

# ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ДУГОВОЙ НАПЛАВКИ ПОД ФЛЮСОМ ПО СЛОЮ ЛЕГИРУЮЩЕЙ ШИХТЫ ДЕТАЛЕЙ ХОДОВОЙ ЧАСТИ ГУСЕНИЧНЫХ МАШИН

**В.В. ПЕРЕМИТЬКО, Д.Г. НОСОВ**

Днепродзержинск. гос. техн. ун-т. 51918, г. Днепродзержинск, ул. Днепростроевская, 2. E-mail: science@dstu.dp.ua

Проведена оптимизация режимов дуговой наплавки под флюсом с наложением внешнего магнитного поля по слою легирующей шихты деталей ходовой части гусеничных машин. Изучено влияние параметров внешнего аксиального магнитного поля и вносимого с шихтой порошков карбида кремния SiC и азросила SiO<sub>2</sub> на твердость и микротвердость наплавленного металла. При проведении экспериментов меняли концентрацию соединений кремния в легирующей шихте, количество наносимых слоев, отклонение в расположении последних относительно оси дуги, а также индукцию внешнего магнитного поля. Представлена регрессионная зависимость твердости от параметров режима наплавки для двух типов шихты. Спроектирован программный комплекс, предназначенный для определения параметров режима дуговой наплавки по предложенной схеме для обеспечения достижения максимального эффекта от использования внешних воздействий. Библиогр. 11, табл. 1, рис. 3.

*Ключевые слова:* дуговая наплавка, легирующая шихта, внешнее магнитное поле, порошки SiC и SiO<sub>2</sub>, регрессионные зависимости, проектирование технологии наплавки

Анализ организации и проведения наплавочных работ показывает, что для восстановления деталей, которые, на первый взгляд, эксплуатируются примерно в одинаковых условиях, предлагается, как правило, достаточно широкая гамма наплавочных материалов, отличающихся степенью, а иногда и системой легирования, что не всегда оправдано [1–4]. В частности, из опыта восстановления деталей ходовой части гусеничных машин известно, что требования к наплавленному металлу в зависимости от условий последующей эксплуатации (режим работы, твердость и гранулометрический состав абразивных частиц, попадающих в пары трения и т.д.) могут существенно меняться [5].

В результате возникает необходимость использования для наплавки одинаковых деталей ходовой части гусеничных машин (опорные катки, ролики, звенья гусениц) наплавочных материалов, отличающихся, в первую очередь, по твердости, а также по химическому составу и структуре. Было установлено [6], что в зависимости от упомянутых условий эксплуатации твердость металла, наплавленного на детали ходовой части гусеничных машин, должна изменяться в пределах HV 285...435 (HV 283...413), что практически не достижимо при использовании одной марки наплавочной проволоки.

Ранее было показано [7], что изменять твердость наплавленного металла в достаточно широких пределах можно при дуговой наплавке по слою легирующей шихты, предварительно нанесенной на наплаваемую поверхность. Однако этот способ имеет существенный недостаток

– при его использовании получить заданный состав и хорошее формирование наплавленного металла удастся только в узком диапазоне режимов наплавки [1]. Улучшить эти показатели можно за счет наложения внешнего магнитного поля, которое, по некоторым данным, оказывает положительное влияние на формирование наплавленных валиков и свойства наплавленных слоев [8, 9].

Цель данных исследований заключалась в оптимизации режимов дуговой наплавки под флюсом с наложением внешнего магнитного поля по слою легирующей шихты деталей ходовой части гусеничных машин, обеспечивающих заданную твердость наплавленного слоя.

Для достижения поставленной цели были проведены эксперименты по дуговой наплавке по слою легирующей шихты, нанесенной на поверхность образцов из стали Ст3 с твердостью HB 197...207. В процессе наплавки на сварочную дугу накладывалось внешнее аксиальное магнитное поле, которое увеличивало ширину сварочной ванны. Это позволило наносить присадочную шихту со смещением от оси дуги и дало возможность контролировать процесс ее расплавления. В качестве присадочной шихты использовали дисперсные порошки карбида кремния (SiC) и азросила (SiO<sub>2</sub>), смешанные с порошком железа и связующих веществ.

