

УДК 669.01

Власов М.А., Шешуков О.Ю. Метелкин А.А., Чиглинцев А.В., Шевченко О.И., Елин В.Ю.

ЗАВИСИМОСТЬ СОДЕРЖАНИЯ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ В СТАЛИ ОТ СОСТАВА ШЛАКА НА УСТАНОВКЕ «ПЕЧЬ-КОВШ»

***Аннотация:** Рассмотрена гипотеза о зависимости содержания неметаллических включений в стали от состава шлака на установке «печь-ковш». Предметом исследования является массив данных о неметаллических включениях в продукции, данные о химическом составе шлака на ПК, объектом исследования является продукция (рельсы, колеса, трубы), а также металл и шлак. В ходе проведенного исследования была аппроксимирована взаимосвязь между химическим составом шлака на АКП и неметаллическими включениями в продукции с помощью метода корреляции.*

***Ключевые слова:** метод парных корреляций, неметаллические включения, установка «печь-ковш».*

В процессе кристаллизации и охлаждения стали неизбежно выпадение примесей из раствора с образованием различных химических соединений. Из этих химических соединений только СО является летучим (газом), а все остальные образуют самостоятельную, конденсированную фазу в виде неметаллических включений (далее НВ), которые в той или иной степени фиксируются в объеме твердой стали. Также опасность представляют включения, состоящие из огнеупорных материалов и шлака, механически увлекаемые потоком жидкого металла во время выпуска и разливки и фиксируемые в затвердевшей стали [1].

В работе [1] показано, что состав неметаллических включений в нераскисленном металле практически не отличается от состава шлака, под которым плавилась сталь. Таким образом, в любой твердой стали неизбежно содержание различных НВ, которые снижают ее эксплуатационные свойства. Отрицательное влияние НВ на механические свойства стали связано с тем, что они, во-первых, нарушают сплошность металла, во-вторых, имеют по сравнению с металлом разный коэффициент расширения и неодинаковую деформируемость, поэтому при повышении содержания НВ снижаются усталостная прочность и износостойкость стали [1].

Следовательно, из-за оказываемого отрицательного воздействия НВ на продукцию возникает необходимость удаления НВ из металла во время технологического процесса.

На скорость удаления включений из металла влияют: 1) физические свойства включений, их состав, температура плавления и плотность; 2) способность включений к укрупнению; 3) межфазное натяжение на границе металл-включение и шлак-включение; 4) интенсивность перемешивания ванны; 5) физические характеристики металла и шлака (температура, вязкость) и др. [2].

Газовые пузыри, проходящие через ванну (при кипении металла, продувке ванны инертным

газом и т. п.), способствуют флотации включений. В результате включение будет «прилипать» к пузырю газа и уноситься с ним в шлак [2-4].

Очень интенсивное перемешивание может вызвать разобщение, разрушение образовавшихся ранее скоплений, конгломератов включений и тем самым ухудшить процесс их удаления. Кроме того, при чрезмерно интенсивном перемешивании ванны в металл могут «затягиваться» частички шлака; при этом содержание включений не уменьшается, а увеличивается. Может иметь место также ускорение процесса эрозии огнеупоров, соответственно возрастает содержание в металле и экзогенных включений [2].

Важно организовать технологию так, чтобы всплывающее включение в момент соприкосновения со шлаком успело им усвоиться прежде, чем нисходящие потоки металла увлекут его опять вниз. Скорость «захватывания» шлаком включения зависит от многих факторов, в том числе от межфазного натяжения на границе шлак - включение. Скорость удаления включений из металла в шлак зависит также от площади поверхности контакта (отношения поверхности шлак - металл к массе металла), степени перемешивания ванны, физических свойств шлака и др. [2].

Усвоение неметаллических включений шлаком зависит от химического состава и температуры шлака. Таким образом, актуально исследование зависимости наличия НВ, в металле после разливки, от состава шлака, наводимого в агрегате «ковш-печь» (далее АКП). Результаты исследования позволят определить достоверность гипотезы о влиянии химического состава шлака на возникновение НВ в стали.

Данные о НВ в готовой продукции были взяты из химического анализа данной продукции: колеса (плавки № 3, 4, 8, 12, 13, 14), рельсы (плавки № 1, 2, 5, 7, 9, 10, 11, 15, 16, 17), трубы (плавка № 6). Далее номера предоставленных плавок с известными данными о НВ были сопоставлены с химическим составом шлака, наводимого в АКП (табл.1).

