

УДК 621.746.393

Чигарев В. В., Рассохин Д. А., Лоза А. В.

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА МЕТАЛЛА В КРУПНЫХ СТАЛЬНЫХ ОТЛИВКАХ

Низкая эксплуатационная стойкость металлургического оборудования связана с поломкой узлов и машин из-за аварий, 80 % которых происходит вследствие образования трещин [1]. Был проведен анализ работы шлаковых чаш доменного производства. Эксплуатация чаш происходит в тяжелых температурных условиях. Неравномерный нагрев стенок, частые и резкие теплосмены, ударные нагрузки – все это приводит к деформациям стенок чаши и развитию трещин. Изменение профиля корпуса достигает своих максимальных значений в верхней половине чаши. После проведения экспериментальных замеров температур на ММК им. Ильича внешней стенки чаши, с использованием компьютерного моделирования, были получены значения напряжений, позволяющие говорить о местном перегреве корпуса и развитии деформации ползучести материала стенки. Данный вид дефекта можно охарактеризовать как «утяжка». На ММК им. Ильича развитие дефекта на новых шлаковозных чашах начинается уже после 10 месяцев эксплуатации. Рассматриваемый дефект наиболее характерен для чаш овальной формы, т. к. в сравнении с круглыми чашами для сталеплавильного производства они обладают меньшей жесткостью. Чашу получают методом отливки в разовые формы. В связи с этим существуют различные способы предупреждения разрушений корпуса чаш.

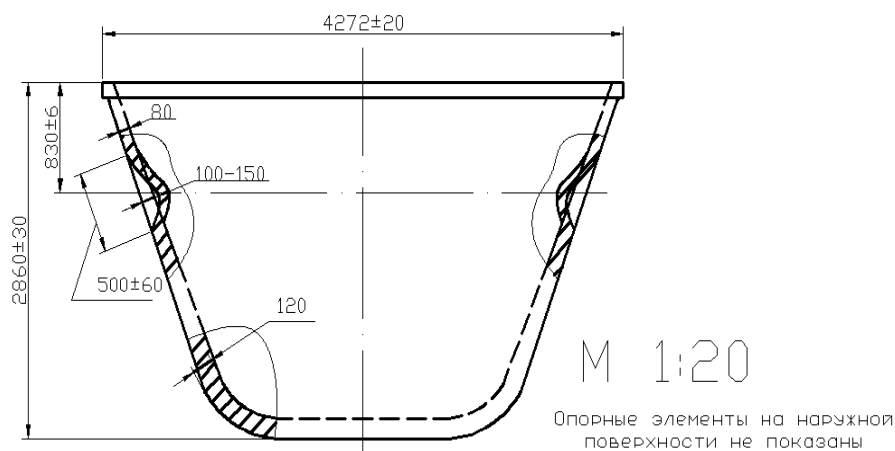


Рис. 1. Эскиз чаши шлаковоза с деформированной стенкой

На Уфалейском заводе металлургического машиностроения внедрена технология виброобработки (вибростабилизации) шлаковых чаш [2]. Виброобработка отливок чаш в холодном состоянии обнаружила приемлемую адекватность стабилизации остаточных напряжений, неизбежно возникающих в процессе получения и использования адьюстажной обработки (вместо термообработки) отливок, повышая их эксплуатационную стойкость и работоспособность.

В технике применяют виброобработку форм непосредственно после заливки [3]. Такой вид воздействия оказывает большое влияние на микроструктуру, препятствуя образованию крупных зерен феррита во всех зонах, и особенно в центре отливки. Наиболее эффективно такое воздействие через несколько секунд после начала кристаллизации отливки, когда начинают расти столбчатые дендриты. Влияние вибрации исследовали на вибростенде.

Формы после заливки подвергали вибрационному воздействию в течение 25...40 с при амплитуде $\pm 0,1$ мм и частоте 25...30 Гц. Такая обработка увеличивает трещиностойкость стали, повышает плотность отливки.

