

УДК 621.791.927.7

**О. Шаблій, докт. фіз.-мат. наук; Ч. Пулька, докт. техн. наук;
О. Король; В. Сенчишин**

Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя

ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРИСТОСУВАННЯ ДЛЯ ІНДУКЦІЙНОГО НАПЛАВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН

Резюме. Розглянуто і проаналізовано існуючі конструкції пристосувань для індукційного наплавлення тонких плоских деталей, у тому числі фасонних дисків, а також описано нові конструкції пристосувань і нагрівальні системи для індукційного наплавлення тонких сталевих дисків зубчатої форми, які розробили автори для зменшення енергоємності, підвищення продуктивності процесу наплавлення і якості наплавлюваного металу.

Ключові слова: індукційне наплавлення, технологічні пристосування, нагрівальні системи, індуктори, тонкі плоскі деталі, диски, технологічна і енергетична ефективність наплавлення, сталеві та феритні магнітопроводи, електромагнітне і теплове екранування, дослідження.

O. Shabliy, Ch. Pulka, O. Korol, V. Senchushun

TECHNOLOGICAL ADAPTATIONS FOR INDUCTION OF DETAILS OF AGRICULTURAL MACHINES

The summary. In this work it is considered and analysed the existent constructions of adaptations for induction of thin flat details, in that number of the shaped disks, and also the described new constructions of and systems for induction of thin steel disks of toothed form, which are developed by authors with the purpose of diminishing of increase of productivity of process of and qualities of metal.

Key words: induction, technological adaptations, systems, inductors, thin flat details, disks, technological and power efficiency of steel and electromagnetic and thermal screening research.

Вступ. У різних галузях народного господарства, а також й у сільськогосподарській техніці, використовують робочі органи у вигляді тонких плоских деталей, в тому числі тонкі фасонні диски із зубчатою і суцільною робочою поверхнею [1-6]. Для підвищення стійкості проти спрацювання робочі поверхні наплавляють порошкоподібними твердими сплавами (шихтою) за допомогою струмів високої частоти. При цьому товщина наплавлюваного металу відповідно 0,3...2,5 мм. Для наплавлення використовують відповідне обладнання: генератори, пристосування для закріплення деталей, засипання шихти, механізми для завантаження і розвантаження деталей до і після наплавлення, а також індуктори.

Особливі вимоги до конструкцій технологічних пристосувань (індукторів нагрівальних систем), які впливають на енергоємність, продуктивність процесу і якість наплавлюваного металу, їх підбирають здебільшого експериментально – окремо для кожної нової конструкції деталі.

Потужність теплових джерел у зоні наплавлення можна регулювати, як зазначено в роботах [1-6], вибравши конструкції індукторів, їхні розміри та відстані до деталі. Але в деяких випадках, залежно від конфігурації поверхні, яка підлягає наплавленню, регулювати потужність по ширині зони наплавлення лише конструкцією індуктора дуже складно. Для цього необхідно розробляти інші методи (пристосування) для нагрівання (нагрівальні системи), за допомогою яких можна регулювати електромагнітне поле (потужність) у зоні наплавлення.

Метою роботи є аналіз існуючих конструкцій технологічних пристосувань (індукторів) і розроблення нових конструкцій і нагрівальних систем, щоб підвищити продуктивність процесу, економію електроенергії та якість наплавленого металу.

Розглянемо спочатку існуючі конструкції індукторів для індукційного наплавлення і термооброблення тонких плоских деталей, у тому числі й дисків.

У даний час є багато різних конструкцій індукторів, які використовують для нагрівання деталей у процесі гартування або наплавлення [1, 2]. Тим не менше, постійно змінюється і збільшується номенклатура наплавлюваних деталей, неперервне вдосконалення процесу вимагає чіткого підбору або розроблення спеціальних індукторів. Розміри і форма індукторів, які використовують при індукційному наплавленні різних деталей, а також параметри режиму для кожної конкретної деталі підбирають, як зазначено вище, дослідно-експериментальним шляхом.

Основна робоча частота струму, при якій наплавляють тонкі плоскі деталі, зокрема диски товщиною 2...6 мм, індукційним способом – 440 кГц, а для більшої товщини основного металу – відповідно 70 кГц.

Різні види індукторів для наплавлення тонких плоских деталей, в тому числі й дисків, зображено на рис.1 (а-д).

