



СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ НАПЛАВКИ ДЕТАЛЕЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

С. В. ГУЛАКОВ, В. В. ЧИГАРЕВ, доктора техн. наук, В. П. ИВАНОВ, И. С. ПСАРЕВА, О. А. ЛАВРЕНТИК, инженеры
(Приазов. гос. техн. ун-т, г. Мариуполь)

Рассмотрены пути улучшения качества наплавляемого слоя посредством формирования рабочей поверхности слоями переменного химического состава и сложной формы. Последние увеличивают технологические возможности процесса, расширяют сферу применения наплавленных изделий, придают им новый комплекс служебных свойств.

Ключевые слова: наплавка, рабочий слой, химический состав, сварочная ванна, оборудование, технология

При различных способах наплавки повышения эксплуатационных характеристик наплавляемого рабочего слоя достигают, как правило, путем соответствующего выбора и оптимизации химического состава электродных или присадочных материалов и использования последующей (в случае необходимости) термической обработки.

В Приазовском государственном техническом университете и других организациях в течение ряда лет ведутся работы по разработке новых путей повышения экономических и эксплуатационных показателей наплавки. Наиболее перспективными из них являются следующие:

наплавка слоев с заданным распределением свойств в зависимости от интенсивности и видов изнашивания детали;

управление размерами и траекторией нанесения наплавляемых валиков на рабочую поверхность детали.

Поскольку большинство деталей изнашивается неравномерно, их наплавка слоем одинакового химического состава не дает таких результатов, как наплавка слоя с распределением химического состава и свойств в зависимости от интенсивности и видов изнашивания [1–6]. В процессе эксплуатации упрочненных таким образом изделий обеспечивается равномерный или регламентированный износ рабочей поверхности, что существенно повышает срок их службы и эксплуатационные характеристики, позволяет улучшить качество обрабатываемой ими продукции [7–9].

Управление легированием наплавленного металла — весьма сложная задача, корректное решение которой возможно только при получении полной информации о текущих параметрах сварочной ванны: ее размерах и форме, химическом составе, доле участия основного металла в наплавленном и пр. Поскольку осуществить прямые измерения этих параметров практически невозможно, решением проблемы реализации технологии наплавки рабочего слоя переменного химического состава является разработка различного рода моделей [3, 10–13], описывающих процессы легирования сварочной ванны и ее формирования, а

также создание автоматизированного оборудования для управления этими процессами на основе указанного моделирования.

Наиболее совершенные методики расчета и алгоритмы управления процессом формирования шва переменного химического состава описаны в работах [14–16], где учтены такие факторы, как влияние объема сварочной ванны на характер изменения химического состава шва, доля участия основного металла и предыдущего наплавленного слоя в легировании, ограничение возможностей легирования наплавленного металла при высоких градиентах изменения свойств и др. Они положены в основу систем автоматического регулирования процессом наплавки рабочего слоя переменного химического состава [17, 18].

С другой стороны, неуправляемая макро- и микрохимическая неоднородность наплавленного металла также может приводить к неравномерному износу деталей. Примером служит образование кольцевых трещин разгара в наплавленных прокатных валках, роликах МНЛЗ и других деталях, работающих в условиях переменных температур и давлений. Многие исследователи [19–21] связывают появление этих трещин с особенностями технологии и техники дуговой наплавки деталей по винтовой линии с перекрытием соседних валиков.

Кольцевые трещины разгара на наплавленных валках ухудшают качество проката. Кроме того, наплавленные детали могут разрушаться по этим дефектам.

Для устранения упомянутых недостатков и улучшения служебных характеристик наплавленного слоя предлагается применять технологические процессы дуговой наплавки со сложной траекторией перемещения электрода относительно наплавляемой поверхности. При этом во время наплавки электрод перемещается по сложной, заранее заданной траектории, формируя зигзагообразные, волнистые или взаимно пересекающиеся по определенному закону валики [22–25]. Взаимное пересечение наплавленных валиков, ориентация их под оптимальным углом к действию максимальных рабочих нагрузок позволяет обеспечить получение рабочей поверхности с высокими показателями из-

носо- и разгаростойкости, тем самым существенно снизить вредное влияние макро- и микронеоднородности наплавленного слоя [22, 26].