Целью данной работы является рассмотрение возможностей повышения качества металла в крупных стальных оливках.

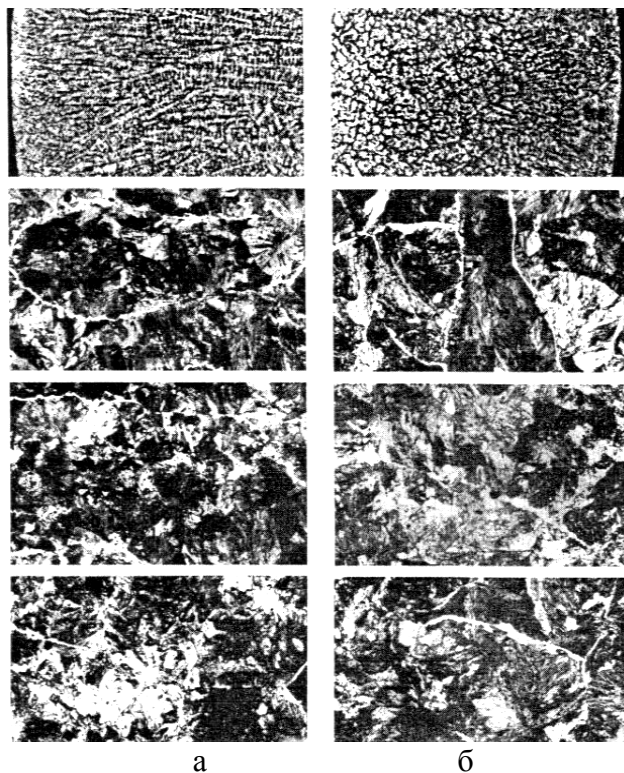


Рис. 2. Микроструктура металла до (а) и после (б) вибрационного воздействия [3]

Исследовалось влияние на модифицированный расплав электромагнитной обработкой (ЭМО) в момент кристаллизации отливки. Было опробовано модифицирование металла SiCa и PЗМ, а также SiZr, SiLa и FeNb. Наилучшие результаты получены при модифицировании высоколегированных сталей SiCa и PЗМ с ЭМО ($I = 300$ А). Механические свойства образцов достигали значений: $\sigma_B \geq 1098$ МПа, $\sigma_{0,2} > 990$ МПа, $\psi = 33$ %.

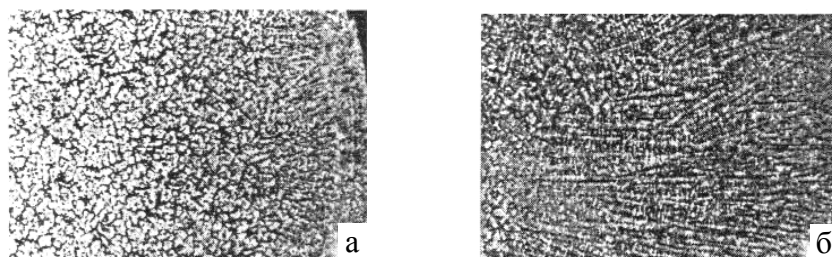


Рис. 3. Микроструктура металла после (а) и до (б) электромагнитной обработки [3]

Одним из способов получения мелкозернистой однородной структуры стали является воздействие на кристаллизирующийся металл слабым магнитным полем [4]. Экспериментальным путем была получена зависимость температуры переохлаждения от индукции постоянного и переменного полей. Увеличение температуры переохлаждения расплава под влиянием поля изменяет тип кристаллизации (от последовательной к объемной), что способствует улучшению качества литой заготовки. Анализ микроструктуры показал существенное

измельчение зерна и отсутствие ярко выраженной усадочной раковины в слитках при увеличении температуры переохлаждения. Максимальное значение переохлаждения достигается в зависимости от природы кристаллизующегося вещества и условий его охлаждения в интервале индукции 0,0006–0,0018 Тл. Исследования проводились путем моделирования на расплаве тиосульфата натрия (масса 0,3 кг) и при кристаллизации слитков сплава Fe–3,5 % Si массой 0,3 кг (I) и 5 кг (II).

