

На основании проведенного эксперимента, установлено:

Значимыми факторами являются: P — усилие на штоке гидроцилиндра; d_2 — диаметр поршня гидроцилиндра.

Незначимыми факторами являются: d — диаметр трубопровода; D — диаметр поршня энергоаккумулятора; v — скорость приложения нагрузки.

В результате проведенных исследований доказана возможность использования систем гидроцилиндр-энергоаккумулятор в предохранительно-демпфирующих муфтах приводов металлургических машин, работающих в диапазонах угловых скоростей $\omega \in (0-3) \text{ с}^{-1}$ и крутящих моментов $M \in (10-100) \text{ кНм}$.

Список литературы

1. Заявка № 97125764, МПК⁶ F 16D 3/52. Запобіжно-демпфіруюча муфта / О.В.Нижнік, Г.В.Сопілкін, Р.В.Руденко. Заявлено 02.12.97. Позитивне рішення від 29.12.98.
2. Заявка № 97125766, МПК⁶ F 16D 3/52. Запобіжно-демпфіруюча муфта / О.В.Нижнік, Г.В.Сопілкін, Р.В.Руденко. Заявлено 02.12.97. Позитивне рішення від 29.12.98.
3. Гребенник В.М., Гордиенко А.В., Цапко В.К. Повышение надежности металлургического оборудования: Справочник. — М.: Металлургия, 1988. — С. 688.
4. Бондар А.Г., Статюха Г.А. Планирование эксперимента в химической технологии. — К.: Выща школа, 1976. — 184 с.

© Нижнік А.В., 2001

СМИРНОВ А.Н. (ДОНГТУ), РЕДЬКО Г.А. (ДОННУ)

МЕХАНИЗМ ПОДАВЛЕНИЯ УСАДОЧНЫХ ДЕФЕКТОВ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ СЛИТКОВ В УСЛОВИЯХ ПУЛЬСАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

В результате численных исследований и опытно-промышленных экспериментов уточнен характер гидродинамических и теплообменных процессов, приводящих к подавлению усадочных дефектов при формировании стальных слитков в условиях пульсационного воздействия.

Одним из эффективных способов управления качеством стальных слитков является перемешивание жидкой фазы пульсирующей затопленной струей [1], формируемой посредством периодического изменения давления газа во внутренней полости погруженной в прибыль керамической трубы. Полученные рядом исследователей практические результаты свидетельствуют о том, что пульсационное воздействие обеспечивает значительное подавление дефектов усадочного характера, а также повышает физическую и химическую однородность слитков [2–4]. Однако вопрос количественной взаимосвязи параметров пульсационного воздействия и наиболее характерных физических эффектов, его сопровождающих, с качественными показателями, достигаемыми при обработке слитков, изучен далеко не полностью, что не позволяет определять оптимальные параметры воздействия в зависимости от решаемых задач.

В настоящей работе будет предложено математическое обеспечение, позволяющее осуществить выбор оптимальных параметров пульсационной обработки с точки зрения подавления дефектов усадочного и ликвационного характера для слитков разного тоннажа и конфигурации. Для проверки адекватности математического обеспечения полученные результаты численных исследований сравниваются с данными опытно-промышленных экспериментов.

Для исследования гидродинамических и теплофизических процессов, имеющих место при пульсационной обработке расплава сформулирована математическая модель.

С учетом цилиндрической симметрии системы, задача решалась в двумерной постановке для расчетной области, соответствующей половине центрального продольного сечения слитка. Период затвердевания был разделен на следующие этапы — начальный, до начала воздействия, на котором преобладающим механизмом гидродинамических процессов является естественная конвекция, основной (активное воздействие струи, интенсивная вынужденная конвекция), после прекращения воздействия (опять естественная конвекция), и завершающий период, когда доля твердой фазы в расплаве очень велика и гидродинамические процессы можно не учитывать. Также были приняты следующие допущения:

- на границе металл — изложница предполагается идеальный контакт (отсутствие газового зазора);
- отсутствие всплесков расплава в трубе и гравитационных волн на поверхности жидкости.

