

ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ИНДУКЦИОННОЙ НАПЛАВКИ ТОНКИХ СТАЛЬНЫХ ДИСКОВ

Ч.В. ПУЛЬКА, О.Н. ШАБЛИЙ, В.Н. БАРАНОВСКИЙ, В.С. СЕНЧИШИН, В.Я. ГАВРИЛЮК

Тернополь. нац. техн. ун-т им. И. Пулюя. 46001, г. Тернополь, ул. Русская, 56. E-mail: v_gavryliuk@mail.ru

Рассмотрены существующие технологические схемы индукционной наплавки рабочих органов сельскохозяйственных машин. Наилучшие результаты обеспечивает непрерывная индукционная наплавка с использованием кольцевого двухвиткового индуктора, теплового и электромагнитного экранов, горизонтальной вибрации и вращения наплавляемой детали. Применение разработанных технологических схем и оборудования для индукционной наплавки тонких дисков позволяет повысить производительность труда, экономить электроэнергию, улучшить микроструктуру, повысить износостойкость и стабильность толщины наплавленного слоя, а также снизить остаточные напряжения и деформации дисков. Библиогр. 16, рис. 6.

Ключевые слова: индукционная наплавка, наплавочные материалы, технология наплавки, двухвитковый индуктор, тепловой и электромагнитный экран

В основе индукционной наплавки лежит нагрев и расплавление присадочного материала под действием токов высокой частоты [1–3]. Этот процесс является наиболее технологичным для некоторых типов деталей по причине несложного оборудования, простоте самого процесса наплавки и, как следствие, отсутствия необходимости в высокой квалификации наплавщиков. Наибольшее распространение индукционная наплавка получила, в частности, при наплавке рабочих органов сельскохозяйственных и дорожных машин и в некоторых других отраслях народного хозяйства (рис. 1).

С учетом роста потребностей производства способ индукционной наплавки постоянно совершенствуется в следующих направлениях: повышение производительности процесса и износостойкости наплавленного металла, оптимизация режимов индукционного нагрева, совершенствование конструкции индукторов и систем экономии энергии при наплавке дисков произвольных диаметров и размеров зоны наплавки.

Целью данной работы является анализ результатов научных исследований по вышеуказанным направлениям, совершенствование процесса индукционной наплавки на примере тонких фасонных дисков ножей-ботворезов (рис. 1, е).

На производстве при упрочнении ножей-ботворезов, которые имеют сплошную режущую кромку, используют непрерывно-последовательную наплавку с

помощью сегментного индуктора (рис. 2, а). При этом индуктор крепится неподвижно к высокочастотному генератору, а наплавляемая деталь вращается относительно индуктора.

Преимуществами этого способа являются технологическая гибкость и возможность произво-

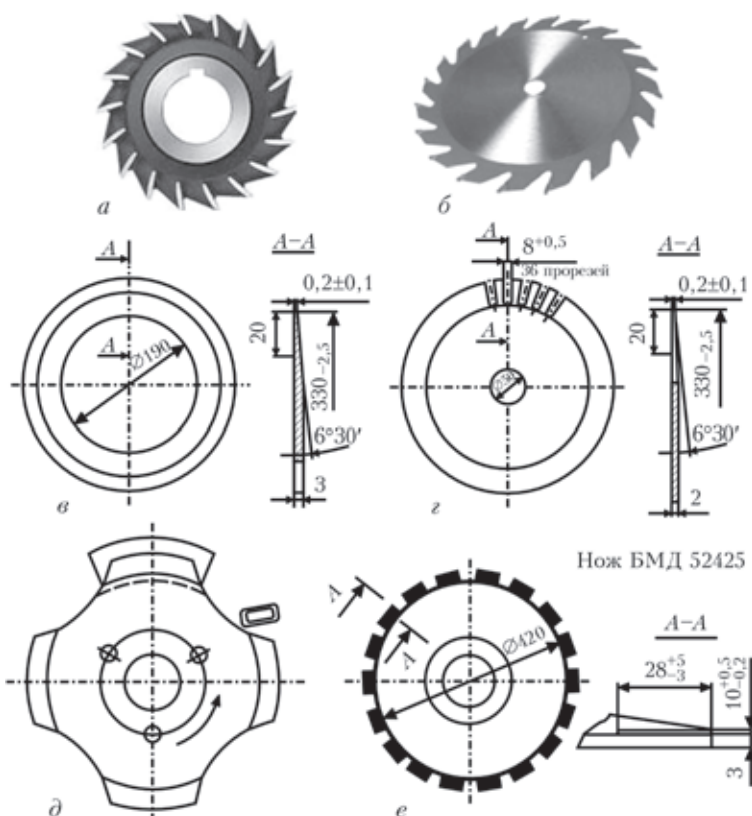


Рис. 1. Тонкие диски, подлежащие наплавке: а — дисковая фреза; б — дисковая пила; в, г — соответственно не приводной и приводной диски для резки шифера; д — нож для среза подсолнуха; е — нож-ботворез БМД 52425

