

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ НАГРЕВА НАПЛАВЛЯЕМОЙ ДЕТАЛИ И ШИХТЫ ПРИ ИНДУКЦИОННОЙ НАПЛАВКЕ

В.П. Тимошенко

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

Проведено исследование изменения термического цикла нагрева наплавляемой детали и шихты при индукционной наплавке в зависимости от изменения электрофизических свойств основного металла наплавляемой детали. Исследования проводились с разбивкой термического цикла на три ярко выраженные стадии и изменением интенсивности тепловложения в наплавляемую деталь. На основании проведенных исследований разработаны предложения по рациональному регулированию выходной мощности генератора, позволяющие повысить производительность процесса и качество наплавляемых деталей.

Ключевые слова: индукционная наплавка, технологическое оборудование, высокочастотный генератор, термический цикл, стадии процесса, качество наплавки.

THE STUDY OF THE KINETICS OF HEATING OF THE DEPOSITED DETAILS AND CHARGE FOR INDUCTION SURFACING

V.P. Timoshenko

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

A study of the changes of the thermal cycle of heating of the weld parts and the charge for induction surfacing depending on changes in the electrical properties of the base metal the weld detail. The research was carried out by heat treatment of the cycle into three distinct stages and by changes in the intensity of the heat input in the weld detail. On the basis of the conducted studies, developed proposals for the rational regulation of the generator output, which allows to increase productivity of the process and the quality of the deposited parts.

Keywords: induction welding, technological equipment, vysokaja-frequency generator, thermal cycle, stage of the process, the quality of welding.

Индукционный нагрев для различных видов технологических операций нашел широкое применение в машиностроении. В лабораториях, руководимых В.П. Вологдиным, Г.И. Бабатом, М.Г. Лозинским, К.З. Шепеляковским, И.Н. Кидиным, А.Е. Слухоцким В.Н. Ткачевым, А.А. Болем [1–9] выполнены фундаментальные исследования в этой области, создано необходимое специализированное оборудование, внедрен ряд новых технологических процессов.

Индукционная наплавка рабочих органов почвообрабатывающих машин является наиболее технологичным и производительным процессом по сравнению с другими традиционными методами упрочнения таких деталей. Это явилось причиной быстрого её внедрения и организации массового производства большой номенклатуры деталей. В настоящее время актуален вопрос дальнейшего повышения производительности труда, качества индукционной наплавки и снижения

ее энергоемкости в условиях массового производства.

В этой связи весьма важным является вопрос исследования кинетики нагрева наплавляемой поверхности и шихты в процессе наплавки.

Вследствие того, что работа ТВЧ генератора тесно связана с электрофизическими свойствами наплавляемой детали, то при анализе кинетики нагрева целесообразно рассматривать три стадии:

1. нагрев системы шихта–металл до температуры электромагнитных превращений T_k (точка Кюри);
2. нагрев системы шихта–металл до температуры плавления шихты;
3. нагрев системы шихта–металл–расплав до полного расплавления шихты.

Нагрев образцов осуществлялся генератором ВЧГ2–100/0,66. Повторяемость режима контролировалась по анодному напряжению

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ НАГРЕВА НАПЛАВЛЯЕМОЙ ДЕТАЛИ И ШИХТЫ ПРИ ИНДУКЦИОННОЙ НАПЛАВКЕ

на генераторной лампе. В каждом случае регистрировалась температура нагрева наплавляемой поверхности T_m и поверхности шихты $T_{ш}$. Режимы работы генератора в зависимости от величины вводимой в деталь мощности можно охарактеризовать как мягкий, средний и форсированный. Исследование проводилось с применением двух типов твердых сплавов: порошковая смесь (псевдосплав) ПС-14-60 и литой сплав ПГ-УС25.

В общем случае характер изменения температуры на наплавляемой поверхности одинаков (рисунок 1).