Наплавку образцов выполняли проволокой Св-08А диаметром 3 мм под флюсом АН-348А на установке УД-209. Режим наплавки: ток 400 А, напряжение 32...36 В, скорость подачи проволоки 160 м/ч, скорость наплавки 12...16 м/ч, шаг на-

Пропорции смесей и их расход на единицу длины шва

Схема нанесения слоев	Твердость <i>HB</i>	
	Наплавленного слоя	ЗТВ
Без дополнительных воздействий	243	220
С наложением постоянного магнитного поля, $B_z = 20$ мТл	248	229
С наложением переменного магнитного поля, $f = 50$ Гц, $B_z = 20$ мТл	277	239
С наложением переменного магнитного поля; наплавка по шихте с порошком SiC	452	227
С наложением переменного магнитного поля; наплавка по шихте с порошком SiO <sub>2</sub>	512	245

плавки 6...8 мм, вылет электрода 30 мм, ток постоянный, полярность обратная. Катушку, которая обеспечивает аксиальное магнитное поле, крепили на горелку установки таким образом, чтобы мундштук и электродная проволока, проходящая через него, служили дополнительным ферромагнитным сердечником. Катушку питали переменным или постоянным током. В ходе экспериментов слои присадочной шихты располагали на разном расстоянии от оси электродной проволоки, а их ширина находилась в пределах 8...10 мм.

Для сокращения количества экспериментов выполняли центральное некомпозиционное планирование второго порядка для четырех факторов — состава смеси; количества наносимых слоев смеси; эксцентриситета в расположении слоя легирующей шихты относительно оси электродной проволоки; индукции внешнего магнитного поля. Обработка экспериментальных данных была проведена с помощью математического пакета STATISTICA 6.0.

Для измерения твердости на приборе ТК-2 из наплавленных заготовок вырезали плоские образцы толщиной 15 мм. Результаты измерения твердости показывают, что действенность подвода к катушке переменного магнитного поля выше, чем постоянного (таблица).

Регрессионное уравнение твердости наплавленного металла имеет вид:

$$\begin{aligned}
 HB = & -19,8459 - 894,036A - \\
 & -90,713N + 354,479n + 162,6051B + 695,3873A^2 - \\
 & -110,68N^2 - 975,169n^2 - 1,08627B^2 - 17,2259AN + \\
 & + 286,0339An + 3,448646AB + 958,2996Nn + \\
 & + 10,45245NB - 63,9323nB,
 \end{aligned}$$

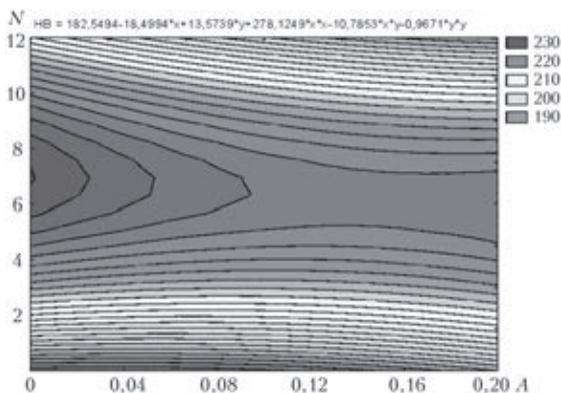


Рис. 1. Зависимость твердости (*HB*) наплавленного металла от расстояния *N* между осью электрода и слоем шихты и концентрации *A* (мас. доля) аэросила (SiO<sub>2</sub>) в шихте

где *N* — расстояние от оси электрода до слоя шихты, мм; *A* — концентрация (мас. доля) SiC (до 0,15) или SiO<sub>2</sub> (свыше 0,15) в шихте; *n* — количество слоев; *B* — индукция магнитного поля, мТл.

Как следует из полученных данных (рис. 1), оптимальным является расположение слоя шихты на расстоянии от оси электрода 4...10 мм. Если слой размещается ближе, то он расплавляется полностью вместе с тугоплавкими частицами, если дальше — оказывается вне зоны расплавления.