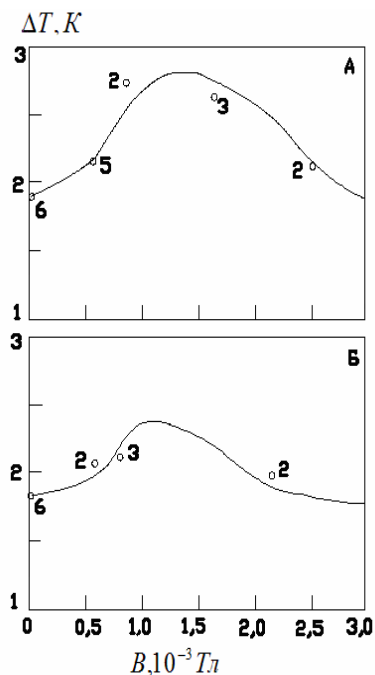


Рис. 4. Зависимость температуры переохлаждения (ΔT) расплава I от индукции (B) постоянного (А) и переменного (Б; 50 Гц) полей (сплошная линия – теоретически рассчитанная зависимость; точки – результаты экспериментов; цифры у точек – количество плавок) [4]

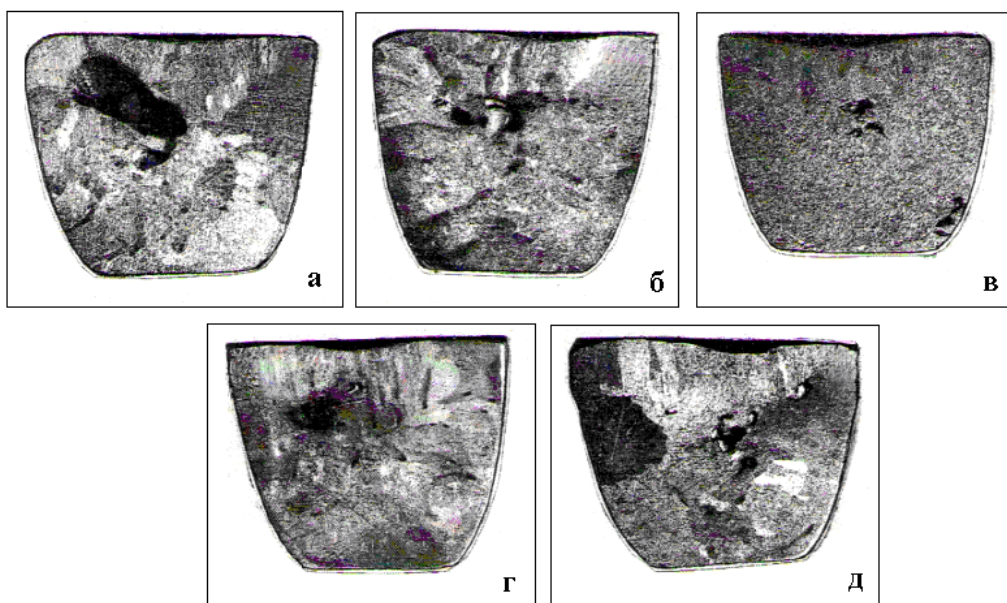


Рис. 5. Макроструктура слитков сплава I при воздействии постоянным полем индукции B, $10^{-3} Tl$ [4]:

а	б	в	г	д
0	0,4939	0,8232	1,6461	2,4697

Повысить трещиностойкость стали можно путем виброимпульсной обработки (ВИО, энергией высоковольтного разряда). Были проведены исследования ВИО на трещиностойкость для стали с содержанием углерода 0,17–0,22 % [5]. Для оценки трещиностойкости была взята сталь СтЗсп. График зависимости трещиностойкости стали от продолжительности ВИО представлен ниже.

