



ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ИНДУКЦИОННОЙ НАПЛАВКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА

Ч. В. ПУЛЬКА, канд. техн. наук, **О. Н. ШАБЛИЙ**, д-р физ.-мат. наук (Тернопольский гос. техн. ун-т им. Ивана Пулюя),
А. С. ПИСЬМЕННЫЙ, д-р техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Приведены результаты исследований структуры и свойств металла, наплавленного индукционным способом с экранированием тепловых и электромагнитных полей. Показано, что благодаря экранированию на 12 % снижается неравномерность толщины слоя наплавленного металла, экономится на 10...15 % электроэнергия, исключается перегрев торца диска и наплавленного металла, а также сокращается время наплавки по сравнению с наплавкой без экранирования. При этом микроструктура, твердость и износостойкость наплавленного металла остаются на том же уровне, что и при индукционной наплавке без экранирования.

Ключевые слова: индукционная наплавка, индуктор, удельная мощность, тепловое и электромагнитное экранирование, наплавленный металл, карбиды, микротвердость, структура, износостойкость

Для экономии электроэнергии при индукционной наплавке ножей ботворезов авторами настоящей работы предложено изменять мощность источника нагрева по экспоненциальному закону (т. е. при непрерывном наращивании удельной мощности) без переключения генератора [1]. При этом достигается экономия электроэнергии на 15...25 %. Эта идея была реализована при разработке технологии индукционной наплавки ножей ботворезов

с экранированием тепловых и электромагнитных полей [2, 3].

Целью настоящей работы являлось исследование влияния режимов индукционной наплавки на структуру и свойства металла, наплавленного индукционным способом с экранированием тепловых и электромагнитных полей, а также их сравнение с аналогичными свойствами металла, наплавленного обычным индукционным способом без экранирования.

Наплавку по двум технологиям выполняли с использованием износостойкого порошкообразного сплава ПГ-С1 (У30Х28Н4С4). Толщина наплавленного слоя составляла 0,8...1,5 мм, основной металл — сталь Ст3 толщиной 3 мм. Для наплавки использовали двухвитковый кольцевой индуктор, оборудованный дополнительными устройствами для экранирования тепловых и электромагнитных полей.

Как показали исследования, в микроструктуре металла, наплавленного по разработанной авторами технологии, содержатся первичные хромистые

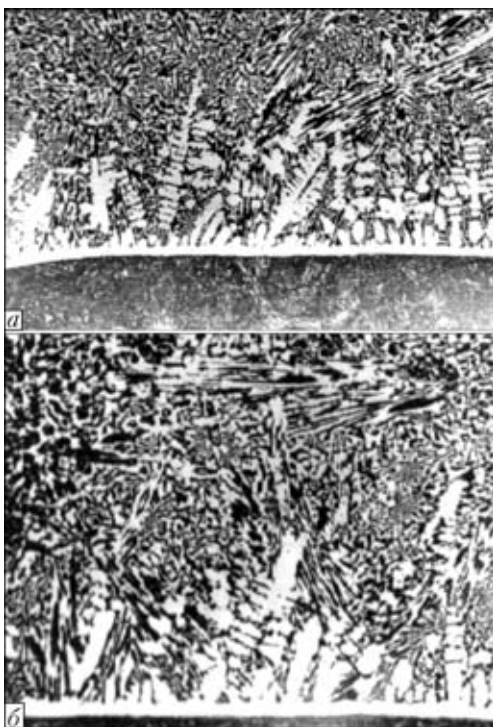


Рис. 1. Микроструктура наплавленного металла У30Х28Н4С4, полученная непосредственно у границы сплавления (а) и в центре наплавленного слоя (б) (травление электролитическое в 20%-м водном растворе хромового ангидрида, напряжение 20 В, выдержка 5 с, X200)

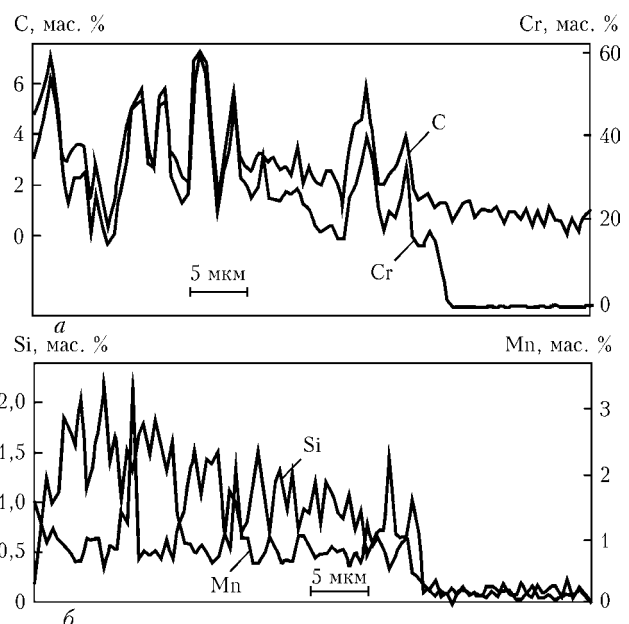


Рис. 2. Распределение углерода, хрома (а), кремния и марганца (б) по высоте слоя наплавленного металла



