

$t_{oi}$  – температура перед входом в рассматриваемый калибр;

$\Delta t_{Di}$  – повышение температуры раската в рассматриваемом калибре.

$$\Delta t_{Di} = 0,183 \cdot \sigma \cdot \ln \lambda, \quad (10)$$

где  $\sigma$  – сопротивление металла пластической деформации;

$\lambda$  – коэффициент вытяжки.

Расчет усилия прокатки производили по стандартной методике согласно рекомендаций авторов работы [8].

Сравнительный анализ расчетных и фактических данных по усилию прокатки показал, что погрешность не превышает 15 %. Таким образом, показана возможность использования полученных аналитических зависимостей сопротивления деформации от химического состава стали и температурно-скоростных параметров прокатки при разработке новых режимов прокатки в условиях действующих прокатных станов.

Литература.

1. Приходько И.Ю. Метод определения сопротивления деформации металлов со сложной зависимостью реологических свойств от параметров деформирования / И.Ю. Приходько, А.А. Сергеенко, В.В. Разносилин // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии: Сб. научн. тр. – Днепропетровск.: ИЧМ НАН Украины, 2007. – Вып. 14. – С. 187-193.
2. Зюзин В.И. Сопротивление деформации сталей при горячей прокатке / В.И. Зюзин, М.Я. Бровман, А.Ф. Мельников. – М.: Металлургия, 1964. – 270с.
3. Карпов С.В. Сопротивление деформации марганцовистых сталей / С.В. Карпов, А.А. Банщиков, А.С. Карпова // Ползуновский альманах. – 2003. – №8. – С. 123-126.
4. Головатенко А.В. Анализ экспериментальной зависимости сопротивления деформации рельсовой стали Э78ХСФ от температуры, скорости и степени деформации / А.В. Головатенко, В.В. Дорофеев, В.А. Трусков, К.В. Волков, А.В. Добрянский // Металлург. – 2014. – №6. —С. 118-123.
5. Suzuki H. // Testu to hagane. J.I.S.I. Japan, 1981. V. 67. №4. P. 166.
6. Голубцов В. А. Теория и практика введения добавок в сталь вне печи / В. А. Голубцов. – Челябинск, 2006. – 423 с.
7. Зяблицева Е.О., Литвинов Р.А., Шилов В.А. Моделирование температурных полей при прокатке рельсов // Известия вузов. Черная металлургия. – 2011. – № 5. – С. 51-53.
8. Смирнов В.К. Калибровка прокатных валков / В.К. Смирнов, В.А. Шилов, Ю.В. Инарович – М.: Теплотехник, 2008. – 490 с.

### ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ МОДИФИЦИРОВАНИЯ СТАЛИ

*С.Н. Федосеев, асп., В.Г. Осипова, ст. гр. 10В41*

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского*

*Томского политехнического университета*

*652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26*

*E-mail: fedoseevsn@list.ru*

Модифицирование стальных слитков и непрерывно литых заготовок, подвергаемых в дальнейшем горячей деформации (прокатке, ковке), за последние 20-25 лет получило значительное распространение в «большой металлургии». В первую очередь, это связано с развитием технологии внепечной обработки сталей, включающей в себя присадку в жидкий металл в ковше, или на разливке модифицирующих добавок, в основном – силикокальция.

В «малой металлургии» при производстве фасонного литья эта технология до сих пор имеет ограниченное распространение, что в определенной степени связано со слабым знанием возможностей и преимуществ модифицирования литейных сталей. Этому вопросу и посвящен настоящий доклад, основанный на литературных данных и нашем собственном опыте.

Одним из важнейших результатов модифицирования является повышение жидкотекучести стали. Так, при испытаниях модификаторов серии Insteel (SiCaBa, SiCaBaP3M, SiCaBaTi) на Чебоксарском ОАО «Промлит» отмечено значительное улучшение жидкотекучести стали 20ГЛ. Это проявилось в сокращении времени заливки одной формы примерно на 20%. В ковшах, принимающих металл с присадками лигатур, полностью исключились случаи «закозления» днища и стенок ковшей, разливка успешно проходила даже при пониженных температурах выпускаемой стали.

