

**Анализ неметаллических включений в наплавленном слое при
использовании нового метода наплавки**

Рыбалко И.Н., аспирант

*(Харьковский национальный технический университет сельского
хозяйства имени Петра Василенко)*

Выявлены наиболее часто выделяемые неметаллические включения и показана целесообразность использования нового способа введения легирующих добавок.

Постановка проблемы. Надежность металлоизделия является основной характеристикой их качества. Способность материала к долговременной эксплуатации определяется низкой вероятностью наличия в нем дефектов. Известны и систематизированы различные виды дефектов, имеющих металлургическое происхождение, вместе с тем, одним из наиболее характерных и одним из самых распространенных видов продолжают оставаться неметаллические включения. Влияние неметаллических включений на качество металла является многомерной проблемой, вместе с тем известно, что в процессе разрушения стали значимую роль играют не только количество неметаллических включений, но и их морфология (размер, форма, состав) и распределение. Для повышения срока службы деталей машин нанесением покрытий чаще всего используют метод электродуговой наплавки.

На кафедре технологических систем ремонтного производства Харьковского национального университета сельского хозяйства имени Петра Василенка разработан способ восстановления и упрочнения деталей механизированной наплавкой, при котором подача легирующего порошка осуществляется принудительно, деформированной сварочной проволокой проходящей через бункер с порошком и калибрующий токоподводящий

мундштук горелки. Установка для восстановления и упрочнения поверхности деталей позволяет дозированно подавать легирующие компоненты вместе с проволокой в зону наплавки, а также оперативно изменять состав и процент легирования наплавляемого металла. Применение данной установки может найти на малых ремонтных предприятиях и частных хозяйствах.[1].

Цель исследований: провести анализ влияния предложенного способа восстановления и упрочнения деталей микролегированием в процессе наплавки на формирование неметаллических включений в восстановленном слое.

В задачи исследований входило:

- оценить характер и тип формируемых неметаллических включений при наплавке;
- оценить плотность металла в восстановленном слое;
- выполнить сравнительную оценку неметаллических включений без добавок и с добавкой легирующих компонентов, упрочняющих восстановленный слой предложенным способом.

Результаты исследований. Неметаллические включения могут иметь размеры от дисперсных, неразличимых при обычно применяемых увеличениях микроскопа, до крупных, видимых невооруженным глазом. Протяженность пленочных включений может достигать несколько десятков миллиметров. Различают макровключения (размером более 1мм) и микровключения (размером менее 1мм).

При проведении исследований, с применением разработанного метода [1], наплавку рабочей поверхности детали проводили проволокой Нп-30ХГСА. Один образец наплавляли только этой проволокой, а второй с добавлением порошка на никелевой основе ПГ-10Н-01 по новой технологии. Их химический состав приведен в табл. 1 и 2.

Таблица 1. Порошковые сплавы на никелевой основе

Марка	Химический состав, %							Твердость
	Cr	B	Si	Fe	C	Al	Ni	
ПГ-10Н-01	14-20	2,8-4,2	4,0-4,5	3,0-7,0	0,6-1,0	-	ост.	55-62 HRC

Таблица 2. Химический состав проволоки стальной наплавочной

Марка проволоки	Массовая доля элементов, %										
	C	Mn	Si	Cr	Ni	W	V	Mo	S	P	Прочие элементы
Нп-30ХГСА	0,25-0,35	0,80-1,20	0,80-1,20	0,80-1,20	<0,40	-	-	-	0,025	0,025	-

Неметаллические включения не относятся к числу дефектов сварных швов, но оказывают заметное влияние на их качество и свойства. Рассмотрим различные типы неметаллических включений, встречающихся в сварных швах на стали [2-4].

Оксидные включения. В металле шва может содержаться до 0,1% кислорода, находящегося в виде неметаллических оксидных или смешанных включений. Химический и минералогический составы этих включений зависят от химического состава металла шва. При низком содержании кремния и марганца в металле шва и отсутствии других легирующих элементов оксидные включения содержат в основном FeO, остальное — SiO₂ и MnO.

При повышении содержания кремния и марганца в металле шва заметно увеличиваются концентрации окислов этих элементов в составе оксидных включений, соответственно уменьшается содержание в них окислов железа. Общее количество оксидных включений в шве при этом также уменьшается. С увеличением соотношения [% Si] : [% Mn] в металле шва содержание SiO₂ во включениях растет, а MnO снижается.