На рис.1а – петлевий одновитковий індуктор для одночасного наплавлення одного леза стрільчатих лап культиваторів при частоті струму 70 кГц. Для підвищення нагрівання на дільниці леза, яка має товщину 1,2 мм, верхня вітка індуктора зміщена відносно нижньої на 6 мм. Носову частину лапи роблять товстішою, тому на дільниці для наплавлення носової частини збільшена відстань і немає зміщення віток. Базовою поверхнею для фіксування деталей в індукторі служить азбоцементна плита.

На рис.1б зображено петлевий індуктор для наплавлення плужних лемехів одночасним способом. Кільцеве розширення служить для вирівнювання електромагнітного поля у полевого обрізу лемеха і спрощення регулювання індуктора.

Прохідний індуктор (рис.1в) призначений для наплавлення плужних долотоподібних лемехів на механізованих установках.

Тривитковий овальний індуктор (рис.1г) призначений для неперервно-послідовного наплавлення лопаток мельних вентиляторів; кільцевий одновитковий (рис.1д) – для наплавлення різальних кромки дисків лушпильників.

На рис.2 зображено конструкції індукторів для паяння дискових фрез, з допомогою яких досягаємо необхідного розподілу електромагнітного поля у зоні паяння [2]. Для загартування і наплавлення плоских робочих поверхонь використовують одно- і багатовиткові індуктори, витки яких розташовані в одній площині (див.рис.3 а-г) [3].

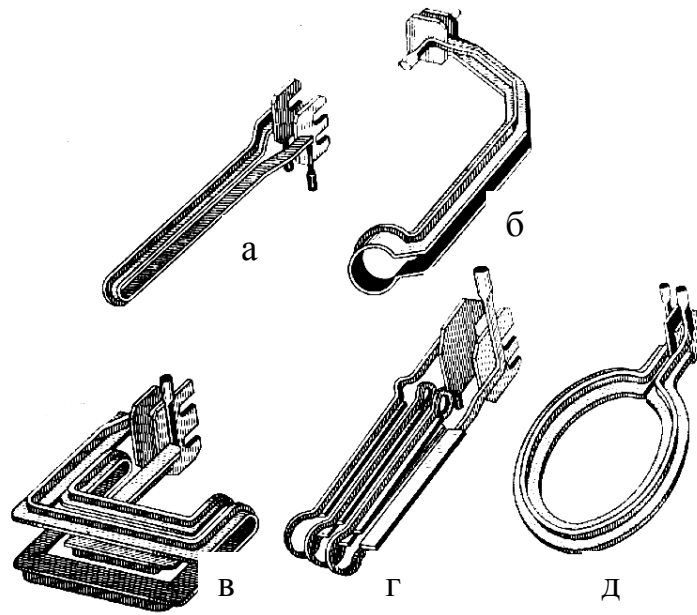


Рисунок 1 – Індуктори для наплавлення тонких плоских деталей машин [1]

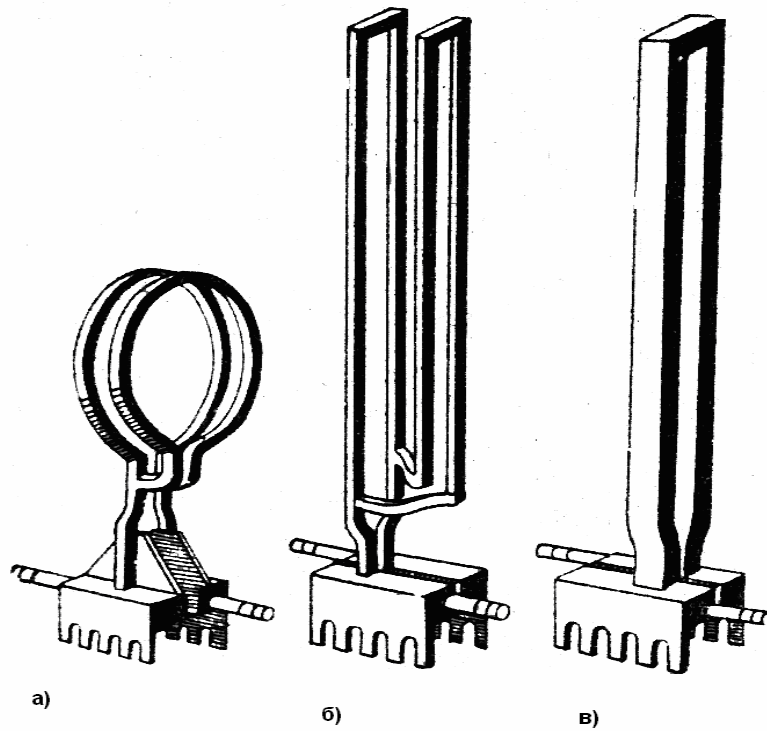


Рисунок 2 – Індуктори для паяння твердосплавних дискових фрез [2]:
а – з двома витками, з'єднаними паралельно; б – прямокутний з перевернутим паралельним витком (струми в провідниках направлені зустрічно); в – петлевий

