

КЛАССИФИКАЦИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКА ДЕФЕКТОВ НАПЛАВЛЕННЫХ СЛОЕВ ПО МЕЖДУНАРОДНОМУ СТАНДАРТУ ISO 6520-1:2007

И. А. РЯБЦЕВ¹, Р. РОЗЕРТ², Е. ТУРЫК³, И. И. РЯБЦЕВ¹

¹ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины. 03680, г. Киев-150, ул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

²Rosert RCT GmbH, г. Дрезден, Германия

³Институт сварки. 44-100, Польша, г. Гливице, ул. Б. Чеслава, 16-18.

Проведен обзор дефектов наплавленных слоев на основании системы их классификации по международному стандарту ISO 6520-1:2007 и его аналогу ГОСТ Р ИСО 6520-1:2012. По этим стандартам сварочные (наплавочные) дефекты разделены на шесть основных групп, имеющих соответствующий трехзначный номер: трещины (100–106), полости (200–203), твердые включения (300–304), несплавления и непровары (400–403), отклонение формы и размеров (500–521) и прочие дефекты (600–618), т. е. дефекты, не входящие в первые пять групп. Внутри каждой группы дефекты разделены на соответствующие подгруппы с четырехзначными номерами. Проанализирован характер дефектов наплавленных слоев с точки зрения их допустимости и недопустимости в процессе эксплуатации наплавленных деталей. Библиогр. 9, рис. 17.

Ключевые слова: наплавка, наплавленный металл, дефекты наплавленных слоев, классификация дефектов, допустимые дефекты, недопустимые дефекты, оценка качества

Надежность, работоспособность, экономичность изготовления и безопасность последующей эксплуатации наплавленных деталей во многом зависят от качества наплавленного металла, наличия или отсутствия в нем различных дефектов. Происхождение этих дефектов связано с металлургическими, гидродинамическими и термическими процессами, происходящими в процессе наплавки. Таким образом, их появление, в основном, зависит от химического состава основного и наплавленного металлов, способов, технологии и техники наплавки.

Подробный анализ дефектов наплавленного металла, причин их образования и методов борьбы с ними приведен в работе [1]. Целью настоящей публикации является характеристика различных групп дефектов наплавленных слоев, приведенных в стандартах [2, 3].

В сварочной (наплавочной) практике распространено понятие дефекта как несплошности или другого изъяна — допустимого (если его параметры не превышают предельного значения по соответствующему стандарту или техническим условиям) или недопустимого. В данной статье используется традиционное определение дефекта как несплошности в сварном шве (наплавленном металле) или отклонении от требуемой формы и размеров шва (наплавленного валика), принятое в стандарте ISO 6520-1:2007 [2] и его аналоге ГОСТ Р ИСО 6520-1:2012 [3].

По стандартам [2, 3] сварочные (наплавочные) дефекты разделены на шесть основных групп,

имеющих соответствующий трехзначный номер: трещины (100–106), полости (200–203), твердые включения (300–304), несплавления и непровары (400–403), отклонение формы и размеров (500–521) и прочие дефекты (600–618), т. е. дефекты, не входящие в первые пять групп. Внутри каждой группы дефекты разделены на подгруппы. Например, номером 101 обозначаются продольные трещины, 102 — поперечные, 103 — радиальные трещины и т. д. В свою очередь, в подгруппах дефекты разделяют на отдельные виды с четырехзначными номерами.

Трещины (100–106). Трещины — это макро- или микроскопические несплошности, имеющие характер надреза. В стандартах [2, 3] трещины характеризуются, в основном, с геометрической точки зрения. В качестве примера на рис. 1 приведены числовые индексы продольных трещин, которые располагаются в различных зонах сварного шва [2, 3].

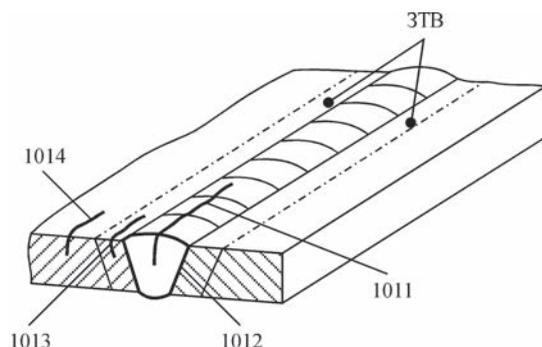


Рис. 1. Сварной шов с продольными трещинами: 1011 — в металле шва; 1012 — в зоне сплавления; 1013 — в металле ЗТВ; 1014 — в основном металле [2, 3]

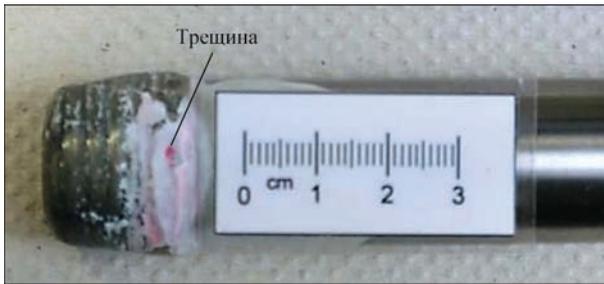


Рис. 2. Трещина в кратере (104) замыкающего валика наплавленного слоя, выполненного дуговой наплавкой порошковой проволокой в инертном газе (процесс 132, наплавленный металл группы Co2 [4-6])