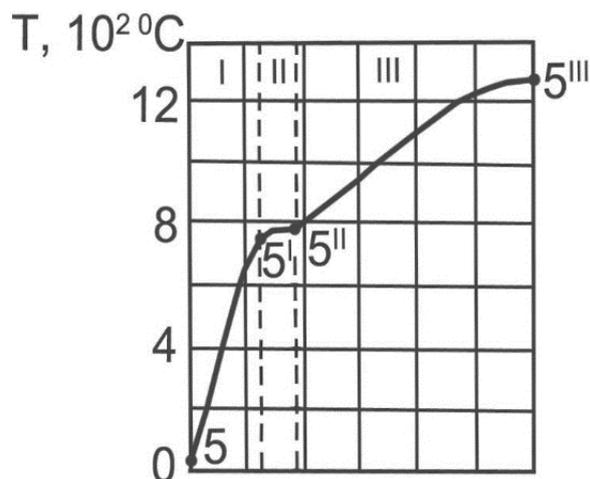


Рисунок 1 – Изменение температуры на упрочняемой поверхности в процессе наплавки; I, II, III – стадии нагрева

При постоянной толщине основного металла на I стадии скорость нагрева на наплавляемой поверхности в основном зависит от количества теплоты, вводимой в деталь. Наибольшее влияние на скорость нагрева на мягких режимах оказывает толщина слоя и тип применяемой шихты. На II и III стадиях толщина слоя шихты оказывает более заметное влияние, качественно не меняя кинетическую кривую нагрева наплавляемой поверхности.

На рисунке 2 представлена зависимость изменения средней скорости нагрева $V_{ср}$ наплавляемой поверхности от толщины слоя шихты на различных стадиях нагрева.

Установлено, что на I стадии у псевдосплава на мягком режиме $V_{ср}$ с увеличением толщины шихты падает и соответственно t_n увеличивается. У литого сплава $V_{ср}$ остается постоянной.

На рисунке 3 – зависимость продолжительности стадий нагрева образца t_n от толщины шихты.

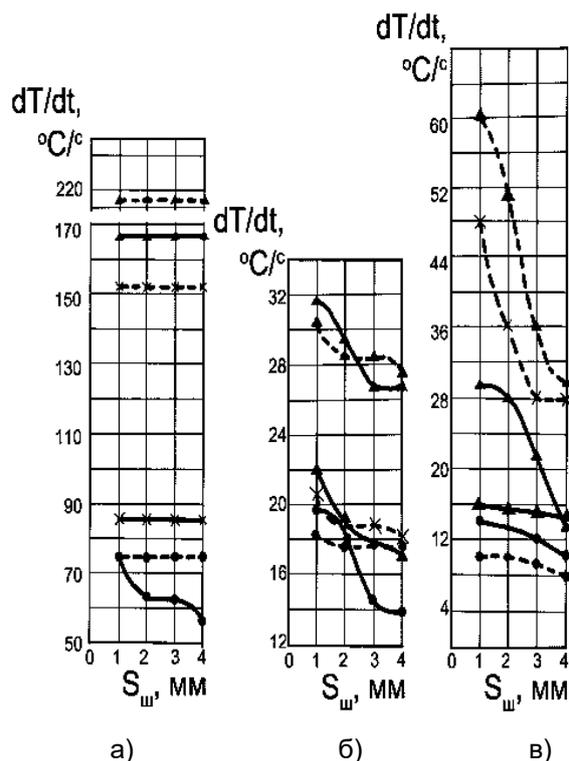


Рисунок 2 - Зависимость изменения скорости нагрева наплавляемой поверхности от толщины шихты на различных стадиях наплавки
 • – мягкий, х – средний, ▲ – форсированный режимы
 ---- - псевдосплав, - · - · - литой сплав, а, б, в – соответственно I, II, III стадии нагрева.

На среднем и форсированном режимах толщина шихты не оказывает влияния на $V_{ср}$ и t_n . При переходе от мягкого режима к форсированному $V_{ср}$ увеличивается, а t_n уменьшается.

II и III стадии нагрева характеризуются резким падением $V_{ср}$ по сравнению с первой стадией, что объясняется потерей магнитных свойств поверхностным слоем образца и, как следствие, снижением к. п. д. индуктора. Для этих стадий, как и для I, характерно увеличение $V_{ср}$ с увеличением интенсивности тепловоголожения. Однако, в отличие от I стадии (мягкий режим) $V_{ср}$ падает с увеличением толщины шихты. Продолжительность стадий имеет соответственно обратную зависимость.