Таблица 1. Микротвердость (МПа) структурных составляющих наплавленного металла

Способ наплавки	Карбиды хрома	Матрица	Белая полоска (переходная зона)
Без экранирования	15320... 17820	4550... 5140	3220... 3570
С экранированием	14300... 15440	5150... 5900	3780... 4530

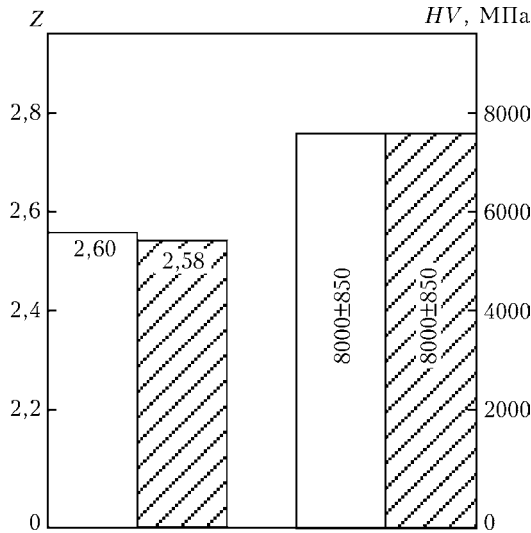


Рис. 3. Относительная износостойкость Z и твердость металла образцов, полученных при индукционной наплавке без экранирования (светлые столбцы) и с экранированием (заштрихованные) тепловых и электромагнитных полей

карбиды в виде довольно крупных пластинок прямоугольной или ромбовидной формы, равномерно распределенные в матрице (рис. 1). Со стороны наплавленного металла к границе раздела прилегают скопления карбидной эвтектики. У линии сплавления наплавленный металл имеет четко выраженную дендритную структуру (рис. 1, а). В

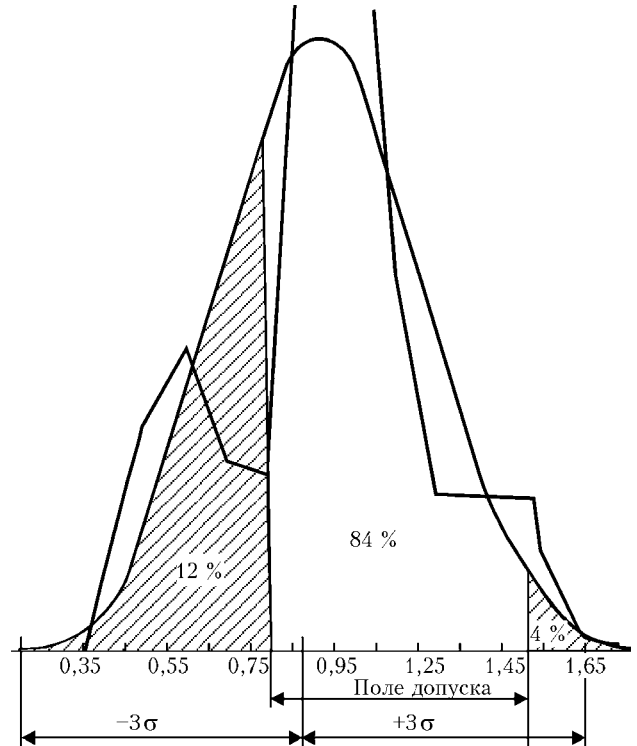
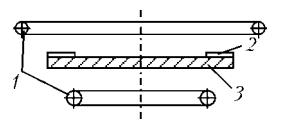
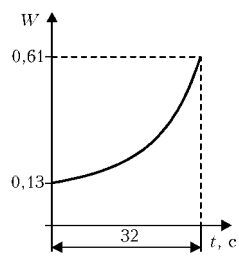
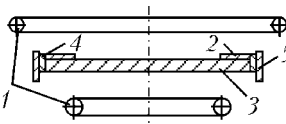
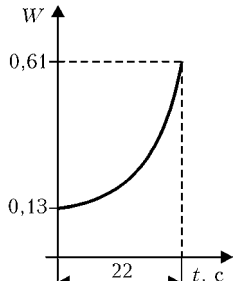


Рис. 4. Кривая нормального распределения слоя наплавленного металла по толщине, полученного при использовании нагревательной системы с экранированием

Таблица 2. Режимы наплавки с применением различных нагревательных систем

Способ наплавки	Напряжение, кВ		Ток, А		Длительность наплавки, с	Изменение удельной мощности на индукторе $W \cdot 10^{-9}$, Вт/м ³
	на контуре	на аноде	сети лампы	анода лампы		
Без экранирования тепловых и электромагнитных полей 	3,1...8,5	11,5...12,0	0,65...1,70	2,0...5,5	32	
С экранированием тепловых и электромагнитных полей 	3,1...8,5	11,5...12,0	0,65...1,70	2,0...5,5	22	

Примечание: 1 – индуктор; 2 – твердый сплав; 3 – деталь; 4, 5 – соответственно тепловой и электромагнитный экраны; при наплавке использовали генератор ВЧИ-63/0,44.