Повышение жидкотекучести улучшает заполняемость форм, повышает качество поверхности отливок, что особенно важно при производстве точного литья (Ижевский механический завод, модификатор – Insteel (SiCaBaPЗМ, Al)). Одним из технологических следствий повышения жидкотекучести модифицированного металла является возможность снизить температуру разливаемой стали, что, в свою очередь, позволяет реализовать новые положительные стороны этой технологии. Так, при производстве отливок из нержавеющей стали 12Х18Н9ТЛ за счет применения комплексного модификатора удалось понизить температуру примерно на 20 °С и при этом значительно снизить поразенность отливок пленами и неспаями. Живучесть расплава, т.е. возможная продолжительность успешной разливки, возросла с 5-8 до 10-13 мин (при разливке 500 кг металла). Одновременно отмечено улучшение механической обрабатываемости отливок (ЗАО «Поликом», г. Челябинск). На Лысьвенском металлургическом заводе снижение температуры разливки стали 110Г13Л также на 20 °С позволило исключить пригар металла к жидкостекольным стержням. В последнем случае можно дополнительно ожидать измельчения литой структуры отливок.

Понижение температуры разливаемой стали за счет уменьшения газонасыщенности жидкого металла и величины усадки позволяет ослабить развитие горячих термических трещин и других дефектов газосудачного характера.

Большинство исследователей отмечают [1] снижение загрязненности модифицированной стали неметаллическими включениями, напрямую связывая этот факт с наблюдаемым повышением её жидкотекучести. При этом наиболее существенно уменьшается или полностью устраняется загрязненность высокоглиноземистыми включениями. Например, нами при присадке в центровую комплексной лигатуры Insteel (Ca, Ba, PЗМ) на стали 50ХГФА при отсутствии глиноземистых строчек получено резкое снижение балла пластичных силикатов и заметное улучшение по хрупким оксидам (ОАО «Чусовской металлургический завод»). Причина этого положительного воздействия, вероятно, заключается в том, что при вводе нескольких активных элементов, в первую очередь – кальция, продуктами раскисления является не чистый глинозем, а комплексные жидкие включения алюминатов кальция с добавками других соединений, в которых активность  $Al_2O_3$ , естественно, ниже, чем в чистом глиноземе, что повышает раскислительную способность алюминия. Это относится и к другим раскислителям, например, кальцию. В результате, при одних и тех же температурах модифицированный металл содержит меньше равновесного кислорода, а более раннее и интенсивное образование включений повышает возможность их удаления в ковше и, особенно, в изложнице.

Меньшая загрязненность модифицированного металла является причиной получения более высоких пластических свойств, в первую очередь, ударной вязкости при обычных и пониженных температурах испытаний. На ОАО «Икар» (г. Курган) удаление глиноземистых включений с границ литых зерен за счет использования силикокальций-барьерной лигатуры обеспечило требуемый повышенный уровень хладостойкости ( $KCU_{60} \geq 40$  Дж/см<sup>2</sup>) отливок из стали 25Л при их упрощенной термической обработке на основе нормализации, хотя обычно для этих целей используют легированные стали с более сложной термообработкой отливок.

Значительное улучшение механических, особенно пластических свойств получено также при модифицировании углеродистых, низколегированных и нержавеющей сталей на Самарском сталелитейном заводе.

Особо следует остановиться на возможности существенного снижения серы в металле за счет применения PЗМ-содержащих модификаторов. Эта проблема представляет большой интерес для литейщиков, выплавляющих сталь в кислых печах, где обеспечить требуемые значения концентрации серы возможно только при использовании чистой шихты. Было показано [2], что возможности PЗМ-содержащих модификаторов в этом отношении достаточно велики. За их счет содержание серы в выпускаемом из печи металле может быть снижено в среднем на 25%. Наблюдаемое при этом значительное различие средних и максимальных величин десульфурации (до 20%) говорит о наличии больших резервов этой технологии. Эти резервы заключаются в оптимизации вещественного, количественного и гранулометрического состава модификаторов, условий их присадки, в порядке раскисления стали и др. Дополнительно следует отметить, что отмеченное снижение серы сопровождается улучшением механических свойств и повышением хладостойкости отливок, а также исключает накопление серы в общем объеме металлошихты, что имеет место при значительном использовании собственного возвратного литья.