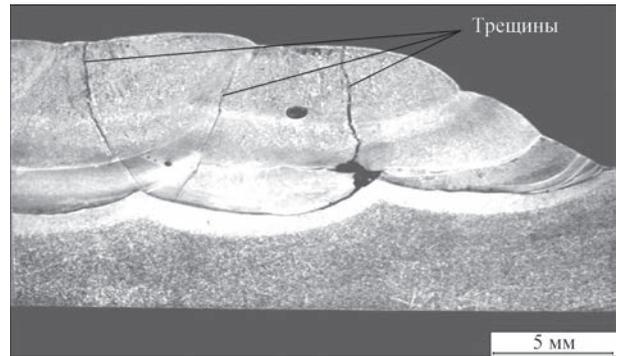


Рис. 5. Продольные трещины в наплавленном слое (1011), выполненном дуговой наплавкой порошковой проволокой в инертном газе (процесс 132, наплавленный металл группы Co2 [4-6])

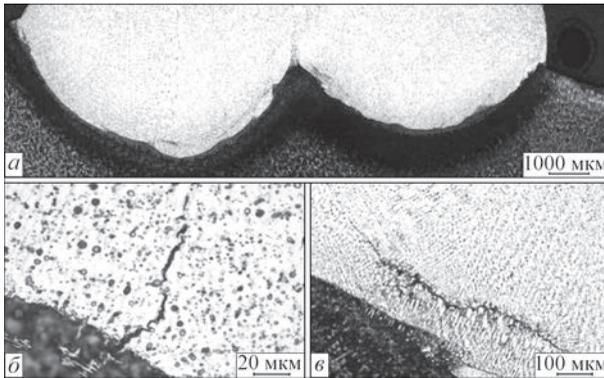


Рис. 3. Микротрещины в наплавленном слое (1001), выполненном дуговой наплавкой в CO₂ порошковой проволокой (процесс 136, наплавленный металл группы Fe-2 M [4-6]): а — часть поперечного разреза наплавленного слоя, ×50; б — микроструктура зоны сплавления с микротрещиной, ×200; в — то же, ×500

Трещины, как и большинство других дефектов, могут быть допустимыми и недопустимыми. Для процесса наплавки допустимость трещин в наплавленном металле определяется в первую очередь условиями службы деталей.

Трещины недопустимы в том случае, если они могут вызвать поломку детали или невозможность ее дальнейшей эксплуатации. К числу таких деталей относятся плунжеры гидропрессов, прокатные валки, детали запорной арматуры, клапаны двигателей внутреннего сгорания и др.

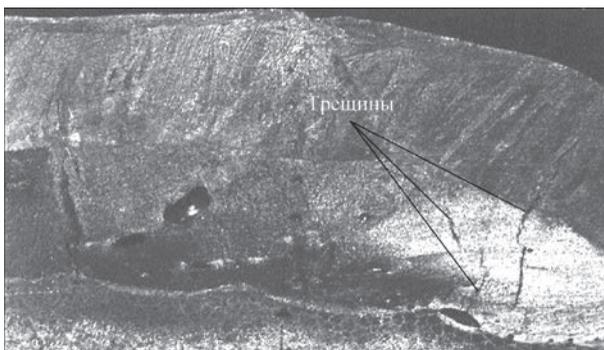


Рис. 4. Продольные трещины в наплавленном слое (1011), выполненном дуговой наплавкой сплошной проволокой в активном газе (процесс 135, наплавленный металл группы Fe1 [4-6])

Примерами недопустимых дефектов являются трещины в кратере (104) замыкающего валика наплавленного слоя уплотняющей поверхности детали запорной арматуры (рис. 2); микротрещины в наплавленном слое (1001) чугунных деталей вследствие нарушения технологии наплавки (рис. 3); продольные трещины в наплавленном слое (1011), которые являются результатом использования при наплавке некачественной проволоки (рис. 4) или нарушения режима наплавки (рис. 5). Используемые процессы наплавки и наплавочные материалы обозначены в соответствии с требованиями [4-6].

Также недопустимыми являются поперечные трещины в металле ЗТВ (1023) в случае наплавки прошивки из закаливающейся стали 38Х2МЮА. Трещины имеют характер надрыва в металле ЗТВ (рис. 6, а) или откола наплавленного слоя (рис. 6, б). Причиной их появления могут быть нарушения технологии наплавки.