На II стадии $V_{ср}$ у псевдосплава и литого сплава одинакова. Однако продолжительность II стадии в случае применения литого сплава несколько больше. Это объясняется более высокой температурой плавления литых сплавов по сравнению с порошковыми смесями. Поэтому при одинаковой $V_{ср}$ в случае применения литого сплава необходимо

большее время для достижения температуры плавления. На III стадии V_{cp} у псевдосплава остается примерно на том же уровне на всех режимах, что и на II стадии. У литого сплава с увеличением интенсивности нагрева V_{cp} увеличивается более чем вдвое. В свою очередь длительность III стадии у литых сплавов меньше, чем у псевдосплавов. Это объясняется, видимо, различием теплофизических характеристик этих сплавов, которые в настоящее время недостаточно изучены и разной грануляцией.

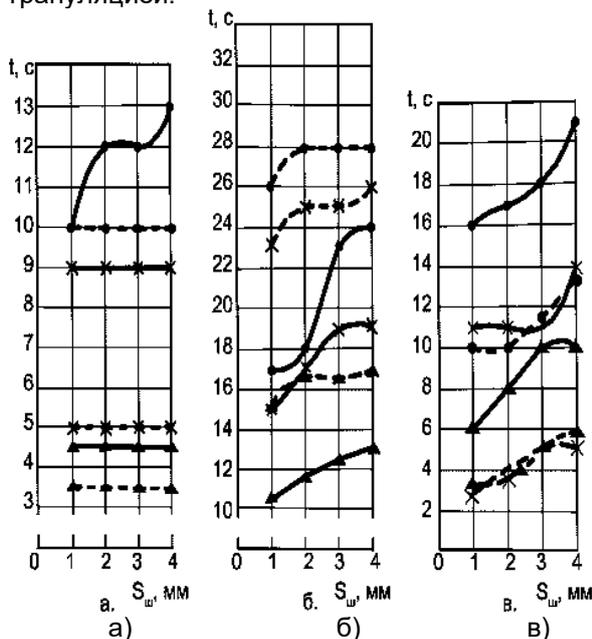


Рисунок 3 – Зависимость продолжительности нагрева образца от толщины слоя шихты на различных стадиях наплавки.

• – мягкий, x – средний, ▲ – форсированный режимы
 --- - псевдосплав, - - - - литой сплав, а, б, в – соответственно I, II, III стадии нагрева

При наплавке на форсированных режимах на III стадии конечная температура нагрева превышает допустимые значения [6]. Особенно это характерно для литых сплавов.

Режим нагрева, тип применяемого сплава и толщина слоя шихты влияет также и на общую продолжительность нагрева (рисунок 4). На мягких режимах у псевдосплавов длительность процесса наплавки в значительной степени зависит от толщины слоя шихты. У литого сплава эта зависимость выражена менее ярко. С увеличением интенсивности нагрева толщина шихты начинает оказывать меньшее влияние на общую продолжительность процесса. На форсированных режимах длительность процесса практически выравнивается.

Важным является вопрос о влиянии скорости нагрева наплавляемой поверхности на разницу температур по толщине слоя шихты. На рисунке 5 представлено изменение разницы температур наплавляемой поверхности T_n и поверхности шихты $T_{ш}$ в процессе наплавки. При изменении толщины слоя шихты и типа применяемого сплава характер кривых качественно не изменяется.