Значительную роль могут сыграть модификаторы в ослаблении или устранении отрицательного влияния находящихся в металле газов – азота и водорода. В случае их повышенных концентраций отливки поражаются ситовидной пористостью, раковинами, трещинами и даже флокенами. Для уст-

ранения дефектов, вызываемых азотом, могут быть полезными модификаторы, в составе которых есть сильные нитридообразующие элементы – титан, или цирконий. Для нейтрализации вредных последствий, связанных с водородом, рекомендуются РЗМ-содержащие модификаторы, способствующие связыванию водорода в прочные гидриды и таким образом препятствующие, или замедляющие его выделение в твердом металле в виде флокенов. [3]. За счет этого может быть повышен безопасный уровень концентраций водорода, снижена интенсивность и длительность процесса вакуумирования жидкой стали, а также сокращена противоблокеновая термообработка отливок вплоть до полного исключения последней.

Все вышесказанное не исчерпывает многообразия возможностей модифицирования по улучшению качественных показателей стали. Поэтому следует, хотя бы кратко, обозначить некоторые дополнительные положительные аспекты применения этой технологии:

- за счет изменения параметров кристаллизации (повышение её скорости, уменьшение зоны трансформации и др.) обработка расплава модификаторами приводит к существенному измельчению литой и термообработанной структуры отливок;

- модифицирование ослабляет развитие ликвационных явлений, повышая тем самым равномерность распределения в отливке углерода, серы, фосфора, примесей цветных металлов, что особенно важно при производстве крупных отливок, например, валковых слитков [4];

- за счет измельчения литой структуры высоколегированных сталей, снижения содержания  $\alpha$ -фазы в аустенитных нержавеющих сталях можно существенно улучшить их служебные характеристики (жаростойкость, стойкость к межкристаллитной коррозии и др.);

- снижение загрязненности стали неметаллическими включениями, изменение их состава и свойств обеспечивают модифицированному металлу повышенную коррозионную стойкость в агрессивных сероводородсодержащих средах и тем самым значительно удлиняет срок службы магистральных нефтепроводов [5];

- переводя примеси цветных металлов из легкоплавкого состояния в достаточно тугоплавкие соединения, модифицирование ослабляет их отрицательное влияние на горячую пластичность литого металла, снижает его трещиностойкость и др.;

- модифицирование – эффективное средство ослабления отпускной хрупкости термообработанного металла.

Результаты модифицирования определяются, главным образом, содержанием активных элементов (Са, Ti, РЗМ и др.) как в жидком металле (в ковше, изложнице, кристаллизаторе), так и в готовой стали. Величина этих концентраций зависит от многих факторов – марки стали, степени её раскисленности, места и способа присадки модификатора, наличия и состава шлака в ковше, продолжительности разлива и др. Поэтому заранее определить оптимальные параметры или предусмотреть результаты модифицирования практически невозможно. А сама технология модифицирования обрабатывается только эмпирическим путем с учетом конкретных условий производства.

При этом следует учесть и оценить возможное влияние следующих технологических факторов:

- время присадки модификатора - в ковш, в самом начале выпуска металла из печи или при наполнении разливочного ковша на 1/3-1/2 его высоты; всю порцию задать сразу или присадку вести частями; следует помнить, что дача модификатора на дно горячего ковша до начала слива металла приводит к бесполезному сгоранию активных элементов;

- модификатор следует присаживать в хорошо раскисленный металл, поэтому надо рассмотреть возможность и эффективность предварительного раскисления алюминием или, по крайней мере, кремнием и марганцем;

- выбор оптимального удельного расхода модификатора – при малом расходе его действие проявляется слабо, при излишнем – неоправданно возрастают затраты; кроме того эффективность некоторых активных элементов, например, редкоземельных, имеет экстремальный характер, а оптимальный расход в значительной степени зависит от ряда факторов – состава металла, степени его легированности и раскисленности, содержания серы и др.; в некоторых случаях отмечается наличие оптимальных концентраций также для кальция [6];

- оптимальный фракционный состав модификатора определяется, в основном, ёмкостью разливочного ковша, а также временем присадки модификатора, продолжительностью слива и др. Например, при использовании Si-Ca-Ba-содержащей лигатуры с подачей её в виде крупки в ковше ёмкостью 1,0-1,5 т хладостойкость возрастала при переходе от фракции минус 5,0 мм к фракции 1,0-