Для некоторых деталей трещины не имеют такого решающего значения, особенно если они не

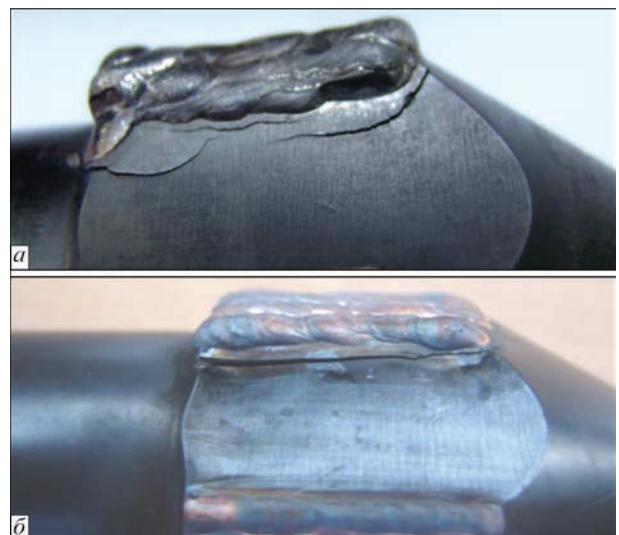


Рис. 6. Трещины в металле ЗТВ (1023) наплавленного слоя (а) и откол (1023) наплавленного слоя (б) прошивки из стали 38Х2МЮА

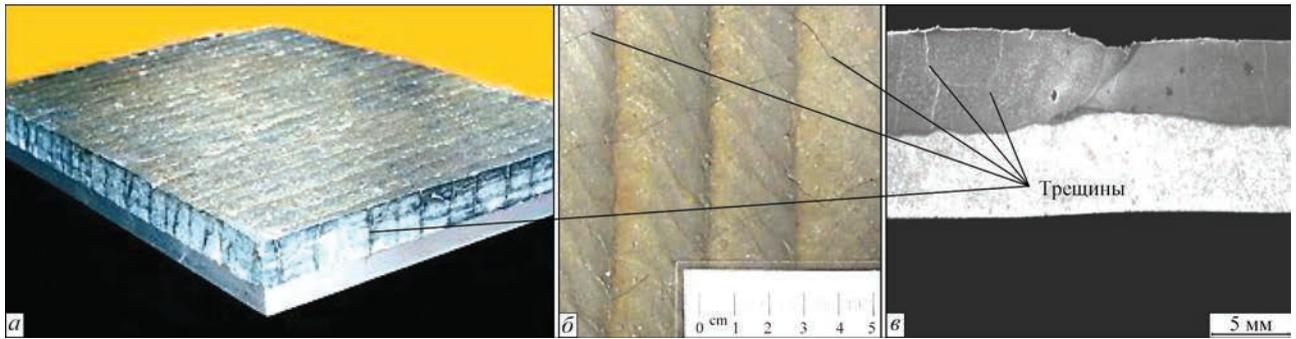


Рис. 7. Допустимые продольные (1011) и поперечные (1021) трещины в износостойком слое биметаллических листов, наплавленных высокохромистым чугуном (процесс 114, наплавленный металл группы Fe14 [4–6]): а — наплавленный биметаллический лист с трещинами; б — трещины в отдельных наплавленных валиках; в — макроструктура наплавленного биметаллического листа

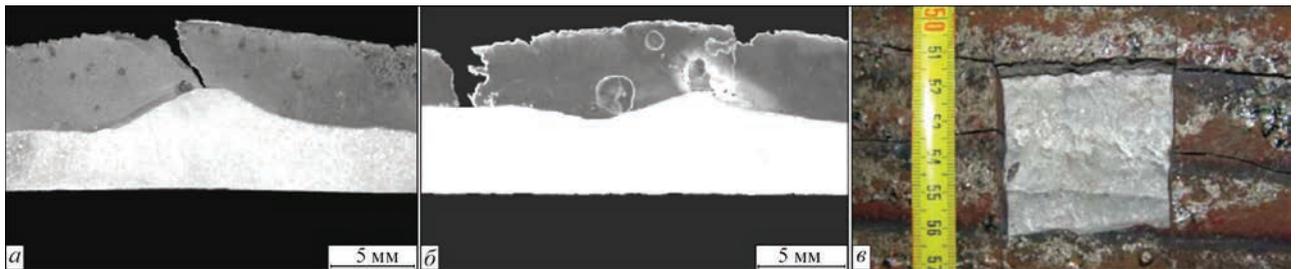


Рис. 8. Недопустимые трещины (1011) (а, б) и отрыв (1023) (в) износостойкого слоя листов, наплавленных высокохромистым чугуном [4]

переходят в основной металл или не ориентированы параллельно поверхности сплавления и не ведут к отколам наплавленного металла. К ним относятся конусы и чаши засыпных аппаратов доменных печей, различные точки для транспорта абразивных материалов, бункеры и другие детали, эксплуатирующиеся в условиях различных видов интенсивного абразивного изнашивания. Эти детали наплавляют материалами групп Fe13–Fe16 и Fe20 [5, 6]. Примеры допустимых продольных (1011) и поперечных (1021) трещин в наплавленном слое износостойких биметаллических листов представлены на рис. 7.

В некоторых случаях трещины в рабочем слое, наплавленном высокохромистым чугуном, могут приводить к недопустимому отколу и отрыву наплавленного слоя (1011 и 1023) (рис. 8).