С ростом индукции внешнего магнитного поля увеличивается ширина сварочной ванны, что вызывает полный переплав шихты и, как следствие, полное расплавление дисперсного материала. В результате наблюдается снижение твердости (зона  $B = 60...80$  мТл, рис. 2).

С целью определения оптимальных параметров режима дуговой наплавки с одновременным наложением внешнего магнитного поля, обеспечивающих максимальный эффект от вносимого при дуговой наплавке дисперсного материала, спроектирован программный комплекс (рис. 3).

Параметры режима наплавки, при которых достигается требуемая твердость наплавленного слоя, определяются в такой последовательности.

**Этап 1.** Пользователь вводит значение необходимой твердости наплавленного слоя *HB*.

**Этап 2.** Задается диаметр электродной проволоки  $d_e$  (мм) и предлагается либо автозаполнение форм базовых режимов наплавки (ток  $I_H$  (А), скорости наплавки  $v_H$  и подачи проволоки  $v_{пп}$  (м/ч)) из базы данных программы, либо ручной ввод указанных режимов. Пользователь назначает ус-

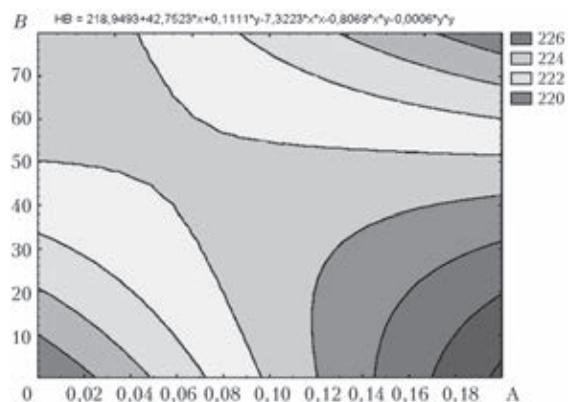


Рис. 2. Зависимость твердости (*HB*) наплавленного металла от магнитной индукции *B* (мТл) внешнего аксиального поля и концентрации *A* (мас. доля) аэросила (SiO<sub>2</sub>) в шихте

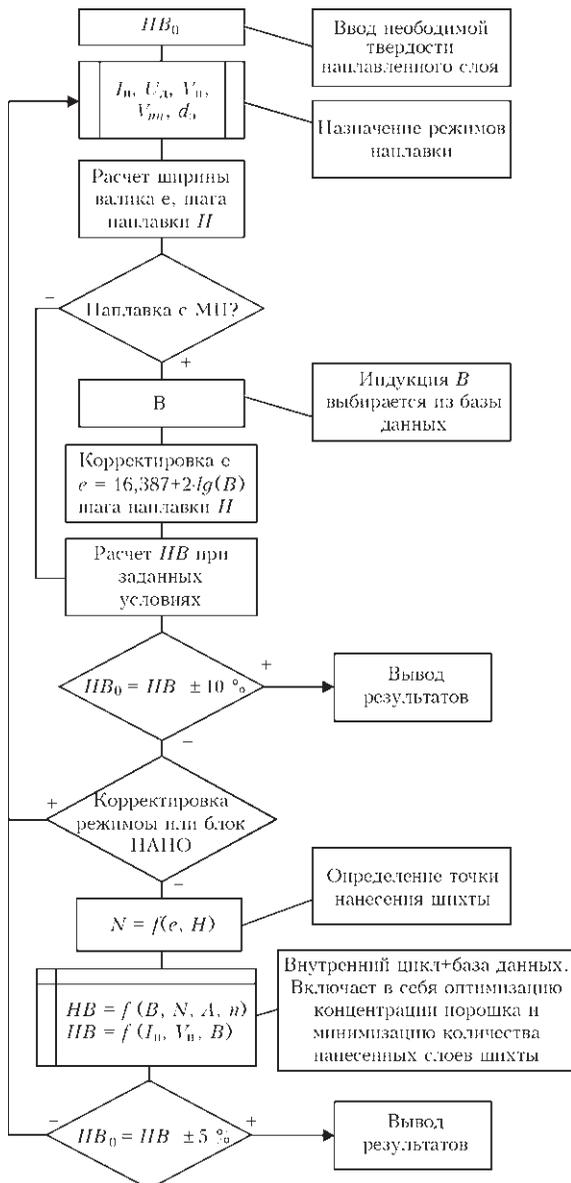


Рис. 3. Алгоритм определения оптимальных параметров режима наплавки

ловия дальнейшего расчета параметров наплавки: с применением дополнительного магнитного поля (МП) или без него.