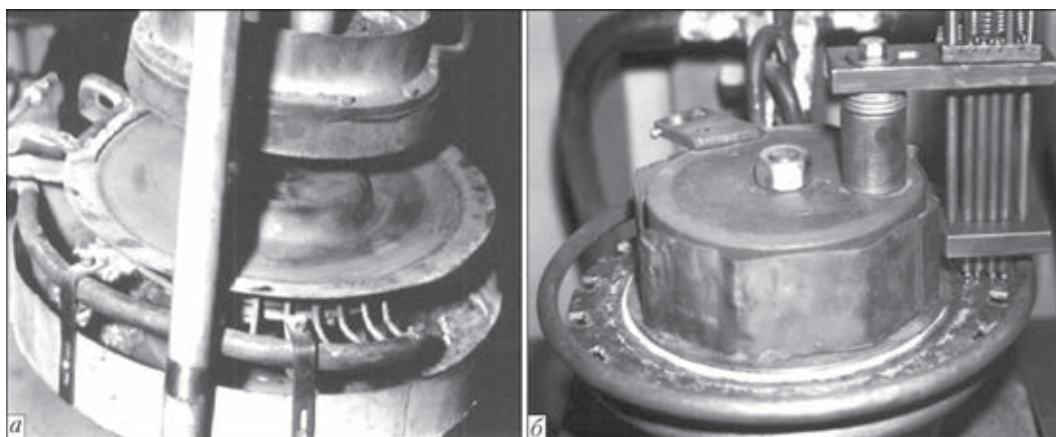


Рис. 2. Устройства для наплавки цельноштампованного сплошного ножа с помощью сегментного индуктора (а) и ножей-ботворезов зубчатой формы в двухвитковом кольцевом индукторе (б) [3]

дить наплавку деталей различных диаметров при относительно небольшой мощности. Однако эта технология имеет сравнительно низкую производительность и большую энергоемкость. Кроме того, в процессе наплавки деталь может деформироваться, что сказывается на стабильности толщины наплавленного слоя, а для устранения деформации диска необходима дополнительная операция рихтовки.

Для повышения производительности наплавки ножей-ботворезов зубчатой формы (рис. 2, б) предложена технология одновременной индукционной наплавки по всей рабочей поверхности с

шириной наплавки больше высоты зуба с использованием двухвиткового индуктора. В результате в четыре-пять раз увеличилась производительность наплавки.

В двухвитковом кольцевом индукторе ветки соединены между собой и с генератором в противофазе по току и магнитному потоку. При помощи такого соединения обеспечивается формирование электромагнитного поля только в зоне наплавки и равномерность распределения температуры на поверхности диска, где плавится шихта. Однако эта технология требует значительных затрат электроэнергии.

С целью экономии электроэнергии проведена оптимизация режимов подвода мощности к индуктору [4]. Показано, что одновременную наплавку дисков по всей рабочей поверхности можно производить как на постоянной удельной мощности за определенное время, так и при изменении ее по экспоненциальному закону (энергосберегающему режиму). При этом достигается экономия 15...25 % электроэнергии в зависимости от использованных наплавочных материалов. Так, например, при наплавке порошком сормайт ПГ-С1 экономия электроэнергии составляет 15 %, а при наплавке порошком ПГ-АН9 — 23 %.

В работе [5] была предложена методика расчета двухвиткового кольцевого индуктора, который обеспечивает реализацию метода одновременной наплавки тонких фасонных дисков зубчатой формы по всей рабочей поверхности по энергосберегающему режиму. Недостатком этой технологии является то, что ее можно использовать только для определенного диаметра дисков и ширины зоны наплавки. На практике бывают случаи, когда диаметры дисков и ширина зоны наплавки изменяются. Для этого нужно подбирать другие конструкции индукторов или специальных экранов, что связано с большими материальными и трудовыми затратами.

