

РОЛЬ КОВШЕВОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛИ В ФОРМИРОВАНИИ СВОЙСТВ И СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО РАСПЛАВА

Г.Н. Еланский

Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ), г. Москва

Исследованы физические свойства стали (плотность, поверхностное натяжение, вязкость) до и после продувки аргоном в ковше. Ковшечная обработка стали аргоном приводит к возрастанию исследованных свойств металлического расплава. Трактовка полученных результатов произведена в рамках квазихимической модели металлических расплавов, допускающей образование в металлических расплавах кластеров из сильно взаимодействующих частиц. Продувка аргоном способствует разрушению данных кластеров и приближает металлический расплав к состоянию микрооднородности и микроравновесия, что отражается в возрастании физических свойств расплава. Сравнение физических свойств промышленной стали аргоном приводит к значениям физических свойств, которые соответствуют таковым для стали, синтезированной из исходных чистых материалов. Ковшечная обработка стали приводит к повышению качественных показателей готовой продукции.

Ключевые слова: сталь; ковшечная металлургия; продувка аргоном; физические свойства расплава; плотность; поверхностное натяжение; вязкость; загрязнённость стали неметаллическими включениями; качество стали; свойства синтезированной коррозионно-стойкой стали.

Во всех процессах ковшечной металлургии металл подвергается достаточно интенсивному и длительному перемешиванию за счет продувки аргоном. Пузыри аргона пронизывают толщу расплавленного металла, создают новую, постоянно возобновляющуюся поверхность раздела «металл – газ». Рекомбинация атомов на межфазной поверхности должна, по нашему мнению, привести к изменению структурных характеристик металлического расплава и его свойств, что также отразится на качественных показателях готовой продукции.

Собственные исследования по влиянию процессов ковшечной металлургии на свойства стали проводили на Златоустовском металлургическом заводе и Московском металлургическом заводе «Серп и молот». На Златоустовском металлургическом заводе сталь 18X2H4MA выплавляли в дуговых печах вместимостью 10 т по технологии с окислением. После выпуска сталь продували в ковше аргоном через пористую пробку в днище с расходом 0,45–0,50 м³/мин в течение 3–12 мин. Пробы металла для исследования свойств стали отбирали из ковша в течение продувки аргоном. На Московском металлургическом заводе «Серп и молот» сталь 08X18H10 выплавляли в 10-т дуговых печах. Сталь выпускали в ковш с периклазоуглеродистой футеровкой и подвергали обработке на агрегате ковш-печь с электродуговым подогревом и одновременной продувкой аргоном через пористую пробку в днище ковша. Пробы металла отбирали до и после обработки. Свойства промышленной стали сравнили со свойствами синтезированной стали 08X18H10, полученной в лабораторных условиях путем сплавления исходных технически чистых железа, никеля и электролитического хрома.

Результаты исследования свойств стали 18X2H4MA приведены на рис. 1 и 2 [1, 2]. Видно, что обработка стали в ковше аргоном приводит к заметному возрастанию плотности, поверхностного натяжения (оба свойства определены методом большой капли), кинематической вязкости (метод крутильных колебаний) и магнитной восприимчивости (метод Фарадея). Изменение физических свойств расплавленной стали зависит от длительности продувки (см. рис. 2); наибольшее изменение физических свойств приходится на первые 3–7 мин продувки. Дальнейшая продувка слабо изменяет свойства.

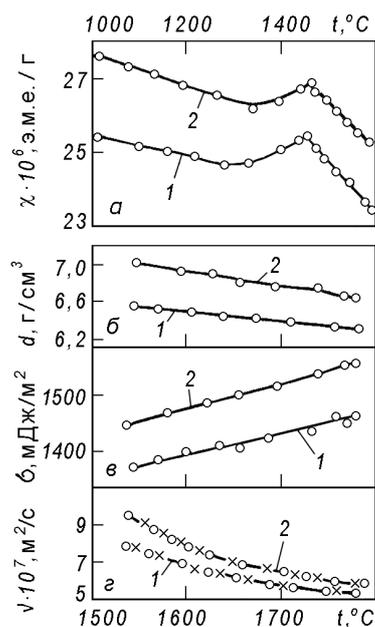


Рис. 1. Зависимость физических свойств стали 18X2H4MA от температуры: 1 – до обработки; 2 – после обработки