Введение алюминия в металл шва уменьшает общее количество оксидных включений и ведет к появлению в их составе герцинита FeO-Al₂O₃. Дальнейшее повышение содержания алюминия сопровождается образованием включений глинозема Al₂O₃. При наличии хрома в шве кристаллизуются включения хромита FeO-Cr₂O₃; продуктом раскисления сварочной ванны ванадием является окись ванадия V₂O₃. Низкая концентрация титана в металле шва ведет к образованию сложных включений титаната железа FeO-Ti₂O₃, при высоком его содержании образуется оксид титана Ti₂O₃.

Выявленные в швах дуговой сварки оксидные включения по

минералогическому составу можно разделить на следующие главные типы:

1) смешанные железо-марганцевые оксиды, представляющие собой непрозрачные включения преимущественно шарообразной формы. Их образованию способствует высокая окисленность металла шва при низком содержании кремния и отсутствии других активных раскислителей;

2) железо-марганцевые силикаты, имеющие вид полупрозрачных округлых включений с вкраплениями темных частиц;

3) стекловидный кремнезем (прозрачные частицы шарообразной или неправильной формы), встречается преимущественно в хорошо раскисленных кремнием швах.

При сварке под флюсом вид и состав оксидных включений зависят от состава флюса. В швах, сформированных под высококремнистыми марганцевыми флюсами, включения преимущественно представлены высококремнистыми и железо-марганцевыми силикатами. Это округлые, прозрачные и сравнительно крупные (0,002—0,02 мм) оксидные включения. Кроме того, в таких швах много межкристаллитных силикатных пленок. На рис. 1 показаны межкристаллитные силикатные пленки, выявленные в шве низкоуглеродистой стали при исследовании в электронном микроскопе. Пленки расположены на границах между кристаллитами металла шва и иногда сливаются с круглыми оксидными включениями. При использовании высококремнистых безмарганцевых флюсов во включениях преобладают округлые бесцветные выделения стекловидного кремнезема, наблюдаются и межкристаллитные силикатные пленки. В швах, сформированных под низкокремнистыми и бескремнистыми флюсами, основную массу включений составляют алюмосиликаты и шпинели. При сварке в защитных газах вид и состав оксидных включений определяются химическим составом металла шва и содержанием в нем кислорода. Кроме перечисленных видов включений встречаются и другие. Оксидные включения часто имеют неоднородный минералогический состав, они также могут образовывать сложные кислородсодержащие включения, например, оксисульфиды.

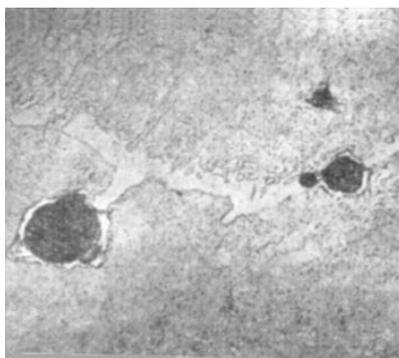


Рис. 1. Межкристаллитные силикатные пленки в шве, X 9000

Оксидные включения и силикатные пленки снижают ударную вязкость и хладостойкость металла шва в углеродистых и низколегированных сталях. В швах аустенитных сталей силикатные пленки уменьшают прочность при испытаниях на растяжение и изгиб, не влияя, однако, на величину ударной вязкости.

Сульфидные включения. В сварных швах из стали обычно содержится 0,02—0,04% S, образующей сульфидные включения. На нетравленых шлифах эти включения имеют вид серых включений, чаще всего неправильной формы. Размер включений сильно возрастает в направлении от границы сплавления металла шва с основным металлом к середине шва. Наиболее крупные включения наблюдаются в середине верхней части шва. При специальном травлении шлифов выявляются сульфидные пленки и цепочки мелких сульфидных включений, расположенные по границам кристаллитов металла шва.

Состав, форма и размеры сульфидных включений зависят от химического состава металла шва. В сульфидных включениях сера в основном находится в виде соединений с железом и марганцем. Повышение содержания в шве марганца способствует преимущественному связыванию серы в сульфид марганца MnS. Окисление сварочной ванны окалиной уменьшает содержание MnS во включениях и увеличивает содержание сульфида железа FeS. При высоком содержании марганца в шве и повышении количества углерода уменьшает содержание MnS в сульфидных включениях. При малом количестве марганца изменение концентрации углерода мало влияет на связывание серы в форме MnS. Кремний сильно уменьшает содержание сульфида марганца во включениях. Наличие хрома в металле шва способствует связыванию серы в сульфид хрома или формирует сложные хромомарганцевые сульфиды.