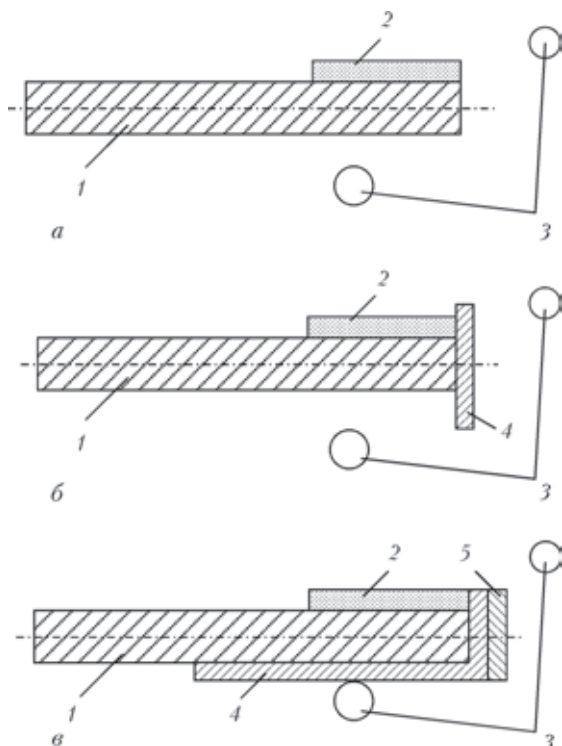


Рис. 3. Схемы расположения индукторов и специальных экранов при индукционной наплавке: а — традиционная схема; б — индуктор и электромагнитный экран; в — индуктор, тепловой и электромагнитный экраны (ИТЭЭ); 1 — деталь; 2 — шихта; 3 — кольцевой двухвитковый индуктор; 4 — тепловой экран; 5 — электромагнитный экран

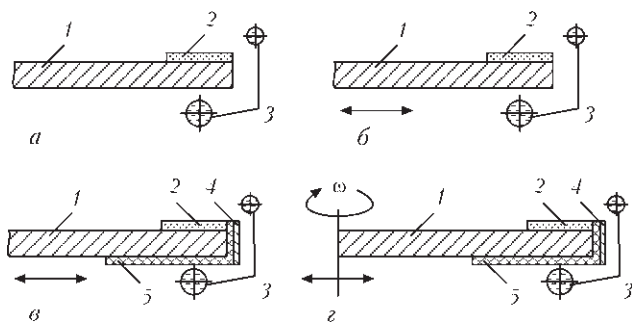


Рис. 4. Схемы индукционной наплавки, используемые при проведении исследований: *а* — без вибрации наплавляемой детали; *б* — с горизонтальной вибрацией наплавляемой детали; *в* — с горизонтальной вибрацией наплавляемой детали с использованием теплового и электромагнитного экранов; *г* — то же, но с дополнительным вращением наплавляемой детали; 1 — деталь; 2 — наплав-ленный слой; 3 — двухвитковый кольцевой индуктор; 4, 5 — соответственно электромагнитный и тепловой экраны. Стрелками показано направление приложения вибрации и вращения диска относительно вертикальной оси

Были проведены исследования и расчеты размеров индукторов и специальных экранов для различных случаев использования этих систем: при использовании только индуктора (рис. 3, *а*); индуктора и электромагнитного экрана (рис. 3, *б*); индуктора, теплового и электромагнитного экранов (рис. 3, *в*) [6–8].

В результате исследований получены данные, позволяющие определять размеры индукторов и экранов, а также ток для наплавки дисков зубчатой формы произвольных диаметров и размеров зоны наплавки: диаметры дисков 210...420 мм толщиной 2...6 мм, шириной и толщиной наплавленного слоя соответственно 10...50 и 1,0...1,5 мм.

Таким образом, при использовании той или иной нагревательной системы индукционной наплавки (рис. 3, *а–в*) инженер-технолог по заданному диаметру диска, ширине и толщине наплавленного слоя подбирает графически или по таблицам необходимые данные. Например, для первой схемы (рис. 3, *а*) необходимо ввести семь параметров по конструкции индуктора и его расположению

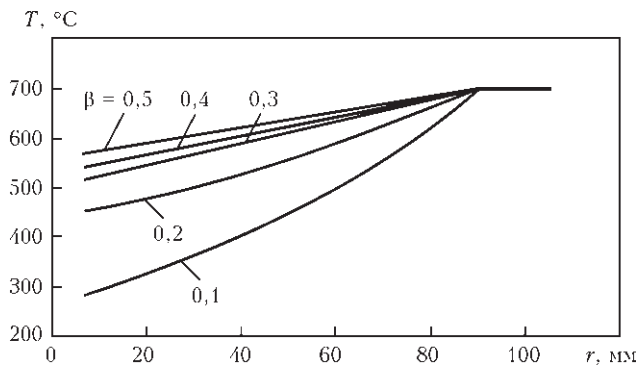


Рис. 5. Распределение температуры по радиусу диска в момент начала деформации системы основной металл–наплав-ленный металл как упругое тело при различных значениях коэффициента градиентности β

относительно детали, что сокращает сроки и материальные затраты на проведение экспериментов и внедрение новой технологии.