Необходимо отметить, что в стандартах [2, 3] в качестве справочного приложения приведена буквенная (из двух букв) классификация по видам сварочных трещин. Все трещины обозначаются заглавной латинской буквой «Е». Соответственно, горячие трещины имеют обозначение «Еа»; кристаллизационные — «Еb»; подсолидусные — «Ес»; холодные — «Еf»; трещины, вызванные водородом — «Еi»; ламелярные — «Еj» и т. д.

Полости (200–203). Полости различной формы в сварных швах (в наплавленном слое) классифицируют следующим образом [2, 3]: 201 — газовые полости, образованные задержанным газом, выделяющимся при кристаллизации; 202 — усадочные раковины, т. е. полости, образованные в результа-

те усадки во время кристаллизации; 203 — микроусадка (усадочная раковина), видимая исключительно под микроскопом.

При этом под газовыми порами, которые наиболее часто встречаются в сварных швах, понимают газовые полости практически сферической формы и обозначают индексом 2011.

В большинстве случаев поры в наплавленном слое можно обнаружить с помощью радиографического или ультразвукового контроля. На рис. 9 [7] представлена радиограмма слоя, наплавленного методом МИГ сплошной бронзовой проволокой, со скоплениями пор (2013).

Поры, как и трещины, могут быть допустимым или недопустимым дефектом в наплавленном слое. Пример допустимых поверхностных пор (2017) в наплавленном слое износостойких биметаллических листов представлен на рис. 10.

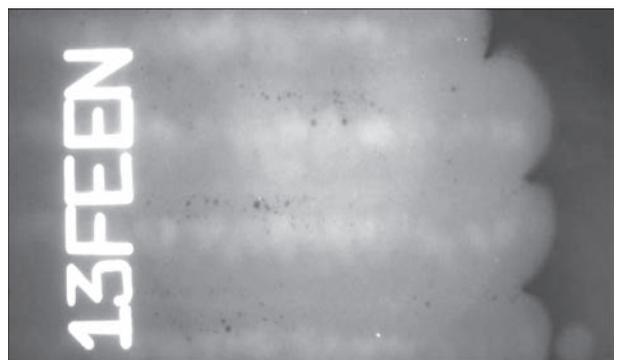


Рис. 9. Скопления пор (2013) в слое, наплавленном методом МИГ сплошной бронзовой проволокой [7]

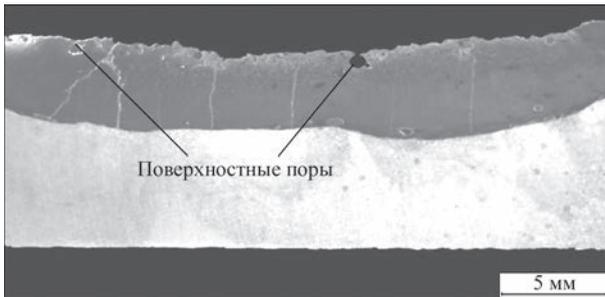


Рис. 10. Допустимые поверхностные поры (2017) в износостойком слое биметаллических листов, наплавленных высокохромистым чугуном (процесс 114, наплавленный металл группы Fe14 [4–6])

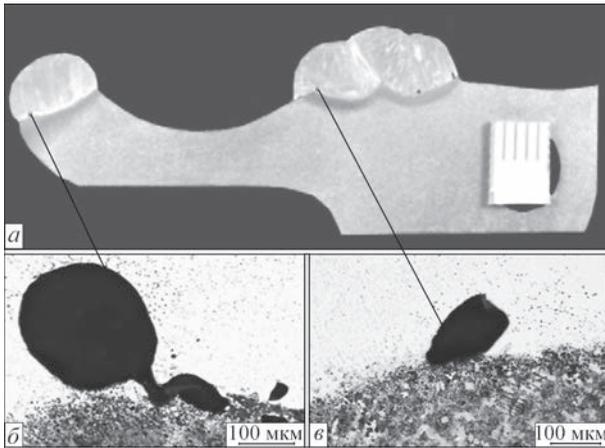


Рис. 11. Недопустимые внутренние газовые поры (2011) в слое, наплавленном на ответственные чугунные детали: *а* — макроструктура наплавленной детали; *б, в* — газовые поры в наплавленном металле на границе сплавления

В других случаях, например, в слое, наплавленном на ответственные чугунные детали, которые эксплуатируются в условиях высокого контактного давления и трения металла по металлу, внутренние газовые поры (2011) не допускаются (рис. 11).

Твердые включения (300–304). Твердые включения в наплавленном металле — это инородные вещества небольшого объема неметаллического или металлического происхождения [2, 3]. К ним относятся шлаковые (301), флюсовые (302), оксидные (303) и металлические (304) включения. К металлическим относят включения вольфрама (3041), меди (3042) или других металлов (3043).

Шлаковые включения могут образовываться в сварных швах (наплавленном металле) при ручной дуговой сварке или наплавке штучными электродами, при сварке или наплавке самозащитными порошковыми проволоками (рис. 12, *а*) и при автоматической наплавке под флюсом (рис. 12, *б*).

