

Е.Е.Барышев, В.С.Цепелев, Г.В.Тягунов, Б.А.Баум
Уральский технический университет, г. Екатеринбург

УДК 87.53.91

РАЗРАБОТКА ТЕМПЕРАТУРНО-ВРЕМЕННЫХ РЕЖИМОВ ПЛАВКИ КАЧЕСТВЕННЫХ СТАЛЕЙ С КОМПЛЕКСНЫМ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЫРЬЕВЫХ РЕСУРСОВ

Изучены температурные зависимости кинематической вязкости жидких нержавеющих сталей 10Х23Н18 и 20Х23Н18. Установлено существование критических температур, нагрев выше которых сопровождается необратимыми изменениями структурного состояния расплава. Направленное тепловое воздействие на расплав, основанное на его переводе в иное структурное состояние, позволяет кристаллизовать металл в разных условиях, регулировать морфологию, содержание структурных составляющих и разработать ресурсосберегающие режимы выплавки. Предложена модель строения жидких нержавеющих сталей. Анализ полученных политеплов свидетельствует, что жидкие нержавеющие стали могут находиться в различных состояниях, температурные области существования которых частично перекрываются.

The temperature dependences of liquid stainless steel kinematic viscosity have been studied. The existence of critical temperatures heating above which leads to irreversible changes of melt structural state has been founded. The directional heat influence on the melt based on its transition to another structural state gives the opportunity to solidify the melt in different conditions, to regulate morphology and amount of structural composition and to elaborate the scientifically justified melting regimes. The physical model of liquid stainless steels structure has been proposed. Analysis of obtained temperature dependences testifies that liquid stainless steels may be in different conditions, their temperature fields of existence are partially re-roofs.

Хромоникелевые окалиностойкие стали аустенитного класса типа 10Х23Н18 и 20Х23Н18 широко применяются для изготовления деталей аппаратов, работающих при температурах до 1100 °С в химической промышленности. Основным методом их производства является переплав легированных отходов с окислением газообразным кислородом.

При обезуглероживании металла кислородом могут быть достигнуты очень низкие концентрации углерода, но вместе с углеродом интенсивно окисляется и хром. В связи с этим технология выплавки нержавеющих сталей в открытых дуговых печах включает целый комплекс мероприятий, на-

правленных на уменьшение угара хрома при окислительной продувке:

- продувку кислородом под током и окончательное глубокое обезуглероживание железохромоникелевого расплава кислородно-аргонной смесью;
- переход к восстановительному периоду без скачивания окислительного шлака;
- плавление феррохрома за счет избыточного тепла металла в конце продувки;
- окончательное раскисление и рафинирование металла продувкой инертным газом в ковше.

Для охлаждения металла перед выпуском из печи до температуры, принятой в технологии выплавки сталей, сразу после окончания продувки в печь загружают твер-

дые отходы той же марки стали или близких к ней по химическому составу в количестве от 100 до 200 кг/т. Состав стали после окончания продувки корректируют без- или низкоуглеродистым феррохромом. Расход его определяется расчетным содержанием хрома в металлозавалке. Так как суммарное количество охладителей, присаживаемых в печь после окончания продувки, составляет около 25-30 % от массы металлозавалки, то его достаточно для охлаждения жидкого металла до температуры выпуска из печи со скоростью 70-100 °С/мин. Поэтому растворение и усвоение большей части хрома в металле и распределение его по объему ванны происходит в интервале указанных температур (от температуры продувки до температуры разливки).

В ряде случаев, присадка в печь большого количества феррохрома приводит к значительному переохлаждению шлака и металла на верхних горизонтах ванны и существенно затрудняет не только восстановление хрома из шлака, но и растворение феррохрома. В результате высокая концентрация оксидов хрома в шлаке может сохраняться вплоть до выпуска металла из печи в ковш, а частичное обновление шлака приводит к росту потерь хрома. Одновременно с растворением хрома в широких пределах изменяется химический состав металла и его свойства, повышается неоднородность расплава. Нерегулируемые условия восстановления хрома из шлака, особенно изменяющаяся в ходе охлаждения температура жидкого металла, существенно понижает качество жидкой и твердой стали.

Известно, что в зависимости от условий выплавки жидкий металл может находиться в различных структурных состояниях. После расплавления он микронеоднороден и неравновесен, содержит фрагменты, наследующие строение существовавших в твердом металле фаз. При нагреве до определенных температур происходит переход такого расплава к микрооднородному равновесному состоянию. Поскольку процесс перехода системы в состояние равновесия в результате ее нагрева происходит немонокотонно и существенно ускоряется при дости-

жении критических температур, нагрев металла до этих температур является главной особенностью новых прогрессивных технологий. При охлаждении подготовленного таким образом жидкого металла, его исходная (неравновесная) структура не восстанавливается, т.е. перед кристаллизацией строение расплава оказывается равновесным или близким к нему и существенно отличается от исходного. В связи с этим от состояния расплава существенно зависят и процессы растворения и усвоения хрома в ходе плавки.