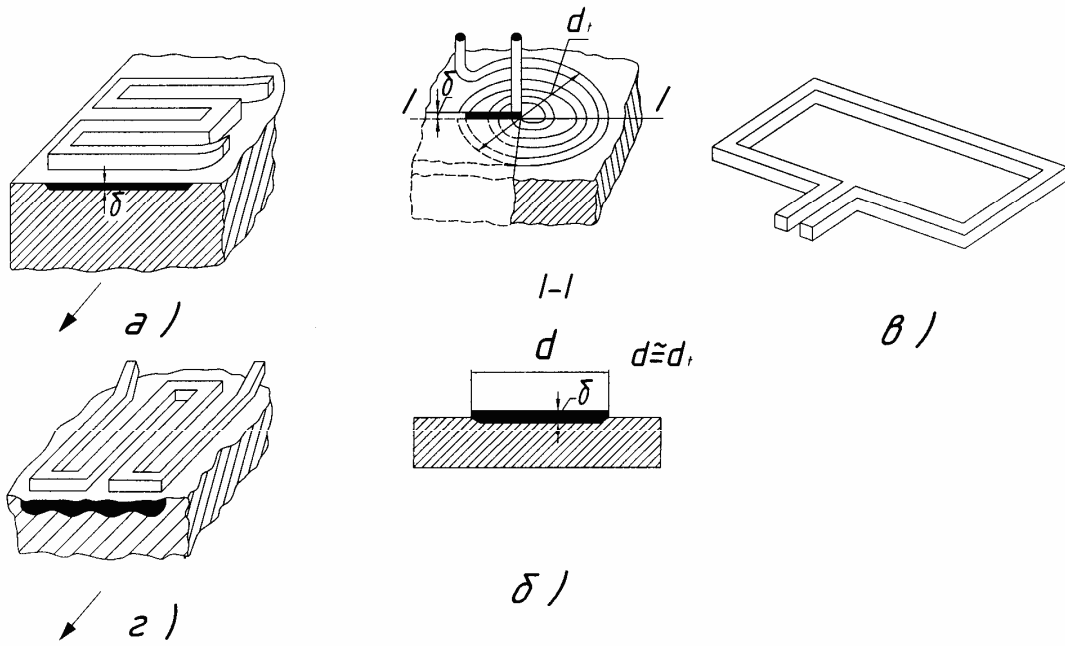


Рисунок 3 – Індуктори для нагрівання тонких плоских деталей [3]:
а, в, г – неперервно-послідовного нагрівання; б – одночасного нагрівання

Аналіз вищеописаних конструкцій індукторів показав, що вони мають низький ККД через низький ступінь зв'язку електромагнітного поля індуктора і деталі. Крім цього, у деяких випадках через складність геометричної форми поверхні, а також враховуючи можливість автоматизації технологічного процесу наплавлення, регулювати потужність у зоні наплавлення лише конструкцією індуктора (електромагнітним полем) недостатньо або досить складно.

Для зменшення втрат потужності, унаслідок обмеження розсіювання електромагнітного поля і підвищення його концентрації у зоні наплавлення, також використовують магнітопроводи, застосування яких, при накладанні на активні частини індуктора з одного або двох боків, дозволяє концентрувати електромагнітне поле на заданій ділянці наплавлюваної деталі.

Магнітопроводи виготовляють з листів трансформаторної сталі або з феритів. Переріз індукційного проводу з магнітопроводом, виготовленим із трансформаторної сталі, зображено на рис.4. Магнітопровід сприяє підвищенню концентрації магнітного поля індуктора на боці, поверненому до деталі.

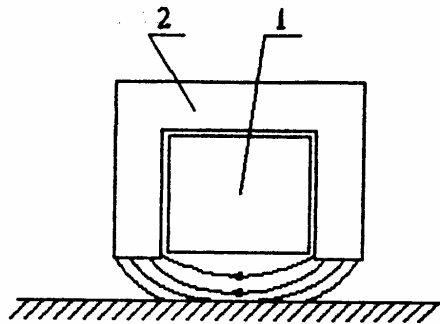


Рисунок 4 – Переріз індукційного проводу з магнітопроводом із трансформаторної сталі [4]:
1 – індукційний провід; 2 – магнітопровід

У роботі [5] запропоновано нову конструкцію магнітопроводу, застосування якого при накладанні на активні частини індуктора з одного або двох боків дозволяє концентрувати магнітне поле на заданій ділянці нагрівання наплавлюваної деталі. Швидкість наплавлення із застосуванням магнітопроводів зростає більш ніж на 20%, порівняно з наплавленням без магнітопроводів.

