

ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛА ПРИ ДУГОВОЙ НАПЛАВКЕ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ПРОДОЛЬНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ

А. Д. РАЗМЫШЛЯЕВ¹, М. В. АГЕЕВА², Е. В. ЛАВРОВА¹

¹ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет».

87500, г. Мариуполь, ул. Университетская, 7. E-mail: razmyshljaev@gmail.com

²Донбасская государственная машиностроительная академия.

84313, г. Краматорск, ул. Академическая, 72. E-mail: maryna_ah@ukr.net

Показано, что если наплавленный металл на основе железа содержит углерода менее 0,15 %, а хрома — более 16 %, то при его кристаллизации будут образовываться дендриты аустенита на стадии первичной кристаллизации и при дальнейшем охлаждении аустенит преобразуется в феррит. При этом феррит образуется в границах дендритов аустенита и в дальнейшем не претерпевает полиморфных превращений. С учетом этого положения выполнены наплавки порошковой проволокой, обеспечившей в составе наплавки содержание углерода 0,08 % и хрома 17...19,5 %. Наплавки выполнены без воздействия продольного магнитного поля и с воздействием этого знакопеременного поля частотой 6, 12, 24, 33 Гц. Исследования макро- и микроструктуры наплавленного металла показало, что при воздействии магнитного поля в диапазоне частот 6...24 Гц наблюдалось значительное уменьшение ширины и длины дендритов в структуре наплавленного металла. Сделан вывод о том, что измельчение структуры (дендритов) при дуговой наплавке проволокой под флюсом обусловлено движением жидкого металла в ванне под воздействием магнитного поля и влиянием на первичную кристаллизацию, а не на стадию полиморфных превращений металла в твердом состоянии. Библиогр. 4, табл. 1, рис. 3.

Ключевые слова: дуговая наплавка, магнитное поле, кристаллизация, дендрит, аустенит, феррит

Известно значительное число работ, посвященных изучению особенностей процесса электродуговой сварки и наплавки с воздействием управляющего продольного магнитного поля (ПРМП). В частности, в работе [1] показано, что при сварке с воздействием ПРМП повышается производительность расплавления электродной проволоки, уменьшается глубина и площадь зоны проплавления основного металла, измельчается структура металла шва, либо наплавки. Однако механизм измельчения структурных составляющих швов (наплавленного металла) при воздействии ПРМП не установлен однозначно. Краткий обзор существующих представлений исследователей по этому вопросу изложен в работе [2].

В работе [2] показано, что не решен вопрос о том, на какой стадии процесса кристаллизации металла шва при сварке с воздействием ПРМП происходит измельчение структуры швов. Ряд исследователей считает, что это происходит при первичной кристаллизации швов, другие авторы — что это происходит за счет фазовых превращений в твердом состоянии (полиморфных превращений).

В работах [3, 4] показано, что в малоуглеродистых высоколегированных хромом сплавах на основе железа (с содержанием углерода менее 0,15 % и хрома — более 16 %) при температуре ниже точки A_{3} (порядка 700 °С) при распаде аустенита образуется феррит. Этот феррит образует-

ся при распаде аустенитных дендритов таким образом, что сохраняются существующие границы дендритов (аустенита). Кроме того, полученный после кристаллизации сплав не изменяет структуры при термообработке (закалке, либо при нагреве). Таким образом, если наплавить сплав такого состава с воздействием ПРМП и произойдет измельчение дендритов (зерен), то это будет означать, что измельчение структуры наплавленного металла произошло при первичной кристаллизации расплавленного металла в сварочной ванне.

Целью настоящей работы является получение сведений о том, на какой стадии: первичной кристаллизации, или на стадии фазовых превращений в твердом состоянии происходит измельчение структуры швов (наплавки) при дуговой сварке (наплавке) проволокой под флюсом с воздействием ПРМП.

Для реализации этой цели выполняли следующий эксперимент. Осуществляли наплавку автоматом типа АДС-1002 проволоками под флюсом на обратной полярности с использованием выпрямителя типа ВДУ-1202.

Наплавку осуществляли на пластину из малоуглеродистой стали ВМСт3сп толщиной 20 мм (шириной 250 мм, длиной 400 мм). Сначала наплавливали подслои в 2 слоя (см. рис. 1 — слой I, II) порошковой проволокой ПП12Х13 диаметром 3,6 мм под флюсом АН-26П.