Таблица 1

Состав шлака с АКП

№ плавки	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	SiO ₂
1	14,66	6,02	60,47	16,83
2	14,17	3,09	62,19	18,52
3	16,073	7,21	57,78	16,91
4	14,1	4,28	61,31	18,27
5	15,95	4,58	60,93	16,5
6	2,91	4,48	76,52	14,05
7	15,27	4,75	62,41	15,52
8	10,71	4,93	68,3	14,02
9	17,16	3,88	53,86	23,06
10	8,99	3,12	72,22	13,63
11	16,35	3,31	60,27	18,04
12	20,85	3,52	54,2	19,39
13	3,92	5,84	69,7	18,5
14	22,26	4,49	54,6	16,62
15	3,82	3,87	71,23	19,04
16	7,94	5,008	67,12	17,9
17	6,95	12,37	37,28	41,36

Таблица 2

Состав жидкой фазы шлака

Номер плавки	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	SiO ₂
1	17,09	7,02	53,93	19,61
2	15,84	3,46	57,7	20,72
3	17,97	8,06	52,77	18,91
4	15,9	4,82	56,37	20,61
5	18,27	5,25	55,26	18,89
6	5,64	8,65	54,6	27,19
7	18,42	5,73	54,66	18,73
8	15,64	7,2	53,72	20,47
9	17,16	3,88	53,86	23,06
10	14,24	4,94	56,03	21,58
11	17,63	3,57	57,15	19,46
12	19,54	3,29	57,09	18,17
13	5,8	8,63	55,25	27,33
14	22,26	4,49	54,6	16,62
15	5,57	5,65	58,05	27,77
16	10,68	6,74	55,75	24,1
17	6,95	12,37	37,28	41,36

Зависимость содержания неметаллических включений от состава шлака

Частицы	Валовый состав шлака в пересчете на 100%						Выделилось из исходной оксидной смеси (гетерогенного шлака), % от её массы			
	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	SiO ₂	MgO, %	CaO, %	MgO, д.е.	CaO, д.е.
Сульфиды	-	-	-	-	-	0,41	-	-	-	-
Сульфиды	-	-	-	-	-	0,42	-	-	-	-
Сульфиды	-	-	-	-	-	0,41	-	-	-	-
Силик. хрупкие	-	-	-	-	-	-	0,44	-	0,44	-
Силик. хрупкие	-	-	-	-	-	0,48	-	-	-	-
Силик. пластичные	-	-	-	0,39	-	0,56	-	-	-	-
Силик. пластичные	-	-	-	-	0,39	-	-	0,41	-	-
Силик. пластичные	-	-	-	-	-	-	-	0,42	-	-
Силик. пластичные	-	-	-	-	0,4	-	-	0,43	-	-
Силик. недеф.	-	-	-	0,46	-0,42	0,43	-	-	-	-

Результаты расчетов выполнены на полимерной модели, разработанной в УПИ им. С.М. Кирова на кафедре ТМП «Теории металлургических процессов» [5,6]. Данные по составу жидкофазного шлака и процент наличия нерастворенных частиц представлены в табл. №2,3.

В рамках проведенного исследования было необходимо аппроксимировать взаимосвязь между химическим составом шлака на АКП и неметаллическими включениями в продукции с помощью метода корреляции. Коэффициент парной корреляции служит мерой линейной корреляционной зависимости между величинами x и y при условии, что на формирование их значений оказывают влияние некоторые другие, неучтенные факторы. Кроме того, в ходе исследования следует учитывать, что корреляционная связь проявляется не в каждом отдельном случае, а только в средних величинах при достаточно большом числе статистических наблюдений [7].

Так как в процессе исследования было использовано достаточно большое число статистических наблюдений, значения коэффициента парных корреляций можно считать действительными. Метод парных корреляций показал, что существует зависимость между процентным содержанием оксидов кремния и содержанием в шлаке нерасплавленных хрупких и пластичных силикатов. Также в ходе исследования было выявлено, что если шлак пересыщен твердыми нерасплавленными частицами оксидов кальция и магния, т.е. чем больше доля нерасплавленных частиц CaO и MgO, тем выше содержание неметаллических включений в продукции.

Возможно шлак с высоким содержанием

твердой фазы не обладает достаточными свойствами, необходимыми для усвоения неметаллических включений. Следовательно, факторов [1-4] недостаточно для успешного удаления неметаллических включений из жидкой стали.

Таким образом, по результатам проведенного исследования можно сделать следующий вывод: для уменьшения содержания НВ в стали необходимо гомогенизировать шлак, наведенный в АКП, путем введения дополнительных разжижающих добавок.