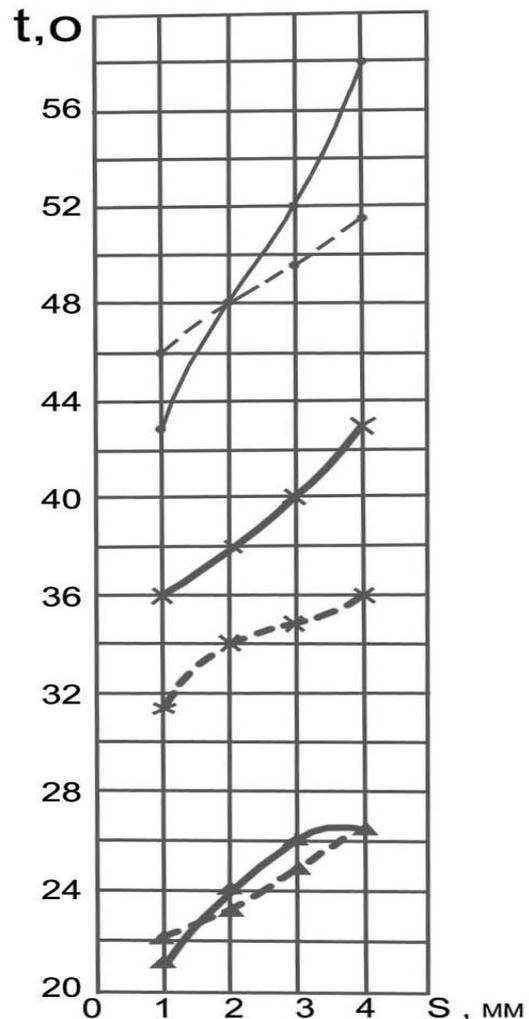


Рисунок 4 – Изменение общей продолжительности нагрева в зависимости от толщины шихты и режима наплавки

• – мягкий, x – средний, ▲ – форсированный режимы.

--- - псевдосплав, - - - - литой сплав

На I стадии, когда все компоненты шихты, обладающие низкой тепло- и электропроводностью, находятся в твердом состоянии разность температур $\Delta T = T_m - T_{ш}$ по толщине слоя шихты непрерывно возрастает и в конце до-

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ НАГРЕВА НАПЛАВЛЯЕМОЙ ДЕТАЛИ И ШИХТЫ ПРИ ИНДУКЦИОННОЙ НАПЛАВКЕ

стигает своего максимального значения. Величина ΔT в основном зависит от толщины шихты и в значительно меньшей мере от величины удельной мощности, вводимой в деталь. Из этого можно сделать вывод, что с целью увеличения производительности процесса нагрев на I стадии необходимо производить с высокой скоростью (170...220 °C/c).

На II стадии интенсивность нагрева наплавляемой поверхности уменьшается, а шихты повышается за счет увеличения тепло- и температуропроводности, связанных с образованием жидкой ванны флюса и улучшением электрического контакта между частичками твердого сплава. Поэтому происходит постепенное уменьшение ΔT .

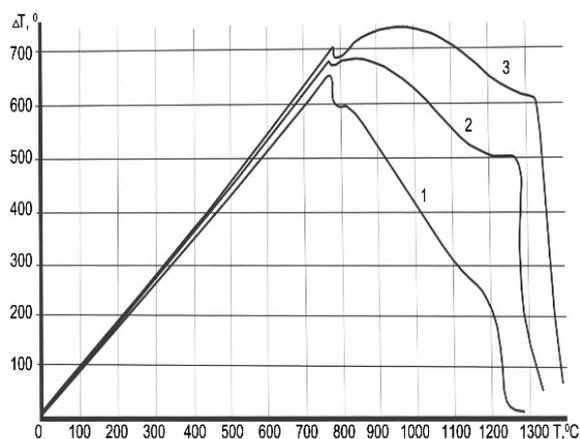


Рисунок 5 – Изменение разницы температур по толщине шихты:
1 – мягкий, 2 – средний, 3 – форсированный режимы нагрева

Однако к концу II стадии особенно при нагреве на форсированных режимах ΔT остается достаточно большим, что особенно ярко выражено при больших толщинах шихты.

В период плавления твердого сплава (III стадия) толщина слоя за счет проседания шихты уменьшается. На поверхности подложки образуется сплошной слой расплавленного металла. Вследствие эффекта близости происходит перераспределение индуцируемого в детали тока. Верхняя граница ξ слоя, в котором образуются вихревые токи, движется за фронтом расплава. Увеличивается доля теплоты, выделяющейся непосредственно в расплаве. Происходит интенсивное плавление твердого сплава.

Если скорость нагрева подложки относительно высока (30...60 °C/c), то при больших ΔT за время плавления шихты происходит пе-

регрев зоны сплавления до температур, близких к солидусу основного металла, что недопустимо.

Анализ длительности стадий нагрева показал, что наиболее продолжительной является II стадия нагрева. Длительность этой стадии в целом определяет продолжительность процесса наплавки. С точки зрения энергоемкости и производительности такой процесс невыгоден, так как примерно 80% общего времени нагрева генератор работает с низким к. п. д.

