

МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СОВМЕЩЕННОГО ПРОЦЕССА НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ И ПРЕССОВАНИЯ МЕТАЛЛОВ

Ю.В. Горохов¹, В.Г. Шеркунов², И.Л. Константинов¹

¹ Сибирский федеральный университет, г. Красноярск;

² Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск

Рассмотрены схемы совмещения непрерывного литья с прессованием алюминиевых сплавов: Конформ, Экстроллинг, Линекс, совмещенная прокатка-прессование. Показано, что методология расчета основных технологических параметров совмещенного процесса литья-прессования алюминиевых сплавов с использованием карусельного кристаллизатора должна включать нахождение рациональных размеров поперечного сечения контейнера, определение величины входного угла матрицы, расчет значения угла между каналом матрицы и продольной осью контейнера, определение длины контейнера, определение места заливки расплава в канавку колеса кристаллизатора в зависимости от заданных значений температуры, скорости прессования, интенсивности охлаждения рабочего инструмента при стабильном процессе деформирования. Для нахождения зависимости времени остывания от перечисленных факторов применялось планирование экспериментов типа 24 и получено уравнение регрессии. По результатам теоретических расчетов была спроектирована и изготовлена опытная установка совмещенного литья и прессования цветных металлов, на которой были проведены эксперименты по установлению влияния на процесс кристаллизации остывания и последующего прессования заготовок из алюминиевых сплавов, температуры поверхности канавки колеса-кристаллизатора, площади ее поперечного сечения, температуры заливаемого металла, величины заходного угла матрицы и ее расположение относительно дна канавки колеса, скорости подачи металла к матрице, температуры прессования и коэффициента вытяжки. Было установлено, что совмещение процессов непрерывного литья и прессования в одном инструменте должно обеспечивать создание и соблюдение постоянного градиента температуры металла на участке его заливки в кристаллизатор и в зоне матрицы, где происходит деформирование кристаллизованной заготовки. При этом уровень градиента зависит от характера распределения температуры вдоль переходной зоны твердо-жидкого состояния металла в кристаллизаторе и определяет как энергосиловые параметры процесса деформирования, так и качество получаемого пресс-изделия.

Ключевые слова: Кастекс, Конформ, кристаллизатор, литье, прессование, алюминиевые сплавы.

В условиях быстро меняющейся конъюнктуры рынка для успешной деятельности отечественных предприятий в борьбе с зарубежными конкурентами первостепенное значение имеет планомерная, научно-обоснованная тактика инновационного управления производством, основы которого были заложены трудами русского экономиста Н.Д. Кондратьева в начале прошлого столетия. Проведение инноваций по повышению показателей эффективности производства актуально и на предприятиях по обработке цветных металлов и сплавов, анализ опыта работы которых в сравнении с зарубежными аналогами показывает, что отечественные производители утрачивают свои позиции в мировом объеме выпуска металлопродукции. Так, годовой объем отечественного производства пресованных профилей из алюминиевых сплавов в последнее годы составил 200–220 тыс. т, тогда как в Китае этот показатель достиг 1 млн т [1].

Из цветных металлов изготавливается широкий ассортимент продукции, в котором важное место занимают сплошные и пустотелые профили разнообразной конфигурации. Технология их производства на большинстве российских заводов отличается дискретностью операций плавки, литья, разделки слитков, термообработки, прессования, волочения, а применяемое оборудование –

большой энерго- и металлоемкостью, требует значительных производственных площадей и штата работников, что, в конечном счете, повышает себестоимость продукции. В связи с этим задача повышения эффективности производства полуфабрикатов из цветных металлов и сплавов является на сегодняшний день одной из первостепенных и актуальных. Решение этой проблемы неразрывно связано с разработкой и практической реализацией энерго- и металлосберегающих технологий и оборудования, действующих по схеме совмещения операций литья и обработки давлением металла в непрерывные поточные линии, что позволит резко увеличить объем выпуска качественных, конкурентоспособных металлоизделий с низкой себестоимостью.