верхнем слое наплавленного металла содержатся включения первичных карбидов веерообразной формы (рис. 1, б). Белая полоска на границе раздела между основным и наплавленным металлом имеет переменную ширину (15... 20 мкм). По краям наплавленного валика структура представляет собой смесь карбидов различной дисперсности. При этом наличие первичных крупных пластинчатых карбидов не наблюдается.

С помощью микротвердомера М-400 фирмы «Леко» (табл. 1) была замерена микротвердость (МПа) структурных составляющих металла, наплавленного без экранирования и с экранированием тепловых и электромагнитных полей.

Как видно из полученных данных, значения микротвердости структурных составляющих металла, наплавленного по двум технологиям, практически не отличаются.

Был произведен микрорентгеноспектральный анализ наплавленного металла на микроанализаторе SX-50 («Камебакс») фирмы «Камека» (рис. 2). Во всех случаях анализ производился примерно в центре наплавленного слоя перпендикулярно линии сплавления на глубине до 480 мкм от границы сплавления. Установлено, что в металле исследованных образцов углерод связан в карбиды типа Me_7C_3 (рис. 2, а), заметного диффузионного перераспределения углерода у линии сплавления не наблюдалось. Кремний и марганец также не диффундируют в основной металл (рис. 2, б).

Исследования износостойкости наплавленного металла проведены на машине НК-М [4] при следующих условиях: абразив — кварцевый песок с размерами частиц 0,2... 0,4 мм; путь трения — 400 м; давление — 0,466 МПа; эталон — отожженная сталь 45. На рис. 3 представлены усредненные данные о износостойкости наплавленного металла, полученные по результатам трех испытаний.

Как видно из рис. 3, относительная износостойкость и твердость металла, наплавленного по двум технологиям, находится примерно на одном уровне.

Произведены исследования равномерности толщины слоя наплавленного металла по методике [5]. На рис. 4 представлена кривая нормального

распределения наплавленного слоя металла по толщине. Незаштрихованные области, находящиеся под кривой нормального распределения, теоретически представляют собой процентную долю деталей, у которых толщина наплавленного металла находится в поле допуска. Равномерность распределения слоя металла по толщине, наплавленного с экранированием тепловых и электромагнитных полей, по сравнению с наплавкой без экранирования, увеличивается на 12 % вследствие более равномерного распределения мощности (температуры) в зоне наплавки. Кроме того, на 10... 15 % достигается экономия электроэнергии за счет сокращения времени наплавки диска (с 32 до 22 с) и уменьшения конвективного теплообмена между торцевой поверхностью детали с окружающей средой (табл. 2).

Таким образом, результаты исследований показали, что металл наплавленный индукционным способом с экранированием тепловых и электромагнитных полей, по своим свойствам не уступает металлу, наплавленному по обычной технологии. Однако за счет экранирования на 12 % снижается неравномерность распределения слоя наплавленного металла по толщине на 10... 15 %, достигается дополнительная экономия электроэнергии, время наплавки сокращается с 32 до 22 с, исключается перегрев торца диска и наплавленного металла.

1. Шаблій О. Н., Пулька Ч. В., Будзан Б. П. Оптимизация энергозатрат при индукционной наплавке тонкостенных фасонных дисков // Автомат. сварка. — 1987. — № 1. — С. 36-39.
2. Шаблій О. Н., Пулька Ч. В., Письменный А. С. Оптимизация параметров индуктора для равномерного нагрева дисков по ширине зоны наплавки с учетом экранирования // Там же. — 2002. — № 11. — С. 24-26.
3. Шаблій О. Н., Пулька Ч. В., Письменный А. С. Оптимизация индукционной наплавки тонких дисков с учетом теплового и электромагнитного экранирования // Там же. — 2003. — № 9. — С. 22-25.
4. Юзвенко Ю. А., Гавриш В. А., Марьенко В. А. Лабораторные установки для оценки износостойкости наплавленного металла // Теоретические и технологические основы наплавки. Свойства и испытания наплавленного металла. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1979. — С. 23-27.
5. Пулька Ч. В. Влияние режимов наплавки на толщину наплавленного слоя и величину деформации тонких стальных дисков // Автомат. сварка. — 1997. — № 10. — С. 57-58.

The paper gives results of investigation of structure and properties of metal deposited by the induction surfacing method that involves screening of thermal and electromagnetic fields. It is shown that owing to screening the non-uniformity of thickness of the deposited metal layer is decreased by 12 %, saving of power amounts to 10...15 %, overheating of the face of disk and deposited metal is eliminated, and time of surfacing is reduced compared with surfacing without screening. In this case the microstructure, hardness and wear resistance of the deposited metal remain at the same level as in induction surfacing without screening.

Поступила в редакцию 11.01.2004,
в окончательном варианте 14.01.2004