Для каждой марки стали температурные зависимости свойств имеют свой характерный вид с особенностями, вызванными химическим составом, исходными материалами и спецификой производства. Анализируя вид политерма, можно судить о тех процессах, которые происходят в системе при ее нагреве и последующем охлаждении. Главное – удастся установить условия, выполнение которых обеспечивает перевод расплава в состояние равновесия или близкое к нему. Иногда с помощью дополнительных проверочных экспериментов по изучению температурных и временных зависимостей удастся стабилизировать свойства расплава перед кристаллизацией и за счет этого вывести на возможно более высокий уровень служебные характеристики готовых изделий.

Методом крутильных колебаний тигля с расплавом изучены температурные зависимости кинематической вязкости сталей 10X23N18 и 20X23N18 в жидком состоянии. Установлено, что политермы кинематической вязкости характеризуются следующими особенностями:

- при незначительном перегреве расплава выше температуры ликвидуса политермы имеют типичный экспоненциальный характер; кривые нагрева и охлаждения совпадают;
- нагрев расплава до некоторых температур $t_{к1}$, приводит к появлению гистерезиса вязкости при охлаждении;
- дальнейшее увеличение температуры нагрева расплава в ходе опыта до $t_{к2}$ сопровождается увеличением гистерезиса. С рос-

том температуры нагрева повышается температура начала гистерезиса (температура отклонения вязкости от экспоненциальной зависимости) и величина гистерезиса (разность между значениями вязкости при охлаждении и нагреве);

- при нагреве расплава выше температуры $t_{к2}$ температура начала гистерезиса и величина гистерезиса не меняются.

Таким образом, наличие критических температур, охлаждение до которых приводит к ветвлению политерма кинематической вязкости, свидетельствует о сложном микронеоднородном строении жидкой стали и разной (в зависимости от температуры нагрева расплава) степени приближения ее к равновесному состоянию.

Основываясь на квазихимической модели микронеоднородного строения расплава, можно предложить следующий механизм изменения структуры жидких сталей типа Х23Н18. Области существования состояния расплава условно выделены следующим образом:

- низкотемпературное состояние (НТС), которое характеризует расплав сразу после плавления твердого образца; в этом состоянии расплав непосредственно наследует черты твердого состояния;

- высокотемпературное состояние (ВТС), свойственное расплаву, нагретому до температур выше $t_{к1}$;

- вторичное низкотемпературное состояние, которое характеризует расплав, испытавший сильный перегрев (расплав, прошедший через ВТС) и затем охлажденный ниже температуры гистерезиса $t_{г}$.

Весьма существенно, что несмотря на достаточно определенные температурные границы ($t_{г}$ и $t_{к1}$), интервал этих температур принадлежит областям существования всех трех состояний. Последнее становится понятным, если учесть следующее:

- НТС обусловлено сложным составом и строением микрообластей двухфазных нержавеющей сталей, которые в какой-то мере унаследованы от состава шихты и конкретных режимов выплавки сплава. Все это позволяет полагать, что НТС – неравновесное или, скорее, метастабильное состояние рас-

плава, которое может быть приведено в состояние равновесия только сильным тепловым воздействием;

- ВТС и вторичное НТС – равновесные состояния. Об этом, в частности, говорит их многократное воспроизведение в результате повторных циклов нагрев – охлаждение без кристаллизации расплава.

Близость НТС и ВТС в интервале $t_{г} - t_{к1}$ обуславливает при первом нагреве вместо равновесного ВТС существование неравновесного НТС, ибо последнее характеризует систему уже с момента плавления, а движущие силы перехода к равновесному расплаву невелики. Только при $t > t_{к1}$ система переходит в равновесное состояние. Для сложного расплава, характеризующегося наличием разных межчастичных связей, необходимо отмечать не конкретную $t_{к1}$, а некоторый интервал температур от $t_{к1}$ до $t_{к2}$. Соответственно, полнота завершения перехода расплава к равновесному высокотемпературному состоянию будет определять полноту превращений в этом расплаве при его охлаждении в температурном интервале от $t_{г}$ до $t_{к1}$, что и наблюдается при анализе политерма.

Таким образом, при изучении температурных зависимостей кинематической вязкости жидких нержавеющей сталей 10Х23Н18 и 20Х23Н18 установлено существование критических температур, нагрев выше которых сопровождается необратимыми изменениями структурного состояния расплава. Направленное тепловое воздействие на расплав, основанное на его переводе в иное структурное состояние, позволяет кристаллизовать металл в разных условиях, регулировать морфологию и содержание структурных составляющих, а также разработать ресурсосберегающие режимы выплавки. Предложена модель строения жидких нержавеющей сталей. Анализ полученных политерма свидетельствует, что жидкие нержавеющей стали могут находиться в различных состояниях, температурные области существования которых частично перекрываются.