Одним из направлений для решения этой задачи является внедрение непрерывных процессов прессования профилей, позволяющих значительно снизить себестоимость и повысить качество пресс-изделий. В последние годы этому способствуют работы отечественных специалистов, занимающихся теоретическими и технологическими проблемами трубопрофильного производства, уделяющих все большее внимание исследованию и реализации инновационных процессов непрерывного прессования цветных металлов. Это внима-

ние объясняется не только тем, что освоение процессов непрерывного прессования соответствует прогрессивным направлениям развития металлообрабатывающих производств, но и тем, что эффективность этих процессов подтверждает накопленный опыт их исследования, разработки и промышленного применения за рубежом при изготовлении мелкосортных профилей, труб и проволоки из цветных металлов и сплавов.

Одной из основных тенденций развития металлургической отрасли является совмещение этих переделов в одну непрерывную технологическую линию, лишенную отмеченных недостатков. Эту проблему решали многие металлурги-обработчики, начиная с середины XIX в., прежде всего это относится к работам Г. Бессемера, Г. Александра, Д. Грина, Т. Авитцура, Д. Проперци. Специалистами таких организаций, как Гипроцветметобработка, ВНИИМетмаш, ВИАМ и др. разработаны и внедрены в промышленность агрегаты непрерывного литья и прокатки, бесслитковой прокатки ленты, что, несомненно, явилось значительным достижением отечественной металлургии. Но наряду с очевидной перспективностью применения процессов непрерывного литья и прокатки в настоящее время продолжают исследовательские работы, направленные на разработку более эффективных и гибких технологических линий по совмещению непрерывного литья и обработки металлов давлением. Одно из этих направлений – непрерывное литье и прессование цветных металлов, позволяющее повысить технико-экономические показатели изготовления мелкосортной продукции по сравнению с традиционным прессова-

нием на горизонтальных гидравлических прессах. Работу над решением этой проблемы стимулирует создание и широкое распространение в последние годы способов непрерывного прессования цветных металлов: Конформ, Экстроллинг, Линекс, совмещенная прокатка-прессование (СПП).

Наиболее перспективным является метод Конформ, предложенный в начале 70-х гг. прошлого столетия английским исследователем Д. Грином, который основан на применении разъемного контейнера, одна часть которого (колесо с кольцевой канавкой) подвижна относительно другой – башмака (рис. 1).

Совмещение операций подачи расплава металла непосредственно в контейнер установки Конформ и непрерывного прессования закристаллизовавшейся его части позволит существенно снизить металлоемкость производственных линий, повысить их гибкость и степень автоматизации. Этот способ изготовления пресс-изделий запатентован в Англии под названием Кастэкс [2]. Промышленная установка «Кастэкс С300Н» установлена на заводе фирмы Alform Alloys в 1986 г. и включает систему непрерывной подачи в ручей колеса расплава металла (рис. 2), который кристаллизуется по мере вращения колеса и выпрессовывается по способу Конформ. Устройство оснащено системой подачи жидкого металла 1–4 и двумя башмаками 6, 7, которые охватывают всю нижнюю половину колеса. Работа установки заключается в следующем. Жидкий металл 3 из заливочного ковша 1 через литейную насадку 2 и напорную трубку 4 попадает в канавку охлаждаемого колеса машины 8. По мере продвижения ме-

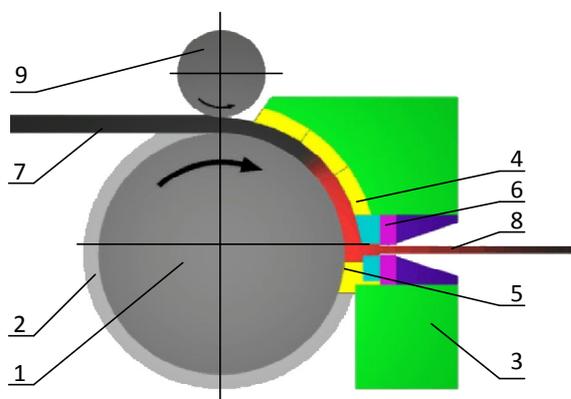


Рис. 1. Принципиальная схема реализации процесса непрерывного прессования по способу Конформ: 1 – рабочее колесо, 2 – кольцевая канавка, 3 – башмак, 4 – кольцевая вставка, 5 – вставка, 6 – матрица, 7 – заготовка, 8 – изделие, 9 – валок

