

А.А. Мясникова

A.A. Myasnikova

Пермский национальный исследовательский политехнический университет
Perm National Research Polytechnic University

**НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ВКЛЮЧЕНИЯ И ИХ ВЛИЯНИЕ
НА КАЧЕСТВО СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ
ПРИ РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКЕ**

**NON-METALLIC INCLUSIONS AND THEIR INFLUENCE
ON THE QUALITY OF WELDING JOINT
BY MANUAL ARC WELDING**

Рассмотрена проблема образования неметаллических включений в сварных швах. Приведены характеристики неметаллических включений, влияющие на качество сварных соединений. Показано, какие факторы необходимо учитывать при сварке РДС, чтобы получить наилучшее сочетание этих характеристик.

Ключевые слова: неметаллические включения, дефекты сварки, качество сварных соединений, ручная дуговая сварка, покрытие электродов.

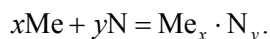
The main topic is formation of non-metallic inclusions in weld seams. It was considered characteristics of non-metallic inclusions, which determine influence character of inclusions on the quality of welding joints. Thanks the research, it's clear, what factors are obligatory by manual arc welding for obtaining the best combination these characteristics.

Keywords: non-metallic inclusions, welding defect, quality of weld seams, manual arc welding, coating of welding rods.

Качество стали, уровень ее механических и служебных свойств определяется содержанием вредных примесей, а также химической и физической неоднородностью заготовки. Существенное влияние на качественные показатели стали оказывают неметаллические включения. Их присутствие негативно сказывается на прочности, пластичности и ударной вязкости металла, обрабатываемости на режущих станках, коррозионной стойкости, влияет на склонность к образованию трещин и другие характеристики стали [1]. В связи с этим изучение неметаллических включений является актуальным.

Неметаллические включения классифицируются по химическому составу на оксиды, сульфиды, нитриды, фосфиды, карбиды, интерметаллиды. Та-

кое разделение включений в некоторой степени условно, так как часто можно встретить сложные включения, представляющие собой сочетание включений различных групп [2]. По размеру включения делятся на микро- и макровключения. Неметаллические включения также делятся по происхождению на эндогенные и экзогенные. Неметаллические включения экзогенного вида являются продуктами разрушения футеровки сталеплавильных агрегатов и сталеразливочных устройств частицами шлака. Их состав близок к составу огнеупоров и шлаков [3]. Эндогенные образуются в результате взаимодействия неметаллических элементов (азота, кислорода и серы), растворенных в стали, с металлами:



Сами по себе неметаллические включения не являются дефектами. Лишь определенное сочетание их характеристик может негативно сказаться на свойствах металла. Для оценки влияния неметаллических включений на свойства металла важно учитывать как их химический состав и количество, так и форму, размер и расположение. Однако неизвестно, какая из этих характеристик наиболее опасна с точки зрения воздействия на свойства стали.

Характер влияния включений на свойства металла в значительной степени обуславливается их химическим составом. Наиболее опасными и распространенными в сталях включениями являются оксиды и сульфиды [4]. Фосфидные и нитридные включения встречаются крайне редко. Интерметаллидные и карбидные включения относят к включениям условно. Обычно они не являются нежелательными примесями, а представляют собой основные структурные составляющие стали, которые определяют требуемые эксплуатационные свойства [4]. Также существенное влияние на прочностные и пластические свойства стали оказывает форма включений [3]. Наименее вредными считаются включения глобулярной формы. Опасными являются включения с острыми гранями, включения в виде пленок и т.п. Сталь, содержащая такие включения, разрушается гораздо раньше стали с глобулярными включениями.

Важным фактором при изучении влияния неметаллических включений на свойства стали является также их количество. Однако, оценивая влияние определенного количества включений на свойства металла, нельзя не учитывать характер их распределения. Неоднородное распределение включений вызывает неоднородность макроструктуры металла, проявляющуюся в неоднородности физических и механических свойств стали. Наилучшим вариантом является равномерное распределение неметаллических включений в объеме металла. Кроме того, многие исследователи при оценке влияния включений на механические свойства стали считают определяющим фактором их размер [3].

Проблема неметаллических включений встает на многих стадиях технологического процесса изготовления стальных конструкций, и производство сварных соединений не является исключением. Как правило, во всех сварных швах есть неметаллические включения. Их количество, состав, форма, размер и распределение в металле шва могут в значительной степени повлиять на механические свойства сварных соединений. Несмотря на то что сварные швы неудобны для изучения неметаллических включений вследствие малого объема сварочной ванны [5], этому вопросу посвящено много работ. Однако большинство из них предоставляет лишь конечные данные процесса: описывается состав и форма включений, их распределение и т.д. Такие основополагающие вопросы, как кинетика зарождения, укрупнения и удаления включений, в основном не рассматриваются. В то же время изучение этих вопросов позволяет снижать образование неметаллических включений в сварном шве или получать такие неметаллические включения, которые в наименьшей степени повлияли бы на качество шва.