В основу модели положены уравнения гидродинамики и тепломассопереноса, широко используемые при численных исследованиях затвердевания стальных слитков и отливок. Для исследования гидродинамических процессов в расплаве и двухфазной зоне используются уравнения движения несжимаемой вязкой жидкости в приближении усредненных вложенных макроконтинуумов [5], а также уравнения теплотеноса и кинетики затвердевания в приближении неравновесной двухфазной зоны [6]:

$$\partial \vec{V} / \partial \tau + (1 - \xi)(\vec{V} \nabla) \vec{V} = -\nabla P / \rho_{ж} + v_{эф} \Delta \vec{V} - g \beta_T \Delta T; \quad (1)$$

$$\nabla \vec{V} = 0; \quad (2)$$

$$\left[(c_m \rho_m - c_{ж} \rho_{ж}) \xi + c_{ж} \rho_{ж} \right] \frac{\partial T}{\partial \tau} + c_{ж} \rho_{ж} (1 - \xi) (\vec{V} \nabla) T = \nabla \left([(\lambda_m - \lambda_{ж}) \xi + \lambda_{ж}] \nabla T \right) + L \rho_m \frac{\partial \xi}{\partial \tau}, \quad (3)$$

$$\xi = 1 - \left(1 + \frac{c_{ж}}{L} (T_l - T_s) \right) \left[1 - \left(\frac{T_l - T}{T_l - T_s} \right)^{2,3} \right] + \frac{c_{ж}}{L} (T_l - T_s), \quad (4)$$

где \vec{V} — скорость; τ — время; P — давление; $\rho_{ж}$ — плотность жидкой фазы; ξ — доля твердой фазы; $v_{эф}$ — эффективный коэффициент вязкости, определяемый с учетом вклада турбулентного движения; β_T — тепловой коэффициент объемного расширения; ΔT — разность между локальным значением температуры и температурой солидуса расплава; g — ускорение свободного падения; $c_{ж}$ и c_T — теплоемкости жидкой и твердой фазы; ρ_T — плотность твердой фазы; T — температура; $\lambda_{ж}$ и λ_T — коэффициенты теплопроводности жидкой и твердой фазы; L — теплота кристаллизации; T_l и T_s — температуры ликвидуса и солидуса стали.

Для скорости движения расплава заданы граничные условия непроницаемости и прилипания на твердых поверхностях, симметрии — на оси слитка. В выходном сечении пульсационной трубы использовалось условие периодического изменения скорости, полученное в результате физического моделирования. Скорость на свободной поверхности расплава определялась из условия равенства расхода. Граничные условия для температуры отражают отсутствие потока тепла на оси слитка, сопряжение на границах расплав — твердая фаза и металл — изложница (в предположении идеального контакта) и внешний теплообмен на границе контакта изложницы с окружающей средой.

Для численного решения поставленной задачи использовался двухполевой метод. При этом в математической формулировке модели осуществляется переход к переменным вихрь (ω) и функция тока (ψ). Конечно-разностная аппроксимация уравнений и граничных условий осуществлялась с помощью интегро-интерполяционной процедуры и метода переменных направлений. Полученные линейные уравнения решались на ЭВМ методом трехдиагональной матрицы. Особенностью решения системы (1–4) является наличие больших локальных градиентов скорости, что накладывает жесткие ограничения на величину временного шага, нарушение которых приводит к неустойчивости разностной схемы.

На рисунке представлены поля скорости, температуры и кинетики затвердевания, полученные для рассмотренного 11-тонного слитка в условиях пульсационного перемешивания. Также приведены результаты расчетов для контрольного слитка той же конфигурации, формировавшегося в условиях естественной конвекции.