При напавленні долотоподібних лемихів в індукторах без магнітопроводів розплавлення шихти на носку відстає від розплавлення на лезі на 3-5 с. При напавленні ж із магнітопроводом спостерігаємо випередження розплавлення шихти на носку лемиха, що дає можливість застосування механізації і автоматизації при напавленні лемихів.

У даному випадку магнітопроводи виготовляють у вигляді пакетів, зібраних із пластин електротехнічної тонкої листової сталі марки Э44 товщиною 0,1 мм. Принципову схему індуктора з магнітопроводом зображено на рис.5.

Використання такого магнітопроводу дозволяє значно збільшити випуск напавлених деталей при зменшенні витрат електроенергії і скороченні часу на процес напавлення.

Магнітопроводи можна успішно застосовуватись в обладнанні заводів тракторного і сільськогосподарського машинобудування.

Технологію індукційного напавлення тонких сталевих дисків із використанням феритного і сталевих магнітопроводу описано в роботах [3,4,6]. На рис.6 зображено загальний вид пристосування для напавлення суцільних дисків з використанням феритного магнітопроводу, який розробили автори [7]. Але регулювати потужність в зоні напавлення тонких дисків зубчатої форми з шириною напавлення більшою, ніж висота зуба, за допомогою магнітопроводів також дуже складно.

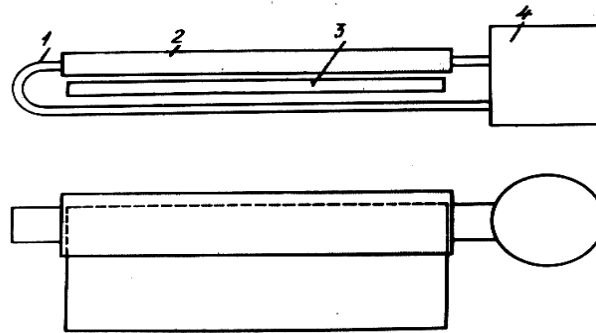


Рисунок 5 – Схема індуктора з магнітопроводом [5]: 1 – петля індуктора; 2 – магнітопровід; 3 – деталь; 4 – високочастотний трансформатор

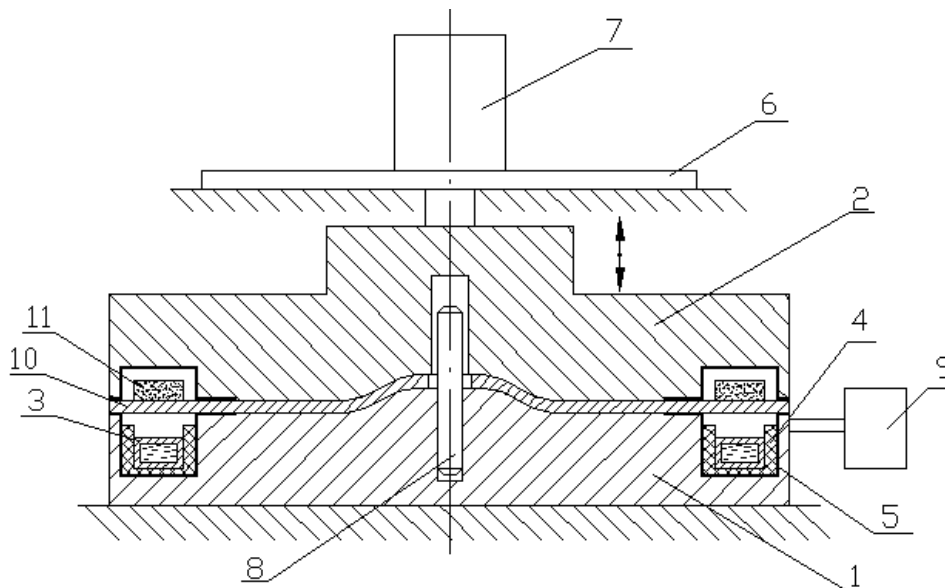


Рисунок 6 – Пристрій для наплавлення дисків із використанням феритного магнітопроводу [7]:
1, 2 – нижня і верхня притискаючі плити; 3 – кільцевий одновитковий індуктор; 4 – феритний магнітопровід; 5 – мідний електромагнітний екран; 6 – верхня опора; 7 – пневмопривід;
8 – направляюча; 9 – високочастотний генератор; 10 – суцільний тонкий диск;
11 – порошкоподібний твердий сплав