Несплавления и непровар (400–402). Несплавления (401) — это отсутствие соединения между основным и наплавленным металлом или между отдельными слоями (валиками). Из-за своей формы, чаще всего плоской, несплавления могут выступать в качестве концентраторов на-

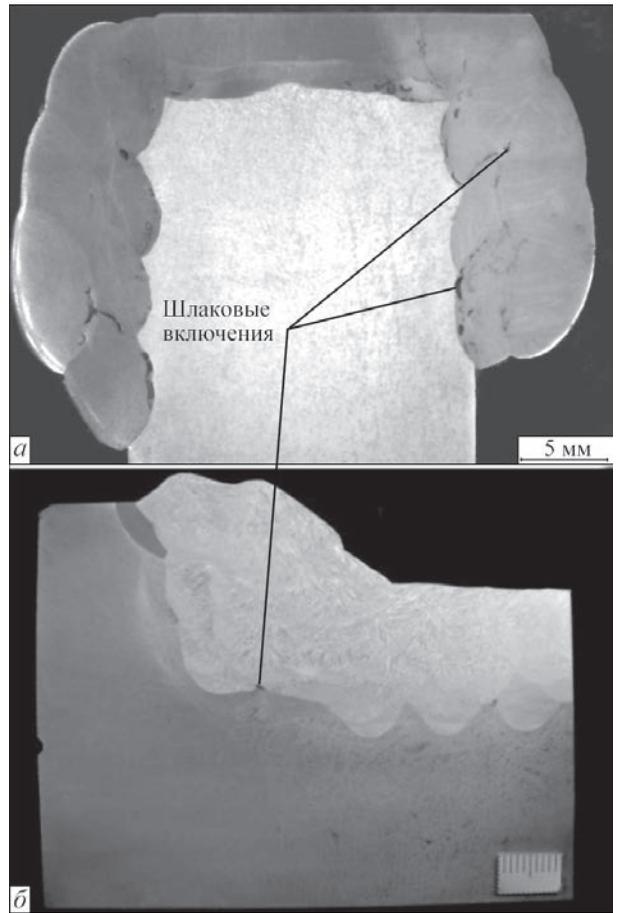


Рис. 12. Макроструктура поперечного сечения наплавленной оправки (*а*) [4] и кранового колеса (*б*) со шлаковыми включениями (301) [8]

пряжений, существенно снижая усталостную долговечность наплавленных деталей [9]. Примеры межслойных (4011) и межваликовых (4012) несплавлений, образующихся при механизированной наплавке методом МАГ внутренней поверхности неповоротной трубы, приведены на рис. 13. При-

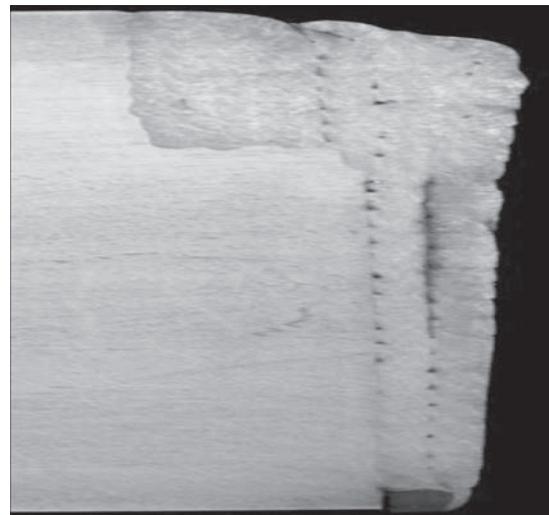


Рис. 13. Межслойные (4011) и межваликовые (4012) несплавления при наплавке методом МАГ неповоротной внутренней поверхности трубы диаметром 170 мм

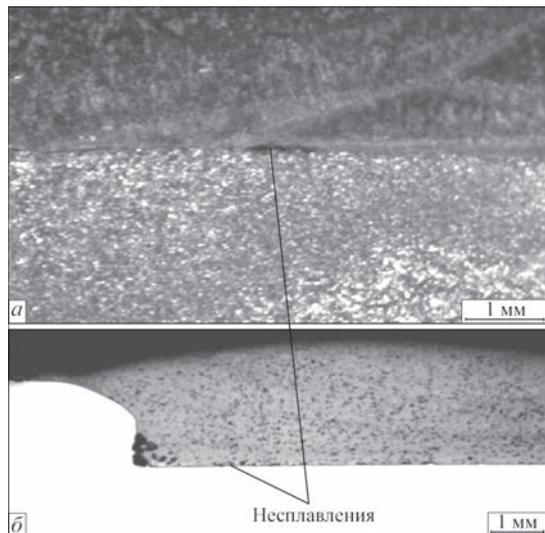


Рис. 14. Несплавления на границе соединения основного и наплавленного металлов (4011) при плазменно-порошковой (а) и лазерно-порошковой наплавке (б) [4]

чиной появления этих дефектов являются нарушения технологии наплавки.

Несплавления (4011) могут появляться при нарушении режимов других способов наплавки. Например, при плазменно-порошковой (рис. 14, а) и лазерно-порошковой (рис. 14, б) наплавке.

Непровар (402), по стандартам [2, 3] — это разница между фактической и номинальной глубиной проплавления. При наплавке эти дефекты встречаются достаточно редко.

