

ВЫСОКОЧАСТОТНЫЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ИНДУКЦИОННОЙ НАПЛАВКИ

В.П. Тимошенко¹, Д.А. Селиванов²

¹Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, г. Барнаул

²ООО «Алтайтехносервис», г. Барнаул

Рассмотрены технологические особенности осуществления процесса индукционной наплавки порошковых сплавов. Показано, что для получения качественного наплавленного слоя тепловложение в наплавляемую деталь необходимо вести с изменением выходной мощности генератора. Представлено технологическое оборудование для осуществления индукционной наплавки порошковых твердых сплавов с регулируемым тепловложением.

Ключевые слова: наплавляемая деталь, твердый сплав, высокочастотный генератор, тепловложение, качество наплавленного слоя.

HIGH INSTALLATION FOR INDUCTION MELTING

V.P. Tymoshenko¹, D.A. Selivanov²

¹ The Altai state technical university of I.I. Polzunov, Barnaul

²LLC «Altaytekhnoservis», Barnaul

The technological characteristics of the process of induction hardfacing alloy powders. It is shown that for quality of the deposited layer in the weld heat input item must lead to a change in the output of the generator-cardinality. Presented by the technological equipment of the induction-tional welding powder hard alloys with controlled heat input.

Keywords: weld detail, hard alloy, high-frequency generator, the heat-lovlozhenie, the quality of the deposited layer.

Для индукционной наплавки в основном применяется оборудование, предназначенное для нагрева деталей под термообработку.

Процесс индукционной наплавки по ряду своих параметров значительно отличается от операций термообработки. При закалке нагрев деталей производится до температуры, несколько превышающей точку $A_{с3}$. В этом случае нагреваемая деталь почти во всем диапазоне нагрева ферромагнитна, что определяет высокие скорости нагрева и к.п.д. генератора. При индукционной наплавке основное время процесса нагрева приходится на этап, когда деталь нагрета выше точки Кюри, то есть поверхностный слой детали парамагнитен. В этом случае происходит рассогласование генератора с нагрузкой – анодный ток генераторной лампы падает, а сеточный ток растет. При этом нарушается их рекомендованное соотношение $I_a/I_c=3÷5$. В результате около 80% времени генератор работает с низким к.п.д. Поэтому применяемые в наплавочном производстве генераторы, разработанные для осуществления процесса закалки, не отвечают технологическим особенностям процесса наплавки.

Упрочнение детали при наплавке достигается нанесением износостойкого слоя на изнашиваемую поверхность. Поэтому нет необходимости прогревать деталь по всей толщине, желательно иметь меньшую глубину прогрева, которая определяется глубиной проникновения тока в металл δ_m . Глубина проникновения (при прочих равных условиях) зависит от частоты индуктируемого тока f :

$$\delta_m = 5,03 \cdot 10^{-4} \sqrt{\frac{\rho}{\mu f}}, \quad (1)$$

где ρ – удельное электрическое сопротивление; μ – относительная магнитная проницаемость.

С увеличением частоты тока уменьшается толщина нагреваемого слоя и при неизменной мощности это приводит к ускорению нагрева наплавляемой поверхности, уменьшению продолжительности наплавки и снижению энергоемкости процесса. Поэтому все больше стали применяться генераторы с частотой тока 440 кГц.

Следующее существенное отличие индукционной наплавки состоит в том, что она выполняется при значительно больших температурах нагрева, чем закалка.

В результате многолетних наблюдений, анализа результатов индукционной наплавки различных деталей в условиях промышленного производства и выполненных исследований установлено, что на производительность и качество процесса в основном влияют следующие факторы: отклонение от заданных размеров заготовок; нарушение стабильности установки заготовок относительно ветвей индуктора; термические деформации детали в процессе наплавки; неравномерность толщины слоя шихты и колебания ее химического состава; колебания подводимой к индуктору мощности.