Режим наплавки: $I_n = 400...420$ А; $U_n = 32...33$ В; $v_n = 27$ м/ч. Перекрытие валиков — шаг на-

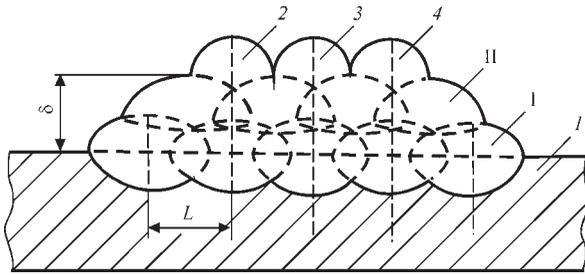


Рис. 1. Схема наплавки: I, II — соответственно первый и второй слой подслоя; 1 — основной металл; 2-4 — наплавленные валики

плавки L — составлял 12...13 мм. Общая толщина двух слоев подслоя составляла $\delta = 6...7$ мм (рис. 1). На подслое выполняли наплавку специально изготовленной порошковой проволокой типа 10X20 диаметром 4,0 мм под флюсом АН-26П с воздействием знакопеременного ПРМП частотами 6, 12, 24, 33 Гц. Один валик наплавляли без воздействия ПРМП. Величина продольной компоненты индукции ПРМП составляла 25...30 мТл (измерена до наплавки под торцом электрода, который отстоял от подслоя на 5 мм). Устройство ввода (УВ) ПРМП представляло собой соленоид с ферромагнитным сердечником, устанавливаемый соосно с электродом. Количество витков в обмотке соленоида составляло $W = 150$. Обмотку УВ ПРМП питали от специального источника питания, который создавал в обмотке прямоугольные импульсы тока с паузой $t_{\text{п}} = 0,01$ с. Конструкция УВ ПРМП подробно описана в работе [1].

Из наплавков вырезали поперечные темплеты толщиной 25...30 мм, поверхности которых шлифовали, полировали и протравливали царской водкой для исследования макро- и микроструктуры. По данным химического анализа во всех об-

Размеры дендритов в наплавленном металле

Способ наплавки	Размеры дендритов	
	Ширина, мкм	Длина, мм
Без ПРМП	130	0,130
	100...150	0,100...0,140
ПРМП, $f = 6$ Гц	110	0,098
	100...150	0,080...0,120
ПРМП, $f = 12$ Гц	83	0,100
	80...140	0,085...0,115
ПРМП, $f = 24$ Гц	90	0,100
	80...120	0,080...0,120
ПРМП, $f = 33$ Гц	140	0,130
	100...200	0,100...0,150

Примечание. В числителе — средние значения, в знаменателе — минимальные и максимальные значения.

разцах наплавков содержание элементов составляло, мас. %: 0,08 С; 17...19,5 Cr; 0,34...0,36 Si; 0,29...0,30 Mn.

Виды макроструктур наплавков в центральной их части приведены на рис. 2. Характерно, что при наплавке без воздействия ПРМП наблюдается дендритная структура (рис. 2, а). В наплавках, полученных с воздействием ПРМП (рис. 2, б-д), наблюдается столбчатая дендритная структура, направленная нормально к поверхности тепловода (к границе сплавления). Поперечные размеры столбчатых дендритов заметно уменьшились в наплавках, выполненных с воздействием ПРМП.

Для более детального исследования размеров дендритов исследовали микроструктуру наплавков, вид которых приведен на рис. 3. Методом секущих определяли ширину дендритов, данные о которых приведены в таблице. Характерно, что име-