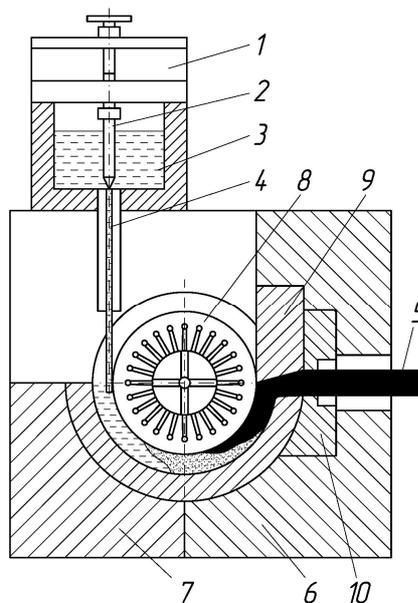


Рис. 2. Схема установки Кастэкс: 1 – заливочный ковш; 2 – регулятор уровня; 3 – жидкий металл; 4 – напорная трубка; 5 – пресс-изделие; 6 – прижимной башмак; 7 – башмак для охлаждения расплава; 8 – колесо; 9 – упор; 10 – матрица

Обработка металлов давлением

талла по калибру, образуемому выступом колеса и канавкой башмака, металл кристаллизуется, перед упором 9 распрессовывается и выдавливается через канал матрицы 10. Быстрое охлаждение металла позволяет получить литую заготовку с незначительной ликвацией и мелким зерном, что обеспечивает высокую пластичность пресс-изделия 5.

Кастэкс является одним из самых экономичных способов получения пресс-изделий. Однако данные о конструкции оборудования и практических результатах его эксплуатации в технической литературе не приводятся. Это объясняется, по-видимому, нежеланием авторов раскрывать пути преодоления определенных трудностей в осуществлении и поддержании стабильного, устойчивого процесса непрерывной кристаллизации жидкого металла и его прессования.

Использование базовой установки Конформ для непрерывной заливки в канавку рабочего колеса жидкого металла вызывает затруднения вследствие «намораживания» расплава при затвердевании на входную часть неподвижной кольцевой вставки. Устранение этого недостатка возможно на установке Конформ, выполненной на базе кристаллизатора карусельного типа (рис. 3).

Жидкий металл из литниковой коробки 2 заливается в кольцевую канавку 3 вращающегося колеса 1, кристаллизуется до входа в канал матрицы, установленной в башмаке 4, и выдавливается в отверстие матрицы 5 в виде пресс-изделия.

Схема деформирования затвердевшей в канавке колеса-кристаллизатора части заготовки во многом аналогична непрерывному прессованию

способом Конформ, что определяет следующую методологию расчета параметров процесса совмещенного литья-прессования металлов:

1 – нахождение рациональных размеров поперечного сечения контейнера;

2 – определение величины входного угла матрицы, обеспечивающей минимум энергии формоизменения;

3 – расчет значения угла между каналом матрицы и продольной осью контейнера, при котором обеспечивается минимальный уровень неравномерности деформации при экструдировании пресс-изделия;

4 – определение длины контейнера, достаточной для осуществления непрерывного прессования металла, с учетом выполнения условий по трем первым пунктам;

5 – расчет времени и протяженности участка кристаллизации расплава металла, поступившего в канавку колеса;

6 – определение места заливки расплава в канавку в зависимости от заданных значений температуры, скорости прессования, интенсивности охлаждения рабочего инструмента при стабильном процессе деформирования.

Методика расчетов по первым четырем пунктам не отличается от методики проектирования процесса Конформ [3]. Для определения параметров процесса по 5 и 6 пунктам использована теория квазиравновесной двухфазной зоны твердожидкого состояния металла, получившая развитие в трудах В.В. Соболева [4].