Застосування одновиткових кільцевих індукторів з магнітопроводом і без магнітопроводу (рис.1д, рис.2а, рис.6) для одночасного наплавлення на всій робочій поверхні тонких сталевих дисків зубчатої форми, щоб підвищити продуктивність процесу наплавлення, викликає труднощі в забезпеченні рівномірного розподілу електромагнітного поля в області наплавлення, що впливає на якість (нерівномірність) товщини наплавлюваного металу.

Недоліки двопетлевого індуктора такі ж, як і в сегментному: порівняно низька продуктивність, короблення деталі через місцеве нагрівання, а також неможливість його використання для одночасного наплавлення на всій робочій поверхні тонких дисків зубчатої форми з шириною наплавлення більшою, ніж висота зуба.

Відомі двовиткові (рис.2а) індуктори однакового діаметра кілець не дозволяють використовувати його при механізованому процесі наплавлення фасонних дисків зубчатої форми з виступом у середній його частині.

Для цього автори розробили двовиткові кільцеві індуктори як прямокутного, так і круглого поперечного перерізу (див.рис.7) [8,9], але з різними діаметрами кільцевих витків і площами їхніх поперечних перерізів. При цьому діаметр нижнього витка

розташований під наплавлюваною поверхнею, а верхній – над наплавлюваною поверхнею (рис.7). Відповідно діаметр нижнього витка менший за діаметр диска, а верхній виток більший за діаметр диска; площа поперечного перерізу нижнього витка більша за площу поперечного перерізу верхнього витка. Це виконано з можливістю автоматизації процесу подавання заготовок зверху, для засипання шихти і наплавлення диска. Для інженерного розрахунку конструктивних розмірів двовиткових кільцевих індукторів для довільних діаметрів дисків і ширини зони наплавлення, розроблено математичну модель і алгоритм, побудовано графічні залежності й табличні дані, за якими підбирають конструктивні розміри двовиткового кільцевого індуктора для довільних діаметрів дисків і ширини зони наплавлення, виходячи з потреб технології. Результати розрахунку опубліковано в роботах [10,11]. Як показали теоретичні й експериментальні дослідження при напавленні тонких дисків зубчатої форми з шириною напавлення більшою, ніж висота зуба за допомогою двовиткового кільцевого індуктора призводить до перегрівання торця диска і наплавлюваного металу, що відображається у цілому на якості технологічного процесу наплавлення.

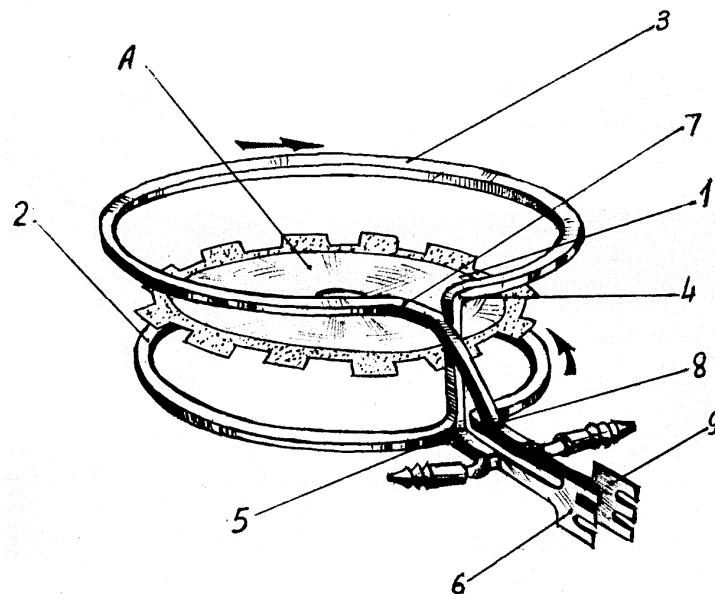


Рисунок 7 – Двовитковий кільцевий індуктор для напавлення тонких дисків зубчатої форми з прямокутним однаковим поперечним перерізом і різними діаметрами витків [8,9]:
 1 – диск; 2 – нижній виток; 3 – верхній виток; 4 – місце з'єднання верхнього витка з нижнім витком;
 5 – місце з'єднання нижнього витка зі штуцером для подавання води; 6 – ліва клемма; 7 – місце з'єднання другого кінця верхнього витка з нижнім витком; 8 – місце з'єднання нижнього витка зі штуцером для відведення води; 9 – права клемма індуктора

У практиці індукційного нагрівання, для необхідного розподілу потужності по ширині зони наплавлення, а також для захисту окремих ділянок деталі від дії електромагнітного поля використовують екрани.