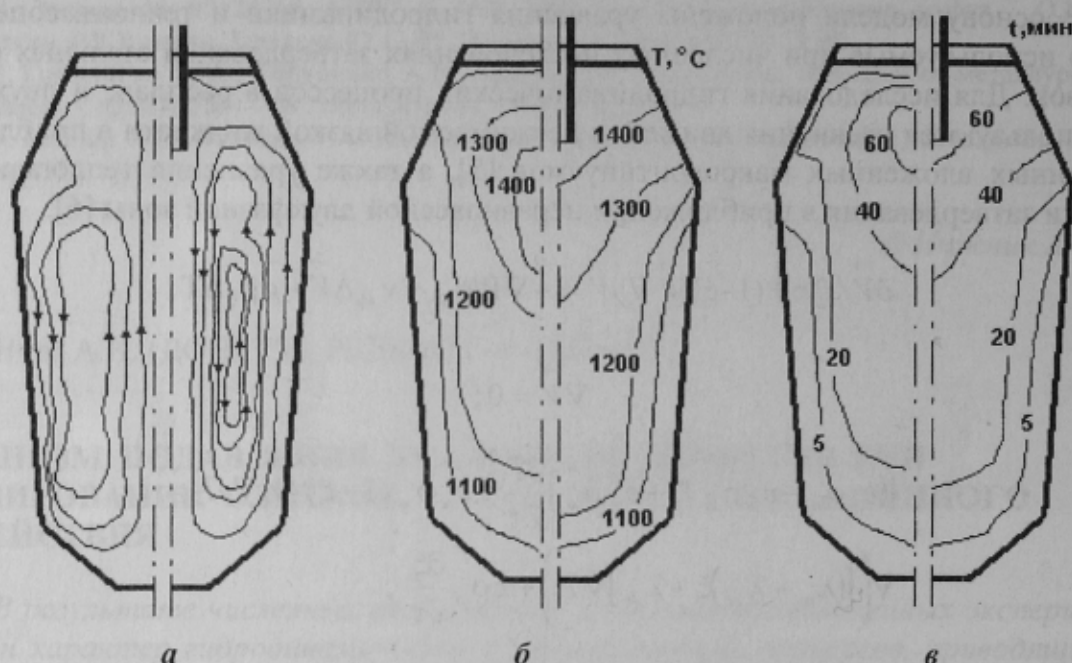


Рисунок. Поля функции тока (а), температуры (б) и кинетика затвердевания (в) для 11-тонного слитка в условиях естественной конвекции (слева) и пульсационного воздействия (справа)

Из приведенных данных видно, что при наложении пульсационного воздействия происходит кардинальное изменение характера движения потоков расплава в жидкой ванне, заключающееся в формировании зоны вихревых течений в области прямого распространения пульсирующей струи и формировании направленных конвективных потоков, восходящих вдоль фронта затвердевания по периферии жидкой ванны. Скорости расплава в центральной области изменяются от 1–1,2 м/с при выходе из пульсационной трубы до 0,3–0,5 м/с в нижней части жидкой ванны, что свидетельствует об интенсивном перемешивании в данной области. В результате интенсивного перемешивания происходит выравнивание температур в центральной части расплава, что должно препятствовать различного рода ликвационным процессам. Скорости восходящих ламинарных потоков в периферийной области составляют порядка 0,2–0,3 м/с, что примерно в два раза превышает скорость нисходящих потоков при формировании слитков той же конфигурации в условиях естественной конвекции. Такой характер движения обеспечивает подавление потоков естественной конвекции и связанных с ней негативных ликвационных процессов. Степень развития вышеперечисленных зон и явлений во многом зависит от места приложения и интенсивности вынуждающих пульсаций.

Вследствие изменения гидродинамической обстановки в жидкой ванне будет наблюдаться изменение характера распределения температурных полей в прибыли слитка за счет смещения теплового ядра в более высокие горизонты, к нижнему срезу пульса-

ционной трубы (рис.1, б). При этом расчетная температура в зоне теплового ядра при пульсационной обработке примерно на 10–30°C выше, чем при отсутствии воздействия. Абсолютная величина этой разности температур во многом зависит от температуры заливки металла в форму. Следует дополнительно отметить, что эффект деформации температурного поля при пульсационном воздействии носит в целом достаточно локальный характер и практически не проявляется в средних и нижних сечениях слитка.

В конечном счете, такая обработка способствует улучшению условий тепловой работы прибыли в целом. Это достаточно убедительно подтверждается тем фактом, что продвижение фронта затвердевания в прибыли при наложении пульсационного воздействия существенно замедляется. Согласно данным вычислительного эксперимента, продвижение фронта затвердевания в прибыли при наложении пульсационного воздействия существенно замедляется, к моменту времени $Fo > 0,75Fo_{затв}$ различие скоростей продвижения фронта затвердевания составляет порядка 40%. Установлено, что жидкая ванна в обрабатываемом слитке будет иметь чашеобразную форму и ее нижняя граница на заключительных этапах кристаллизации перемещается в верхнюю часть прибыли, тогда как в слитке, не подвергавшихся воздействию, участок не затвердевшего расплава локализуется на нижних горизонтах прибыли. Расчет для 11-тонного слитка показал, что глубина усадочной раковины для слитка без воздействия составляет 0,55 м, что превышает 75% от высоты прибыльной части. В слитке с воздействием расчетная глубина усадочной раковины равна 0,4 м, то есть она уменьшилась примерно на 27%.

Для проверки адекватности разработанного математического обеспечения полученные расчетные результаты сравнивались с данными опытно-промышленных исследований [2–3]. Как видно из таблицы, результаты проведенных расчетов достаточно хорошо согласуются с экспериментальными данными, полученными на крупных кузнечных слитках, в части перемещения в верхние горизонты прибыли усадочной раковины и сокращения времени затвердевания.

