

М.Ф. Карташов, А.В. Канина, А.М. Игнатова
M.F. Kartashiov, A.V. Kanina, A.M. Ignatova

Пермский национальный исследовательский политехнический университет
Perm National Research Polytechnic University

ПРИНЦИП ТИПИЗАЦИИ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ

PRINCIPLE OF TYPIFICATION NON METALLIC INCLUSIONS

Изложены принципы типизации неметаллических включений на основе существующих признаков классификации и составлена предварительная типизация включений в сталях на основе данных, имеющихся у авторов.

In this paper we set out the principles typing nonmetallic inclusions based on existing classification features and a provisional typing inclusions in steels, based on the data available from the authors.

Ключевые слова: неметаллические включения, раскисление, морфология, очистка металла, качество продукции.

Keywords: nonmetallic inclusions, deoxidation, morphology, fining of metal, quality of metal production.

В настоящее время предельно допустимая загрязненность металла неметаллическими включениями (НВ) регламентируется ГОСТ «Сталь. Металлографические методы определения неметаллических включений», однако существующие нормы не оговаривают параметры самих включений (морфология, структура, твердость и состав). Современные исследования доказывают значимость влияния этих параметров на качество и надежность металлопродукции [1, 2]. Современная техника позволяет фиксировать практически все характеристики НВ, что активно используется в исследовательской работе, в частности для разработки наиболее эффективных методов отчистки металла от них, но до сегодняшнего дня ни одного метода, приводящего к стопроцентному избавлению от НВ, не предложено. В некоторой степени развитие этих разработок замедлено тем, что современные методы исследований применяются только в лабораториях, в производственных условиях используются только стандартные методики.

Очевидно, что для того, чтобы научиться контролировать НВ, необходимо для начала их как следует изучить и классифицировать, чтобы знать, как предотвращать появление каждого вида НВ в отдельности. Наиболее

подробная классификация является залогом успеха в производстве качественных сталей. Разумеется, классификация НВ была проведена многими исследователями, однако существующий подход рассматривает их деление на группы по отдельным признакам, корреляции между отдельными классификационными группами, как правило, не устанавливается.

Цель представленной работы – определить основные принципы классификационной *типизации* неметаллических включений на основе существующих признаков классификации.

В настоящее время признаками классификации НВ являются: природа происхождения, химический состав, строение, механические и физические характеристики.

Создание типизации предполагает создание перечня возможных типов НВ не по одному отдельному признаку, а на основе комплексной характеристики (причем традиционные признаки классификации должны быть расширены): например, если раньше НВ могло быть охарактеризовано просто как экзогенное или эндогенное, то согласно новой классификации оно будет соответствовать определенному типу. Например, включения типа *X* соответствуют включениям сферической формы размером в определенном диапазоне, с кристаллической структурой, силикатного состава, пластичными при температуре горячей обработки, возникающим на этапе раскисления и т.д.

Для решения поставленной задачи необходим всесторонний анализ литературных и производственных данных. Что касается производственных данных, их учет следует вести с описанием технологического процесса и фиксированием момента образования (продувка кислородом, прокат, вакуумирование и т.д.). Данный подход облегчит наблюдение за трансформацией включений, позволит проследить, каким образом технологические параметры влияют на разные типы включений.

Наиболее общий признак классификации – происхождение, согласно ему включения делятся на эндогенные и экзогенные. С точки зрения типизации интерес прежде всего представляют эндогенные включения, так как основные методы борьбы с экзогенными относятся к совершенствованию оборудования, огнеупорных материалов и т.д. [3].

По химическому составу НВ делятся на сульфидные, фосфидные, нитридные и оксидные.

Состав, форма и размеры сульфидных включений [4] зависят от химического состава металла. В сульфидных включениях сера в основном находится в виде соединений с железом и марганцем. При высоком содержании марганца в металле повышение количества углерода уменьшает содержание MnS в сульфидных включениях. При малом количестве марганца изменение концентрации углерода мало влияет на связывание серы в форме MnS.

Вредное влияние фосфора [5] на свойства металла заключается в снижении высокотемпературных характеристик металла вследствие ослабления межкристаллитных границ (при выделении легкоплавких включений) и в ухудшении механических свойств металла при нормальной и низких температурах. Последнее обусловлено снижением пластичности металла в результате растворения фосфора и наличием на границах кристаллитов хрупких неметаллических прослоек.

Нитридные включения [6] чаще образуются в присутствии растворенного в металле азота. Крайне отрицательное влияние на пластические свойства стали оказывает нитрид железа Fe_4N . Он является очень твердым и хрупким, выделяется в виде тонких продолговатых игл. Такие включения – явный пример того, как морфология и состав включения является решающим фактором, влияющим на свойства металлопродукции.