От подводимой мощности зависит продолжительность (скорость) наплавки до полного расплавления всей шихты. Увеличение скорости нагрева повышает производительность труда, но при этом окончание процесса наплавки часто происходит при более высоких температурах, чем при мягких режимах. При жестком режиме большой градиент температуры между верхним и нижним слоями шихты и между отдельными участками наплавляемой поверхности приводит к перегреву участков, где плавление шихты закончилось раньше и, как следствие, к образованию дефектов. Чем больше температура расплава превышает температуру ликвидуса сплава, тем больше расплавляется основной металл. При приближении нагрева к солидусу основного металла наплавляемой детали начинается межкристаллитное проникновение наплавленного твердого сплава, и пограничные объемы стали переходят в жидкую фазу (IV стадия сплавления) [1]. Такой процесс приводит к необратимому увеличению хрупкости наплавленного участка, ударная вязкость снижается в 10...15 раз и не восстанавливается последующей термической обработкой. При этом происходит значительный рост наименее износостойкой доэвтектической зоны, которая в ряде случаев занимает всю толщину наплавленного слоя, что значительно снижает ресурс работы наплавленной детали [1].

Как показали проведенные исследования [2, 3], на стадии плавления шихты необходимо производить снижение выходной мощности генератора. Применение фотопирометров для автоматического регулирования выходной мощности генератора затруднительно, так как наплавляемый участок детали покрыт шихтой, что вносит существенную погрешность в его показания. Регулирование выходной мощности генератора по одной точке

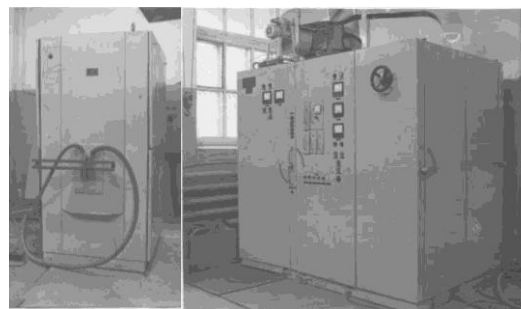
наплавляемой поверхности при больших площадях наплавки не дало положительных результатов.

В связи с этим актуальной стала задача создания специализированных генераторов для индукционной наплавки.

В период освоения электротехнической промышленностью выпуска специализированных генераторов с целью ускорения внедрения результатов исследования в производство было разработано программирующее устройство, позволяющее производить ступенчатое изменение выходной мощности закалочных генераторов типа ВЧГ, применяющихся в промышленности для наплавки.

Программирующее устройство разработано на базе реле времени и позволяет автоматически устанавливать четыре уровня выходной мощности в интервале времени от 0 до 400 с. Регулирование осуществляется за счет анодного напряжения на генераторной лампе. Устройство обеспечивает работу генератора как по исходной схеме, так и в режиме автоматического регулирования выходной мощности.

В результате проведенных экспериментальных исследований режима работы генератора при индукционной наплавке [2-6] были разработаны три специализированных для индукционной наплавки генератора (ВЧГЗ-100/0,44, ВЧГ6-160/0,066, ВЧГ7-160/0,44), которые внесены в номенклатурный перечень высокочастотного, среднечастотного и ультразвукового оборудования. Общий вид генераторов представлен на рисунке 1.



а — генераторный блок; б — блок нагрузочного контура

Указанные генераторы, в отличие от других типов, имеют пылезащиту с замкнутой системой вентиляции. Все три генератора выполнены в виде двух отдельных блоков: гене-

раторного и контурного. Блоки соединены радиочастотным кабелем, позволяющим удалять их друг от друга на 15 м, что дает возможность встраивать нагрузочный контур в состав автоматических линий для наплавки.

Расширены возможности управления генератором от сторонних систем и устройств. Цепи его управления и стабилизации предусматривают следующие режимы работ:

- Режим настройки (ручное управление).
- Режим стабилизации анодного напряжения.

- Режим стабилизации температуры. В этом случае для контроля за температурой детали в качестве датчика обратной связи может быть использован фотопирометр со стандартным выходным сигналом.

- Режим регулирования с помощью встроенного 4х-ступенчатого программатора. В этом же режиме в качестве внешнего программатора могут использоваться микро- или мини-ЭВМ с аналоговым выходом, обеспечивающие разработанный определенный алгоритм регулирования.

Генераторы имеют более широкую возможность согласования с нагрузкой, расширяющую диапазон применяемых нагрузок от 0,2 до 3 мкГн. Помимо традиционного согласования за счет регулятора обратной связи в генераторах реализовано ступенчатое согласование с нагрузкой за счет автотрансформации на первичной стороне высокочастотного трансформатора.

Схемой также предусмотрено дистанционное переключение на двух спайках первичной стороны за счет вакуумных выключателей с бестоковым переключением. Управление коммутацией вакуумных выключателей осуществляется специальным блоком, который обеспечивает переключение при переходе через точку Кюри.

