

## РЕГУЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ СПЛАВА ТЕПЛОМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ С ЦЕЛЬЮ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ НАПЛАВЛЕННЫХ СЛОЕВ

*Лихачева Л.Б., Квашинин Б.Н., Матвеева Е.В.*

*Воронежский государственный университет инженерных технологий, Воронеж*

**Ключевые слова:** наплавка, износостойкость, кристаллизационная трещина.

**Аннотация.** В работе рассмотрены вопросы образования холодных и горячих трещин при наплавке металла, с целью увеличения износостойкости. Разработаны требования на усовершенствование технологического процесса наплавки. Установлено соотношение между среднеквадратичным значением импульсного тока и скоростью подачи присадки, для чего была разработана физическая модель плавления и ассимиляция присадки в сварочной ванне.

## REGULATION OF THE ALLOY STRUCTURE BY THERMAL ACTION IN ORDER TO ENSURE WEAR RESISTANCE OF THE DEPOSITED LAYERS

*Likhacheva L.B., Kvashnin B.N., Matveeva E.V.*

*Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh*

**Keywords:** surfacing, wear resistance, crystallization crack.

**Abstract.** The paper discusses the formation of cold and hot cracks during metal surfacing in order to increase wear resistance. Requirements for improving the surfacing technological process have been developed. The relationship between the root-mean-square value of the pulse current and the additive feed rate was established, for which a physical model of melting and assimilation of the additive in the weld pool was developed.

Повышенная склонность износостойкого наплавленного металла к образованию горячих трещин [1] объясняется увеличенной протяженностью температурного интервала хрупкости (ТИХ) и малой пластичностью его в ТИХ, обусловленными высоким содержанием углерода в износостойком сплаве и многокомпонентным его легированием. Наличие большого количества углерода и карбидообразующих элементов способствуют, наряду с увеличением температурного интервала кристаллизации, образованию в расплаве легкоплавкой ледебуритной эвтектики, которая располагается, как правило, между растущими кристаллитами и является очагом зарождения кристаллизационной трещины. В работах Прохорова Н.Н., Мовчана Б.А., Шоршорова М.Х., Чернышовой Т.А., Якушина Б.Ф., Лейнайчука Е.И., Гривняка И. и др. показано, что при заданном химическом составе склонность наплавленного металла к образованию горячих трещин понижается путем перехода от ячеистого типа кристаллизации к дендритному. Это можно обеспечить снижением погонной энергии наплавки, а также введением в затвердевающую зону сварочной ванны присадочного металла в виде гранул или проволоки, увеличивающих дисперсность первичной структуры.

Другими характерными дефектами при износостойкой наплавке закаливаемых сталей являются холодные трещины. Эти трещины в сравнении

с вышеприведенными имеют иную природу образования и требуют других мер борьбы с ними. Большой вклад в теорию образования холодных трещин при сварке внесли работы ученых Прохорова Н.Н., Шоршорова М.Х., Макарова Э.Л., Гатальского Ю.Н., Макары А.М. и др.. Эффективным методом предотвращения трещин при износостойкой наплавке при заданных химических составах направленного и основного металлов наряду со снижением уровня остаточных напряжений является регулирование структуры этих металлов тепловым воздействием. Наиболее часто холодные трещины образуются вблизи границы сплавления, располагаясь в наплавленном металле на участке мартенситной структуры зоны металла переменного состава. Существование такой зоны, как установлено в работах Петрова Г.Л., Земзена В.Н., Гатальского Ю.Н., Лившица Л.С. и др., объясняется тем, что в пограничном слое сварочной ванны [2] нет механического перемешивания расплавленных основного и наплавляемого металлов, а имеют место лишь диффузионные процессы, приводящие в основном к значительной миграции углерода. В результате этих процессов в основном металле образуется обезуглероженная прослойка, а в наплавленном, вблизи границы сплавления, прослойка с повышенным содержанием углерода.

На основании вышеизложенного в работе разработаны требования на усовершенствование технологического процесса наплавки и выдвинуто предложение, что для уменьшения трещинообразования в наплавки наряду с производительностью процесса целесообразно осуществлять ее путем одновременного формирования аустенитного подслоя и износостойкого слоя, используя идею локального легирования и внутреннего стока тепла, предложенную Якушиным Б.Ф. [3].