Екрани виготовляють, як правило, з червоної міді, що володіє високим значенням електро- і теплопровідності, їх використовують, наприклад, при високочастотному нагріванні для відпуску буртиків шестерень коробки заміни передач [3]. На рис.8 зображено взаємне розташування індуктора 1, шестерні 2 і екрана 3 у процесі індукційного нагрівання.

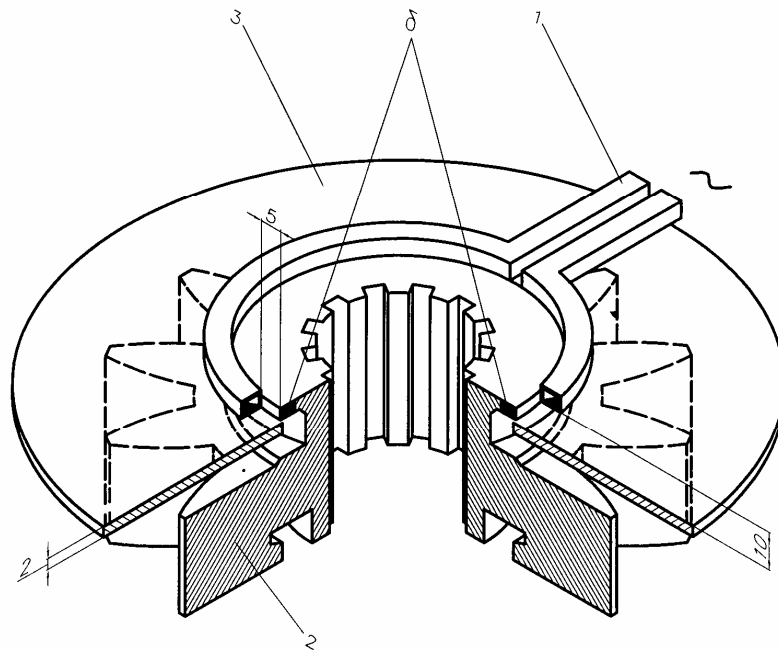


Рисунок 8 – Схема взаємного розташування індуктора, шестерні та електромагнітного екрана в процесі індукційного нагрівання буртика шестерні для відпуску [3]:
1 – індуктор; 2 – шестерня; 3 – екран

Технологію з використанням екранування електромагнітних полів автори використали при розробленні технології індукційного наплавлення тонких дисків зубчатої форми – для зменшення потужності на торці диска і рівномірного її розподілу по ширині зони наплавлення [12]. У роботі [12] проведено теоретичні дослідження такої системи з оптимізації конструктивних розмірів двовиткового кільцевого індуктора з врахуванням тільки екранування електромагнітних полів при прийнятих значеннях коефіцієнтів екранування $K = 1$, $K = 0,25$, $K = 0$.

Для регулювання потужності в зоні наплавлення тонких дисків запропоновано екранування електромагнітного поля, яке створює індуктор для досягнення рівномірного розподілу потужності в зоні наплавлення [12]. Однак, як показали теоретичні дослідження, найефективніший розподіл потужності по ширині зони наплавлення досягають із врахуванням одночасно як електромагнітного, так і теплового (тобто теплоізоляція торця диска з навколишнім середовищем) екранування. Для цього розроблено пристрій [13], який дозволяє регулювати потужність у зоні наплавлення із урахуванням одночасно як електромагнітного, так і теплового екранування, щоб одержати рівномірну товщину наплавлюваного металу і можливість використати його при автоматизації технологічного процесу індукційного наплавлення тонких дисків зубчатої форми.