Проведенные исследования по увеличению скорости нагрева на II самой продолжительной стадии [7] показали, что за счет увеличения выходной мощности генератора, которого можно достигнуть за счет пересогласования [3] генератора с нагрузкой производительность процесса увеличивается на 20...30%. Однако повышение скорости нагрева на II стадии, как и при наплавке на форсированных режимах, сдвигает температуру окончания процесса в область высоких температур (1400...1450 °C), что недопустимо.

Для исключения возможности перегрева тепловложение в деталь на третьей стадии необходимо регулировать с целью поддержания заданной конечной температуры нагрева в допустимом температурном интервале, что способствует преимущественному формированию в наплавленном слое наиболее износостойкой заэвтектической структуры.

Вопрос о выборе режима нагрева является важной технологической задачей и требует индивидуального решения для каждого вида наплавляемых изделий.

Список литературы

1. Вологдин В.П. Поверхностная закалка индукционным способом.- М.- Л.: Металлургиздат, 1969.
2. Шепеляковский К.З. Упрочнение деталей машин поверхностной закалкой при индукционном нагреве.- М.: Машиностроение, 1972.
3. Бабат Г.И. Индукционный нагрев металлов и его промышленное применение.- М. – Л.: Энергия, 1965.
4. Кидин И.Н. Физические основы электротермической обработки металлов и сплавов. – М.: Машиностроение, 1969.
5. Слухоцкий А.Е., Рыскин С.Н. Индукторы для индукционного нагрева.- Л.: Энергия, 1974.
6. Ткачев В.Н., Фиштейн Б.М. Смолт М.С. Выбор оптимальных режимов индукционной

- наплавки // Сварочное производство.- 1970.-№ 3.- С.38-39.
7. Боль А.А. Оптимизация процесса индукционной наплавки / А.А. Боль, В.Н. Коваль, В.П. Тимошенко, С.П. Лесков, В.П. Шерышев.– Изв. СО АН СССР. сер. Технические наук, № 109, вып. 2, 1985, С. 86–92.
 8. Тимошенко В.П. Разработка технологии индукционной наплавки с регулируемым тепловложением. - Автореф. дисс. ... к.т.н. 05.03.06.- Барнаул, 1989.- 26 с.
 9. Боль А.А. Повышение качества индукционной наплавки путем оптимизации и автоматизации нагрева/ А.А. Боль, В.П. Тимошенко, В.Н. Коваль. – Изв. СО АН СССР. Сер. Технологических наук, вып. 1, 1989. – С. 85-90.
 10. Радченко М.В. Комплексные исследования процесса формирования упрочняющих и защитных покрытий.- Автореф. дисс. ... д.т.н. 05.03.01, 05.03.06.- Новосибирск, 1993.- 35 с.
 11. Радченко Т.Б. Комбинированные электро-технологии нанесения защитных покрытий и разработка систем управления их качеством. - Автореф. дисс. ... д.т.н. 05.09.10.- Новосибирск, 2000.- 37 с.
 12. Киселёв В.С. Повышение износостойкости наплавленных покрытий путём выбора рациональных технологических параметров на основе диагностики сверхзвуковых газопорошковых струй.- Автореф. дисс. ...к.т.н. 05.03.06.- Барнаул, 2010.- 21 с.
 13. Киселев В.С., Технологические аспекты управления процессом сверхзвуковой газопорошковой наплавки/М.В. Радченко, Н.Н. Палаткин, Т.Б. Радченко // Вестник Алтайской науки, 2013. - № 2-2/2013.-С. 227-230.
 14. Радченко М.В., Анализ основных технологических параметров комбинированных способов создания защитных покрытий на деталях сельхозмашин/ М.В. Радченко, Т.Б. Радченко, Ю.О. Шевцов, В.Г. Радченко, О.И. Хомутов, С.Г. Уварова, В.С. Киселёв // Ползуновский вестник, 2011.- № 2/2.- С. 244-250.
 15. Радченко В.Г., Исследование термоциклов при сверхзвуковой газопорошковой наплавке износостойких покрытий/ В.Г. Радченко, Радченко Т.Б., В.П. Тимошенко, С.Г. Уварова, В.С. Киселёв, Радченко М.В. //Сварка и диагностика, 2011. - №2. – С. 29-32.

Тимошенко Владимир Петрович,
к.т.н., доцент кафедры «Малый бизнес в сварочном производстве» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И.И. Ползунова, e-mail: timvlad53@mail.ru.
Тел. +7(3852) 29 07 65.