ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ УКРАЇНИ

На правах рукопису

СКРИПНИК Вячеслав Миколайович

УДК 687.11.016.004.12

МЕТОДИ ТЕПЛОВОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ ШВЕЙНИХ ВИРОБІВ В ПОЛЯХ ВИСОКОЇ ТА НАДВИСОКОЇ ЧАСТОТИ

Спеціальність 05.19.04 - технологія швейних виробів

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

дисертації на здобуття вченого ступеню
доктора технічних наук

Київ 1994

Роботу виконано в Хмельницькому технологічному інституті Міністерства освіти України.

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор Березненко М. П.

Офіційні опоненти: д. т. н. проф. Мєліков Є. Х.
д. т. н. проф. Скрипник Ю. О.
д. т. н. проф. Григорян Г. С.

Провідна організація : Український науково-дослідний інститут швейної промисловості.

Захист відбудеться "21" 12 1994р. о 12 годині на засіданні спеціалізованої ради Д 01. 17. 02 при державній академії легкої промисловості України за адресою: Київ-103, вул. Немировича-Данченка, 2.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Державної академії легкої промисловості України.

Автореферат розіслано "19" 11 1994р.

ЛННБ України ім.В.Стефаника
00755910 (R)

Вчений секретар
спеціалізованої ради
к. т. н., професор В. П. Коновал

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

АВ-31.449

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Проблема використання нових видів енергії в технологічних процесах актуальна для любої галузі промисловості, в тому числі для швейної, так як енергетична недосконалість обладнання, що використовується для волого-теплової обробки /ВТО/ швейних виробів характеризується низьким значенням к.к.д., що знаходиться у межах 10-15%. При цьому, за даними М.П.Березненко, на долю обладнання ВТО у системі поточного виробництва припадає від 70 до 97% енергії, що використовується для технологічних цілей.

Якщо розглядати історію розвитку технології теплової обробки деталей швейних виробів за останні 20-30 років, то це переважно історія вдосконалення методів, які базуються на використанні енергії пару та електричної. Лише за останні 10-15 років в швейній промисловості були здійснені перші спроби практичного застосування електромагнітної енергії високої частоти та ультразвуку.

Заміна одного виду енергії, технології та техніки другими повинна базуватися на відповідних критеріях, до яких, як правило, відносяться продуктивність праці, якість, енергетична досконалість технології і т.д.

У нашому випадку докази побудовані на четвертому та п'ятому законах енергоентропіки. Четвертий закон – обмеженого розвитку матеріальних систем; матеріальні системи при прогресивному розвитку досягають характерного для кожної сукупності зовнішніх та внутрішніх умов межі, яку можна виразити максимальним значенням параметрів, що порівнюються.

П'ятий закон – характеризує перевагу у розвитку, або закон конкуренції: у кожному класі матеріальних систем перевагу у розвитку отримують ті, які при даній сукупності внутрішніх та зовнішніх умов досягають максимального значення ентропії, або мак-

симальної енергетичної ефективності. Аналіз роботи обладнання швейних фабрик, що було проведено Російським науково-дослідним інститутом легкого та текстильного машинобудування показав, що збільшення швидкості роботи обладнання, як джерело підвищення продуктивності праці, в основному себе вичерпало.

У результаті аналізу обладнання ВТО фірм "Kanegiesser", "Hoffman", "Macpi" в порівнянні з високочастотним обладнанням фірм "Paul Kieffel", "Seidensha Electronics", "Euratron" зроблено висновок про досягнуту межу к.к.д. процесів ВТО, в яких використовується енергія пари та електрична.

Ці висновки підтвердилися результатом аналізу робіт провідних наукових шкіл в цій області: Центральним науково-дослідним інститутом швейної промисловості, Орловським науково-дослідним інститутом легкого машинобудування, Українським науково-дослідним інститутом швейної промисловості, Московською Академією легкої промисловості, Державною Академією легкої промисловості України, зусиллями яких були розроблені теоретичні основи технології виготовлення та формування швейних виробів, визначені вимоги до робочих органів устаткування ВТО, що використовує електричну та парову енергію.

Однією з альтернативних технологій, на наш погляд, є технологія, заснована на використанні струмів високої частоти /СтВЧ/, що охоплюють діапазон 30-300 МГц та надвисокої частоти /НВЧ/ - діапазон 3-30 ГГц.

Інтерес до високочастотного зварювання за останній час підвищився і не обмежується швейною та шкіргалантерейною галузями промисловості. Пошукові роботи по заміні ниткових методів високочастотними проводяться в текстильній промисловості, автомобілебудуванні та інших галузях.