Отклонение формы и размера (500–521). Это наиболее многочисленная группа дефектов, в которую, в частности, входят подрезы (501), превышение проплавления (504), неправильный профиль сварного шва (505), натеки (506), линейные смещения (507), прожоги (510), незаполнение разделки кромок (511), неравномерная ширина шва (513), неровная поверхность шва (514), плохое повторное возбуждение дуги (517), коробление (520), неправильные размеры сварного шва (наплавленного валика) (521) [2, 3].

Для наплавки наиболее характерными из них являются:

- подрез (501) — углубление по границе валика в основном металле или в предыдущем наплавленном валике;
- превышение проплавления (504) и прожоги (510), которые могут появляться при наплавке тонкостенных деталей в случае нарушения технологии наплавки;
- неравномерность усиления наплавленного валика по длине или недостаточное перекрытие валиков по ширине наплавленного слоя, связанные с нарушением технологии наплавки (514);
- плохое повторное возбуждение дуги (517) — местная неровность поверхности в месте возбуждения сварки (наплавки);

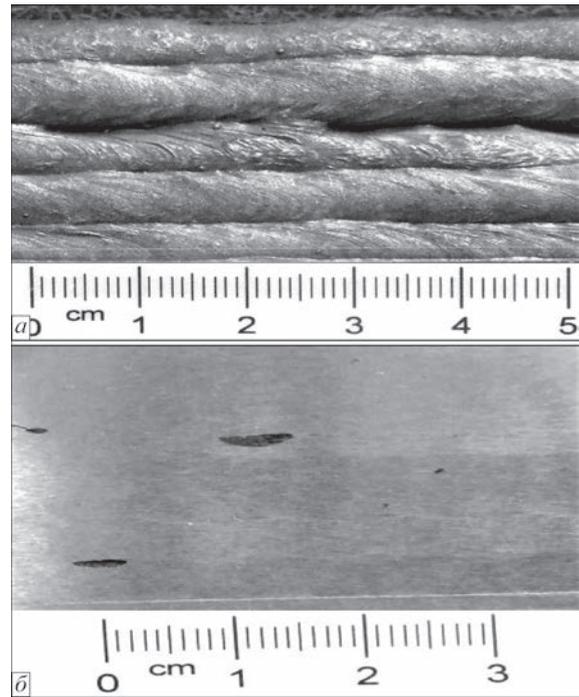


Рис. 15. Внешний вид наплавленной поверхности с неравномерным усилением наплавленных валиков и недостаточным перекрытием соседних валиков (514) непосредственно после наплавки (а) и после механической обработки (б) [4]

- коробление (520) — отклонение размеров детали от заданных чертежом, возникшее от сварочных (наплавочных) деформаций;
- неправильные размеры наплавленного валика (521) вследствие нарушения режима наплавки, магнитного дутья или низкой квалификации наплавщика.

При наплавке плоских или цилиндрических поверхностей большой площади достаточно часто встречается дефект (514) — неравномерность усиления наплавленного валика по длине или недо-

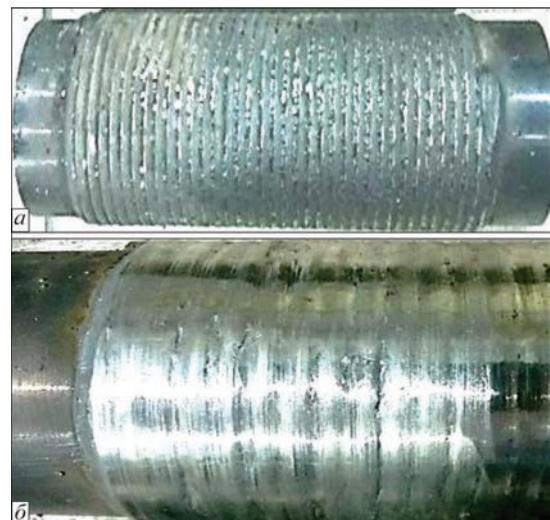


Рис. 16. Внешний вид наплавленной поверхности валика диаметром 70 мм с неравномерным усилением наплавленных валиков и недостаточным перекрытием соседних валиков (514) непосредственно после наплавки (а) и после механической обработки (б)

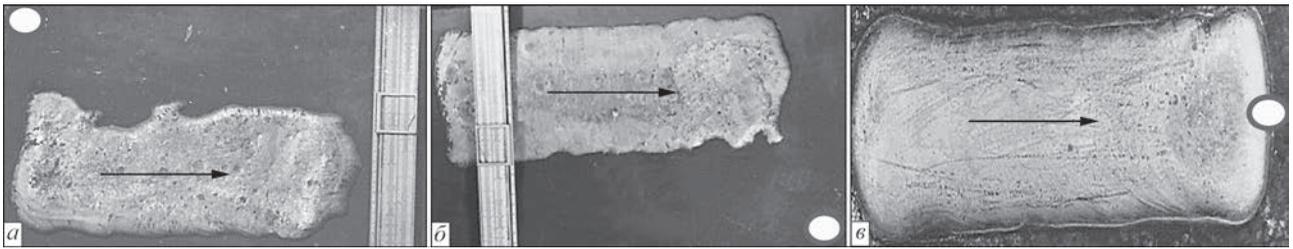


Рис. 17. Нарушение формы валика (521) в зависимости от места подвода тока к изделию и влияния магнитного дутья: а — токоподвод с левой стороны от оси шва; б — токоподвод с правой стороны оси шва; в — токоподвод по оси шва (○ — место подвода тока; → — направление наплавки)

статочное перекрытие валиков по ширине наплавленного слоя. После механической обработки это приводит к появлению на поверхности наплавленного слоя канавок различной глубины и протяженности (рис. 15, 16).