Для расчетов использовалась система координат xuz , изображенная на рис. 4. Ввиду осевой

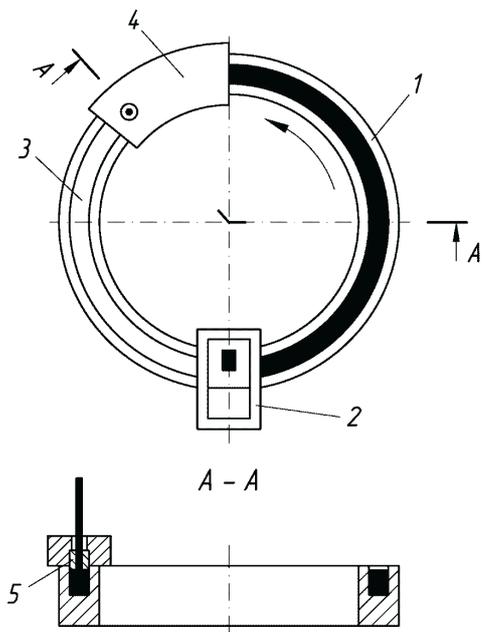


Рис. 3. Схема установки непрерывного литья-прессования с вертикальной осью вращения колеса-кристаллизатора: 1 – рабочее колесо (кристаллизатор); 2 – литниковая коробка; 3 – кольцевая канавка; 4 – башмак; 5 – матрица для прессования

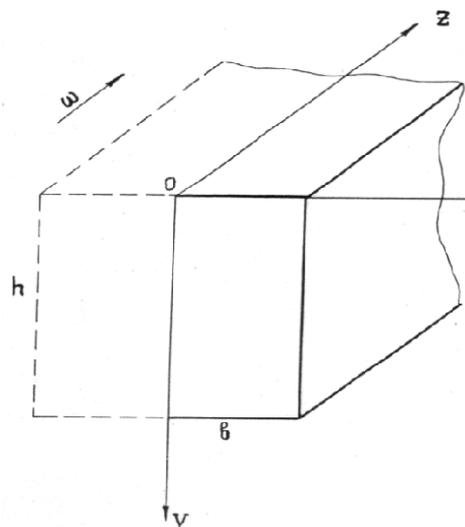


Рис. 4. Система координат при анализе кристаллизации расплава в канавке колеса

Таблица 1

Уровни и интервалы варьирования исследуемых технологических факторов

Параметры	Интервал варьирования	Верхний уровень	Нижний уровень
α_1 , Вт/(м ² ·К)	500	1200	200
T_k , °С	50	150	50
b , мм	10	30	10
$T_{пр}$, °С	100	550	350

Таблица 2

Зависимость времени остывания τ_k расплава АД 1 до 400 °С в кристаллизаторе
от толщины стенки δ и коэффициентов теплообмена $\alpha_{3б}$, $\alpha_{3н}$, α_k

Параметры	Значения параметров				
	δ , мм	30	20	20	15
$\alpha_{3б}$ Вт/(м ² ·К)	232	1740	232	232	232
$\alpha_{3н}$ Вт/(м ² ·К)	2320	2320	1740	2320	2320
τ_k , с	40	25	42	44	48

симметрии слитка с размерами l – длина, h – высота и b – ширина рассматривалась только его половина, т.е. соблюдались следующие условия: $0 \leq x \leq b/2$ и $0 \leq y \leq h$. При $z = 0$ металл заливался в канавку колеса. В плоскости симметрии $x = 0$ соблюдалось условие симметрии температурного поля. На боковых, нижней и верхней поверхностях слитка теплообмен определялся законом Ньютона.

Для реализации рассматриваемой технологии необходимо иметь значения времени остывания τ_k заготовки до необходимой температуры, поскольку оно существенно влияет на формирование структуры и свойств заготовки для последующего прессования. Основными факторами, от которых зависит этот параметр, являются: температура поверхности калибра в момент заливки расплава T_k , коэффициент теплообмена α , значение температуры остывания заготовки при достижении матрицы $T_{пр}$, размеры поперечного сечения канавки кристаллизатора. Для нахождения зависимости времени остывания от перечисленных факторов применялось планирование экспериментов типа 2^4 (табл. 1). При варьировании этих факторов был сформирован массив расчетных данных, отражающих зависимость времени остывания τ_k заготовки до температуры прессования $T_{пр}$ в карусельном кристаллизаторе от значимых факторов, и получено следующее уравнение регрессии:

$$\tau_k = 0,937b + 0,092T_k - (1+1,32b) \cdot 726/T_{пр} + 0,002\alpha_1(1-b) - 4,1. \quad (2)$$

