

Машинобудування і зварювальне виробництво

Ukraine is economically interested in transporting gas and oil through its territory and building pipelines. Therefore, it is advisable to develop new methods of welding pipes that ensure increased productivity, quality and impact strength of welded joints, reduce energy consumption, material consumption and cost of pipes.

Currently, high-quality formation of welds during one-sided welding is ensured by retaining the liquid metal of the weld pool with special linings, fluxes, copper and copper-flux pads, and a transverse magnetic field.

When welding pipes, according to the developed method, the area covered by the active spot increases, the arc pressure decreases by 4 times, which ensures high-quality formation of the return roller on the flux pad during single-sided high-speed welding, regardless of the gap in the joint.

The pattern of distribution of the magnetic field of the welding current in the weld pool, plates and pipes has been established. When the current flows through the plates, the induction in the middle of the metal thickness is zero and increases as it approaches the surface. The maximum value of the induction is located on the surface. When moving from the upper to the lower surface, the induction changes direction to the opposite.

Keywords: magnetic blast, magnetic field induction, relative magnetic permeability of ferromagnets, ferromagnetic pipe.

Стаття надійшла 08.05.2025 р.

УДК 621.179.92

doi.org/10.31498/2522-9990292025330216

Зусін А.М.

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ВІДНОВЛЕННЯ КОЛІС МОСТОВИХ КРАНІВ З ВИКОРИСТАННЯ НАПЛАВНОГО МАТЕРІАЛУ З МЕТАСТАБІЛЬНИМ АУСТЕНИТОМ

Ходові колеса мостового крана є елементом конструкції, які найчастіше виходять з ладу та вимагають відновлення та ремонту. Причина – знос реборд коліс. Тому фахівцям у галузі підйомно – транспортного обладнання потрібно знати вимоги до вибракування ходових коліс та методи їх відновлення. Вантажопідйомні крани займають провідне місце в системі машин для механізації монтажних та вантажно-розвантажувальних робіт у будівництві. За допомогою вантажопідіймальних кранів досягаються високі темпи та індустріальність виробництва будівельно-монтажних робіт.

Кранами мостового типу називаються вантажопідіймальні крани, з вантажозахоплюючим органом, підвішеним до вантажного візка, до поворотної стріли на вантажному візку або талі, що переміщається по пересувному мосту.

До них відносяться: а) Мостові крани – крани мостового типу з безпосереднім спиранням моста на надземний крановий шлях; б) Козлові крани – крани мостового типу з опиранням моста на крановий шлях за допомогою двох опорних стійок; в) Напівкозлові крани – крани мостового типу з опиранням моста на крановий шлях з одного боку безпосередньо, а з іншого – за допомогою опорної стійки.

Зношування, що виникає під впливом різних факторів (робота просто неба, в умовах запиленості, атмосферних опадів і т.п.) при нормальній експлуатації кранів називається природним, а його результат – природним зносом. Зношування, що протікає швидко і є результатом поганого догляду, дефектів виробництва, називається аварійним, яке результат – аварійним зносом. За характером взаємодії тертьових поверхонь розрізняють механічні, молекулярно-механічні та корозійно-механічні види зношування кранів.

Машинобудування і зварювальне виробництво

Вирішити проблему зношування важливе завдання, бо відновлення кранового колеса економічно вигідніше ніж покупка нового, різниця складає до п'яти разів.

Ключові слова: колеса мостових кранів, наплавлення, зносостійкість, метастабільний аустеніт, флюс.

Постановка проблеми. Один з ефективних методів відновлення зношених деталей машин та збільшення терміну служби конструкцій – це електродугове наплавлення, особливо при використанні порошкових дротів [1,2]. Даний спосіб відрізняється низкою переваг у порівнянні з іншими видами наплавлення завдяки своїй технологічній простоті, можливості варіювати хімічний склад наплавленого шару та отримувати високоякісне покриття. Сучасні розробки в цій галузі спрямовані на створення наплавних матеріалів без додавання дорогих легуючих компонентів, таких як нікель, ванадій, молібден та інші. Натомість пропонується використовувати більш доступні та поширені в Україні елементи, такі як хром, марганець, кремній та аналогічні [3], що дозволяє суттєво знизити собівартість процесу легування без втрати якості.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Склад та внутрішня структура наплавленого металу визначають його функціональне призначення та здатність працювати в умовах різних видів зносу: від сухого тертя метал-метал до кавітаційного, абразивного, ударно-абразивного та корозійного. Найчастіше наплавка застосовується у випадках, коли деталі піддаються абразивному та ударно-абразивному зносу, і навіть тертю ковзання між металевими поверхнями. Більшість наукових публікацій зосереджено розробці зносостійких сплавів. Серед застосовуваних наплавних складів особливий інтерес представляють матеріали з урахуванням заліза, хрому та марганцю (Fe-Cr-Mn), оскільки вони не вимагають дорогих легуючих добавок [4]. Дослідження [5,6] свідчать про схожий вплив марганцю та нікелю на формування структури сталей, що дозволяє використовувати марганець як більш доступну альтернативу нікелю.