Таким образом, в момент начала потери деталью ферромагнитных свойств возможно кратковременное (до 4 с) форсирование мощности до $1,1 P_n$ выходной мощности генератора за счет изменения автотрансформации, что повышает производительность процесса, а также пересогласование генератора при переходе с «холодного» на «горячий» режим нагрева.

Специализированные генераторы оснащены датчиками основных параметров таких как переменная составляющая анодного напряжения, переменная составляющая сетевого тока, напряжение выпрямителя, постоянная составляющая сетевого тока, ча-

стота, позволяющими полностью контролировать режим работы генератора и в конечном счете оптимизировать весь процесс наплавки.

Данные генераторы предназначены в основном для комплектования автоматизированных линий индукционной наплавки. Это позволяет решить не только вопросы комплексной механизации и автоматизации процесса индукционной наплавки, повышения производительности труда, но и стабильно обеспечить хорошее качество наплавляемых деталей. Специализированные генераторы позволяют экономить 15...20% потребляемой электроэнергии.

Разработанные генераторы можно использовать для реализации технологического процесса наплавки как шаговым, так и непрерывно-последовательным способами. Кроме того, генераторы имеют возможность работать с внешними управляющими устройствами (датчиками, программаторами, управляющими ЭВМ), что значительно расширяет их технологические возможности. В настоящее время специализированные генераторы выпускаются электротехнической промышленностью.

Испытания специализированных генераторов показали, что применение их на заводах сельхозмашиностроения позволяет повысить качество наплавляемых деталей за счет автоматического регулирования тепловложения при наплавке, а в ряде случаев повысить производительность процесса за счет обеспечения возможности групповой наплавки деталей.

При наплавке опытно-промышленной партии долотообразных лемехов на специализированном генераторе ВЧГ7-160/0,44 (частота 440 кГц) установлено, что нагрев упрочняемой поверхности идет более равномерно, чем при наплавке на закалочных генераторах на частоте 66 кГц. Кроме того, наплавка лемехов с автоматическим регулированием температурного режима позволила уменьшить разницу температур на лезвии (тонкой части) и на долоте (толстой части) лемеха и улучшить качество по сравнению с наплавкой без регулирования.

Наплавка лемехов со снижением интенсивности нагрева на стадии плавления шихты позволяет наплавлять слои стабильной толщины и ширины без перегрева наплавляемого металла и заготовки и способствует удалению из наплавленного металла газовых и неметаллических включений (рисунок 2).

Дозэвтектическая и эвтектическая зоны как при наплавке литым сплавом ПГС-27 (рисунок 3, а), так и псевдосплавом ПС-14-80 (рисунок 3, б) развиты очень слабо. На некоторых образцах выявлены отдельные участки с доэвтектической зоной, размер которой не превышает 10% общей толщины наплавки. В то время как допустимым значением считается 30% [1]. Трещин и проникновения наплавленного металла в межзеренное пространство основного металла нет.

Основная же часть имеет наиболее износостойкую мелкодисперсную заэвтектическую структуру, для которой характерно наличие первичных карбидов и карбидной эвтектики.

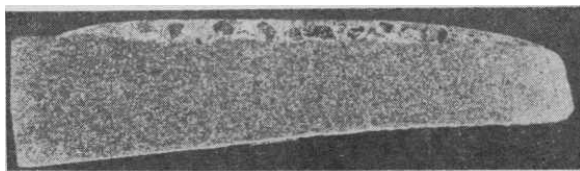
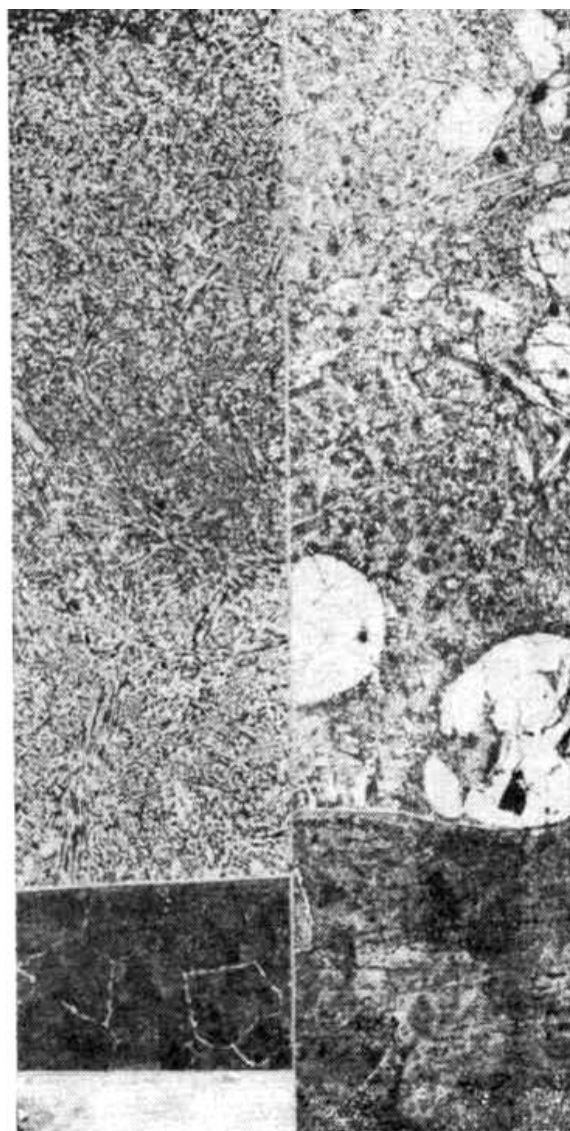