При анализе кинетики затвердевания металла важно учитывать тепловое взаимодействие между слитком и кристаллизатором. Математическая модель этого процесса разработана путем совместного решения уравнения теплопроводности [5] для

слитка и кристаллизатора-канавки с толщиной стенки δ с учетом коэффициентов теплообмена α_k между слитком и кристаллизатором, и α_3 между кристаллизатором и внешним охладителем (воздух и вода). Для определенности исследовали затвердевание слитков сечением 20×20 мм из алюминиевого сплава АД1, с температурой t_n заливки в кристаллизатор при температуре t_0 . Результаты расчетов приведены в табл. 2.

Время τ_k , необходимое для достижения температуры прессования $t_n = 400$ °С, увеличивается с убыванием толщины стенки и ростом начальной температуры кристаллизатора из-за уменьшения его теплоаккумулирующей способности. Величина τ_k убывает с увеличением коэффициентов теплообмена между слитком и кристаллизатором и между кристаллизатором и внешним охладителем вследствие более интенсивного отвода тепла от слитка. Время τ_k возрастает с уменьшением толщины стенки кристаллизатора δ и величины α_k . При водяном охлаждении боковых стенок кристаллизатора, интенсивность которого определяет коэффициент теплоотдачи $\alpha_{3б}$, происходит сокращение τ_k по сравнению с воздушным охлаждением, когда $\alpha_{3б} = \alpha_{3н} = 232$ Вт/(м²·К), где $\alpha_{3н}$ – интенсивность отвода тепла от нижней поверхности кристаллизатора.

Увеличение температуры стенок колеса-кристаллизатора с 50 до 200 °С приводит к росту температуры заготовки и продолжительности ее остывания с 40 до 57 с (рис. 5).

Тепловое состояние кристаллизатора при стационарном тепловом режиме показано на рис. 6. Температура в угловых точках заметно ниже температуры в центральных областях его боковых граней и уменьшается с ростом интенсивности теплоотвода от кристаллизатора, толщины его

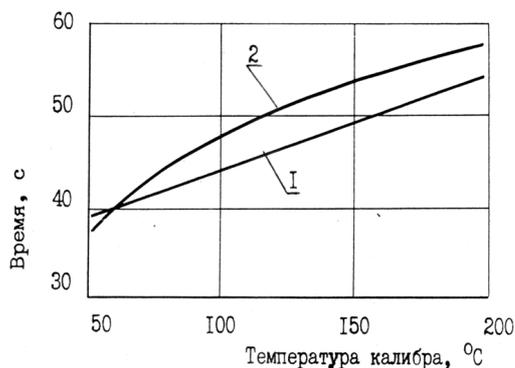


Рис. 5. Расчетная (1) и экспериментальная (2) зависимости времени остывания заготовки от температуры кристаллизатора при $\alpha = 580 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$, $\delta = 20 \text{ мм}$

стенок и убыванием коэффициента контактного теплообмена.

Точки *A, B* определяют углы на внутренней и внешней поверхностях кристаллизатора, соответственно, точки *C, E* – аналогичные точки на уровне зеркала расплава, точки *F, D* – середины нижних поверхностей кристаллизатора с его внутренней и внешней сторон.