В частности, предложенная авторами технология (рис. 3, *в*) позволяет дополнительно экономить 12...14 % электроэнергии, повысить стабильность толщины слоя наплавленного металла на 10...15 % и сократить время наплавки диска с 32 до 22 с [9].

В дальнейшем для повышения износостойкости наплавленного металла было предложено ввести дополнительные технологические операции в процесс индукционной наплавки (рис. 4, *а–г*). При этом, учитывая небольшую толщину плоских дисков, большое внимание уделено остаточным напряжениям, деформациям и перемещениям, которые возникают после наплавки в зоне рабочей поверхности, имеющей разную ширину [10–13].

В работе [11] представлены результаты исследования влияния дополнительных технологических схем индукционной наплавки на стабильность толщины наплавленного слоя по четырем схемам. При наплавке по схеме рис. 4, *г* в поле допуска попадает 90 % замеров толщин наплавленного слоя, что на 22 % выше, чем при наплавке по схеме рис. 4, *а*. В этом случае более равномерная

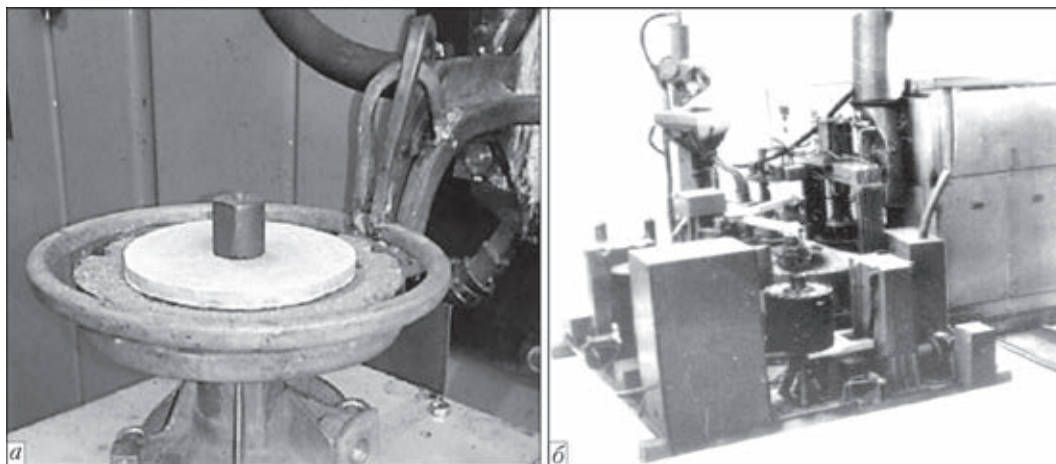


Рис. 6. Узел наплавки (*а*) и промышленная автоматическая поточная линия для наплавки ножей-ботворезов (*б*)

толщина наплавленного слоя достигается за счет совместного использования горизонтальной вибрации, тепловых и электромагнитных экранов, а также центробежных сил, обеспечивающих равномерное распределение жидкого металла в зоне наплавки.

В этих же работах показано, что максимальные остаточные напряжения σ_2 возникают в наплавленном слое непосредственно у границы его соединения с основным металлом. На границе с ненаплавленной зоной $\sigma_2 = 0,54\sigma_B$ при временном сопротивлении сормайт-1 σ_B около 150 МПа [13].

Разработанная технология (рис. 4, з) позволяет производить нагрев с низким уровнем градиентности температуры по радиусу диска (рис. 5). При горизонтальной и вертикальной вибрации детали с соответствующей амплитудой и частотой непосредственно в процессе наплавки удается оптимизировать микроструктуру наплавленного металла и повысить износостойкость наплавленного слоя типа сормайт-1 (порошок ПГ-С1) примерно в 1,5 раза.

Для реализации разработанных технологий создана промышленная автоматическая поточная линия для наплавки ножей-ботворезов (рис. 6, а, б) [14–16].

Для индукционной наплавки использовали высокочастотные генераторы типа ВЧИ 63/0,44, ВЧГ6-60/0,44, ВЧГ9-60/0,44 мощностью 60 кВт и частотой 440 кГц, так как толщина основного металла составляет 2...6 мм. В качестве наплавочного материала использовали шихту, состоящую из смеси порошка сормайт-1 ПГ-С1 и флюса.