Існує клас наплавних сплавів, структура яких включає метастабільний аустеніт, здатний під час експлуатації під навантаженням переходити в мартенсит. Таке мартенситне перетворення виконує подвійну функцію: воно одночасно зміцнює матеріал і знижує локальні напруження, перешкоджаючи виникненню та розповсюдженню тріщин. Підбір оптимальних параметрів наплавлення та подальшої термічної обробки сприяє активізації цих структурних змін у процесі роботи, що веде до значного зростання зносостійкості [7]. Порівняно з іншими структурами, метастабільний аустеніт має високу енергоємність, завдяки чому більша частина зовнішньої енергії витрачається на фазові перетворення, а не на руйнування матеріалу.

Найбільш високі експлуатаційні характеристики демонструють хромо-марганцеві сплави. Їх властивості можна значно поліпшити легуванням, оскільки легуючі елементи спотворюють кристалічні ґрати, посилюють міжатомні зв'язки в аустеніті та стабілізують його структуру. Ці елементи сприяють утворенню дефектів упаковки, фіксують дислокації та знижують рухливість структурних осередків, що виникають при навантаженнях, тим самим підвищуючи стійкість аустеніту. Співвідношення аустенітної та мартенситної фаз, що визначає механічні властивості, безпосередньо залежить від хімічного складу сплаву та температури початку мартенситного перетворення [7].

Початкові наплавні матеріали, що забезпечують одержання шарів з метастабільним аустенітом, були розроблені у 1960-х роках під керівництвом М. І. Разікова [5]. Основою для них стала сталь марки 30X10Г10, що відрізняється високою кавітаційною стійкістю. На її базі були створені сталі аустенітного класу, такі як 20X10Г8СТ - для відновлення кранових коліс, роликів і барабанів волочильної машини, а також ПП-30X8Г8СТ - для формування аустенітно-мартенситного шару на шпинделях, хрестовинах та інших деталях.

Мета дослідження. Метою роботи є зниження витрат при відновленні коліс мостових кранів з використання керамічного флюсу при наплавленні порошковим дротом.

Машинобудування і зварювальне виробництво

Основний матеріал дослідження. Процес відновлення коліс мостових кранів полягає у використанні для наплавлення порошкового дроту марки 14X12Г12СТ під шаром флюсу Record SK Ep-760. Для проведення досліджень було вибрано порошковий дріт 14X12Г12СТ, який дозволяє формувати метастабільний аустеніт у наплавленому металі. У процесі наплавлення аустенітних дротів часто використовується дорогий імпортований флюс Record SK-Ep-760. Цей флюс забезпечує гарну якість формування валиків наплавленого металу, легкість відділення шлакової кірки та запобігання утворенню шлакових включень. Однак його головним недоліком є найвища вартість. Як альтернатива, при наплавленні аустенітних дротів також застосовують вітчизняний флюс АН-26П, який відрізняється більш доступною ціною [8]. Дослідження показали, що з використанням флюсу АН-26П лежить на поверхні наплавленого металу під шаром флюсу з'являються шлакові включення (рис. 1).



Рисунок 1 – Наплавлений метал порошковим дротом 14X12Г12СТ під флюсом АН-26П

Провели експерименти, створені задля оптимізацію складу флюсу. Особлива увага приділялася вивченню можливості використання порошкового дроту 14X12Г12СТ при наплавленні із застосуванням суміші флюсів Record та АН-26П, взятих у певному співвідношенні. Для проведення цих досліджень було вибрано різні пропорції флюсів, які представлені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Процентне співвідношення використаних флюсів для наплавлення

Марка флюсу	Процентне співвідношення флюсів, %				
Record SK	10	20	30	40	50*
АН-26П	90	80	70	60	50*

Примітка: * патент України №94035

Наплавка була виконана при постійних режимах та умовах для кожної серії експериментів з використанням порошкового дроту під сумішню флюсів Record та АН-26П у різних співвідношеннях, на пластинах із сталі 09Г2С товщиною 30 мм. Встановлені параметри наплавлення включали силу струму в межах 300-350 А, напруга 32-35 і швидкість зварювання 35-40 м/год.