Оксидные включения – наиболее обширная группа, входящие в нее включения могут состоять из отдельных оксидов и представлять собой комплексные соединения, в данную группу входят кристаллические и аморфные включения.

Представленная классификация демонстрирует, насколько обширно многообразие НВ, но в то же время абсолютно не дает информации о том, как появление одних соотносится с концентрацией других и т.д.

В рамках исследований для изучения трансформации НВ в сталях [7, 8] и сварных соединениях [9, 10] использовался рентгеноспектральный (микронзондовый) анализ, проведенный при использовании электронного сканирующего микроскопа JSM-63090LV, а также рентгеноспектральный анализ – с помощью электронного растрового микроскопа типа РЭМ-100У. Была составлена первоначальная классификационная типизация, в которую вошли включения 6 групп.

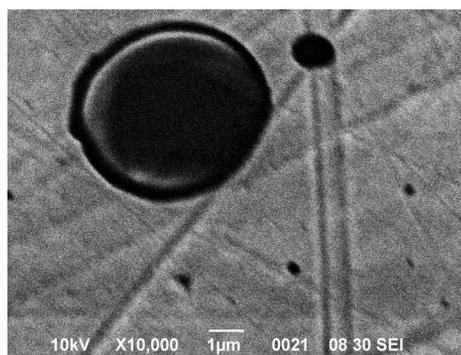
Включения типа А (рисунок, а) – эндогенные, сферические, аморфные, состоят из SiO_2 , возникают на этапе раскисления, размер 3–12 мкм.

Включения типа Б (рисунок, б) – эндогенные, состоят из нескольких коагулированных сфер, имеют кристаллическое строение, состоят преимущественно из Al_2O_3 , размер 0,5–2 мкм, возникают на этапе раскисления.

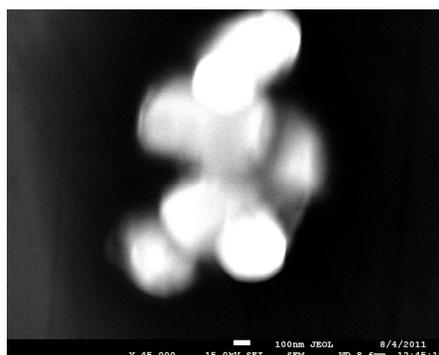
Включения типа В (рисунок, в) состоят из двух фаз, которые имеют четкую границу раздела. Данные включения представляет собой многослойную шпинель, в которой чередуются слои следующих составов: $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--MgO}$, $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--FeO}$ и $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--FeO--MgO--SiO}_2$, разного по упорядоченности строения, присутствуют в металле на всех этапах, размер 1–3 мкм.

Включения типа Г (рисунок, г), как правило, остроугольные, неправильной формы, причина формирования таких включений может быть различна. Если речь идет о крупных включениях, размер которых более 10–15 мкм, то, скорее всего, это раздробившиеся в процессе прокатки или термических про-

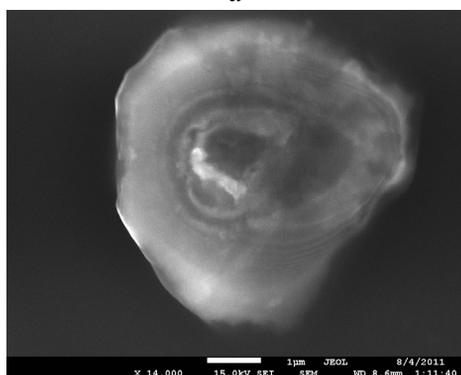
цессов крупные включения. Прежде всего это могут быть ограниченные игольчатые включения FeAl_3 и пленки Al_2O_3 , залегающие в виде тонких плоских включений. Последний тип, вероятно, образуется путем погружения в расплав поверхностного окисного слоя. Данные включения образовались в результате выталкивания включений утолщающимися дендритами основного металла.