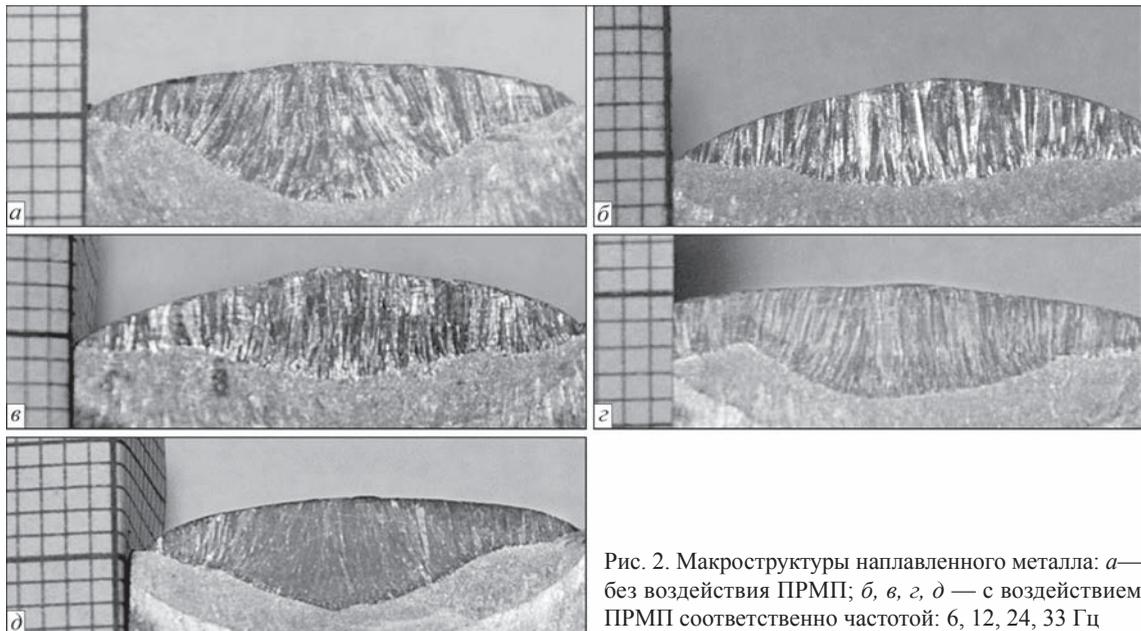


Рис. 2. Макроструктуры наплавленного металла: а — без воздействия ПРМП; б, в, г, д — с воздействием ПРМП соответственно частотой: 6, 12, 24, 33 Гц

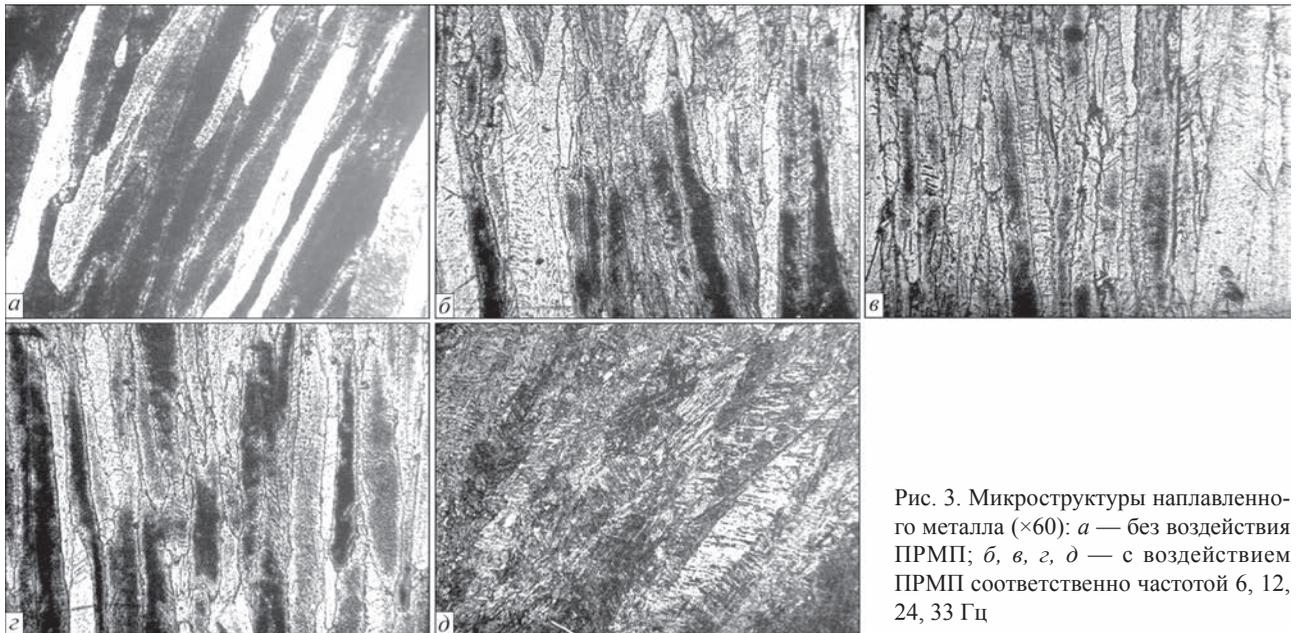


Рис. 3. Микроструктуры наплавленного металла ($\times 60$): *a* — без воздействия ПРМП; *б, в, г, д* — с воздействием ПРМП соответственно частотой 6, 12, 24, 33 Гц