Иногда, например, при изготовлении валков заготовочных станов для улучшения захвата и повышения эффективности удаления с проката окалины необходимо наносить на их рабочую поверхность лунки определенной формы и расположения [27]. Эта операция отличается высокой трудоемкостью, поскольку лунки необходимо делать на поверхности, имеющей высокую твердость. Если для облегчения механической обработки применять материалы с низкой твердостью, то это отрицательно скажется на эксплуатационных характеристиках изделия.

Технологический процесс дуговой наплавки рабочего слоя валиками зигзагообразной формы (рис. 1) позволяет непосредственно в ходе наплавки сформировать на рабочей поверхности детали рельеф требуемого профиля без дополнительной механической обработки.

Если при наплавке тел вращения по винтовой линии зигзагообразными валиками с перекрытием соседних (смежных) валиков в момент выполнения очередного прямолинейного участка увеличить его длину на величину L (участки с измененной длиной на рис. 1, *a* условно выделены серым цветом) и далее наплавлять зигзагообразный шов с прежними параметрами колебаний (амплитудой и периодом) торца электрода, т. е. сместить ось колебаний вдоль образующей цилиндрической детали на $0,5L \cos \alpha$, то на наплавляемой поверхности сформируется ряд четырехугольных лунок, расположенных под одинаковым углом к образующей детали.

Уменьшив после нескольких полных оборотов детали длину прямолинейного участка относительно первоначальных размеров также на величину L , обеспечим формирование лунок, наклоненных под углом α относительно образующей детали, только в противоположную сторону относительно первого ряда лунок.

Количество полных оборотов детали, через которое необходимо смещать ось колебаний электрода, определяет площадь наплавленных участков между рядами лунок, т. е. частоту нанесения лунок в продольном направлении относительно образующей детали. Длина L изменения протяженности прямолинейного участка зигзагообразного шва определяет ширину лунки.

Аналогичного эффекта можно достичь, если при наплавке тел вращения по винтовой траектории зигзагообразным швом управлять амплитудой и периодом колебаний, периодически изменяя их при сохранении формы колебаний и их фазы (рис. 1, *б*).

Наплавка рабочего слоя швами сложной формы сопряжена с необходимостью управления перемещением электрода по определенной траектории с необходимой точностью. Для реализации указанной технологии требуется применение специализированного наплавочного оборудования, опти-

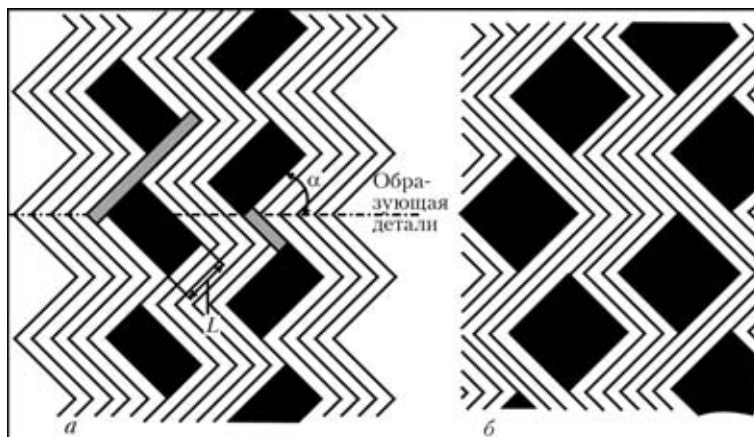


Рис. 1. Схемы (а, б) формирования лунок при наплавке рабочей поверхности швами зигзагообразной формы

мальных методик расчета конфигурации швов и выбора параметров их наплавки, а также системы автоматического регулирования этих параметров в соответствии с заданной программой.

В процессе проектирования технологии нанесения наплавленного слоя со сложной конфигурацией расположения наплавленных валиков необходимо учитывать и оптимизировать большое количество параметров. Например, при наплавке ленточным электродом в случае изменения траектории его перемещения, кроме прочих параметров, необходимо учитывать угол поворота ленты относительно вектора скорости наплавки и управлять им, поскольку от этого зависит удельное тепловложение и глубина проплавления, а также качество формирования валика и, как следствие, — работоспособность наплавленного металла (стойкость против избирательного и общего износа, образования и развития трещин разгара и пр.).

Еще более серьезные проблемы возникают при наплавке цилиндрических деталей со смещением изгибов зигзагообразных швов относительно образующей цилиндра (рис. 2), деталей с переменным радиусом, например бочко- или конусообразных. В этом случае необходимо постоянно изменять параметры колебания электрода и одновременно поддерживать на оптимальном уровне другие параметры режимов наплавки.