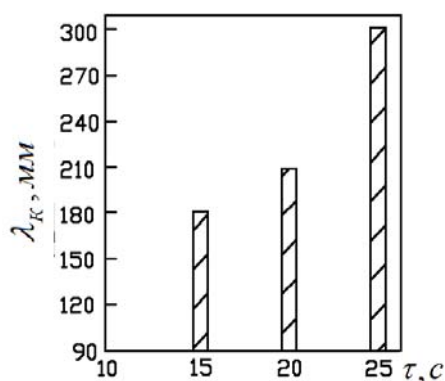


Рис. 6. Влияние продолжительности ВИО (τ) на трещиностойкость (λ_K) стали СтЗсп [5]

Макроструктура исследуемой стали показала, что ВИО стали в ковше привела к существенному измельчению зерна и уменьшению пористости литого металла. На 30 % уменьшился средний размер перлитных зерен в микроструктуре, до 32,5 % – средний размер ферритного зерна. Изменился и характер распределения зерен по размерам. Микротвердость возросла на 12 %.

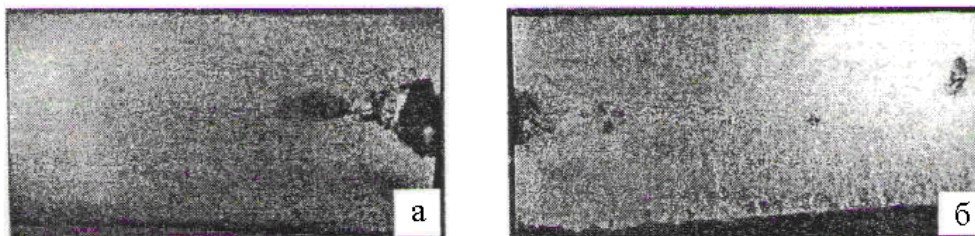


Рис. 7. Макроструктура стали СтЗсп после ВИО (а) и без обработки (б) [5]

На практике эффективными методами повышения сроков эксплуатации является улучшение механических характеристик (прочность, пластичность, ударная вязкость и др.) и специальных свойств литейных сплавов: легирование, модифицирование и рафинирование. Модифицирование – один из эффективных методов влияния на формирование структуры и получения ряда специальных свойств сталей и чугунов.

Согласно исследованиям [6], введение редкоземельных металлов с кремнием, 0,1 % Si-РЗМ (ФС30РЗМ30 0,1 % лигатура) от массы модифицируемого расплава, обеспечивает повышение механических и служебных свойств отливок. Кроме того, обработку жидкой стали проводили магнийсодержащим модификатором ФСМг 7 0,2...0,3 %. Исследования проведены со сталью 110Г13Л. Результаты испытаний на износ показали повышение износостойкости образцов до 30 %. Наблюдается измельчение литого зерна. Термообработкой (ТО) отливок достигается дополнительное измельчение зерна. Установлено, что РЗМ, обладая большим сродством с примесями железоуглеродистых сплавов (O, N, S), связывают их в нерастворимые оксиды, нитриды и сульфиды, уменьшая количество примесей в расплаве. Мелкодисперсные продукты взаимодействия РЗМ с кислородом, азотом и серой увеличивают количество активных зародышевых центров кристаллизации и существенно влияют на

структуру затвердевающих железоуглеродистых сплавов, измельчая зерно металла. Известно, что создание дополнительных зародышевых центров увеличивает скорость кристаллизации стали в форме в 2–2,5 раза.

Возникновение трещин в отливке во многом зависит от количества, формы и распределения неметаллических включений (НМВ). Являясь концентраторами напряжений, НМВ при переменной нагрузке облегчают трещинообразование [7].