ется значительный разброс этого показателя для наплавов, выполненных без воздействия ПРМП и с воздействием ПРМП. Средние значения ширины дендритов: без воздействия ПРМП — 130 мкм, с воздействием ПРМП: $f = 6$ Гц — 110 мкм; 12 Гц — 83 мкм; 24 Гц — 90 мкм; 33 Гц — 140 мкм. Таким образом, в диапазоне частот 12...24 Гц ширина дендритов значительно уменьшалась (от 130 до 83...90 мкм). При частоте 33 Гц этот размер не меньше, чем в наплавках, выполненных без воздействия ПРМП. Это связано с тем, что при частоте 33 Гц ПРМП из-за инерционности расплавленного в ванне металла последний не перемещался под действием знакопеременного ПРМП, расплав перемещался при меньших частотах ПРМП (вплоть до 24 Гц включительно). Измеряли также и длину дендритов на фото микроструктур наплавов. Данные таблицы показали, что средняя длина дендритов в наплавках, выполненных без воздействия ПРМП, составляет 0,13 мм и уменьшается до значений порядка 0,10 мм в наплавках, выполненных с воздействием ПРМП частотой 6...24 Гц. В наплавках, выполненных с воздействием ПРМП частотой 33 Гц, длина дендритов такая же, как в наплавках, выполненных без воздействия ПРМП. Поскольку во всех наплавках содержалось: $< 0,1\% \text{ C}; > 16\% \text{ Cr}$, то, как отмечалось, эффект измельчения структуры в наплавках, выполненных с воздействием ПРМП, получен на стадии первичной кристаллизации жидкого металла ванны при дуговой наплавке. Таким образом, измельчение структуры (дендритов) при дуговой наплавке проволокой под флюсом связано с воздействием ПРМП (движением жидкого металла ванны) на стадии первичной кристаллизации, а не на стадии фазовых превращений металла в твердом состоянии (полиморфных превращений).

Выводы

1. При дуговой наплавке проволокой под флюсом сплава на основе железа, содержащего 0,08 % C и 17...19,5 % Cr, с воздействием знакопеременного магнитного поля частотой 6...24 Гц наблюдается существенное уменьшение ширины и длины дендритов в наплавках.

2. Измельчение структурных составляющих в металле наплавов при дуговой наплавке проволокой под флюсом при воздействии управляющего продольного магнитного поля обусловлено процессом влияния этого поля на стадию первичной кристаллизации жидкого металла ванны, а не на стадию полиморфных превращений металла в твердом состоянии.

Список литературы

1. Размышляев А. Д., Миронова М. В. (2009) *Магнитное управление формированием валиков и швов при дуговой наплавке и сварке*. Мариуполь, Изд-во ПГТУ.
2. Размышляев А. Д., Агеева М. В. (2018) О механизме измельчения структуры металла шва при дуговой сварке с воздействием магнитных полей (обзор). *Автоматическая сварка*, **3**, 29–33.
3. Лахтин Ю. М. (1977) *Металловедение и термическая обработка металлов*. Москва, Металлургия.
4. Багрянский К. В., Добротина З. А., Хренов К. К. (1976) *Теория сварочных процессов*. Киев, Вища школа.

References

1. Razmyshlyayev, A.D., Mironova, M.V. (2009) *Magnetic control of formation of beads and welds in arc surfacing and welding*. Mariupol, PGTU [in Russian].
2. Razmyshlyayev, A.D., Ageeva, M.V. (2018) On mechanism of weld metal structure refinement in arc welding under action of magnetic fields (Review). *The Paton Welding J.*, **3**, 25-18.
3. Lakhtin, Yu.M. (1977) *Metals science and heat treatment of metals*. Moscow, Metallurgiya [in Russian].
4. Bagryansky, K.V., Dobrotina, Z.A., Khrenov, K.K. (1976) *Theory of welding processes*. Kiev, Vyscha Shkola [in Russian].

ПОДРІБНЕННЯ СТРУКТУРИ МЕТАЛУ ПРИ ДУГОВОМУ НАПЛАВЛЕННІ ПІД ВПЛИВОМ ПОЗДОВЖНЬОГО МАГНІТНОГО ПОЛЯ

О. Д. РАЗМИШЛЯЄВ¹, М. В. АГЕСВА², Є. В. ЛАВРОВА¹

¹ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет».