Общее описание модернизированного наплавочного оборудования, позволяющего осуществлять перемещение электрода по требуемой траектории

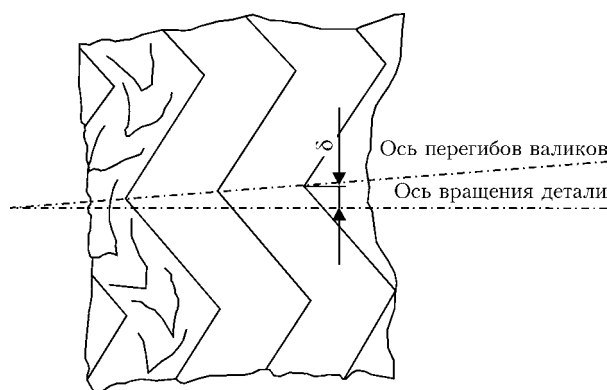


Рис. 2. Схема наплавки со смещением вершин зигзагов

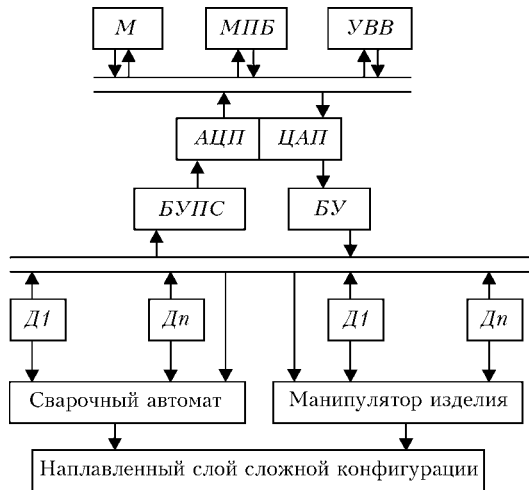


Рис. 3. Функциональная схема системы автоматизированного управления наплавкой: *М* — монитор; *МПБ* — микропроцессорный блок; *УВВ* — устройства ввода-вывода; *АЦП* — аналого-цифровой преобразователь; *ЦАП* — цифро-аналоговый преобразователь; *БУПС* — блок усиления и преобразования входных сигналов; *БУ* — блок управления; *Д1*, *Дn* — датчики положения и параметров режима

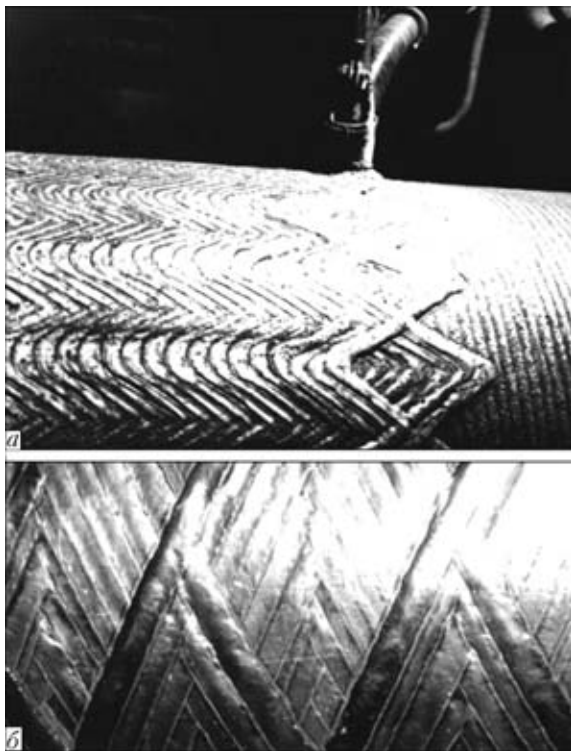


Рис. 4. Внешний вид рабочих поверхностей (а, б), наплавленных валиками сложной конфигурации

и оснащенного датчиками, дающими информацию о его координатах относительно упрочняемой поверхности, приведено в ряде работ [16, 25, 27]. Основным недостатком подобного оборудования является его узкая специализация (невозможность выполнения швов различной конфигурации, поскольку для этого требуется изменение его аппаратной части).

Широкое внедрение в системы управления и регулирования доступной, высоконадежной и универсальной микропроцессорной техники, имеющей

низкую стоимость, позволяют решить указанные задачи с применением программных средств без изменения и усложнения аппаратной части оборудования.