Результаты теоретических расчетов легли в основу проектирования рабочего инструмента, системы его принудительного охлаждения и привода опытной установки совмещенного литья и прессования цветных металлов (рис. 7). За базовый

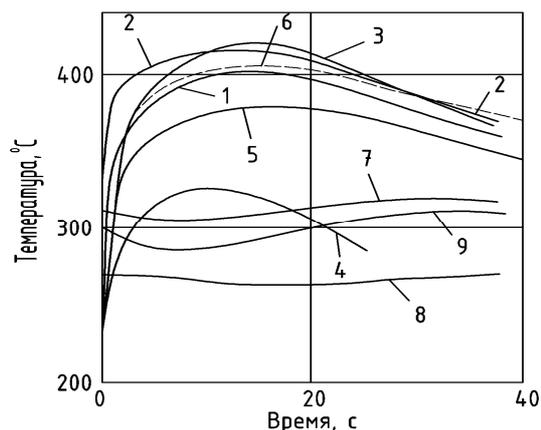


Рис. 6. Распределение температуры на внутренней (1–6) и наружной (7–9) поверхностях кристаллизатора: 1 – $\alpha = 116,2 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$; 2 – $\alpha = 290 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$; 3 – $\alpha = 580 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$; 4 – $\alpha = 870 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$; 5 – $\alpha = 1160 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$; 6 – $\alpha_A = 870$, $\alpha_B = 290 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$; 7 – $\alpha_A = 290$, $\alpha_A = 870 \text{ Вт/м}^2$

элемент конструкции карусельного кристаллизатора принята поворотная платформа автомобильного крана грузоподъемностью 10 тонн. Обод кристаллизатора с кольцевой канавкой, изготовленный из теплостойкой инструментальной стали 5ХНМ, концентрично крепится болтами к зубчатой планшайбе планетарной передачи. Величина диаметра по оси дна кольцевой канавки составляет 1200 мм. Под ободом кристаллизатора предусмотрен желоб водяного сборника со встроенным в него коллектором с форсунками для подачи охлаждающей жидкости. Передача крутящего момента на планшайбу с закрепленным на ней ободом от

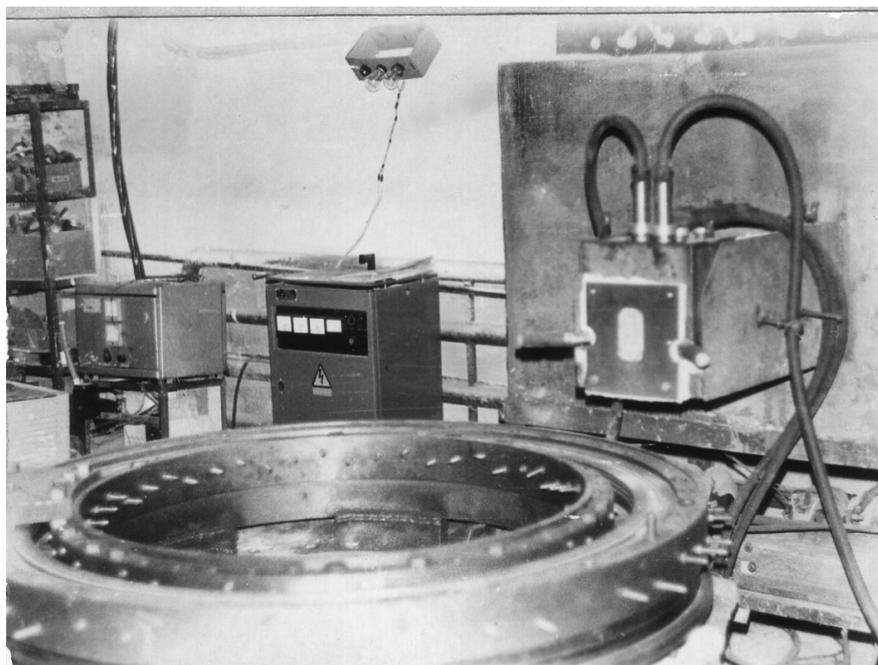


Рис. 7. Опытная установка непрерывного литья-прессования металлов, смонтированная в лаборатории кафедры ОМД СФУ

электродвигателя постоянного тока мощностью 90 кВт и угловой скоростью до 1000 об/мин осуществляется через червячный и планетарный редукторы с общим передаточным отношением 320. Размеры обода и величина крутящего момента, согласно предварительным расчетам, позволяют выполнить кольцевую канавку шириной до 40 мм для заливки жидкого алюминия, его качественного формирования, кристаллизации слитка, подачи его в контейнер и прессования в матрицу при заданной температуре.