Вывод

Применение разработанных технологических схем и оборудования для индукционной наплавки тонких дисков позволяет повысить производительность труда, экономить электроэнергию, улучшить микроструктуру, повысить износостойкость и стабильность толщины наплавленного слоя, а также снизить остаточные напряжения и деформации дисков.

1. *Ткачев В.Н.* Износ и повышение долговечности деталей сельскохозяйственных машин. – М.: Машиностроение, 1971. – 264 с.
2. *Рябцев И.А., Сенченков И.К.* Теория и практика наплавочных работ. – Киев: ЭкоТехнологія, 2013. – 400 с.
3. *Пулька Ч.В.* Технологічна та енергетична ефективність індукційного наплавлення тонких сталевих дисків: Дис. ... д-ра техн. наук: 05.03.06. – Киев, 2006. – 368 с.
4. *Шаблій О.Н., Пулька Ч.В., Будзан Б.П.* Оптимізація енергозатрат при індукційній наплавці тонкостінних дисків // Автомат. сварка. – 1987. – № 1. – С. 36–39.
5. *Шаблій О.Н., Пулька Ч.В., Будзан Б.П.* Пути економії електроенергії при індукційній наплавці тонкостінних дисків // Там же. – 1988. – № 12. – С. 56–58.
6. *Шаблій О.Н., Пулька Ч.В., Письменний А.С.* Оптимізація конструктивних параметрів індуктора для індукційної наплавки тонких сталевих дисків // Там же. – 1997. – № 6. – С. 17–20.
7. *Шаблій О.Н., Пулька Ч.В., Письменний А.С.* Оптимізація параметрів індуктора для рівномірного нагріву дисків по ширині зони наплавки з урахуванням екранування // Там же. – 2002. – № 11. – С. 24–26.
8. *Шаблій О.Н., Пулька Ч.В., Письменний А.С.* Оптимізація індукційної наплавки тонких дисків з урахуванням теплового і електромагнітного екранування // Там же. – 2003. – № 9. – С. 22–25.
9. *Пулька Ч.В., Шаблій О.Н., Письменний А.С.* Вплив режимів індукційної наплавки на структуру і властивості наплавленого металу // Там же. – 2004. – № 10. – С. 19–21.
10. *Влияние вибраций детали в процессе наплавки на структуру и свойства металла / Ч.В. Пулька, О.М. Шаблій, В.С. Сенчишин и др.* // Там же. – № 1. – 2012. – С. 27–29.
11. *Влияние технологических схем индукционной наплавки на стабильность толщины наплавленного слоя / Ч.В. Пулька, В.С. Сенчишин, В.Я. Гаврилюк, М.С. Базар* // Там же. – 2013. – № 4. – С. 65–67.
12. *Остаточные перемещения тонких сталевых дисков при индукционной наплавке износостойкими порошкообразными твердыми сплавами / О.Н. Шаблій, Ч.В. Пулька, А.С. Письменний, В.М. Михайлишин* // Там же. – 1999. – № 9. – С. 55–57.
13. *Математичне моделювання виникнення залишкових напружень, деформацій та переміщень при індукційному наплавленні тонких сталевих дисків / О.М. Шаблій, М.С. Михайлишин, В.М. Михайлишин, Ч.В. Пулька* // Вісник Тернопіль. держ. техн. ун-ту ім. І. Пулюя. – 1998. – 3, № 4. – С. 5–12.
14. *Шаблій О.Н., Пулька Ч.В.* Технология и оборудование для индукционной наплавки тонких фасонных дисков // Автомат.сварка. – 1994. – № 5-6. – С. 48–50.
15. *Пулька Ч.В., Гаврилюк В.Я., Сенчишин В.С.* Совершенствование оборудования и технологии индукционной наплавки // Свароч. пр-во. – 2013. – № 4. – С. 27–30.
16. *Пат. 94727 UA, МПК В23К 13/00.* Автоматична поточкова лінія для наплавлення тонких дисків / Ч.В. Пулька, В.Я. Гаврилюк, В.С. Сенчишин, М.В. Шарик; заявник і власник Тернопіль. нац. техн. ун-т ім. І. Пулюя. – Опубл. 25.11.2014, Бюл. № 22.

Поступила в редакцию 12.03.2015

Порошковые ленты

В ИЭС разработана широкая номенклатура порошковых лент для износостойкой наплавки, а также технология и оборудование для их производства. Предлагается два типоразмера лент сечением 16,5×4,0 и 10,0×3,0 мм.