**Этап 3.** Расчет ширины наплавленного единичного валика  $e$  (мм), формирующегося в условиях наплавки при заданных режимах и шаге наплавки  $H$ . Если был выбран режим наплавки с МП, то из базы данных программой выбираются значения индукции МП, выполняется корректировка ширины валика и шага наплавки.

**Этап 4.** Расчет твердости наплавленного слоя  $HB$  при наплавке без применения шихты.

**Этап 5.** Определение координат расположения слоя шихты как функции  $N = f(e, H)$ .

**Этап 6.** Определение твердости наплавленного металла с использованием имеющейся базы данных. Включает в себя оптимизацию концентрации

порошкового материала и минимизацию количества нанесенных слоев шихты.

Выполняется комплексная обработка данных с применением алгоритмов и моделей, опубликованных в работах [10, 11].

Как показывает практика использования программы, при условии автокорректировки режимов наплавки возврат к исходному блоку в ручном режиме не требуется в 95 % случаев.

### Выводы

1. Определено, что использование переменного магнитного поля, накладываемого на сварочную дугу, вызывает большее увеличение твердости наплавленного металла, чем использование постоянного магнитного поля.

2. Предложена аналитическая зависимость для определения твердости наплавленных слоев, которая достигается при дополнительной подаче легирующей шихты с карбидами или оксидами кремния и наложении внешнего магнитного поля.

3. Разработан программный комплекс для определения параметров дуговой наплавки, обеспечивающих максимальный эффект от вносимого дисперсного материала и наложения внешнего магнитного поля.

1. Фрумин И.И. Автоматическая электродуговая наплавка. – Харьков: Metallurgizdat, 1961. – 421 с.
2. Ливиц Л.С., Гринберг Н.А., Куркумелли Э.Г. Основы легирования наплавленного металла. – М.: Машиностроение, 1969. – 188 с.
3. Износостойкость и структура твердых наплавов / М.М. Хрушев, М.А. Бабичев, Е.С. Беркович и др. – М.: Машиностроение, 1971. – 94 с.
4. Рябцев И.А. Наплавка деталей машин и механизмов. – Киев: ЭкоТехнология, 2004. – 160 с.
5. Перемитько В.В., Кузнецов В.Д. Урахування гранулометричного складу абразиву при відновному наплавленні деталей ходової частини гусеничних машин // Проблеми тертя та зношування. – 2014. – № 3 (64). – С. 125–130.
6. Перемитько В.В., Чередник Е.А. Адапційна технологія відновлення деталей ходової частини дорожніх машин // Сварщик. – 2010. – № 4. – С.16–17.
7. Перемитько В.В. Износостойкая дуговая наплавка по слою легирующей шихты // Автомат. сварка. – 2014. – № 8. – С.56–59.
8. Размышляев А.Д., Миронова М.В. Магнитное управление формированием валиков и швов при дуговой наплавке и сварке. – Мариуполь: Приазов. гос. техн. ун-т, 2009. – 196 с.
9. Рижов Р.М., Кузнецов В.Д. Магнітне керування якістю зварних з'єднань. – Київ: ЕкоТехнологія, 2010. – 288 с.
10. Носов Д.Г., Перемитько В.В. Алгоритм оптимізації технологічних параметрів режиму наплавлення деталей типу «вал» та його реалізація // Математичне моделювання. – 2009. – № 1 (20). – С. 33–36.
11. Перемитько В.В., Рейдерман Ю.И., Чередник Е.А. Методика расчета оптимальных режимов наплавки // X Міждержавна науко.-метод. конф. «Проблеми математичного моделювання»: матеріали конференції. – Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2006. – С. 84–85.

Поступила в редакцию 10.04.2015