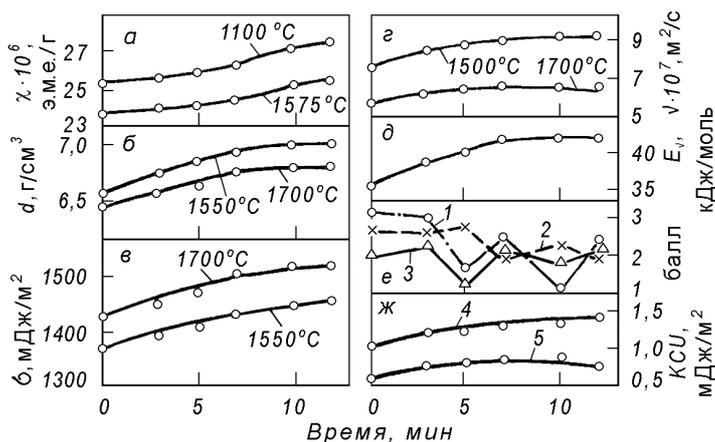


Рис. 2. Зависимость физических свойств и загрязненности стали 18X2H4MA от времени продувки

Анализ проб металла показал, что при продувке стали аргоном ее химический состав практически не изменяется. Содержание кислорода в необработанном металле колебалось в пределах 0,0049–0,0078 %, азота – 0,0072–0,0193 %. После продувки содержание кислорода понизилось до 0,0034–0,0067 %, а азота – до 0,0049–0,0175 %, т. е. средняя степень удаления кислорода составила 15 %, а азота – 20 %. Отмечено также некоторое снижение загрязненности стали оксидными включениями.

Точно так же обработка стали 08X18H10 на агрегате ковш-печь приводит к заметному повышению плотности и поверхностного натяжения. Аналогичные по характеру температурные зависимости плотности и поверхностного натяжения зафиксированы и для синтезированной стали 08X18H10, выплавленной в лабораторной вакуумной печи из исходных чистых железа, никеля и хрома (рис. 3). Видно, что физические свойства промышленной стали после ее обработки на агре-

гате ковш-печь практически полностью совпадают с таковыми синтезированной стали.

Анализ полученных результатов проведен в рамках квазихимической модели металлических расплавов, развиваемой в работах Б.А. Баума, Г.В. Тягунова, В.С. Цепелева и др. [3–5]. Согласно квазихимической модели, металлический расплав состоит из пространственных областей (кластеров), расположение атомов внутри которых характеризуется определенной упорядоченностью (ближним порядком). В результате плавления в системе образуются кластеры – динамические пространственные группировки. В сложных по составу расплавах стали помимо кластеров на основе железа существуют и качественно иные микрообласти примесных кластеров, ближний порядок в которых формируется межчастичным взаимодействием между разноименными атомами. При нагреве расплава размеры и время жизни кластеров уменьшаются. Устойчивые во времени кластеры возникают только благодаря примесям с сильным меж-

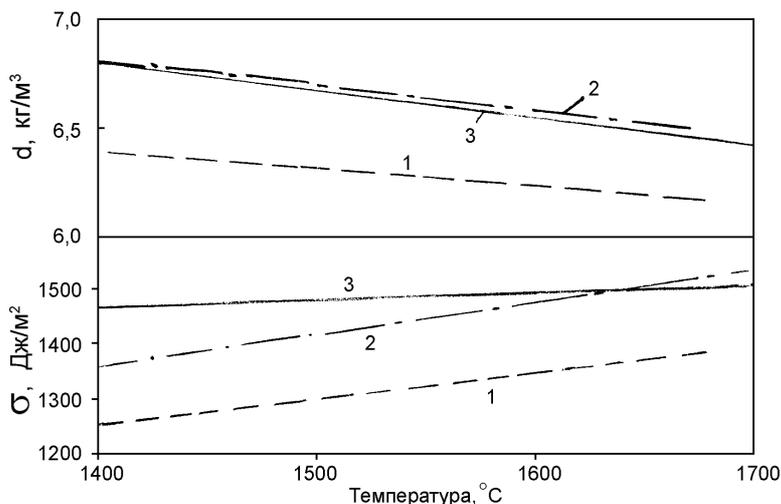


Рис. 3. Сопоставление температурных зависимостей плотности и поверхностного натяжения стали 08X18H10: 1 – промышленная сталь до обработки; 2 – то же, после обработки; 3 – синтезированная сталь

частичным взаимодействием. Расплав представляется микронеоднородным и микронеравновесным. Равновесному состоянию расплава соответствует наиболее равномерное из всех возможных в данной системе способов распределения частиц.