Проведенные исследования и анализ процесса ассимиляции присадки в сварочной ванне позволили прийти к заключению, что для обеспечения высокой износостойкости расплав ванны целесообразно легировать элементами, повышающими износостойкость, через электрод. В тоже время получить аустенитный подслоя можно, лишь расплавив аустенитную присадочную проволоку в пристенном слое дна ванны. Причем необходимо исключить плавление присадки в конвективных потоках ванны. Для этого следует уменьшить нагрев присадки на вылете и усилить контактное плавление. Источник нагрева присадки должен быть аналогичным источнику теплоты при стыковой контактной сварке. Высокая концентрация тепловыделения в контакте, как известно, обеспечивается за счет импульсивных разрядных процессов. Исходя из этого для контактного плавления присадки на дне ванны был рекомендован источник кратковременных импульсов постоянного тока низкого напряжения. Применение такого источника для расплавления присадочной проволоки при формировании износостойкой двухслойных валиков дало положительные результаты.

Исследование формирования подслоя и наплавляемого валика проводилось на режиме:  $J_{ce} = 340...370$  А,  $U_d = 26...28$  В,  $V_n = 0,7 \cdot 10$  м/с. В качестве электрода использовалась порошковая проволока ПП-АН 122 диаметром 2,6 мм, в качестве присадки – Св – 09Х16Н25М6АФ диаметром 2 мм, а также материалы, приведенные в таблице 1. Наплавлялись плоские и круглые образцы из сталей 45,

40Х и 60 на постоянном токе при обратной полярности. Наплавка производилась на автомате ТС-17М, модернизированном для наплавки порошковой проволокой с дополнительной присадкой, а также на специально изготовленной установке для наплавки цилиндрических поверхностей. В качестве источника импульсного тока использовался генератор импульсов ГИ- ИДС-1.

Экспериментально установлено, что подслоя начинает формироваться при введении присадочного металла не менее 30% от массы электродного металла. Введение присадочной проволоки более 30% нежелательно, из-за снижения твердости верхнего слоя вследствие повышенного участия в нем мягкого присадочного металла. Выявлен оптимальный диапазон мест ввода присадки в сварочную ванну, равный  $p = 0,30...0,40$  ( $p$  – безразмерная величина, являющаяся отношением расстояния между электродом и присадкой 1 к длине сварочной ванны  $L$ ),

Табл. 1. Сварочно-наплавленные материалы, используемые при исследовании формирования подслоя

№	Электрод	Присадка	Флюс
1	ПП-АН 122	Св – 04Х19Н11М3	-
2	ПП-АН 125	Св – 09Х16Н25М6АФ	-
3	Нп-30ХГСА	Св – 04Х19Н11М3	АН-348+флюсосмесь
4	Нп-65Г	Св – 04Х19Н11М3	АН-348+флюсосмесь
5	Св-20Х13	Св – 09Х16Н25М6АФ	48-ОФ-6
6	Св-20Х13	Св – 04Х19Н11М3	48-ОФ-6
7	Нп-30Х13	Св – 04Х19Н11М3	АН-348+флюсосмесь

С целью получения подслоя по всей границе сплавления было рекомендовано сообщать присадочной проволоке колебания поперек наплавляемого валика. Экспериментально условлено, что качественное формирование подслоя на границе сплавления обеспечивается при колебаниях присадочной проволокой с частотой  $f = 1-3$  Гц, зависимой от скорости наплавки

$$f = \frac{V_H}{0,0083V_H + 0,17V_H + 9,55},$$

где  $f$  – частота колебаний присадочной проволоки, Гц;  $V_H$  – скорость наплавки, м/ч.

Амплитуду колебания присадки ( $C$ ) следует выбирать в зависимости от ширины наплавленного валика ( $B$ ), используя соотношение  $C/B = A$ , которое не должно превышать 0,8 для всех режимов наплавки, в противном случае возрастет вероятность выхода присадки из расплава ванны.

