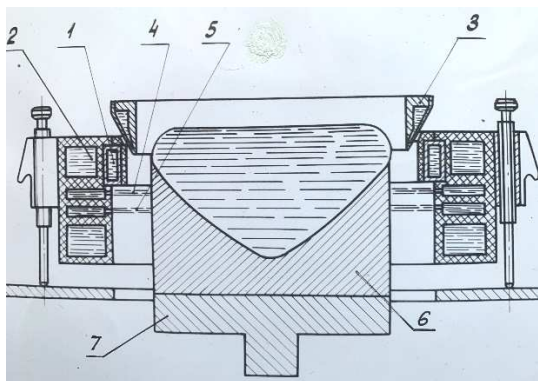


Рис. 2. Схема электромагнитного кристаллизатора



Рис.3. Внешний вид электромагнитного кристаллизатора для литья слитка 180x510 мм

Конструкции затравок для литья слитков в ЭМК незначительно отличаются от затравок, применяемых для отливки в кристаллизатор скольжения. Обычно они представляют собой чашу с плоской или вогнутой поверхностью глубиной до 30 мм и более.

Результаты экспериментальных исследований температурно-деформированного состояния элементов контактной системы «слиток-затравка» при литье в ЭМК плоских слитков деформируемых алюминиевых сплавов типовых размеров [6] указывают на то, что затравка не выполняет функции активного отбора тепла от слитка и должна рассматриваться как пассивный в тепловом отношении элемент инструментальной оснастки, служащий главным образом для оформления донной части слитка. При попадании охлаждающей воды в зазор между слитком и затравкой происходит изменение направления температурного градиента: контактная поверхность затравки приобретает более низкую температуру, чем внутренние точки.

Интенсивная деформация донной части начинается с момента выхода граней слитка в зону непосредственного воздействия охлаждающей воды. При этом зазор между торцом слитка и затравкой в сравнительно короткое время достигает значительной величины, после чего остается практически неизменным. По результатам исследования характера изменения деформационного зазора между контактирующими поверхностями слитка и затравки с помощью специальных датчиков установлено влияние ускорения вытягивания на величину максимальной деформации торца [7]. Увеличение

темпа роста скорости литья с 12 мм/мин² до 32 мм/мин² для выхода на установившийся режим литья приводит к двукратному снижению деформации торца слитка с 25 мм до 50 мм.

Приведенные данные показывают, что в прикладном плане совершенствование конструкции и функциональных возможностей инструментальной оснастки для получения слитков алюминиевых сплавов, формируемых электромагнитным полем, является необходимым элементом комплекса мер по совершенствованию технологии непрерывного литья плоских слитков в ЭМК, поиску оптимальных технически реализуемых параметров охлаждения и скорости литья от начальных значений до установившихся, реализации возможностей укрупнения габаритов слитка, а также получения тонких полос и изделий сложной формы, создания совмещенных процессов литья и обработки давлением.

Список литературы

1. Непрерывное литье в электромагнитный кристаллизатор / З.Н. Гецелев, Г.А. Балахонцев, Ф.И. Квасов и др. – М.: Metallurgy, 1983. – 152 с.
2. Гецелев З.Н. Развитие и усовершенствование установок и технологии для отливки слитков алюминиевых сплавов в ЭМК / З.Н. Гецелев, Г.А. Балахонцев, Г.В.Черепок // Цветные металлы. 1980. №2. С. 59-63.
3. Непрерывное литье алюминиевых сплавов: справ. / Под ред. В.И. Напалкова. – М.: Интермет – Инжиниринг, 2005. – 512 с.
4. Якубович Е.А. Деформация донной части слитка при непрерывном литье в электромагнитный кристаллизатор // Актуальные вопросы образования и науки: сб. научн. трудов. Часть 1. – Тамбов: ООО «Консалтинговая компания Юком», 2015. – С. 162-163.
5. Михеев М.А. Основы теплопередачи / М.А. Михеев, И.М. Михеева. – М.: Энергия, 1977. – 344 с.
6. Гецелев З.Н. О температурно-деформированном состоянии крупногабаритных слитков / З.Н. Гецелев, В.А. Калашников, Б.Ф. Трахтенберг, Г.В. Черепок, Е.А. Якубович // Цветные металлы. 1974. №4. С. 54-55.
7. Якубович Е.А. Особенности инструментальной оснастки для формирования непрерывного слитка при непрерывном литье // Современные материалы, техника и технологии: научно-практический журнал. 2017. №6(47). С. 150-155.

References

1. Continuous casting into an electromagnetic mold / Z.N. Getselev, G.A. Balakhontsev, F.I. Kvasov etc. – M.: Metallurgy, 1983. – 152 p.
2. Getselev Z.N. Development and improvement of installations and technology for casting ingots of aluminum alloys in the EMC / Z.N. Getselev, G.A. Balakhontsev, G.V.Cherepok // Non-ferrous metals. 1980. No. 2. P. 59-63.

3. Continuous casting of aluminum alloys: ref. book / Ed. by V.I. Napalkov. – M.: Internet - Engineering, 2005. – 512 p.
4. Yakubovich E.A. Deformation of the bottom part of the ingot during continuous casting in an electromagnetic mold // Topical issues of education and science: collection of scientific works. Part 1. – Tambov: Ucom Consulting Company, 2015. – P. 162-163.
5. Mikheev M.A. Fundamentals of heat transfer / M.A. Mikheev, I.V. Mikheeva. – M.: Energy, 1977. – 344 p.
6. Getselev Z.N. On the temperature-deformed state of large-sized ingots / Z.N. Getselev, V.A. Kalashnikov, B.F. Trakhtenberg, G.V. Cherepok, E.A. Yakubovich // Non-ferrous metals. 1974. No. 4. P. 54-55.
7. Yakubovich E.A. Features of tooling for the formation of a continuous ingot during continuous casting in EMK // Modern materials, equipment and technologies: scientific – practical journal. 2017. No. 6 (47). P. 150-155.

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

Received 04.04.2022