Интенсивное перемешивание расплава в процессах ковшевой металлургии с образованием развитой все время обновляющейся поверхности раздела «металл – газ» снимает диффузионные затруднения, способствует частичному разрушению существующих в расплаве неравновесных долгоживущих кластеров сильно взаимодействующих частиц и приближению расплава к микроравновесному состоянию. Часть прочных внутренних связей в кластерах высвобождается и принимает участие во взаимодействии с окружающими кластер структурными единицами расплава. Это приводит к возрастанию средней энергии межчастичного взаимодействия и проявляется в увеличении поверхностного натяжения расплава и энергии активации вязкого течения, и как следствие этого, в росте кинематической вязкости расплава. Повышение средней энергии межчастичного взаимодействия и увеличение степени однородности расплава сопровождается ростом плотности и магнитной восприимчивости (см. рис. 1–3).

Технология выплавки стали, особенно легированной, предусматривает использование в качестве шихты исходных материалов разного состава и разного происхождения. Они и являются источником примесных атомов с сильным межчастичным взаимодействием, приводящим к возникновению долгоживущих кластеров. Синтезированная сталь типа 08X18H10 была выплавлена в вакуумной лабораторной печи из исходных чистых материалов (железа, хрома и никеля) с низким содержанием примесей. В такой стали мала вероятность возникновения кластеров сильно взаимодействующих примесных атомов. Подчиняясь общим температурным закономерностям изменения плотности и поверхностного натяжения (см. рис. 3), их значения превышают таковые промышленной стали до обработки на агрегате ковш-печь и совпадают со значениями плотности и поверхностного натяжения после обработки стали. Можно допустить, что выявленные значения физических свойств синтезированной стали являются предельными для данного состава расплава. Процессы ковшевой металлургии, основанные на подогреве металла и его продувке аргоном с возникновением развитой, все время обновляющейся межфазной поверхности «металл – газ», приводящие к разрушению долгоживущих кластеров сильно взаимодействующих частиц, приводят расплав к состоянию микроравновесия и микрооднородности и позволяют достичь предельных значений физических свойств расплава. Это также является одной из причин повышения качества готовой металлопродукции.

Выявленные закономерности позволяют дополнить наши представления о роли кипения металла в сталеплавильных агрегатах. Благоприятное влияние кипения металла обычно связывают с выравниванием состава и температуры металла по объему ванны, удалением газов и неметаллических включений. Однако кипение металла, вызванное образованием и удалением пузырями CO, должно приводить к такому же эффекту, а может быть даже более сильному в силу восстановительных свойств оксида CO, как и выявленное при продувке металла аргоном, т. е. переводу металлического расплава в микрооднородное и микроравновесное состояние. Во многих исследованиях зафиксирована положительная роль интенсивного кипения металла в получении металлопродукции высокого качества. Так, в нашем исследовании при выплавке легированной стали в 25-т дуговых печах завода «Красный Октябрь» отмечено длительное и равномерное кипение ванны при использовании в завалке специально изготовленных оксидо-угольных брикетов. Углерод брикетов восстанавливает оксиды железа (окалину) с образованием большого количества CO, приводящего к интенсивному кипению ванны. Прокат стали большого диаметра (до 250 мм), выплавленной по такой технологии, отличался высокой плотностью макроструктуры и повышенными сдаточными механическими свойствами. Продувка металла кислородом, связанная также с перемешиванием металла, вряд ли окажет такой же эффект, как и продувка аргоном, поскольку помимо окисления углерода идет растворение кислорода и образование в металлическом расплаве долгоживущих железо-кислородных кластеров. Последующая обработка такой стали, находящейся в микронеоднородном и микронеравновесном состоянии, на агрегатах ковш-печь требует особого внимания и тщательных исследований строения и свойств металлического расплава.