87500, м. Маріуполь, вул. Університетська, 7. E-mail: razmyshljaev@gmail.com

²Донбаська державна машинобудівна академія.

84313, м. Краматорськ, вул. Академічна, 72. E-mail: maryna_ah@ukr.net

Показано, що якщо наплавлений метал на основі заліза містить вуглецю менше 0,15 %, а хрому — більше 16 %, то при його кристалізації будуть утворюватися дендрити аустеніту на стадії первинної кристалізації і при подальшому охолодженні аустеніт перетворюється у ферит. При цьому ферит утворюється в межах дендритів аустеніту і надалі не зазнає поліморфних перетворень. З урахуванням цього положення виконані наплавлення порошковим дротом, що забезпечив в складі наплавлень вміст вуглецю 0,08 % і хрому 17...19,5 %. Наплавлення виконані без впливу поздовжнього магнітного поля і з впливом цього знакозмінного поля частотою 6; 12; 24; 33 Гц. Дослідження макро- і мікроструктури наплавленого металу показало, що при впливі магнітного поля в діапазоні частот 6...24 Гц спостерігалось значне зменшення ширини і довжини дендритів в структурі наплавленого металу. Зроблено висновок про те, що подрібнення структури (дендритів) при дуговому наплавленні дротом під флюсом обумовлено рухом рідкого металу в ванні під впливом магнітного поля і впливом на первинну кристалізацію, а не на стадію поліморфних перетворень металу в твердому стані. Бібліогр. 4, табл. 1, рис. 3.

Ключові слова: дугове наплавлення, магнітне поле, кристалізація, дендрит, аустеніт, ферит

REFINEMENT OF METAL STRUCTURE IN ARC SURFACING UNDER THE EFFECT OF LONGITUDINAL MAGNETIC FIELD

A.D. RAZMYSHLYAEV¹, M.V. AHIEIEVA², E.V. LAVROVA¹

¹State Higher Education Institute Pryazovskyi State Technical University. 7 Universitetskaya Str., 87500, Mariupil, Ukraine.

E-mail: razmyshljaev@gmail.com

²Donbass State Machine Building Academy, 72. Akademicheskaya Str., 84313, Kramatorsk, Ukraine.

E-mail: maryna_ah@ukr.net

It is shown that if the deposited iron-based metal contains carbon of lower than 0.15 %, and chromium of higher than 16 %, then during its crystallization, at the stage of primary crystallization austenite dendrites will form, and during further cooling, austenite is transformed to ferrite. In this case, ferrite is formed within the boundaries of austenite dendrites and further does not undergo polymorphic transformations. Taking this position into account, the deposits were produced using flux-cored wire, which provided a content of carbon being 0.08 % and a content of chromium being 17...19.5 % in the deposits. The deposits were produced without the effect of a longitudinal magnetic field and with the effect of this alternating field of 6, 12, 24 and 33 Hz frequency. The studies of the macro- and microstructure of the deposited metal showed that during the effect of a magnetic field in the frequency range of 6...24 Hz, a significant decrease in the width and length of dendrites in the structure of the deposited metal was observed. The conclusion was made that the refinement of the structure (of dendrites) during arc surfacing with the submerged wire is caused by the movement of liquid metal in the pool under the effect of a magnetic field and the influence on the primary crystallization, and not on the stage of polymorphic transformations of metal in the solid state. 4 Ref., 1 Tabl., 3 Fig.

Keywords: arc surfacing, magnetic field, crystallization, dendrite, austenite, ferrite

Поступила в редакцію 12.11.2018

IX спеціалізована виставка

МЕТАЛ ОБЛАДНАННЯ ІНСТРУМЕНТ

нове місце проведення

ВЦ «Південний-ЕКСПО»
вул. Щирецька, 36, м. Львів

Інформаційні спонсори



Контакти

тел./факс: (032) 244-18-88
e-mail: expolviv@gmail.com
web: www.expolviv.ua



металорізальні верстати та оснастка

обладнання для обробки металу

ручний електроінструмент

ковальське обладнання

засоби захисту

металовироби, вироби для з'єднання та кріплення

металорізальні інструменти

слусарний та монтажний інструмент

зварювальне обладнання

Організатор





9 – 11
КВІТНЯ
2019