Оцінка якості наплавленого металу проводилася за такими критеріями, як форма валиків, легкість відокремлення шлакової кірки та наявність шлакових включень. Результати показали, що при співвідношенні флюсів 50% Record та 50% АН-26П отримані характеристики збігаються з результатами, досягнутими при використанні виключно флюсу Record. Додатково було проведено дослідження макроструктури та мікроструктури наплавленого металу, виміряно його твердість та проведено випробування на зносостійкість при сухому

Машинобудування і зварювальне виробництво

терті та абразивному впливі для суміші флюсів Record та АН-26П (50:50). Ці результати були порівняні з характеристиками металу, отриманого при наплавленні тільки під флюсом Record, і показали, що вони не мають значних відмінностей. Макроструктура наплавленого металу показана нижче (рис. 2)

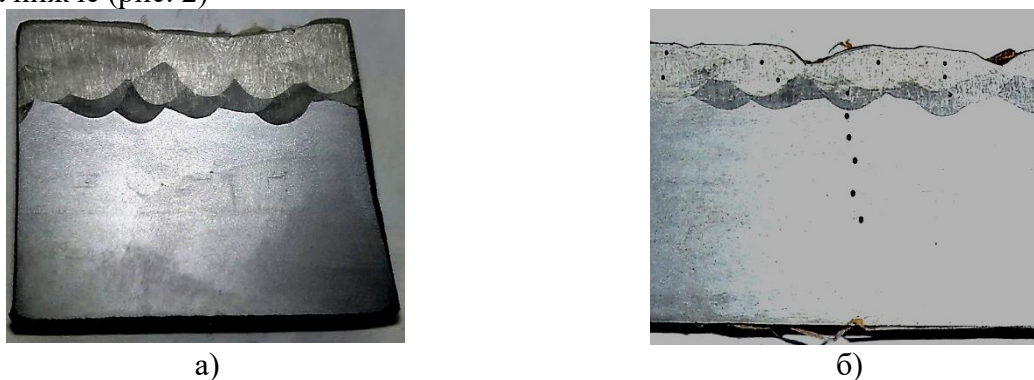


Рисунок 2 – Макроструктура наплавленого металу (x8): а) 100% Record ; б) (50:50)% Record та АН-26П

Верхній шар наплавленого металу складається з дрібнокристалічного аустеніту, який поступово переходить у мартенсит у міру наближення до зони сплавлення. Очевидно простежується межа сплавлення та основна структура металу (рис. 3). При застосуванні суміші флюсів у наплавленому металі та зоні сплавлення не спостерігається тріщин або інших дефектів, що також характерне для використання тільки флюсу Record, а також суміші флюсів у співвідношенні 50:50%.

Використання флюсу Record та його суміші з флюсом АН-26П призвело до подібних значень твердості. У поверхневому шарі наплавленого металу твердість складала 24-25 HRC, у середній частині - 27-29 HRC, а поблизу перехідної зони між основним металом і наплавленим шаром - 31-35 HRC. У зоні сплаву спостерігається різке зниження твердості до 13 HRC.