Разъемный контейнер, по аналогии с машинами Конформ, устроен на участке сопряжения канавки кристаллизатора и неподвижного сегмента с установленной в нем матрицей и оканчивающийся выступом, перекрывающим поперечное сечение канавки. Неподвижная часть контейнера крепится к корпусу поворотной платформы болтами и фиксируется в рабочем положении дополнительными упорами, снижающими усилие на срез, действующее на стержни болтов. Матрица устанавливается в конусообразное отверстие, выполненное вблизи выступа, перекрывающего поперечное сечение канавки, причем большее основание отверстия направлено к ее дну. Для увеличения сил трения на поверхности контакта слитка с канавкой перед неподвижной частью контейнера устанавливается прижимной ролик. Плавка металла осуществляется в печи-миксере. Нагреватели электросопротивления, установленные в его верхней крышке, позволяют доводить температуру ванны миксера до 1050 °С. Шихта подается на плавку через загрузочное окно, для выпуска расплава предусмотрена летка с регулятором напора струи.

Процесс непрерывного прессования совмещенным способом на данной установке осуществляется следующим образом: рабочее колесо приводится во вращение путем запуска электродвигателя; жидкий металл из миксера через литниковую коробку подается в канавку рабочего колеса. За время движения до зоны деформирования объем металла кристаллизуется, принимает форму поперечного сечения канавки, охлаждается до нужной температуры. В прессовой камере передний конец заготовки достигает выступа сегмента, после чего происходит распрессовка материала заготовки по поперечному сечению камеры, увеличивая при этом силу контактного трения между стенкам канавки и заготовкой до усилия, необходимого для выдавливания изделия в канал матрицы. Процессы разлива металла, кристаллизации, охлаждения и подачи заготовки в камеру прессования, ее распрессовка и выдавливание происходят непрерывно по мере вращения колеса. Выходящее из матрицы пресс-изделие через направляющие ролики поступает на охлаждение.

Для разработки технологии получения изде-

лий непрерывным прессованием непосредственно из жидкого металла на этой установке проведены эксперименты по установлению влияния на процесс формирования, остывания заготовки и ее прессования следующих факторов: температуры поверхности канавки колеса-кристаллизатора, площади ее поперечного сечения, температуры заливаемого металла, величины заходного угла матрицы и ее расположения относительно дна канавки, скорости подачи к матрице, температуры прессования и коэффициента вытяжки.

Таким образом, было установлено, что совмещение процессов непрерывного литья и прессования в одном инструменте должно обеспечивать создание и соблюдение постоянного градиента температуры металла на участке его заливки в кристаллизатор и в зоне матрицы, где происходит деформирование кристаллизованной заготовки. Уровень градиента зависит от характера распределения температуры вдоль переходной зоны твердого жидкого состояния металла в кристаллизаторе и определяет как энергосиловые параметры процесса деформирования, так и качество получаемого пресс-изделия. Такая связь тепловых, силовых и реологических параметров процесса обуславливает последовательность проведения исследований, необходимых для разработки рациональных режимов его реализации.

Результаты экспериментальной проверки теоретических зависимостей характеризовались высокой надежностью и показали целесообразность практического применения.

Успешные испытания лабораторной установки, представленной на рис. 7, подтвердили возможность осуществления процесса непрерывного литья-прессования металлов, а также достоверность теоретических зависимостей, полученных в работе. Перечисленное явилось основанием для проектирования опытно-промышленной линии в соответствии с техническими заданиями таких предприятий цветной металлургии, как Саяногорский алюминиевый завод (СаАЗ), Красноярский алюминиевый завод (КраАЗ), Туимский и Каменск-Уральский заводы ОЦМ.

Литература

1. Горбунов Ю.А. Сборник научных статей конференции «Цветные металлы-2011». – Красноярск, 2011. – С. 546–553.
2. Проспект фирмы Holton Machinery Ltd. (Великобритания), 1986. 29 с.
3. Горохов Ю.В., Солопко И.В., Сулов В.П. // Цветные металлы. – 2010. – № 10. – С. 81–85.
4. В.В. Соболев, В.М. Сергеев, Ю.В. Горохов [и др.] // Цветные металлы. – 1986. № 11. – С. 70–74.
5. Соболев, В.В. Трефилов П.М. Теплофизика затвердевания металла при непрерывном литье. – М.: Металлургия, 1988. – 206 с.

