

Секция «Математика и механика»

Расчет напряженно-деформированного состояния слитка в зоне кристаллизации при непрерывном литье стали при действии ферростатического давления

Худяков Максим Александрович

Соискатель

*Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана,
Робототехника и комплексная автоматизация, Люберцы, Россия*

E-mail: hudyakovmaksim@gmail.com

Одним из главных способов производства заготовок из различных металлов является непрерывное литье заготовок. Процесс непрерывного литья характеризуется переходом металла из жидкого состояния в твердое, то есть кристаллизацией. Вследствие того, что процесс протекает при высоких температурах, помимо температурных деформаций необходимо учитывать деформации ползучести, являющиеся основным фактором качества получаемых заготовок.

В связи с интенсификацией добычи металла возникает задача увеличение объема производства при сохранении приемлемого качества заготовок. Наименее затратным способом увеличения объемов производства на существующих машинах непрерывного литья является повышение скорости движения заготовки. Объектом исследования в данной работе является напряженно-деформированное состояние стального слитка в зоне его кристаллизации в машине для непрерывного литья заготовок (МНРЛЗ) радиального типа при увеличенной скорости движения заготовки по сравнению с проектируемой. Для конкретного расчета параметров качества необходимо владеть информацией о температурном и напряженно-деформированном состояниях слитка в процессе разливки.

Моделирование проводилось в двумерной постановке для четверти сечения слитка. На первом этапе рассматривалась температурная задача, где в качестве граничных условий использовались граничное условие II рода на осях симметрии и граничное условие III рода на внешних поверхностях (условие конвективного теплообмена). Отличительная особенность кристаллизующихся металлических материалов состоит в наличии переходной от жидкого состояния к твердому двухфазной зоны, границами которой являются температуры солидуса и ликвидуса. Наличие двухфазной зоны не позволяет использовать традиционную запись граничного условия Стефана у фронта кристаллизации, которая основана на представлении о существовании гладкой границы раздела фаз. Гораздо больше оснований имеется на то, чтобы учитывать выделение тепла кристаллизации при помощи функции источника тепла, вводимой в уравнение нестационарной теплопроводности [1].

По полученному температурному полю в каждый момент времени проводился расчет напряженно-деформированного состояния затвердевшего слоя слитка при обобщенном плоском деформированном состоянии элементов с использованием технологии «рождения» и «смерти» элемента [3]. Эффект «смерти» элемента связан с выводом элемента из расчета умножением на ощутимо малый коэффициент. Нагрузки, приходящиеся на отключенный элемент, записывались в вектор нагрузок в виде нулевых компонент. Энергия и масса отключенного элемента не учитывались. Деформация «убитого»

элемента также приравнивалась нулю. При восстановлении элемента стиралась вся история его нагружения, то есть жесткость элемента, его масса и нагрузки принимались равными первоначальным значениям.

Первым шагом проверялось, является ли элемент «затвердевшим», то есть температура элемента сравнивалась с температурой солидуса. Для «затвердевшего» элемента проводилась процедура «рождения». На следующем этапе включались температурное поле по всему сечению слитка и давление к внутренней границе слитка, образованной «рожденными» элементами. Величина давления выбиралась равной давлению столба жидкой фазы металла от мениска машины до центра рассматриваемого сечения. В конце проводился непосредственный расчет напряженно-деформированного состояния слитка с учетом ползучести. Для определения деформаций ползучести использовался неявный метод расчета.

Для анализа деформирования слитка в МНРЛЗ применялся параметр поврежденности. Образование трещин в непрерывных слитках связано с деформациями, обусловленными растягивающими напряжениями, при температурах, находящихся в интервале хрупкости. В расчетах использовался тот факт, что трещины преимущественно направлены перпендикулярно направлению растягивающего напряжения, то направление трещин связано именно с положительными линейными деформациями. Для расчета поврежденности использовался критерий достижения критической деформации ползучести [2]. Считалось, что при значении поврежденности равном единице в рассматриваемой точке образуется микротрещина.

Для уменьшения уровня поврежденности рассматривалось добавление дополнительных роликовых секций вместе с зоной вторичного охлаждения, а также увеличение интенсивности охлаждения (максимальных коэффициентов теплоотдачи) в ЗВО.

Рассмотренные модельные варианты совершенствования процесса литья позволили значительно уменьшить поврежденность слитка до значения параметра поврежденности равного 0,8, что в производственных условиях должно привести к снижению брака непрерывнолитых заготовок.

Литература

1. Бровман М.Я. Непрерывная разливка металлов – М.: «Экомет», 2007. – 484 с.
2. Малинин Н.Н. Прикладная теория пластичности и ползучести. Учебник для студентов вузов. Изд. 2-е, перераб. и доп. М., «Машиностроение», 1975, 400 с. с ил.
3. Ansys 13.0 Help. Chapter 13: Element Birth and Death.