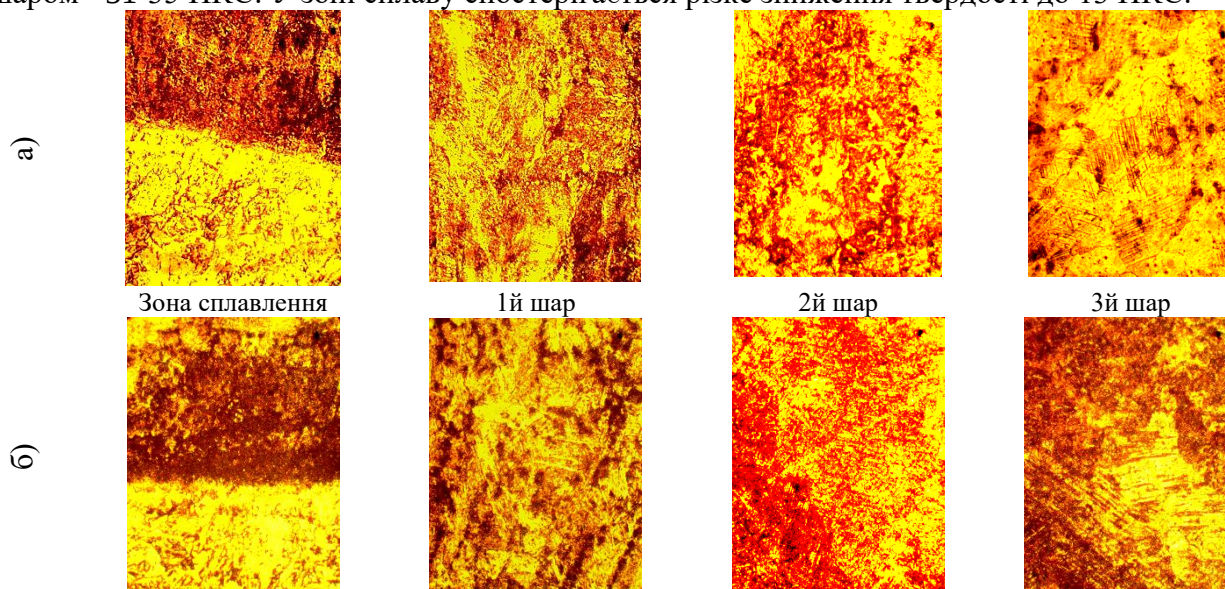


Рисунок 3 – Мікроструктура 14X12Г12СТ (x550): а) наплавка 100% Record ; б) наплавка (50:50)% Record + АН-26П

При використанні суміші флюсів не спостерігається тріщин або інших дефектів як наплавленому металі, так і в зоні сплавлення, що також характерно як для застосування тільки флюсу Record, так і суміші флюсів у співвідношенні 50:50%.

Машинобудування і зварювальне виробництво

Твердість металу, наплавленого з флюсом Record та його сумішшю з флюсом АН-26П, показала схожі значення: 24-25 HRC у поверхневому шарі, 27-29 HRC у середній частині та 31-35 HRC в області переходу від основного металу до наплавленого шару. У зоні сплаву твердість різко знижується до 13 HRC.

Для оцінки схильності наплавленого металу до зміцнення при деформації було проведено випробування холодної пластичної деформації. Вдавленням загартованої кульки діаметром 10 мм на твердомірі Бринелля при навантаженні 30 кН дало можливість виміряти твердість в отриманих відбитках з наступними вимірами за Роквеллом. Результати показали, що збільшення твердості в обох випадках, як при використанні чистого флюсу Record, так і при застосуванні комбінованої суміші флюсів, відбувається однаково. Це вказує на самозміцнення металу за рахунок наклепу та динамічного мартенситного перетворення $\gamma \rightarrow \alpha'$ (рис. 4). Додаткова відпустка при температурі 650°C позитивно впливає на властивості наплавленого металу, що пояснюється дестабілізацією аустеніту та активацією деформаційного мартенситного перетворення.

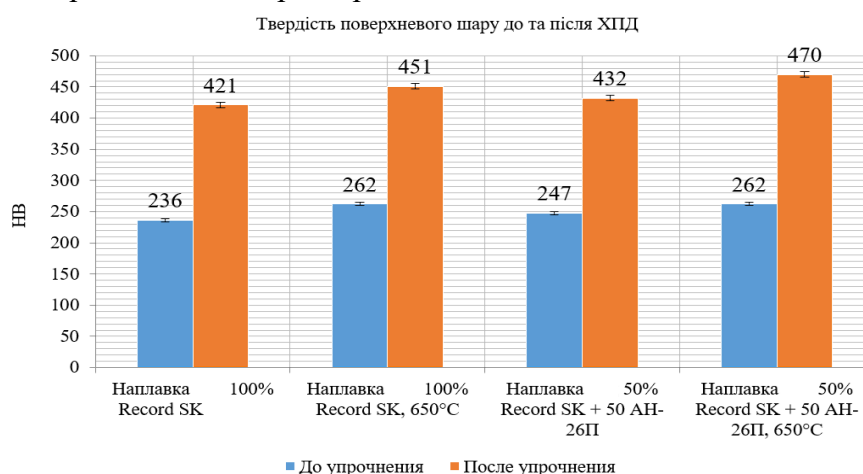


Рисунок 4 – Результати змін твердості багатошарового наплавлення, виконаного порошковим дротом 14Х12Г12СТ під сумішшю двох флюсів

Випробування на зносостійкість, що проводилися в умовах сухого тертя метал-метал (ϵ) та абразивного зносу (ϵ_a) наплавленої сталі, показали ідентичні результати для порошкового дроту 14Х12Г12СТ, наплавленого під комбінованим флюсом Record + АН-26П (рис. 5).