Заключение

Обработка жидкой стали в ковше, связанная с продувкой аргоном, приводит к заметным изменениям свойств металлического расплава. Пузыри аргона, пронизывая толщу металла, приводят к разрушению долгоживущих кластеров сильно взаимодействующих частиц и способствуют достижению микроравновесного и микрооднородного состояния металлического расплава и повышению качества стали.

Литература

1. Еланский, Г.Н. *Строение и свойства жидкого металла – технология плавки – качество стали* / Г.Н. Еланский, В.А. Кудрин. – М.: Металлургия, 1984. – 239 с.
2. Еланский, Г.Н. *Строение и свойства металлических расплавов* / Г.Н. Еланский, Д.Г. Еланский. – М.: МГВМИ, 2006. – 228 с.

3. Жидкая сталь / Б.А. Баум, Г.А. Хасин, Г.В. Тягунов и др. – М.: Металлургия, 1984. – 208 с.

4. Баум, Б.А. Металлические жидкости / Б.А. Баум. – М.: Наука, 1979. – 120 с.

5. Фундаментальные исследования физикохимии металлических расплавов / Б.А. Баум, Г.В. Тягунов, Е.Е. Барышев, В.С. Цепелев. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2002. – С. 214–228.

Еланский Геннадий Николаевич, д-р техн. наук, профессор кафедры технологий и оборудования металлургических процессов, Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ), г. Москва; elanskiy37@mail.ru.

Поступила в редакцию 23 апреля 2015 г.

ROLE OF LADLE TREATMENT OF STEEL IN FORMATION OF STRUCTURE AND PROPERTIES OF METAL MELT

G.N. Elanskii, Moscow State University of Mechanical Engineering (MAMI), Moscow, Russian Federation, elanskiy37@mail.ru

Physical properties of steel (density, surface tension and viscosity) are measured before and after blowing with argon in the ladle. Argon ladle treatment of steel increases these properties of the metal melt. Results are treated in terms of quasichemical model of metal melts assuming the formation of clusters of strongly interacting particles. Argon blow destroys these clusters and makes the melt more close to microhomogeneous and microequilibrium state, which results in increase of its physical properties. Comparison of physical properties of commercial and synthesized 18 Cr – 10 Ni steel permitted to conclude that argon ladle treatment of commercial steel yields physical properties corresponding to the properties of the steel synthesized from pure materials. Ladle treatment thus improves quality characteristics of steel products.

Keywords: steel; ladle metallurgy; argon blow; physical properties of the melt; density; surface tension; viscosity; contamination of steel with non-metallic inclusions; steel quality; properties of synthesized corrosion-resistant steel.

References

1. Elanskii G.N., Kudrin V.A. *Stroenie i svoystva zhidkogo metalla – tekhnologiya plavki – kachestvo stali* [Structure and Properties of Liquid Metal – Melting Technology – Steel Quality]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1984. 239 p.
2. Elanskii G.N., Elanskii D.G. *Stroenie i svoystva metallicheskih rasplavov* [Structure and Properties of Metal Melts]. Moscow, MGVMI Publ., 2006. 228 p.
3. Baum B.A., Khasin G.A., Tyagunov G.V., Klimenkov E.A., Bazin Yu.A., Raspopova G.A. *Zhidkaya stal'* [Liquid Steel]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1984. 208 p.
4. Baum B.A. *Metallicheskie zhidkosti* [Metal Liquids]. Moscow, Nauka Publ., 1979. 120 p.
5. Baum B.A., Tyagunov G.V., Baryshev E.E., Tsepelev V.S. *Fundamental'nye issledovaniya fizikokhimii metallicheskih rasplavov* [Fundamental Investigations of Physical Chemistry of Metal Melts]. Baum B.A. (Ed.). Moscow, IKTs "Akademkniga" Publ., 2002. 469 p.

Received 23 April 2015

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Еланский, Г.Н. Роль ковшевой обработки стали в формировании свойств и структуры металлического расплава / Г.Н. Еланский // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2015. – Т. 15, № 3. – С. 20–23.

FOR CITATION

Elanskii G.N. Role of Ladle Treatment of Steel in Formation of Structure and Properties of Metal Melt. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*, 2015, vol. 15, no. 3, pp. 20–23. (in Russ.)