Установлено, что для получения бездефектного формирования подслоя необходимо соблюдать определенное соотношение между среднеквадратичным значением импульсного тока  $J_n$ , расплавляющим присадку, и скоростью подачи присадки  $V_n$ . С целью установления этой зависимости разработана физическая модель плавления и ассимиляция присадки в сварочной ванне. Анализируя визуально наблюдаемый процесс плавления присадки в ванне и вне ванны на металлической подкладке, а также осциллограммы импульсов тока и напряжения,

выявили, что нагрев и плавление присадочной проволоки происходит методом сопротивления в твердой фазе. Плавление присадки можно представить следующим образом. На первой стадии, когда во время контакта торца присадки с дном сварочной ванны подается первый импульс тока длительностью  $t_{им}$ , вследствие высокой плотности тока в микровыступах участках контакта и повышенного сопротивления этих участков происходит приконтактный разогрев проволоки и зоны основного металла до температуры  $0,8 T_{пл} - T_{пл}$ . Интенсивный теплоотвод в массивный основной металл и различие в теплофизических коэффициентах аустенитного и перлитного металлов способствуют неодинаковому разогреву основного металла и присадки. За время  $t_{им}$ , вследствие постоянной скорости подачи присадки  $V_n$ , происходит осадка проволоки под током, способствующая смятию микровыступов, уменьшению сопротивления контакта и приводит к более равномерному нагреву по диаметру и длине приконтактного участка проволоки. Это устраняет образование взрывно-дугового процесса. Вторая стадия начинается в момент прекращения действия импульса тока и по времени равна паузе –  $t_{пауз}$  между импульсами тока. За это время происходит осадки нагретого до температуры  $0,8 T_{пл} - T_{пл}$  металла присадки. При этом нагретый металл интенсивно деформируется в поперечном направлении, образуя в месте контакта утолщение. Отсутствие на полуоплавленных зернах основного металла окисных пленок, высокая температура и наличие пластической деформации приводят к образованию физического контакта, переходящего в формирование металлической связи в твердо-жидком состоянии между основным и присадочным металлами. При подаче очередного импульса процесс плавления присадки повторяется.

Если величина  $J_n$  велика для данной скорости  $V_n$ , то плотность тока в микровыступах участках контакта повышается настолько, что приводит к образованию микродуг и возникновению взрывно-дугового процесса. Это затрудняет формирование подслоя. Если величина  $V_n$  велика для данного  $J_n$ , то разогрев присадки до температуры  $0,8 T_{пл} - T_{пл}$  из-за уменьшения сопротивления контакта (быстрое смятие микровыступов) происходит на относительно небольшой длине. Вследствие этого при осадке без тока в зону деформации попадает относительно холодный металл, который или образует петли, или разрушается от чрезмерной деформации. Все это приводит к нежелательной ассимиляции присадки в конвективных потоках ванны.

На основе тепловых расчетов нагрева присадки на вылете теплом расплава ванны и от местного нагрева в контакте и использования специальной программы на ЭВМ была определена зависимость:

$$J_n = 31,4 \cdot 0,017(36) + 5(36) - 5,35 + 10,$$

где  $J_n$  – ток присадки, А;  $V_n$  – скорость подачи присадки, м/ч.

Формула получена для аустенитно-ферритной присадки.

Для аустенитной присадки значения  $J_n$ , вычисленные по формуле, умножаются на коэффициент  $K_c = 1,1$ , а для ферритной –  $K_c = 0,9$ .

Установлено, что количество ассимилируемой присадки мало зависит от теплофизических условий ванны, а определяется режимом подачи импульсного тока.

Исследование служебных свойств комбинированного покрытия по сравнению с однослойной наплавкой, выполненной по действующей технологии, показывает значительное их повышение. Сопротивляемость наплавленного металла ударным нагрузкам повысились в два раза, а усталостная прочность наплавленных валов – в 1,3 раза.

#### **Список литературы**

1. Шоршоров М.Х., Ерохин А.А., Чернышова Т.А., Котов Г.Н., Руссиян А.В. Горячие трещины при сварке жаропрочных сталей. – М.: Машиностроение, 1973. – 224 с.
2. Лившиц Л.С., Хакимов А.Н. Металловедение сварки и термическая обработка сварных соединений. – М.: Машиностроение, 1989. – 336 с.
3. А.с. №525511. Способ дуговой сварки закаливающихся сталей / Б.Ф. Якушин Б.Ф, О.П. Алешин, Р.И. Фирсова. – Заявка №2064120/27 от 30.09.74; опублик. 25.08.79, Бюл. №31.

#### Сведения об авторах:

*Лихачева Людмила Борисовна* – к.т.н., доцент, доцент кафедры технической механики;

*Квашин Борис Николаевич* – к.т.н., доцент, доцент кафедры технической механики;

*Матвеева Екатерина Владимировна* – к.т.н., доцент, доцент кафедры технической механики.