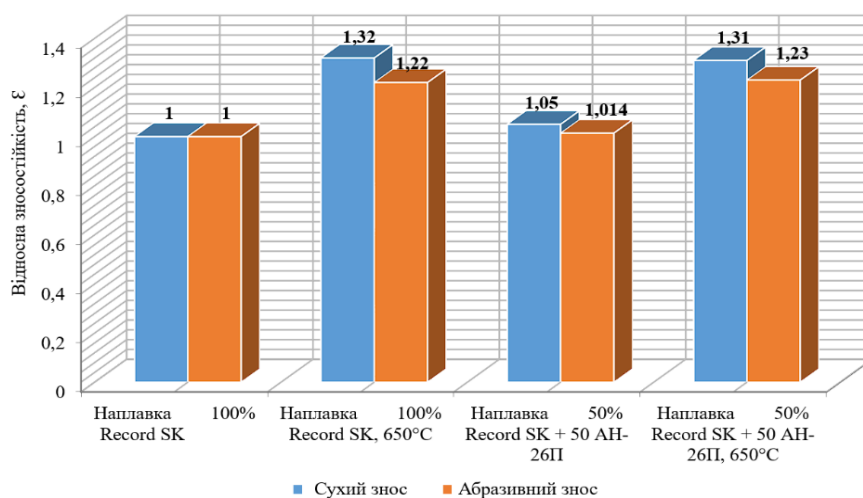


Рисунок 5 – Результати дослідження зносостійкості наплавленого металу порошковим дротом 14Х12Г12СТ

Машинобудування і зварювальне виробництво

Дослідження показали, що наплавлений метал з використанням порошкового дроту 14X12Г12СТ під сумішшю флюсів Record і АН-26П у співвідношенні 1:1 має характеристики міцності та технологічні властивості, що не поступаються металу, наплавленому тільки під флюсом Record. Це відкриває можливість знизити витрати при відновленні швидкозношуваних деталей із застосуванням аустенітних дротів. Як приклад, був розрахований річний економічний ефект від застосування даної технології наплавлення на прикладі відновлення коліс мостових кранів з використанням порошкового дроту 14X12Г12СТ.

Також було розраховано економічний ефект від впровадження розробленого складу флюсу при відновленні коліс мостових кранів. Розрахунок було проведено на основі загальновідомих витрат. Для наплавлення 1 кг проволочки потрібно 1,25 кг флюсу. Вартість флюсів становить на даний час весни 2025 року: АН26П – 106 грн/кг; Record SK En-760 – 573 грн/кг. Згідно з цих даних було розраховано економічний ефект від використання суміші флюсів: $(0,5 \times 106) + (0,5 \times 573) = 339,5$ грн за 1 кг флюсу. Економічна вигода складає в порівнянні з використанням 100% флюсу Record – 41%.

ВИСНОВКИ

Розроблена технологія наплавлення дозволяє скоротити витрати на 40% при відновленні деталей машин та конструкцій із застосуванням аустенітних дротів, при цьому не знижуючи їх експлуатаційні характеристики.