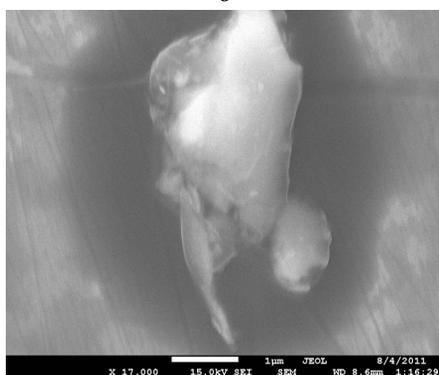
a



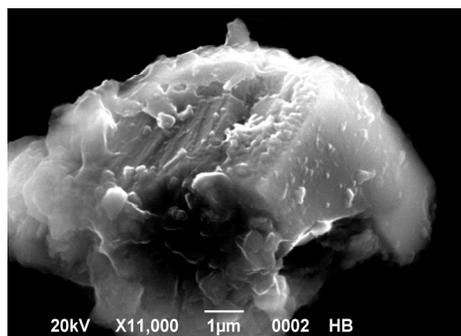
б



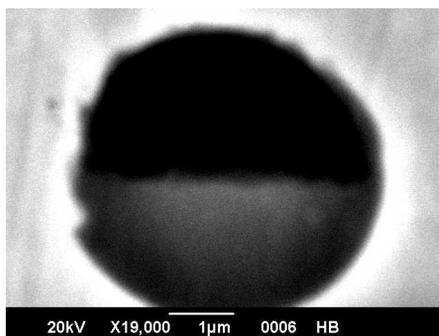
в



г



д



e

Рис. Неметаллические включения: *a* – типа А, $\times 10\,000$; *б* – типа Б, $\times 45\,000$; *в* – типа В, $\times 14\,000$; *г* – типа Г, $\times 17\,000$; *д* – типа Д, $\times 11\,000$; *e* – типа Е, $\times 19\,000$

Включения типа Д (рисунок, д) в отличие от всех предыдущих включений представляют собой сульфид марганца, размер 1–3 мкм, встречаются на разных этапах передела.

Включения типа Е (рисунок, е) сохраняют свою сферическую форму и сложный комплексный оксидный состав, причем благодаря большому уменьшению объема окислов при кристаллизации образуется усадочная раковина, размер 1–2 мкм, встречается на всех этапах процесса.

Установленные типы включений не являются исчерпывающими, согласно нашим предположениям, включения могут относиться к более чем к 40 типам, в частности свою специфику имеют включения сварных соединений в зависимости от типа сварки и используемых материалов, а также от способа производства и марки сплава.

Таким образом, в настоящей работе сформулированы принципы типизации неметаллических включений на основе существующих признаков классификации и составлена предварительная типизация включений в сталях. Обнаружено, что значительная часть включений образуется в период раскисления сплава, что позволяет наметить дальнейшую стратегию типизации включений, которая позволит рассмотреть их образование в эволюционном контексте.

Список литературы

1. Басиев К.Д., Бигулаев А.А., Кодзаев М.Ю. Механо-коррозионные процессы в грунтах и стресс-коррозия в магистральных газопроводах // Вестник ВНИЦ. – 2005. – № 1. – С. 34.
2. Гольдштейн М.И., Грачев С.В., Векслер Ю.Г. Специальные стали: учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МИСиС, 1999. – 408 с.
3. Краснослободцев И.А. Влияние раскисленности стали на химическую неоднородность крупных кузнечных слитков: дис. ... канд. техн. наук / Моск. ин-т стали и сплавов. – М., 1991. – 235 с.
4. Подгаецкий В.В. Неметаллические включения в сварных швах. – М.; Киев: Машгиз, 1962. – 84 с.
5. Качество слитка спокойной стали / М.И. Колосов, А.И. Строганов, Ю.Д. Смирнов, Б.П. Охримович. – М.: Металлургия, 1973. – 408 с.
6. Игнатов М.Н., Игнатова А.М., Канина А.Е. Идентификация и изучение свойств неметаллических включений в сварных соединениях // Изв. вузов. Поволжский регион. Технические науки. – 2013. – № 2 (26). – С. 140–148.
7. Игнатова А.М. Механизм образования неметаллических включений в сталях // Научно-технический вестник Поволжья. – 2012. – № 2. – С. 208–211.

8. Федосеева Е.М., Игнатов М.Н., Игнатова А.М. Рентгеноспектральный микронзондовый анализ минералогического состава неметаллических включений сварных соединений магистральных трубопроводов // Вестник Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. Машиностроение, материаловедение. – 2011. – Т. 13, № 4. – С. 69–77.

9. Минералогия неметаллических включений в сварных соединениях магистральных трубопроводов / Е.М. Федосеева, М.Н. Игнатов, А.М. Игнатова, Т.В. Ольшанская, Н.В. Вылежнева // Вестник Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. Машиностроение, материаловедение. – 2011. – Т. 13, № 4. – С. 60–68.

10. Игнатова А.М., Игнатов М.Н. Методика и оценка твердости и модуля упругости материала неметаллических включений // Инженерия поверхности и реновация изделий: сб. докл. конф., 2012 / Нац. техн. ун-т «Харьк. политехн. ин-т». – Харьков, 2012. – С. 120–123.

Получено 6.03.2014

Карташов Максим Федорович – студент, ПНИПУ, МТФ, гр. ТСП-12, e-mail: goncharsk@mail.ru.

Канина Александра Вячеславовна – аспирант, ПНИПУ, МТФ, e-mail: rysalka-88@mail.ru.

Игнатова Анна Михайловна – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Институт безопасности труда, производства и человека, ПНИПУ, e-mail: iampstu@gmail.com.