Повышение содержания углерода в металле шва заметно увеличивает размер сульфидных включений. В зависимости от степени раскисленности металла сварочной ванны образуются сульфидные включения трех типов. При окисленном металле, а так-же в присутствии марганца, хрома и кремния преимущественно образуются шаровидные оксисульфидные включения. Под влиянием небольших добавок сильных раскислителей (алюминия, титана, циркония и др.) сульфидные включения приобретают вид пленок и цепочек, расположенных по границам кристаллитов металла шва. Введение алюминия и циркония в количествах, больших необходимого для полного раскисления стали, может вызвать превращение пленок и цепочек во включения угловатой неправильной формы.

Наиболее опасными в отношении образования кристаллизационных трещин в сварных швах являются сульфидные пленки и цепочки. На рис. 2 показаны расположенные по границам кристаллитов низкоуглеродистого шва сульфидная пленка и цепочка сульфидных включений. Сульфидная пленка явилась началом кристаллизационной трещины.

В связи с большей растворимостью серы в жидкой стали по сравнению с кислородом в процессе охлаждения и затвердевания металла сварочной ванны сульфидные включения образуются при более низких температурах, чем оксидные. Поэтому сера может выделяться на уже существующих оксидных включениях с образованием оксисульфидов. Аналогично образуются карбосульфидные и другие сложные сульфидные включения.

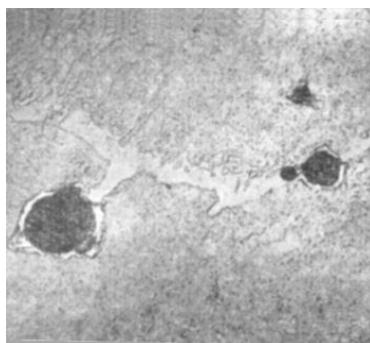


Рис. 2. Цепочка сульфидных включений и сульфидная пленка, послужившая причиной возникновения кристаллизационной трещины; X 1500

Фосфорсодержащие включения. Содержание фосфора в сварных швах на стали, как правило, невысокое — не больше 0,04 — 0,06%. В швах на

углеродистых и низколегированных сталей фосфор преимущественно находится в твердом растворе, а не в виде неметаллических включений. Это обусловлено низкой концентрацией фосфора в металле швов и относительно высокой его растворимостью в феррите. В связи с низкой растворимостью фосфора в аустените фосфорсодержащие включения значительно чаще встречаются в швах с аустенитной структурой. В этих включениях фосфор может находиться в виде фосфидов, фосфидных эвтектик и фосфатов.

Фосфидные включения имеют червевидную форму и располагаются по границам кристаллитов металла шва. В зависимости от направления сечения на шлифах они имеют вид межкристаллитных прослоек или включений округлой формы. Фосфидные эвтектики находятся в виде прослоек по границам кристаллитов металла шва или зерен основного металла в околошовной зоне. Фосфидная эвтектика в зоне термического влияния марганцевой аустенитной стали П13, показана на рис. 3. Она расположена на границе двух зерен, между которыми проходит горячая трещина.



Рис. 3. Фосфидная эвтектика и горячая трещина на границе зерен основного металла; X 800

Вредное влияние фосфора на свойства сварных соединений заключается в снижении высокотемпературных характеристик металла шва вследствие ослабления межкристаллитных границ (при выделении легкоплавких включений) и в ухудшении механических свойств швов при нормальной и низких температурах. Последнее обусловлено снижением пластичности металла в результате растворения фосфора и наличием на границах кристаллитов хрупких неметаллических прослоек. Так как растворимость фосфора в аустените ниже, чем в феррите,

опасность образования кристаллизационных трещин и снижения механических свойств металла шва значительно больше для швов с аустенитной структурой.

Для среднелегированных сталей вредное влияние фосфора и серы в отношении образования кристаллизационных трещин усиливается тем, что места ликвации этих элементов в металле шва совпадают. Обогащенные фосфором участки феррита лежат по границам первичных кристаллитов, где скапливаются и сульфидные включения.

Выполнена сопоставительная оценка неметаллических включений, сформированных при наплавке проволокой только Нп-30ХГСА (рис. 4,а) и с добавкой порошка на никелевой основе (рис. 4,б).