Программное управление траекторией перемещения электрода дает возможность успешно использовать эти системы для наплавки изделий с широким диапазоном размеров и вариантов конфигурации рабочего слоя, особенно в случаях, когда требуется оперативная перестройка технологического процесса.

Схема системы автоматизированного управления траекторией движения электродов для реализации возможных вариантов наплавки швами сложной конфигурации приведена на рис. 3. Система снабжена источником справочной информации и имеет возможность пошагового контроля за процессом наплавки отдельных валиков, что особенно важно для многослойной наплавки. Наличие обратной связи по положению электрода обеспечивает максимальное совпадение расчетной схемы с реальной конфигурацией наплавленной поверхности (рис. 4).

Использование модернизированного оборудования на ряде металлургических и машиностроительных предприятий при реализации технологии упрочнения дуговой наплавкой рабочих поверхностей деталей и инструмента оборудования дало возможность существенно улучшить их эксплуатационные характеристики.

1. *Лещинский Л. К., Носовский Б. И., Гулаков С. В.* Технология наплавки опорных валков с переменной по длине бочки твердостью // *Автомат. сварка.* — 1976. — № 7. — С. 71–72.
2. *Повышение работоспособности прокатных валков наплавкой слоя с изменяющейся по длине бочки износостойкостью* / Л. К. Лещинский, С. В. Гулаков, Б. И. Носовский и др. // Там же. — 1978. — № 3. — С. 57–62.
3. *Шварцер А. Я.* Основные принципы электрошлаковой наплавки металла переменного химического состава // *Теоретические и технологические основы наплавки. Новые процессы механизированной наплавки.* Сб. науч. тр. — Киев: Наук. думка, 1978. — С. 102–108.
4. *Гулаков С. В., Носовский Б. И.* Особенности получения швов с регламентированным распределением химических элементов по длине // *Свароч. пр-во.* — 1982. — № 7. — С. 10–11.
5. *Наплавка прокатных валков слоями с различными физическими свойствами* / В. И. Щетинина, К. К. Степнов, Л. К. Лещинский и др. // Там же. — 1989. — № 7. — С. 28.
6. *Коротков В. А., Чубелов В. А.* Наплавка контактно-нагруженных поверхностей чередующимися твердыми и мягкими участками // Там же. — 2000. — № 4. — С. 9–12.
7. *Валки с наплавленным слоем новой конструкции, повышающие эффективность работы прокатных станов* / Л. К. Лещинский, С. В. Гулаков, К. К. Степнов, Б. И. Носовский // *Наплавка. Опыт и эффективность применения.* — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1985. — С. 17–20.
8. *Повышение срока службы опорных валков стана 2000 горячей прокатки* / В. В. Ветер, А. Д. Белянский, М. И. Самойлов и др. // *Сталь.* — 1985. — № 8. — С. 53–55.
9. *Koho R., Miyakawa J.* On compositional change amonds passes in multi-pass submerged arc welding. — S. 1., [1983]. — 8 p. — (Intern. Inst. of Welding; Doc. IX-1283–83).
10. *Рыкалин Н. Н.* Расчеты тепловых процессов при сварке. — М.: Машиностроение, 1951. — 196 с.
11. *Bennett A. P., Eaton N. F.* Electro-slag melted transition-piece units as an alternative to direct welding // *Metal Construction and British Welding J.* — 1969. — 1, № 12. — P. 59–65.
12. *Bennett A. P.* Prediction and control composition profiles in graded transition joints // *Metals and Materials.* — 1972. — № 3/4. — P. 146–149.