На рис. 17 представлен внешний вид валиков, наплавленных двумя нержавеющей лентами шириной 120 мм. В зависимости от места подвода тока меняется характер формирования наплавленных валиков. Если токоподвод осуществляется на значительном удалении от оси валика (рис. 17, а, б), то в результате проявления эффекта магнитного дутья формирование наплавленного валика ухудшается (дефект 521).

Прочие дефекты (600–618). К прочим относятся все дефекты, которые не упомянуты в группах 1–5. Из них для наплавки наиболее существенными являются: ожог дугой (601); брызги металла (602); цвета побежалости (610); остатки шлака (615). Более подробно:

- 601 — местное повреждение поверхности основного металла, примыкающего к наплавленному слою, возникшее в результате случайного загорания дуги;

- 602 — капли наплавленного металла, которые образуются во время процесса наплавки и привариваются к поверхности затвердевшего наплавленного слоя или околосшовной зоны основного металла;

- 610 — тонкая окрашенная оксидная пленка на поверхности в зоне сварки (наплавки), например, при сварке нержавеющей стали, появление которой обусловлено нагревом при сварке (наплавке) и/или недостаточной защитой, например, при сварке (наплавке) титана;

- 615 — шлак, не полностью удаленный с поверхности сварного шва или наплавленного металла.

Проведенный обзор разных групп дефектов наплавленных слоев подтвердил возможность их классификации и характеристики по стандарту ISO 6520-1:2007 и его аналогу ГОСТ Р ИСО 6520-1:2012 Сварка и родственные процессы. Классификация дефектов геометрии и сплошности в металлических материалах. Часть 1. Сварка плавлением.

Список литературы

1. Рябцев И. А., Сенченков И. К., Турык Е. В. (2015) *Наплавка. Материалы, технологии, математическое моделирование*. Гливице, Польша; Издательство Силезского политехнического института.
2. ISO 6520-1:2007 *Welding and allied processes. Classification of geometric imperfections in metallic materials. Part 1. Fusion welding*.
3. ГОСТ Р ИСО 6520-1-2012 *Сварка и родственные процессы. Классификация дефектов геометрии и сплошности в металлических материалах. Часть 1. Сварка плавлением*.
4. DVS-Merkblatt DVS 0945-2. Unregelmäßigkeiten geschweißter Beschichtungen. *DVS Media GmbH*.
5. ДСТУ EN 14700:2008 *Матеріали зварювальні. Зварювальні матеріали для наплавлення. Класифікація*.
6. Проценко Н. А., Рябцев И. И. (2007) Гармонизация стандартов на наплавочные материалы в соответствии с требованиями европейского стандарта EN 14700 «Сварочные материалы – Сварочные материалы для наплавки». *Сварщик*, 5, 30–38.
7. Góral T. (2007) *Wpływ technologicznych parametrów napawania brzozy na podłożu stalowe na wybrane właściwości użytkowe napoin*. Praca doktorska, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków. <http://winntbg.bg.agh.edu.pl/rozprawy/9900/full9900.pdf> [Дата доступа: 22.03.2017].
8. Riabcew I. A., Rosert R., Senchenkow I. K., Turyk E. (2017) Niezgodności spawalnicze warstw napawanych. *Biul. Instytutu Spawalnictwa*, 3, 26–36.
9. Чухрый Я. (1988) Сопrotивление усталости образцов из стали 34ХНМ наплавленных различными способами. *Автоматическая сварка*, 9, 66–67.

References

1. Ryabtsev I.A., Senchenkov I.K., Turyk E.V. (2015) *Surfacing. Materials, technologies, mathematical modeling*. Gliwice, Poland: SPI [in Russian].
2. ISO 6520-1:2007. *Welding and allied processes: Classification of geometric imperfections in metallic materials. Pt 1: Fusion welding*.
3. GOST R ISO 6520-1-2012. *Welding and related processes: Classification of defects of geometry and continuity in metallic materials. Pt 1: Fusion welding* [in Russian].
4. DVS-Merkblatt DVS 0945-2. Unregelmäßigkeiten geschweißter Beschichtungen. *DVS Media GmbH*.
5. DSTU EN 14700:2008. *Welding consumables. Welding consumables for hard-facing* [in Ukrainian].
6. Protsenko N.A., Ryabtsev I.I. (2007) Harmonization of standards on surfacing consumables in accordance with European Standard EN 14700: Welding consumables for hard-facing. *Svarshchik*, 5, 30-38 [in Russian].
7. Goral T. (2007) *Wpływ technologicznych parametrów napawania brzozy na podłożu stalowe na wybrane właściwości użytkowe napoin*. In: Syn. of Thesis for Dr. of Sci. Degree, Krakow. <http://winntbg.bg.agh.edu.pl/rozprawy/9900/full9900.pdf>
8. Riabcew I.A., Rosert R., Senchenkow I.K., Turyk E. (2017) Niezgodności spawalnicze warstw napawanych. *Biul. Instytutu Spawalnictwa*, 3, 26-36.