Таблица — Данные численных исследований и промышленных экспериментов для слитков различного тоннажа

| | | Масса слитка, т | | | |
|--|------------------------|-----------------------------------|-------|-------|-------|
| | | 1,8 | 8 | 11 | 20 |
| | | Размеры, м | | | |
| Высота слитка ($H_{изл}$) | | 1,405 | 2,430 | 2,490 | 1,516 |
| Высота прибыли ($h_{пр}$) | | 0,360 | 0,550 | 0,735 | 1,035 |
| Радиус верхней части слитка ($d3/2$) | | 0,232 | 0,395 | 0,430 | 0,617 |
| | | Расчетные параметры | | | |
| Время затвердевания, мин | слиток с воздействием | 65 | 140 | 170 | 340 |
| | слиток без воздействия | 78 | 152 | 195 | 358 |
| Глубина усадочной раковины, м | слиток с воздействием | 0,21 | 0,29 | 0,40 | 0,61 |
| | слиток без воздействия | 0,27 | 0,41 | 0,55 | 0,78 |
| | | Данные промышленного эксперимента | | | |
| Время затвердевания, мин | слиток с воздействием | 67 | 137 | 185 | 347 |
| | слиток без воздействия | 80 | 160 | 200 | 365 |
| Глубина усадочной раковины, м | слиток с воздействием | 0,25 | 0,35 | 0,50 | 0,65 |
| | слиток без воздействия | 0,35 | 0,48 | 0,62 | 0,84 |

Таким образом, сравнение результатов численных и экспериментальных исследований позволяет сделать вывод о целесообразности использования предложенной математической модели для оптимизации выбора рабочих параметров пульсационного воздействия в части подавления макродефектов усадочного и ликвационного характера. Использование модели для оптимизации технологических режимов пульсационной обработки в части подавления ликвационных и усадочных дефектов будет способствовать повышению качества продукции и снижению затрат в металлургическом производстве.

Список литературы

1. Ефимов В.А., Эльдарханов А.С. Физические методы воздействия на процессы затвердевания сплавов. — М.: Металлургия, 1995. — 272 с.
2. Смирнов А.Н. Улучшение качества слитков и заготовок путем виброимпульсного воздействия при их затвердевании // Сталь, 1997. — № 4. — С. 14–20.
3. Пилюшенко В.Л., Смирнов А.Н. Оптимизация выбора технологической схемы виброимпульсной обработки для повышения качества промышленных слитков и заготовок // Металлы и литье Украины, 1997. — № 1. — С. 8–13.
4. Особенности формирования слитка в условиях перемешивания пульсирующей затопленной струей / А.Н.Смирнов, С.В.Пильгук, А.А.Троянский и др. // Изв. ВУЗов. Черная металлургия, 1989. — № 6. — С. 16–19.
5. Огурцов А.П., Недопекин Ф.В., Белоусов В.В. Процессы формирования стального слитка: математическое моделирование заполнения и затвердевания. — Днепродзержинск: Изд-во ДГТУ, 1994. — 180 с.
6. Никитенко Н.И. Теория тепломассопереноса. — К.: Наук. думка, 1983. — 352 с.
7. Ефименко С.П., Пилюшенко В.А., Смирнов А.Н. Пульсационное перемешивание металлургических расплавов. — М.: Металлургия, 1989. — 168 с.

© Смирнов А.Н., Редько Г.А., 2001

ОТКИДАЧ В.В., ТЕМНОХУД В.А., ЖОВНИРЕНКО Т.Ю. (ДОНГТУ)

ВЕРОЯТНОСТНАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ТРАВМАТИЗМА И ВОЗНИКНОВЕНИЯ АВАРИЙ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ

На основании энтропийной теории разработана концепция о природе возникновения опасностей и условий появления травматизма на производстве. С помощью аппарата теории массового обслуживания получена вероятностная модель критериев оценки производственного травматизма. Показано, что для оценки травматизма можно использовать распределение Пуассона. Предложена методика оценки уровня травматизма на предприятиях.

Системный подход применим и для системы управления охраной труда [1]. Поэтому в системе управления охраной труда, как и во всякой управляемой системе, необходимо определить и четко выделить основные принципы и направления, по которым будет осуществляться управляющее воздействие на систему. Особенности современных трудовых процессов на производстве позволяют интерпретировать их в виде функционирования системы «человек — машина — среда» (ЧМС), компоненты которых взаимодействуют между собой по заданной технологии и установленной организации работ. Активными компонентами таких систем есть люди. Функционирование систем ЧМС в целом должно рассматриваться системно. Поэтому к безопасности труда следует относиться как к функциональному свойству системы, а опасность — представлять как неотъемлемое свойство тех процессов, которые протекают с использованием энергии и информации. В связи с тем, что опасность реализуется в результате не-