Большое значение имеют кинетические и металлургические аспекты процесса образования неметаллических включений. Большинство включений, образующихся в сварном шве, эндогенного происхождения. При этом их образованию в сварочной ванне способствует обогащение жидкого металла примесями вследствие ликвационных процессов и понижение совместной растворимости примесей при охлаждении металла сварочной ванны [5]. Формы и размеры включений в металле шва зависят от времени кристаллизации металла сварочной ванны и температуры плавления включений, которая в свою очередь определяется химическим составом включений. Состав неметаллических включений во многом зависит от способа сварки и применяемых сварочных материалов.

В случае применения ручной дуговой сварки необходимо наибольшее внимание уделять используемым материалам (покрытым электродам), так как от типа электродов зависят металлургические процессы, происходящие в сварочной ванне, а следовательно, возможность образования тех или иных типов включений. Приведем таблицу, отражающую содержание газов и неметаллических включений в металле шва в зависимости от покрытия используемых электродов [6]. Видно, что содержание неметаллических включений будет больше при сварке электродами с кислым и целлюлозным покрытием. Однако эти данные носят весьма неточный характер.

На размер и распределение неметаллических включений будет оказывать прямое влияние время кристаллизации сварочной ванны, которое в большей степени зависит от ее объема, т.е. от разделки кромок и режимов сварки. При большом объеме сварочной ванны процесс кристаллизации металла сварочной ванны протекает дольше, что приводит к образованию включений большего размера.

**Массовые доли включений при использовании
при сварке электродов с различными типами покрытий, %**

Тип покрытия	[O ₂]	[N ₂]	[H ₂]·10 ⁵	Неметаллические включения
Кислое (А)	0,09–0,12	0,010–0,025	15–20	0,10–0,20
Основное (Б)	0,03–0,05	0,007–0,012	До 4	До 0,10
Рутиловое (Р)	0,08–0,09	0,016–0,025	До 30	0,06–0,10
Целлюлозное (Ц)	0,04–0,10	0,010–0,025	20–35	0,10–0,16

Таким образом, образование неметаллических включений определяется кинетикой процесса сварки, сопутствующими металлургическими процессами. Однако нельзя не учитывать процессы объединения (укрупнения) и удаления включений из объема сварочной ванны в шлак, на которые также влияет химический состав самих включений, их форма и свойства поверхности.

На практике, для того чтобы свести к минимуму вредное воздействие неметаллических включений на сварной шов при ручной дуговой сварке, необходимо в первую очередь правильно подобрать электроды. Этим будут определяться металлургические процессы, происходящие в сварочной ванне во время сварки. От этого будет зависеть то, какие именно включения будут образовываться, будут ли они объединяться друг с другом, возможно ли их удаление из объема сварочной ванны. Также важно применять правильную разделку кромок и режимы сварки. Эти факторы обуславливают кинетику процесса в целом, то есть то, насколько полно протекают процессы образования, укрупнения неметаллических включений в сварочной ванне и процессы их удаления.

Предварительно проведенные исследования влияния типа покрытия электродов на состав неметаллических включений, их распределение и размер в стали 3 дали следующие результаты. При сварке электродом ОК 46 с рутиловым типом покрытия загрязненность сварного шва неметаллическими включениями высока. Присутствует большое количество крупных включений глобулярной формы, которые по итогам качественного анализа были отнесены к сложным оксидам или силикатам. Средние включения также имеют место. Их форма в основном глобулярная, однако встречаются и строчечные включения, являющиеся сульфидами. При сварке электродом ОК 53 с основным типом покрытия загрязненность сварного шва неметаллическими включениями намного ниже, чем при сварке электродами с рутиловым типом покрытия. В основном в шве наблюдаются средние и мелкие включения. Их глобулярная или неправильная форма указывает на то, что в шве присутствуют преимущественно оксиды и оксисульфиды. Редко встречающиеся крупные включения по своей природе являются скорее экзогенными и интереса для исследования не представляют.

Список литературы

1. Барахтин Б.К., Немец А.М. Металлы и сплавы. Анализ и исследование. Физико-аналитические методы исследования металлов и сплавов. Неметаллические включения: справочник / под ред. И.П. Калинкина. – СПб.: Профессионал, 2006. – 486 с.
2. Кудрин В.А. Металлургия стали: учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Metallurgia, 1989. – 560 с.
3. Бельченко Г.И., Губенко С.И. Неметаллические включения и качество стали. – Киев: Техніка, 1980. – 168 с.
4. Виноград М.И. Включения в стали и ее свойства. – М.: Metallurgizdat, 1963. – 252 с.
5. Деев Г.Ф., Пацкевич И.Р. Дефекты сварных швов. – Киев: Наукова думка, 1984. – 208 с.
6. Теория сварочных процессов: учебник для вузов / А.В. Коновалов [и др.]; под ред. В.М. Неровного. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 749 с.

Получено 2.03.2012