УДК 669.568.567

**Е.Е.БАРЫШЕВ**

*Уральский государственный технический университет –УПИ, г.Екатеринбург*

# РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ ПРИ ВЫПЛАВКЕ КАЧЕСТВЕННЫХ НЕРЖАВЕЮЩИХ СТАЛЕЙ

Изучены температурные зависимости физико-химических свойств жидких нержавеющих сталей разных классов. Установлено существование критических температур, нагрев выше которых сопровождается необратимыми изменениями структурного состояния расплава. Выявлено влияние количества вводимых техногенных отходов на вид и особенности свойств сталей в жидком состоянии. Предложена модель строения жидких нержавеющих сталей.

The temperature dependences of liquid stainless steel physico-chemical properties have been studied. The existence of critical temperatures heating above which leads to irreversible changes of melt structural state has been founded. The influence of amount of technogenic wastes on physico-chemical properties of liquid steels has been determined. The physical model of liquid stainless steels structure has been proposed.

Хромоникелевые окалиностойкие стали аустенитного, аустенитно-мартенситного и аустенитно-ферритного классов широко применяются для изготовления ответственных деталей аппаратов, работающих при температурах до 1100 °С. Основным методом их производства является переплав легированных отходов с окислением газообразным кислородом.

При обезуглероживании металла кислородом могут быть достигнуты очень низкие концентрации углерода, но наряду с окислением углерода интенсивно окисляется и хром. В связи с этим, технология выплавки нержавеющих сталей в открытых дуговых печах включает целый комплекс мероприятий, направленных 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 и 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 твердые 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. В связи с тем, что суммарное количество охладителей, присаживаемых в печь после окончания продувки близко к 25-30 % от массы металлозавалки, то его оказывается достаточно для охлаждения жидкого металла со скоростью 70-100 °С/мин до температур выпуска из печи. Поэтому растворение и усвоение большей части хрома в металле и распределение его по объему ванны проис-

ходит в интервале указанных температур (от температуры продувки до температуры разливки). Одновременно с растворением хрома в широких пределах изменяется химический состав металла и его свойства, повышается неоднородность расплава. Нерегламентируемые условия восстановления хрома из шлака, особенно изменяемая в ходе охлаждения температура жидкого металла, существенно понижает качество жидкой и соответственно 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 немонотонно и существенно ускоряется при достижении 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 состояние расплава будет определять и процессы усвоения и переработки техногенных отходов, вводимых в шихту при плавке.

Для каждой марки стали температурные зависимости свойств имеют характерный вид с особенностями, зависящими от химического состава, исходных материалов и специфики производства. Анализируя вид политерм, можно судить о тех процессах, которые происходят в системе при ее нагреве и последующем охлаждении. Удается установить те 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 удается стабилизировать свойства расплава перед кристаллизацией и за счет этого вывести на возможно более высокий уровень служебные характеристики готовых изделий.

Изучение температурных зависимостей кинематической вязкости нержавеющих сталей разных классов в жидком состоянии позволило отметить следующее. При незначительном перегреве расплава выше температуры ликвидус политермы имеют типичный экспоненциальный характер. Кривые нагрева и охлаждения совпадают. Нагрев расплава до некоторых температур, обозначенных как $t_{k1}$, приводит к появлению гистерезиса вязкости при охлаждении. Дальнейшее увеличение температуры нагрева расплава в ходе опыта до $t_{k2}$ сопровождается увеличением гистерезиса. При этом с ростом 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 $t_{k2}$ температура начала гистерезиса и величина гистерезиса не меняются.

Исследовано влияние количества вводимых в шихту техногенных металлургических отходов на вид и особенности температурных зависимостей свойств нержавеющей стали типа 10Х17Н13М3Т. Показано, что тип политерм не зависит от количества вводимых отходов. Увеличение содержания техногенных отходов до 25-30 % приводит к росту критической температуры на 30-40 °С. На основании полученных результатов рекомендованы температурные режимы нагрева нержавеющих сталей при выплавке.

Таким образом, установлено существование критических температур, нагрев выше которых сопровождается необратимыми изменениями состояния расплава. Разработана физическая модель строения нержавеющих сталей в жидком состоянии. На основе квазихимической модели мик-

ронеоднородного строения расплава предложен механизм изменения структуры жидких сталей разных классов. Анализ полученных политерм свидетельствует, что жидкие нержавеющие стали могут находиться в различных состояниях, температурные области существования которых частично перекрываются.

Изучено влияние состояния расплава и массы техногенных отходов в шихте на процесс кристаллизации нержавеющих сталей. Показано, что введение в шихту техногенных металлургических отходов приводит к расширению твердожидкой области, уменьшению переохлаждения. Напротив, формирование микрооднородного равновесного расплава при его нагреве выше критических температур позволяет повысить переохлаждение, сузить интервал кристаллизации. Полученные результаты свидетельствуют о возможности оптимизации процесса разливки стали.

## ВЫВОДЫ

1. Предложены мероприятия по использованию техногенных металлургических отходов при производстве высококачественных нержавеющих сталей. Для этого изучены температурные зависимости физических свойств жидких нержавеющих сталей разных классов. Установлены критические температуры, нагрев до которых приводит к необратимым интенсивным изменениям в направлении улучшения состояния расплава.

2. Обнаружена взаимосвязь между массой техногенных металлургических отходов в шихте и видом и особенностями температурных зависимостей физико-химических свойств расплава. С увеличением массы отходов повышаются критические температуры, свидетельствующие о переходе расплава в равновесное состояние. Предложены рекомендации по оптимизации температурного режима плавки и разливки стали.