13. *Лецинский Л. К., Литвин Н. Н.* Расчетный метод решения задачи управления составом металла в процессе сварки (наплавки) // Математические методы в сварке: Сб. науч. тр. — Киев: Наук. думка, 1981. — С. 42–46.
14. *Шварцер А. Я., Шварц В. Я., Никитенко З. А.* Расчет содержания компонентов в сплаве переменного состава при электрошлаковой наплавке // Автомат. сварка. — 1980. — № 2. — С. 25–26.
15. *Методика* расчета процесса легирования швов переменного химического состава / Л. К. Лецинский, Н. Н. Литвин, С. Г. Иванов, А. И. Василенко // Там же. — 1983. — № 11. — С. 27–29.
16. *Гулаков С. В., Носовский Б. И.* Особенности получения швов с регламентированным распределением химических элементов по длине // Свароч. пр-во. — 1982. — № 7. — С. 10–12.
17. *Гулаков С. В., Носовский Б. И.* Программное устройство для наплавки слоя металла с переменным химическим составом // Автомат. сварка. — 1985. — № 2. — С. 55–57.
18. *Сас А. В., Гулаков С. В., Носовский Б. И.* Управление сложными технологическими процессами дуговой сварки и наплавки // Свароч. пр-во. — 1985. — № 8. — С. 30–32.
19. *Влияние* химической однородности наплавленного металла на сопротивление термической усталости / В. Л. Маликин, И. И. Фрумин, В. Д. Садукевич, М. Л. Петух // Автомат. сварка. — 1982. — № 11. — С. 12–14.
20. *Юзвенко Ю. А., Горпелюк Б. Н., Корбут В. Л.* Химическая макронеоднородность наплавленного слоя // Там же. — 1978. — № 3. — С. 22–26.
21. *Избирательный* износ наплавленного заэвтектического хромистого сплава / В. В. Тарасов, П. Ф. Лаврик, В. Х. Мацука, И. И. Пирч // Свароч. пр-во. — 1976. — № 9. — С. 28–29.
22. *Гулаков С. В., Иванов В. П., Псарева И. С.* Управление траекторией перемещения электрода при дуговой наплавке прокатных валков // Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні: Темат. зб. наук. праць. — Краматорськ: ДДМА, 2000. — С. 322–324.
23. *Наплавка* роликов слябовых машин непрерывного литья заготовок / Л. И. Опарин, В. Л. Маликин, П. В. Гладкий и др. // Автомат. сварка. — 1991. — № 4. — С. 63–66, 76.
24. *Домбровский Ф. С., Лецинский Л. К.* Работоспособность наплавленных роликов машин непрерывного литья заготовок. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1995. — 198 с.
25. *Заявка 58-173066* Японии, МКИ В 21 В 27/02, В 23 К 9/04. Roll / К. Takatori, К. Higori, Н. Tsuguo.
26. *Псарева И. С., Иванов В. П.* Совершенствование технологии наплавки конусов и чаш засыпных аппаратов доменных печей // Вестн. Приазов. гос. техн. ун-та: Сб. науч. тр. — Мариуполь, 2000. — Вып. 10. — С. 213–216.
27. *Бровман М. Я., Зеличенко Б. Ю., Герцев А. И.* Усовершенствование прокатки толстых листов. — М.: Металлургия, 1969. — 256 с.
28. *Гулаков С. В., Головачев М. В., Аленос Н. Н.* Автоматизированное оборудование для дуговой наплавки // Оборудование и материалы для наплавки: Сб. науч. тр. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1990. — С. 63–65.

Considered are ways of improving the quality of deposited metal through forming the working surface from layers of a varied chemical composition and complex shape. These layers enhance operational capabilities of the process, widen the field of application of deposited parts and impart them a new combination of service properties.

Поступила в редакцию 11.01.2004,
в окончательном варианте 09.02.2004

<p>3-6 НОЯБРЯ</p> <p>Москва, Экспоцентр на Красной Пресне павильон "Форум"</p> <p>2004</p>		<p>при поддержке Министерства экономического развития и торговли РФ Russian Federation ministry of economic development and trade Российского научно-технического сварочного общества (РНТСО) / Russian Welding society (RWS)</p> <p>ЭКСПО</p> <p>СВАРКА</p> <p>экспосварка</p> <p>ПЯТАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА THE 5th INTERNATIONAL SPECIALIZED EXHIBITION</p>	
<p>ОРГАНИЗАТОРЫ:</p> <p>M.S.I., ООО "Мессе Сервис" Российское Научное Техническое сварочное общество</p>	<p>ОСНОВНЫЕ РАЗДЕЛЫ ВЫСТАВКИ:</p>	<ul style="list-style-type: none"> ◆ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СВАРКИ И ТЕРМИЧЕСКОЙ РЕЗКИ ◆ МЕТОДЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТИ ◆ СВАРОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ ◆ СОВРЕМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПАЙКИ ◆ АВТОМАТИЗАЦИЯ СВАРОЧНЫХ РАБОТ ◆ КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА ◆ СПЕЦОДЕЖДА И СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ СВАРЩИКОВ ◆ СЕРТИФИКАЦИЯ 	<p>ORGANIZERS:</p> <p>M.S.I., "Messe Servis" The Russian Scientific Technical welding society</p> <p>Тел.: +7(095) 105-6561/62 Факс: +7(095) 248-0734</p>
<p>welding@msiexpo.ru</p>		<p>www.msiexpo.ru</p>	