9. Chukhry Ya. (1988) Fatigue resistance of specimens from 34KhNM steel, deposited by different methods. *Avtomatic. Svarka*, 9, 66-67 [in Russian].

I. O. Ryabcev¹, P. Rozert², S. Turyk³, I. I. Ryabcev¹

¹ІЕЗ ім. С. О. Патона НАН України.
03680, м. Київ-150, вул. Казимира Малевича, 11.
E-mail: office@paton.kiev.ua

²Rosert RCT GmbH, м. Дрезден, Німеччина

³Інститут зварювання. 44-100, Польща,
м. Глівіце, вул. Б. Чеслава, 16-18.

КЛАСИФІКАЦІЯ ТА ХАРАКТЕРИСТИКА ДЕФЕКТІВ
НАПЛАВЛЕНИХ ШАРІВ ЗА
МІЖНАРОДНИМ СТАНДАРТОМ ISO 6520-1:2007

Проведено огляд дефектів наплавлених шарів на підставі системи їх класифікації за міжнародним стандартом ISO 6520-1:2007 та його аналогу ГОСТ Р ИСО 6520-1:2012. За цими стандартами зварювальні (наплавочні) дефекти розділені на шість основних груп, що мають відповідний тризначний номер: тріщини (100–106), порожнини (200–203), тверді включення (300–304), несплавлення і неповари (400–403), відхилення форми і розмірів (500–521) та інші дефекти (600–618), тобто дефекти, що не входять в перші п'ять груп. У середині кожної групи дефекти розділені на відповідні підгрупи з чотиризначними номерами. Проаналізовано характер дефектів наплавлених шарів з точки зору їх допустимості і неприпустимості в процесі експлуатації наплавлених деталей. Бібліогр. 9, рис. 17.

Ключові слова: наплавка, наплавлений метал, дефекти наплавлених шарів, класифікація дефектів, допустимі дефекти, неприпустимі дефекти, оцінка якості

I.A. Ryabtsev¹, R. Rozert², E. Turyk³, I.I. Ryabtsev¹

¹E.O.Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine.
11 Kazimir Malevich Str., 03680, Kiev, Ukraine.
E-mail: office@paton.kiev.ua

²Rosert RCT GmbH, Dresden, Germany

³Welding Institute, str. B. Czeslaw 16–18,
44–100, Gliwice, Poland

CLASSIFICATION AND CHARACTERISTIC
OF DEFECTS OF DEPOSITED LAYERS ACCORDING
TO THE INTERNATIONAL STANDARD
ISO 6520-1: 2007

The review of defects of deposited layers on the basis of their classification system according to the international standard ISO 6520-1:2007 and its analogue GOST R ISO 6520-1:2012 was carried out. According to these standards, the welding (surfacing) defects are divided into six main groups with the corresponding three-digit number: cracks (100-106), cavities (200-203), solid inclusions (300-304), lacks of fusion and lacks of penetration (400-403), deviation from shape and sizes (500-521) and other defects (600-618), i.e. the defects which are not included in the first five groups. Within each group, the defects are divided into the corresponding subgroups with four-digit numbers. The nature of defects of deposited layers was analyzed from the point of view of their admissibility and inadmissibility in the process of operation of deposited parts. 9 Ref., 17 Fig.

Key words: surfacing, deposited metal, defects of deposited layers, classification of defects, admissible defects, inadmissible defects, quality evaluation

Поступила в редакцію 20.07.2017

Назарчук З. Т., Неклюдов І. М., Скальський В. Р. Метод акустичної емісії в діагностуванні корпусів реакторів атомних електростанцій. – К.: Наукова думка, 2016. – 306 с.

У монографії описано методологічні засади і можливості застосування засобів неруйнівного акустико-емісійного контролю стану корпусів реакторів атомних електростанцій. Запропоновано новий підхід до оцінювання ступеня пошкодженості конструкційних матеріалів внаслідок їх тривалого експлуатування під дією водневого чинника і механічного навантаження. На результатах досліджень базуються методи акустико-емісійного діагностування. Для їх практичного застосування на діючих об'єктах розроблено технічні засоби, що використовують радіотелеметричну передачу даних. Засоби можуть працювати в режимі on-line і, таким чином, забезпечувати безперервний акустико-емісійний моніторинг зародження чи розвитку тріщиноподібних дефектів у структурі матеріалу. Попереднє випробування створеної апаратури показало її ефективність під час проведення діагностичних робіт.

Для наукових співробітників, інженерів-дослідників, а також аспірантів і студентів вищих навчальних закладів спеціальностей, які спеціалізуються у галузі технічного діагностування та неруйнівних методів контролю, механіки руйнування і міцності елементів конструкцій.