У роботі [14] одержано математичну модель розрахунку нагрівальної системи, зображену на рис.9, для визначення температури в диску через параметри двовиткового кільцевого індуктора, за допомогою якого здійснюється нагрівання. Використання комбінованого електромагнітного і теплового екранування дозволяє оптимізувати вказану температуру в зоні наплавлення диска залежно від параметрів індуктора, диска, електромагнітного і теплового екранів, а також електричного струму в індукторі. Розроблений алгоритм дозволяє проектувати і нагрівальну систему (індуктор, тепловий і електромагнітний екрани, деталь), яка забезпечує необхідні умови для виконання технологічного процесу наплавлення, а також методику визначення коефіцієнтів електромагнітного і теплового екранів, з допомогою яких здійснюється регулювання температури по ширині зони наплавлення зі складною геометричною формою поверхонь.

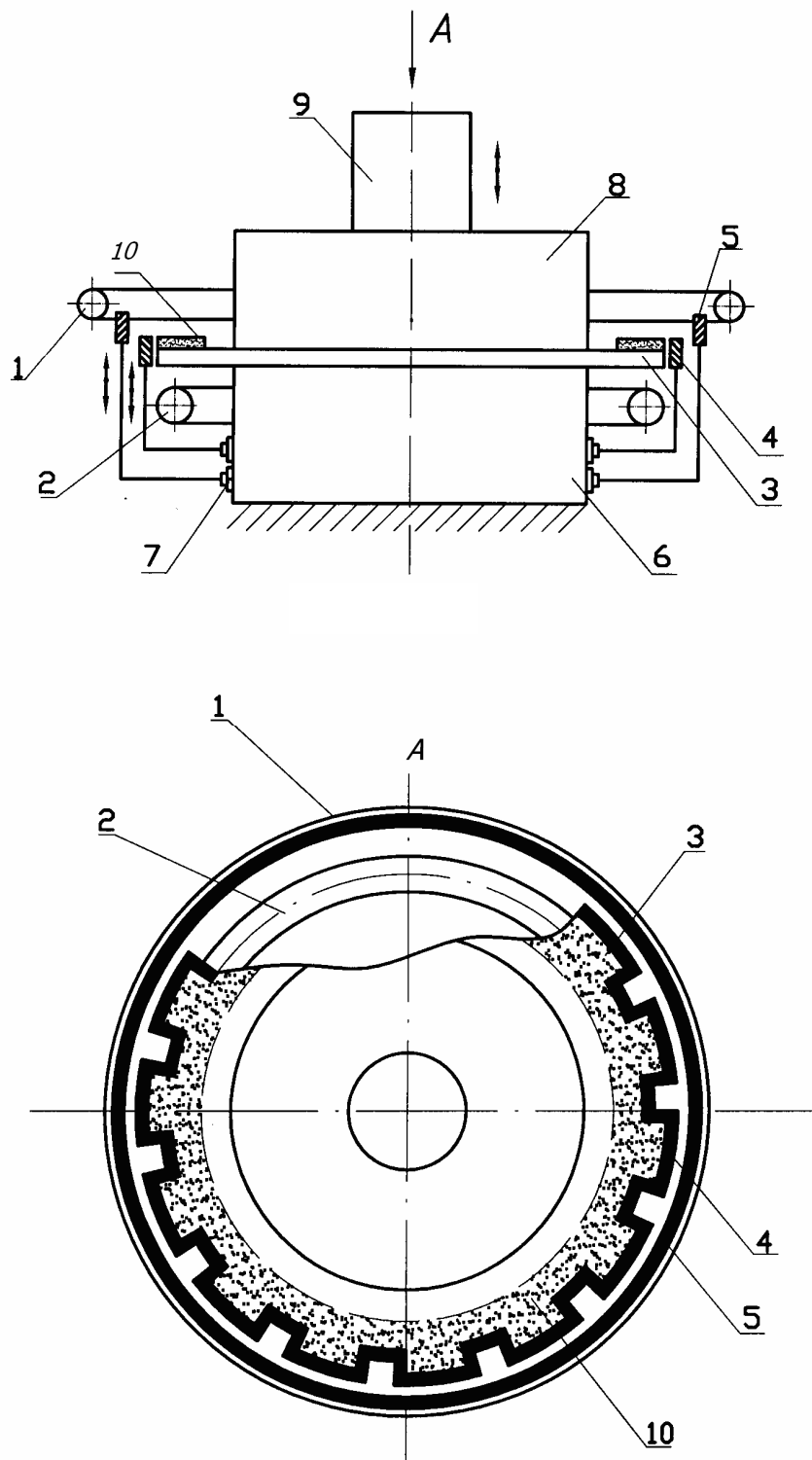


Рисунок 9 – Пристрій для регулювання потужності в зоні наплавлення з одночасним екрануванням електромагнітних і теплових полів [13]:

1, 2 – верхній і нижній виток індуктора; 3 – диск; 4,5 – тепловий і електромагнітний екрани; 6 – нижня плита; 7 – механізм переміщення екранів; 8 – верхня плита; 9 – пневмопривід; 10 – шихта

Одержані результати розрахунку й експериментальні дані розробленої авторами нагрівальної системи показали можливість досягнення необхідного закону розподілу температури по ширині зони наплавлення – для отримання рівномірної товщини наплавлюваного металу при наплавленні ножів-гичкорізів зубчатої форми з шириною наплавлення більшою, ніж висота зуба.