Рисунок 2 – Макроструктура образца лемеха, наплавленного со снижением мощности на стадии плавления присадочного твердого сплава, $\times 3$.

В слое, наплавленном псевдосплавом, присутствуют нерасплавившиеся частицы феррохрома, которые вследствие оплавления имеют глобулярную форму. Такая форма частиц уменьшает вероятность образования трещин в наплавленном металле, что способствует повышению его износостойкости. Оплавление частиц феррохрома увеличивает содержание хрома в расплаве, что также способствует подавлению роста доэвтектической зоны. Металлической основой заэвтектической зоны является легированный твердый раствор типа α и γ . Наличие в заэвтектической зоне мелкодисперсных карбидов $(Cr, Fe)_7C_3$ и особенно частиц феррохрома определяет ее высокую износостойкость.

Одновременно проводилась оценка технологического процесса по его энергоемкости. Установлено, что расход электроэнергии на наплавку долотообразного лемеха при наплавке с регулируемым тепловложением сокращается на 17% (при потребляемой мощности 250 кВт).

Применение программного нагрева, обеспечивающего уменьшение интенсивности нагрева на стадии плавления твердого сплава, позволило автоматизировать процесс наплавки лемехов и получить стабильное качество наплавливаемых деталей.



а) б)
Рисунок 3 – Микроструктура твердого сплава, наплавленного со снижением мощности на стадии плавления, $\times 100$
а) – литой сплав; б) – псевдосплав

Список литературы

1. Ткачев В.Н. Индукционная наплавка твердых сплавов / В.Н. Ткачев, Б.М. Фиштейн, Н.В. Казинцев, Д.А. Алдырев. – М. Машиностроение, 1970. – 182 с.
2. Боль А.А., Тимошенко В.П., Коваль В.Н. Повышение качества индукционной наплавки путем оптимизации и автоматизации нагрева // Изв. СО АН СССР. Сер. Техн. Наук. – 1989. – вып. 2. С.85-90.
3. Тимошенко В.П., Королев Н.В. Индукционная наплавка лемехов с регулируемым тепловложением // Свароч. Пр-во. – 1987. – № 10, С. 22.

ВЫСОКОЧАСТОТНЫЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ИНДУКЦИОННОЙ НАПЛАВКИ

4. Боль А.А., Коваль В.Н., Тимошенко В.П. и др. Оптимизация процесса индукционной наплавки // Изв. СО АН СССР. Сер. Техн. Наук.—1987.— № 10, вып. 2. С.86-9.
5. Боль А.А., Коваль В.Н., Моргун В.В. и др. Специализированные генераторы для индукционной наплавки // Основные направления развития и применения высокоэффективных технологических процессов изготовления деталей и узлов тракторов и сельхозмашин и их упрочнение методами порошковой металлургии: Тез. Докл. Всесоюз. Конф.— Барнаул, 184. С.4.
6. Тимошенко В.П. Разработка экспериментальных устройств для исследования кинетики нагрева деталей и режима работы высокочастотного генератора при индукционной наплавке // Основные направления развития и применения высокоэффективных технологических процессов изготовления деталей и узлов тракторов и сельхозмашин и их упрочнение методами порошковой металлургии: Тез. Докл. Всесоюз. Конф.— Барнаул, 184. С.13-16.