

### Список литературы

1. Рутес В.С., Аскольдов В.И., Евтеев Д.П. и др. Теория непрерывной разливки. Технологические основы. М. : Metallurgy, 1971. 296 с.
2. Соболев В.В., Трефилов П.М. Оптимизация тепловых режимов затвердевания расплавов. Красноярск : КГУ, 1986. 152 с.
3. Самойлович Ю.А., Седяко Д.Г., Маневич Ю.А. Определение оптимальных режимов охлаждения стальных заготовок при непрерывном литье // Изв. вузов. Черная металлургия. 1989. № 8. С. 102–105.
4. Черепанов А.Н., Черепанов К.А. Аналитическое исследование оптимальных режимов охлаждения непрерывного слитка // Изв. вузов. Черная металлургия. 1990. № 12. С. 71–73.
5. Кислица В.В., Чичкарев Е.А., Федосов А.В. и др. Математическое моделирование и оптимизация режимов вторичного охлаждения непрерывнолитыхслябовых заготовок // Вісник Приазовського держ. техн. ун-ту. 2007. № 17. С. 50–55.
6. Аникеев В.В. Оптимизация интенсивности вторичного охлаждения стальных слитков при полунепрерывном литье // Изв. Самарского науч. центра РАН. 2013. Т. 15, № 4(2). С. 307–312.
7. Аникеев В.В., Лукин С.В., Гофман А.В., Баширов Н.Г. Оптимизация вторичного охлаждения в машине непрерывного литья заготовок // Вестн. Череповецкого гос. ун-та. 2010. № 1-24. С. 118–122.
8. Чичкарев Е.А., Троцан А.И., Назаренко Н.В. и др. Исследование и оптимизация режимов вторичного охлаждения при непрерывном литье слябовых заготовок // Математичне моделювання. 2008. № 2(19). С. 26–30.

УДК 621.714.3:658.56

**С.И. Губенко, В.Н. Беспалько, Ю.И. Балева**

Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

### **ВЛИЯНИЕ ЛИКВАЦИИ И ЭКЗОГЕННЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ НА КАЧЕСТВО ЦЕНТРОБЕЖНОЛИТЫХ ТРУБ**

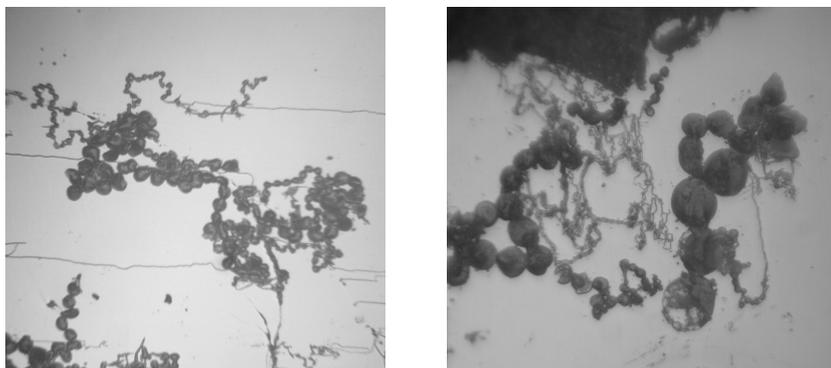
Для изготовления качественных центробежнолитых труб необходимо контролировать весь комплекс металлургических и литейных параметров, начиная от расплавления стали в печи до извлечения готовой трубы из горизонтальной центробеж-

ной машины, т. к. они являются неотъемлемой частью технологического процесса и оказывают значительное влияние на свойства выпускаемой продукции. Неметаллические включения являются одним из главных показателей качества готовой продукции, поэтому необходим всесторонний анализ их влияния на структурные параметры стали.

Исследовали качество центробежнолитых труб из углеродистой стали марки St 52.0, которые имели трещины на внешней и внутренней поверхности. Для выявления причин низкого качества труб анализировали химический состав плавков, а также содержание и распределение неметаллических включений. Исследованию подвергали трубы промышленных плавков, полученные в электродуговой печи.

Химический состав стали St 52.0 (химический состав по массе: C= 0,17-0,22%; Mn=1,0-1,6%; Si= 0,20-0,55%; S= до 0,040%; P= до 0,040%) соответствовал требованиям DIN 1629. Идентификацию неметаллических включений проводили металлографическим методом в светлом и темном поле, поляризованном свете, а также путем микрорентгеноструктурного анализа. Поскольку на образование трещин может быть связано с химической неоднородностью отливок был проведен анализ распределения химических элементов с помощью спектроанализатора «SPECTROMAXx». Анализ химического состава показал, что стали плавков, из которых получили трубы низкого качества, отличались повышенным содержанием углерода, серы и фосфора. Трещины преимущественно присутствовали в участках, прилегающих к переднему концу центробежнолитой трубы, где более сильно выражена ликвация углерода и вредных примесей серы и фосфора. В сегрегационных слоях наблюдали повышенное или граничное, а иногда и превышающие допустимые (согласно DIN 1629) значения содержание этих элементов. Ликвация кремния и марганца была выражена в меньшей степени. Микроструктурный анализ образцов показал, что в центробежнолитой стали St 52.0 присутствует небольшое количество эндогенных неметаллических включений, представляющих собой железо-марганцевые сульфиды силикаты и мелкие оксиды. Общее количество эндогенных включений составило менее 1,0 балла. Отмечено значительное количество экзогенных включений различных размеров, которые попали в сталь из изоляционного покрытия изложницы. Такие грубые частицы нарушают сплошность металла, понижают его прочность, поскольку являются причиной концентраций напряжений. Кроме того, вибрации кокиля при заливке металла в центробежную машину ЦЛ-117 и кристаллизации стали приводит к появлению дополнительных напряжений в отливке, способствуя образованию трещин по межфазным границам и по границам зерен феррита.

Макро- и микротрещины образуются в зонах расположения грубых экзогенных включениях округлой формы, расположенных в виде «закрученных» цепочек или отдельных скоплений (рисунок 1). Эти включения, располагаются по границам первичных дендритов, где еще присутствуют ликваты в зонах кристаллизации и остаточной части расплава и могут проникать вглубь отливки.



а x150 б x500  
Рисунок 1 — Экзогенные включения в стали St 52.0

Таким образом, на образование трещин в центробежнолитых трубах из стали St 52.0, влияет химическая и структурная неоднородность, которая возникает при кристаллизации отливок. Не удовлетворительное качество песчаного покрытия и шихтовых материалов, применяемых при отливке, приводит к образованию грубых экзогенных включений. Микротрещины образуются на экзогенных включениях, которые расположены преимущественно на границах раздела участков обогащенных и обедненных вредными примесями.

УДК 621.74.045 /681.3

**В. С. Дорошенко, В. П. Кравченко**

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, г. Киев

### **МОНИТОРИНГ ЛИТЕЙНЫХ ПРОЦЕССОВ КАК СОВОКУПНОСТИ ОПЕРАЦИЙ ПО ТЕХНОЛОГИИ ПЕСЧАНОЙ ФОРМЫ И ТЕХНОЛОГИИ МЕТАЛЛА**

Теория литейных процессов столь обширна, что специализация исследователей в этой отрасли обычно происходит по технологии металла и технологии литейной формы. Однако развитие современных компьютерных интегрированных информационных технологий и систем автоматизированного управления технологическими процессами