При цьому економимо електроенергію на 15...25%.

Висновок

Аналіз існуючих конструкцій технологічних пристосувань показав, що найефективнішим технологічним пристосуванням для одночасного індукційного наплавлення по всій робочій поверхні тонких сталевих дисків зубчатої форми є нагрівальна система, що складається з індуктора, теплового та електромагнітного екранів (ІТЕЕ).

Література

1. Ткачев В.Н. Износ и повышение долговечности деталей сельскохозяйственных машин / Ткачев В.Н. — М.: Машиностроение, 1971. — 264 с.
2. Вологдин В.В. Пайка и наплавка при индукционном нагреве / Вологдин В.В. — Л.: Энергия, 1965. — 92 с.
3. Лозинский М.Г. Промышленное применение индукционного нагрева / Лозинский М.Г. — М.: Изд-во АН СССР, 1958. — 472 с.
4. Слухоцкий А.Е. Индукторы для индукционного нагрева / А.Е. Слухоцкий, С.Е. Рыскин. — Л.: Энергия, 1974. — 264 с.
5. Ниловский И.А. Повышение производительности индукционной наплавки рабочих органов сельскохозяйственных машин / И.А. Ниловский, В.А. Суворов, А.Е. Степанец. / Рефер. Сб. Сварочное производство. Сер. Технология и автоматизация производственных процессов. — 1973. — Вып.1. — С. 24 — 26.
6. Расчёт индуктора с магнитопроводом для нагрева плоских поверхностей изделий / А.С. Письменный, Е.А. Пантелеймонов, А.С. Прокофьев, Ч.В. Пулька // Автомат.сварка. — 2000. — №11. — С. 39 — 43.
7. Шаблій О.М. Дослідження індукційного наплавлення тонких фасонних дисків з використанням магнітопроводу / О.М. Шаблій, Ч.В. Пулька // Вісник ТДТУ. — Том 7, №4. — 2002. — С. 77 — 80.
8. Патент №55349 Україна В23К 13/00. Спосіб наплавлення тонкостінних фасонних дисків / Пулька Ч.В., Шаблій О.М., Будзан Б.П., Скочило В.М (Україна); опубліковано 17.03.2003р., Бюл. №3.
9. Патент №55346 Україна В23К 13/00. Пристрій для наплавлення плоских тонкостінних деталей / Пулька Ч.В., Шаблій О.М., Будзан Б.П. (Україна); опубліковано 17.03.2003р., Бюл. №3.
10. Шаблій О.Н. Пути экономии электроэнергии при индукционной наплавке тонкостенных дисков / О.Н. Шаблій, Ч.В. Пулька, Б.П. Будзан // Автомат.сварка. — 1988. — №12. — С. 56 — 58.
11. Шаблій О.Н. Оптимизация конструктивных параметров индуктора для индукционной наплавки тонких стальных дисков / О.Н. Шаблій, Ч.В. Пулька, А.С. Письменный // Автомат.сварка. — 1997. — №6. — С. 17— 20.
12. Шаблій О.Н. Оптимизация параметров индуктора для равномерного нагрева дисков по ширине зоны наплавки с учетом экранирования / О.Н. Шаблій, Ч.В. Пулька, А.С. Письменный // Автомат.сварка. — 2002. — №11. — С. 24 — 26.
13. Декларацийний патент UA. № 58943 А В23К13/00. Пристрій для регулювання потужності в зоні наплавлення / Шаблій О.М., Пулька Ч.В., Михайлишин М.С. та ін. — №2002119491; заявлено 28.11.2002; опубл. 17.11.2003, Бюл. №11.
14. Шаблій О.Н. Оптимизация индукционной наплавки тонких дисков с учётом теплового и электромагнитного экранирования / О.Н. Шаблій, Ч.В. Пулька, А.С. Письменный // Автомат.сварка. — 2003. — №9. — С. 22 — 25.

Одержано 01.12.2009 р.