10,0 мм, а максимальной была при фракции 3,0-10,0мм; в «чипсовом» варианте фракция 1,0-15,0 оказалась лучше по сравнению с 1,0-10,0мм;

- при проведении опытов необходимо контролировать химический состав каждой плавки, в том числе – обязательно по алюминию; желательна знать содержание в готовом металле Са, Ti, N, PЗМ и др. При использовании в составе модификатора нескольких активных элементов оптимальная величина концентраций алюминия может смещаться по сравнению с немодифицированной сталью;

- при наличии в ковше кислого или окисленного основного шлака, при выпуске плавки в несколько разливочных ковшей, при длительной выдержке металла в печи или в раздаточном ковше необходимо учитывать возможное изменение по содержанию алюминия и газов в металле начала и конца разливки [7], что может привести к нестабильности результатов модифицирования.

Литература.

1. Гольдштейн Я.Е., Мизин В.Г., «Модифицирование и микролегирование чугуна и стали», М. «Металлургия», 1986, 271 с.
2. Шуб Л.Г., Макаров В.В., Лялин О.П., Усманов Р.Г., «Десульфурация стали 25Л с помощью комплексных модификаторов с PЗМ», Литейное производство, №3, 2003, с. 30-31.
3. Белов Б.Ф., Троцан А.И., Бродский И.Л. и др., «Снижение флокеночувствительности конструкционной стали, микролегированной церием», Metallurg, №9, 2004, с. 40-41.
4. Зинченко В.Г., Судоргин И.В., «Внепечная обработка валковой стали комплексными модификаторами», В сб. «Современные проблемы электрометаллургии стали», Челябинск: Издательство ЮУрГУ, 2004, с. 127-128.
5. Голубцов В.А., Воронин А.А., Тетюева Т.В. и др., «Происхождение неметаллических включений и пути снижения загрязненности ими металла», Metallurg, №4, 2005, с. 73-77.
6. Зайцев А.И., Родионова И.Г., Бакланова О.Н. и др., «Разработка рекомендаций по освоению производства в ОАО «Северский трубный завод» стальных труб повышенной стойкости против локальной коррозии», В сб. «Коррозионно-активные неметаллические включения в углеродистых и низколегированных сталях», М.: Metallurgizdat, 2005, с. 67-81.
7. Шуб Л.Г., Макаров В.В., Лялин О.П., Усманов Р.Г. «Поведение азота в кислой индукционной печи», Metallurgia машиностроения, №5, 2003, с. 5-6.

#### **ИЗМЕНЕНИЕ СТАЛЬНОГО СЛИТКА МОДИФИЦИРОВАНИЕМ СТРУКТУРЫ**

*С.Н. Федосеев, асп., А.С. Шарифутдинова, ст. гр. 10В10*

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского*

*Томского политехнического университета*

*652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26*

*E-mail: fedoseevsn@list.ru*

Одной из актуальных проблем металлургического производства является улучшение качества выпускаемой продукции и интенсификация производственных процессов. Разнообразие физических, химических, технологических и других свойств стали обуславливает широкую классификацию сталей по способам производства. Качество стали можно определить зависимостью содержания вредных примесей и неметаллических включений в расплаве, чем меньше количество вредных примесей и неметаллических включений содержится в стали, тем ее качество выше. Необходимо увеличивать выход годного металла из слитка и, что особенно важно, повысить механические свойства литой стали. Например, увеличение срока службы труб в паровых котлах тепловых электростанций в большинстве случаев связано с решением проблемы повышения однородности слитка, как по структуре, так и по составу, и уменьшения загрязненности стали вредными примесями. Сложное легирование не всегда обеспечивает получение нужных свойств, поэтому исследователи пытаются улучшить качество сталей существующих марок воздействием на кристаллизацию и перекристаллизацию металла в процессе термической обработки и деформации. Во всех случаях качество деформированной и термически обработанной стали зависит от структуры и свойств слитка [1].

Следует отметить, что для повышения производительности при выплавке сталей рядовых марок приходится увеличивать размер изложниц и скорость разливки, что приводит к некоторому снижению скорости теплоотвода и во многих случаях к ухудшению качества слитка. Тенденция к повышению производительности наблюдается и при выплавке высоколегированных сталей,