Обработка металлов давлением

Горохов Юрий Васильевич, канд. техн. наук, доцент кафедры обработки металлов давлением, Сибирский федеральный университет, г. Красноярск; 160949@list.ru.

Шеркунов Виктор Георгиевич, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой машин и технологической обработки материалов давлением, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; sherkunovvg@susu.ac.ru.

Константинов Игорь Лазаревич, канд. техн. наук, доцент кафедры обработки металлов давлением, Сибирский федеральный университет, г. Красноярск; ilcon@mail.ru.

Поступила в редакцию 11 марта 2015 г.

THE RESEARCH METHODOLOGY OF CONTINUOUS PRESS-CASTING OF METALS

Yu.V. Gorokhov, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russian Federation, 160949@list.ru,

V.G. Sherkunov, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation, sherkunovvg@susu.ac.ru,

I.L. Konstantinov, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russian Federation, ilcon@mail.ru

The paper examines a set of ways to combine continuous casting and pressing of aluminum alloys. They are Conform, Extrolling, Linex and combined rolling-pressing. The results show that the basic technological parameters of the combined process of casting and pressing of aluminum alloys with a rotary mold should include: finding rational cross-sectional dimensions of the container; determining the angle of the input matrix; calculating the angle between the channel matrix and the longitudinal axis of the container; determining the length of the container; defining the place of metal pouring in the groove of the mold-wheel that depends on the temperature, pressing speed, cooling rate of the working tool during the stable process of deformation. To find the dependence of cooling on these factors, the regression equation was obtained. Based on theoretical calculations a set for combined molding and pressing of nonferrous metals was designed and constructed. Experiments were conducted to determine: the effect on the crystallization process of cooling and pressing of aluminum alloy; surface temperature of the wheel-mold groove and its cross-section area; casting metal temperature; matrix angle value and matrix position relative to the groove bottom of wheel feed, temperature, compression ratio and elongation ratio. The results show that combining continuous casting and pressing in one tool must provide constant temperature gradient for metal pouring into mold and matrix area where the workpiece is deformed. The temperature gradient depends on the nature of the temperature distribution along the transition zone of solid-liquid state of metal in the mold. It determines both power parameters of the deformation process and the quality of the product.

Keywords: Kasteks; Conform; mold; casting; extrusion; aluminum alloys.

References

1. Gorbunov Yu.A. *Sbornik nauchnykh statey konferentsii "Tsvetnye metally – 2011"* [Collection of Scientific Papers of the Conference "Non-Ferrous Metals – 2011"]. Krasnoyarsk, 2011, pp. 546–553. (in Russ.)
2. Marketing brochures of Holton Machinery Ltd. (Great Britain). 1986. 29 p.
3. Gorokhov Yu.V., Solopko I.V., Suslov V.P. *Tsvetnye metally*, 2010, no. 10, pp. 81–85. (in Russ.)
4. Sobolev V.V., Sergeev V.M., Gorokhov Yu.V. et al. *Tsvetnye metally*, 1986, no. 11, pp. 70–74. (in Russ.)
5. Sobolev V.V., Trefilov P.M. *Teplofizika zatverdevaniya metalla pri nepreryvnom lit'e* [Thermophysics of Solidification in Continuous Casting]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1988. 206 p.

Received 11 March 2015

БИБЛИОГРАФИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ СТАТЬИ

Горохов, Ю.В. Методология исследования совмещенного процесса непрерывного литья и прессования металлов / Ю.В. Горохов, В.Г. Шеркунов, И.Л. Константинов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2015. – Т. 15, № 2. – С. 82–88.

REFERENCE TO ARTICLE

Gorokhov Yu.V., Sherkunov V.G., Konstantinov I.L. The Research Methodology of Continuous Press-Casting of Metals. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*, 2015, vol. 15, no. 2, pp. 82–88. (in Russ.)