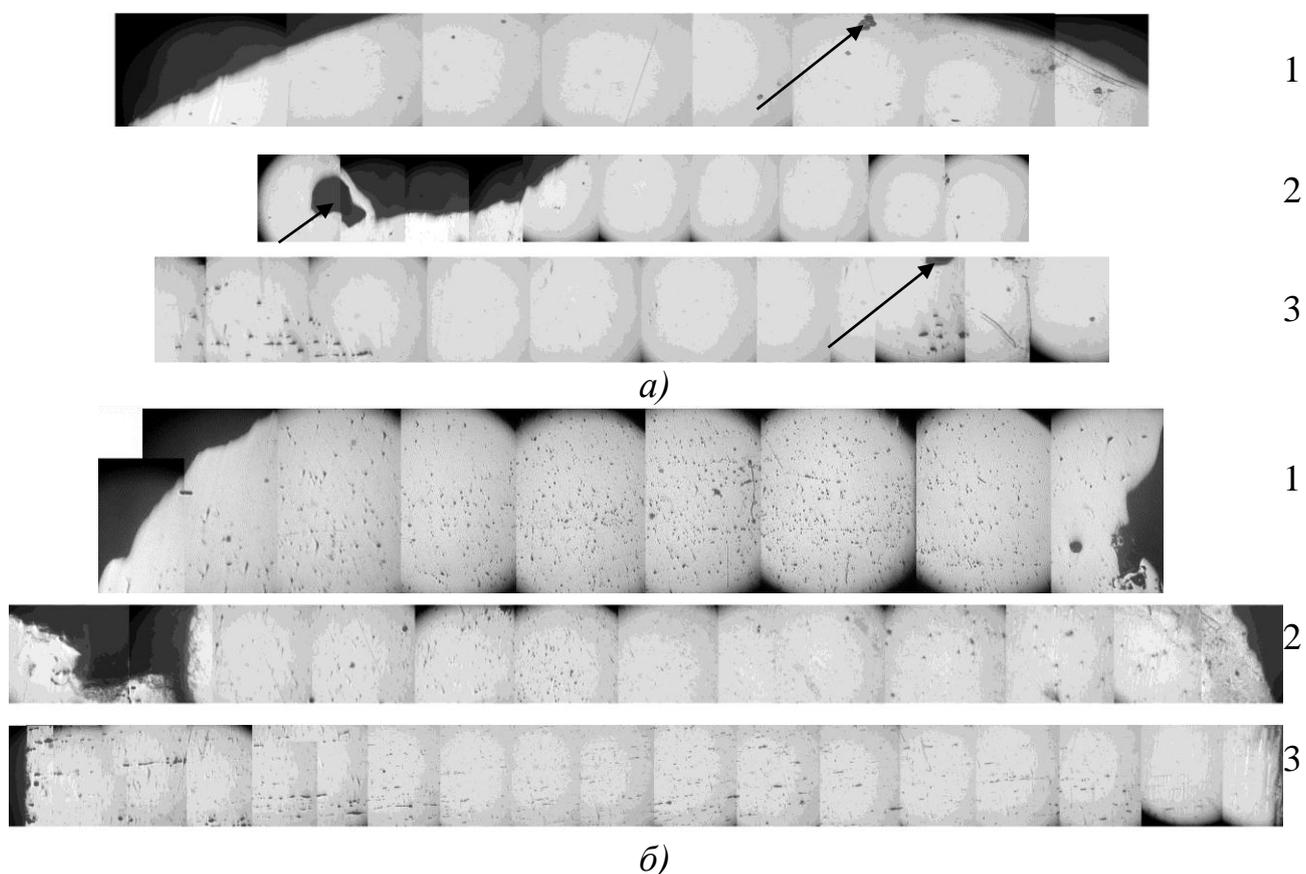


Рис. 4 Металл, наплавленный по предложенному методу: а – проволокой Нп-30ХГСА; б – проволокой Нп-30ХГСА с добавкой порошка ПГ-10Н-01; 1 – поверхность наплавленного слоя; 2 – середина наплавленного слоя; 3 – переходная зона к основному металлу, X100

Выводы. В результате проведенного анализа выявлены наиболее часто выделяемые неметаллические включения. При введении легирующих добавок

новый способ не вносит существенного изменения уровня неметаллических включений в наплавленный слой. При этом следует оценить формируемую структуру металла с учетом изменения ее фазового состава.

Список литературы:

1. Патент №48353 Україна, МПК (2009) В24В39/00 Спосіб відновлення та зміцнення деталей./ Скобло, І.М. Рибалко, О.В. Тихонов та ін.,- №200910791. заяв. 26.10.09.
2. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением. Под ред. акад. Б.Е. Патона. М., Машиностроение, 1974
3. М.И. Виноград. Включения в стали и ее свойства. Metallurgizdat 1963 г.
4. Кислинг Р., Ланге Н. Неметаллические включения в стали. Metallurgiya 1968 г.

Анотація

Аналіз неметалічних включень у наплавленном шарі при використанні нового методу наплавлення

Рибалко І.М.

Виявлено неметалеві включення, які найбільш часто з'являються і показана доцільність використання нового способу введення легуючих добавок.

Abstract

Analysis of nonmetallic inclusions in the weld layer using a new method of surfacing

Rybalko I.M.

Identified most often allocated to non-metallic inclusions and shows the feasibility of using a new method of introducing dopants.