Исследование влияния наследования свойств стали 45X1Л на трещиностойкость проводили после совместного раскисления силикокальцием (СК) и модифицирования РЗМ с суммарным содержанием добавок 0,1–0,3 % [7]. График трещиностойкости от величины добавок представлен ниже.

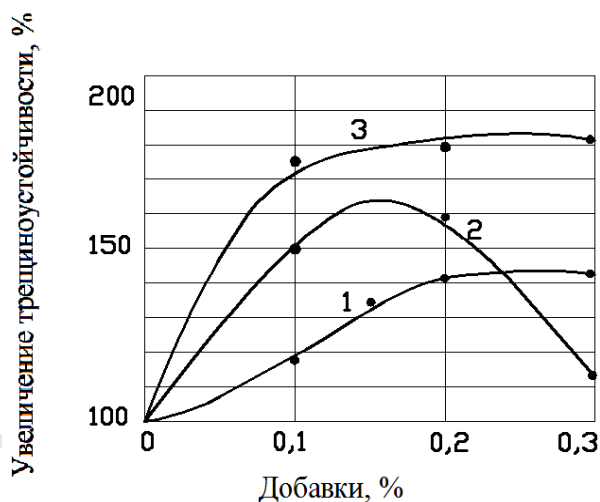


Рис. 8. Трещиностойкость стали 45X1Л, обработанной РЗМ (1), СК (2), РЗМ + СК (3) [7]

Кроме того, режим охлаждения также позволяет достичь снижения числа НМВ. Так, выдерживая расплавленную сталь 45X1Л 15 мин при 1580–1600 °С, затем охлаждая ступенчато с остановками на 15 мин, можно уменьшить число НМВ в 4 раза, по сравнению с бесступенчатым охлаждением со скоростью 70 °С/мин [7].

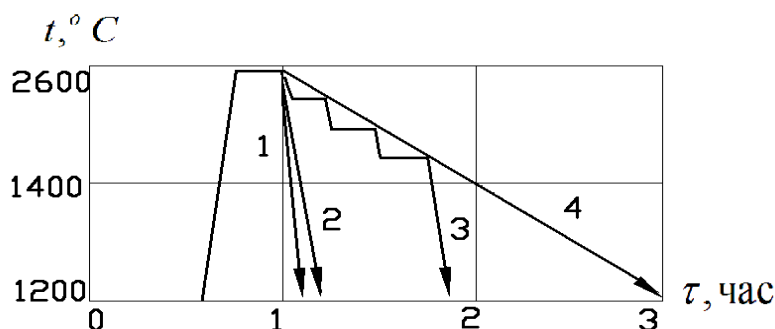


Рис. 9. Скорости охлаждения стали 45X1Л в установке УВТК-4, °С/мин: 1 – 70; 2 – 35; 3 – ступенчато; 4 – 3 [7]

Распределение НМВ по объему на единицу площади в зависимости от режима охлаждения (см. ниже, количество включений на 1 мм приведены для верха/середины/низа шлифа).

1. 9,5/ 4,8/ 6,8; 2. нет данных; 3. 4,2/ 1,1/ 1,15; 4. 6,0/ 4,0/ 3,6.

Способы модифицирования и воздействия на литую структуру рассматриваются в работах [8–13]. Это обеспечивает улучшение свойств при формировании более дисперсной и однородной структуры, увеличение плотности дислокаций и микроискажений. Результат: повышение прочности на 200–400 МПа, твердости на 80–200 НV, ударной вязкости в 2–3 раза.

Эффективным методом модифицирования расплавленного металла является применение порошковых электродных материалов: проволока, лент. Как показывает практика, использование порошковой ленты позволяет обеспечить модифицирование изделия не по всему объему, а локально, в месте размещения порошковых материалов. Этим обеспечивается заданный фазово-структурный состав стали в отливке. Модифицирование с применением порошковых электродных материалов приводит к экономии легирующих элементов и получению требуемой структуры металла.