Список литературы

1. Металлургия стали. Теория и технология плавки стали : учебник для вузов / Бигеев А.М., Бигеев В.А. Магнитогорск: МГТУ, 2000. С.134-135.
2. Теория и технология производства стали: учебник для вузов / Кудрин В.А.- М.: Мир; АСТ, 2003. 528 с.
3. Кньюпель Г. Раскисление и вакуумная обработка стали. Основы и технология ковшовой металлургии. М. : Металлургия, 1984. 414 с.
4. Производство стали. Т. 3: Внепечная металлургия стали / Д.А. Дюдкин, В.В. Кисиленко. Москва : Теплотехник (ТТ), 2008. 544 с.
5. Новиков В. К. Развитие полимерной модели силикатных расплавов // Расплавы. 1987. № 6. С. 21–33.
6. Новиков В.К., Невидимов В.Н. Применение полимерной модели к расчету вязкости оксидных расплавов // Изв. вузов. Черная металлургия. 1999. № 11. С. 9–12.
7. Эконометрика. Ч. I. Парная регрессия: учебное пособие для вузов / Ишхаян М.В., Карпенко Н.В. Москва: МГУПС, 2016. С. 6-8.

Сведения об авторах

Власов Михаил Александрович – бакалавр, студент кафедры металлургической технологии, «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина», Нижнетагильский технологический институт (филиал).

Шешуков Олег Юрьевич – д-р техн. наук, проф. директор Института новых материалов и технологий УрФУ, главный научный сотрудник лаборатории пирометаллургии черных металлов ИМЕТ УрО РАН. Екатеринбург, Россия. E-mail: o.j.sheshukov@urfu.ru

Метелкин Анатолий Алексеевич – канд техн. наук, ст. преп. кафедры металлургической технологии, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Нижнетагильский технологический институт (филиал). Нижний Тагил. E-mail: anatoliy82@list.ru

Чиглинтцев Алексей Викторович – зам.начальника КЦ №1 по технологии, АО ЕВРАЗ НТМК, г. Нижний Тагил. E-mail: Aleksej.Chiglintsev@evraz.com

Шевченко Олег Юрьевич – д-р техн. наук, зав.кафедрой металлургической технологии, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Нижнетагильский технологический институт (филиал). Нижний Тагил. E-mail: Shevchenko-OI@ntiustu.ru

Елин Вячеслав Юрьевич – огнеупорщик, АО ЕВРАЗ НТМК, г. Нижний Тагил. E-mail: Vyacheslav.Elin@evraz.com

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

THE DEPENDENCE OF THE CONTENT OF NON-METALLIC INCLUSIONS IN STEEL ON THE COMPOSITION OF THE SLAG ON THE UNIT "FURNACE-LADLE"

Vlasov Mikhail Aleksandrovich - student Ural Federal University named after first President of Russia B. N. Yeltsin, Nizhny Tagil technological Institute (branch), Nizhny Tagil.

Sheshukov Oleg Yurevich - D.Sc. (Eng.), Professor, Director of the Institute of new materials and technologies, Ural Federal University named after first President of Russia B. N. Yeltsin, chief researcher, laboratory of pyrometallurgy of ferrous metals IMET UB RAS. Ekaterinburg, Russia.

Metelkin Anatoly Alexeyevich – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Department of Metallurgical technologies Ural Federal University named after first President of Russia B. N. Yeltsin, Nizhny Tagil technological Institute (branch), Nizhny Tagil, Russia.

Chiglintsev Aleksey Viktorovich - deputy Head of Converter Department №1 by technology, EVRAZ NTMK, Nizhny Tagil, Russia.

Shevchenko Oleg Yurevich - D.Sc. (Eng.), Head of the Metallurgical Technology Department, Ural Federal University named after first President of Russia B. N. Yeltsin, Nizhny Tagil technological Institute (branch), Nizhny Tagil, Russia.

Elin Vyacheslav Yurevich - fireproofer of the hot-work sector, Converter Department №1, EVRAZ NTMK, Nizhny Tagil, Russia.

Abstract. *The hypothesis of the dependence of the content of non-metallic inclusions in steel on the composition of the slag at the ladle-furnace has been considered. The subject of the research is an array of data on non-metallic inclusions in products, data on the chemical composition of slag on the "ladle-furnace", the object of study is products (rails, wheels, pipes), as well as metal and slag. In the course of the study, the connection between the chemical composition of slag on the "furnace-ladle" and non-metallic inclusions in products was approximated by correlation method.*

Keywords: *the method of pair correlations, nonmetallic inclusions, unit "furnace-ladle".*

Ссылка на статью:

Власов М.А., Шешуков О.Ю., Метелкин А.А., Чиглинтцев А.В., Шевченко О.И., Елин В.Ю. Зависимость содержания неметаллических включений в стали от состава шлака на установке «печь-ковш» // Теория и технология металлургического производства. 2019. №2(29). С. 19-22.

Vlasov M. A., Sheshukov O. Yu., Metelkin A. A., Chiglintsev A. V., Shevchenko O. Yu., Elin V. Yu. The dependence of the content of non-metallic inclusions in steel on the composition of the slag on the unit "furnace-ladle". *Teoria i tehnologiya metallurgicheskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2019, vol. 29, no. 2, pp.19-22.