Список використаних джерел

1. Лившиц Л. С. Основы легирования наплавленного металла / Л. С. Лившиц, Н. А. Гринберг, Э. Г. Куркумелли // М. : Машиностроение, 1969. 188 с.
2. Рябцев И. А. Наплавка деталей машин и механизмов / И. А. Рябцев // К. : Екотехнология, 2004. 160 с.
3. Малинов Л.С. Ресурсосберегающие экономнолегированные сплавы и упрочняющие технологии, обеспечивающие эффект самозакалки / Л.С.Малинов, В.Л. Малинов // Мариуполь: изд. «Рената», 2009. 568 с.
4. Малинов Л.С. Упрочнение нестабильных аустенитных Cr-Mn-N сталей / Л. С. Малинов, Т. Д. Эйсмонт // Изв. АН СССР. Металлы, 1969. №2, с. 114–120.
5. Разиков М.И. О выборе наплавочного материала, стойкого при кавитационном нагружении / М.И. Разиков, Б. А. Кулишенко // Сварочное производство. 1967. №7, с. 10–12.
6. Уманский В. Б. Упрочнение деталей металлургического оборудования / В. Б. Уманский, А. А. Костенко, Ю. Г. Худик. М.: Металлургия, 1991. 176 с.
7. Потехин Б. А. Вклад мартенситного превращения при деформации в пластичность метастабильных аустенитных сталей // ФММ. 1979. т.48, вып. 5, с. 1065–1075.
8. Думов С.И. Технология электрической сварки плавлением / С.И. Думов // Л.: Машиностроение, 1970. 456 с.

Zusin A. M.

IMPROVEMENT OF TECHNOLOGY FOR THE RESTORATION OF BRIDGE CRANE WHEELS USING FILLER MATERIAL WITH METASTABLE AUSTENITE

The wheelsets of bridge cranes are structural elements that most often fail and require restoration and repair. The reason is the wear of the wheel flanges. Therefore, specialists in the field

Машинобудування і зварювальне виробництво

of lifting and transport equipment (students, workers, foremen) need to be familiar with the requirements for discarding wheelsets and methods for their restoration. Lifting cranes play a leading role in the system of machines used for mechanizing assembly and loading/unloading operations in construction. With the help of lifting cranes, high productivity rates and industrialization of construction and assembly work are achieved.

Bridge cranes are a type of lifting crane with a load-carrying mechanism suspended from the hoist trolley, which is mounted on a moving bridge. These include: a) Bridge cranes – bridge cranes with direct support of the bridge on an overhead crane track; b) Gantry cranes – bridge-type cranes with the bridge supported on the crane track by two support legs; c) Semi-gantry cranes – bridge-type cranes with the bridge supported on the crane track on one side directly, and on the other side using a support leg.

Wear, which occurs due to various factors (operation outdoors, dusty conditions, atmospheric precipitation, etc.) during normal crane operation, is called natural wear. The result of this is called natural wear. Rapid wear, which occurs due to poor maintenance or manufacturing defects, is called accidental wear, and its result is called accidental wear. Based on the nature of the interaction of friction surfaces, there are mechanical, molecular-mechanical, and corrosion-mechanical types of crane wear.

Solving the wear problem is an important task, as restoring a crane wheel is more economically advantageous than purchasing a new one, with the price difference reaching up to five times.

Keywords: Bridge crane wheels, surfacing, wear resistance, metastable austenite, flux.

Стаття надійшла 20.04.2025р.

УДК 621.3.048.1

doi.org/10.31498/2522-9990292025330217

Цокотун П.В., Капустян О.Є.

РОЗРАХУНОК РЕЖИМІВ ТЕРМОВАКУУМНОЇ ОБРОБКИ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ

Ефективність роботи підприємств при сучасному рівні електрифікації залежить від стабільного електропостачання, одним з елементів якого є трансформатор. Надійна робота трансформатора зумовлена станом його ізоляції. Для відновлення діелектричних властивостей ізоляції, порушених через зволоження, трансформатори, що знаходяться на монтажі, в експлуатації та ремонті, нагріваються та сушаться. показала, що найбільш просте та зручне в експлуатації є обладнання для термовакуумної обробки. незалежно від методу, що використовується, процес сушіння виходить дорогим і енергоємним. Мета статті – запропонувати і реалізувати порядок дій для побудови математичної моделі термовакуумної обробки силових трансформаторів. Математичне моделювання враховує складну, багатошарову конструкцію трансформаторів, різні матеріали, їх теплофізичні властивості, а також особливості технологічного процесу. Активна частина розглядається як об'єкт, що складається з послідовно з'єднаних різних елементів, виготовлених з різних матеріалів, що входять до конструкції активної частини. Впровадження програми розрахунку режимів термовакуумної обробки дозволяє розробляти технологічні процеси на стадії проектування нових виробів та вдосконалювати діючу технологію термовакуумної обробки серійних трансформаторів. Запропонована методика сушіння трансформаторів, дозволяє збільшити їхню експлуатаційну надійність, обґрунтовано збільшити термін їхньої служби і, отже, здешевити їхню експлуатацію.