ВЫВОДЫ

Повышение качества металла, используемого для изготовления металлургического оборудования возможно различными способами: введением комплексных модификаторов с соответствующим режимом охлаждения расплава при внепечной обработке, вибростабилизацией отливок, воздействием на кристаллизующийся металл магнитным полем, виброимпульсной обработкой стали, а также путем объемного легирования и модифицирования отливок. Такие способы воздействия позволяют улучшить макро- и микроструктуру стали, что в свою очередь повышает показатели пластичности и ударной вязкости, а так же повышает трещиностойчивость стали.

Применение локального легирования отливок в местах их наибольшего нагружения позволяет создать изделие с заданными свойствами (с улучшенной структурой и повышенными механическими свойствами). Такой способ воздействия может быть применен при изготовлении отливок, в том числе металлургических чаш, шлаковозов, что обеспечит экономию дорогостоящих сплавов и высокий эффект при эксплуатации литых деталей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баландин Г. Ф. Основы теории формирования отливки. Ч. 2 / Г. Ф. Баландин. – М. : Машиностроение, 1979. – 335 с.
2. Белевитин В. А. Виброобработка для повышения работоспособности пластин ленточных конвейеров и шлаковозных чаш / В. А. Белевитин, В. М. Снегирев // *Литейное производство*. – 1992. – № 10. – С. 17.
3. Переборщиков С. И. Влияние внешних воздействий на структуру стали / С. И. Переборщиков, А. Н. Хабаров, О. В. Мартынов // *Литейное производство*. – 1998. – № 1. – С. 23–24.
4. Воздействие слабых магнитных полей на процесс кристаллизации металла / С. В. Видов, А. Ф. Вишкарев, Б. Ф. Зверев и др. // *Сталь*. – 1993. – № 11. – С. 18–22.
5. Корытов В. А. Виброимпульсная обработка стали в разливочном ковше – эффективный метод повышения трещиностойкости литого металла / В. А. Корытов, И. А. Гостева, Б. И. Бутаков // *Сталь*. – 1995. – № 5. – С. 38–42.
6. Влияние технологических параметров модифицирования комплексными модификаторами на свойства отливок / И. Д. Андреев, А. В. Афонаскин, Т. Ю. Бажова, В. Д. Дородный // *Литейное производство*. – 2002. – № 6. – С. 13–15.
7. Переборщиков С. И. Наследственное влияние примесей на трещиностойчивость стали / С. И. Переборщиков, А. Н. Хабаров, О. В. Мартынов // *Литейное производство*. – 1999. – № 1. – С. 20–21.
8. Исследование качества модифицированной в изложнице стали / Т. И. Джалиашивили, Н. О. Гвамбериа, Б. Г. Маргиев, А. Г. Габисиани // *Литейное производство*. – 2001. – № 7. – С. 7–8.
9. Влияние редкоземельных металлов на качество непрерывнолитных заготовок / Е. И. Астров, Ю. И. Комаров, М. И. Логанов и др. // *Сталь*. – 1977. – № 4. – С. 320–323.
10. Кондратюк С. Е. О повышении свойств литых сталей / С. Е. Кондратюк // *Литейное производство*. – 2003. – № 8. – С. 39–41.
11. Униговский Я. Б. Внепечная обработка стали / Я. Б. Униговский, А. А. Сычевский // *Литейное производство*. – 1992. – № 9. – С. 16–17.
12. Горелов В. Г. Микролегирование сталей ванадийсодержащей лигатурой / В. Г. Горелов, Е. И. Федоров, Ю. И. Рубенчик, И. М. Гальперн // *Литейное производство*. – 1996. – № 8. – С. 11–12.
13. Ямишинский М. М. Изготовление отливок с дифференцированными свойствами поверхности / М. М. Ямишинский, Г. Е. Федоров, Е. А. Платонов // *Металл и литье Украины*. – 2004. – № 12. – С. 22–25.