Подальше розширення технологічних можливостей високочастот-

них методів у швейній галузі можливо при виготовленні аплікацій на всіх видах матеріалів, нанесенні декоративних швів, при зварюванні кишень, стебнуванні теплого одягу, кодр, підкладочних матеріалів, виготовленні одягу з дубльованих матеріалів, імітації стьобаних поверхонь при виготовленні спортивного одягу. Але застосування високочастотних методів зварювання в перелічених операціях стримується через високий процент електричних пробоїв матеріалу, дефектів з'єднання, нестабільної міцності зварних швів. Це пояснюється перш за все тим, що матеріали у відзначених операціях суттєво неоднорідні за структурними та електрофізичними характеристиками, а діючі режими високочастотного зварювання, як правило, розраховані для матеріалів з однорідною структурою. У цей час фундаментальні теорії, звичайно, описують загальні випадки, які не завжди можна застосувати у конкретних технологічних процесах.

НВЧ - методи у текстильній промисловості вже знайшли визнання, але у швейній промисловості поки ще не вийшли за межі наукових лабораторій.

Практично не визначені можливості цього частотного діапазону в технологічних процесах швейної промисловості. Правда, у працях Масачусетського технологічного інституту /США/, Лионського текстильного інституту /Франція/, НДІ хутряних волокон /Москва/, Кишинівського інституту радіоелектроніки /Молдова/ доведено значні технологічні можливості цього частотного діапазону.

В той же час практично не досліджена технологія зварювання текстильних та плівкових матеріалів з макронеоднорідною структурою в полі НВЧ, дублювання деталей одягу клейовими матеріалами, ВТО як окремих деталей, так і готових швейних виробів.

Таким чином проблема впровадження енергозберігаючих технологій шляхом використання електромагнітної енергії при виготовленні одягу є актуальною і потребує грунтовного вивчення та розвитку.

Мета роботи. Розвиток теоретичних та практичних методів з'єднання деталей швейних виробів в полях високої та надвисокої частоти, їх теплової обробки – основа концепції широкого використання електромагнітної енергії в технологічних процесах швейної промисловості.

З цією метою роботу проведено по слідуючих напрямках:

- виконано аналіз наукових концепцій, теоретичних та практичних переваг технологічних процесів діапазону високої частоти;
- розвинені теоретичні основи процесів зварювання та ТО текстильних та плівкових матеріалів;
- розроблені методи зварювання та ТО текстильних і плівкових матеріалів в полі ВЧ;
- теоретично та експериментально досліджені процеси зварювання та ТО в полі ВЧ;
- аналітично та експериментально досліджені процеси зварювання та ТО в полі ВЧ;
- виконано аналіз наукових концепцій, теоретичних та практичних переваг технологічних процесів діапазону надвисоких частот;
- розвинені теоретичні основи процесів з'єднання та ТО деталей одягу у "бігучих" та "стоячих" хвилях НВЧ-діапазону;
- розроблено методи та пристрої для реалізації технології ТО пакетів деталей, готових швейних виробів у полях ВЧ.
- розроблено технологічні режими та конструкторсько-технологічні вимоги до універсального устаткування для ТО, що використовує ВЧ та НВЧ енергію.

Тему дисертації затверджено рішенням Вченої Ради Хмельницького технологічного інституту № 2 від 15 жовтня 1987 року.

Робота виконувалась за програмою ДКНТ "Екологічно чиста енергетика та ресурсозберігаючі технології", напрямок № 5 на 1993-

1995 роки.

Методика досліджень. Для вирішення поставлених задач застосована комплексна методика досліджень, що включає аналіз досягнень у дослідженій області, патентний пошук, теоретичні методи аналізу та метод експериментального моделювання для розрахунку взаємозв'язку технологічних параметрів процесів та електрофізичних характеристик з'єднуваних матеріалів, метод кінцевих елементів у формі методу зважених нев'язок з використанням критерію Галеркіна для розрахунку власних значень та власних полів хвильоводу, метод кореляційно-регресійного аналізу отриманих залежностей.

Об'єкти досліджень - технологічні процеси теплової обробки деталей швейних виробів у полях високої та надвисокої частоти.

Наукова новизна роботи полягає в слідуючому:

- вперше зформульовано, теоретично обгрунтовано й практично доведено наукову концепцію широкого використання електромагнітної енергії діапазона високих та надвисоких частот в технологічних процесах теплової обробки деталей швейних виробів;
- запропоновані аналітичні методи розрахунку енергетичних співвідношень процесу з'єднання матеріалів з неоднорідною макроструктурою у полі СтВЧ, що враховують термокінетику процесу;
- розроблені нові критерії якості технологічного процесу та оптимальності методу з'єднання матеріалів у полі СтВЧ, що враховують характер розподілу неоднорідностей в структурі матеріалу, які основані на результаті аналізу характеру взаємодії електромагнітної хвилі з з'єднувальними матеріалами;
- отримано рівняння енергетичного балансу процесу з'єднання деталей швейних виробів у полі СтВЧ;
- отримані математичні моделі процесів зварювання, склеювання та об'ємного формування деталей швейних виробів і готового одягу в НВЧ полі об'ємного резонатору;

- запропонована математична модель процесу дублювання деталей одягу та готових виробів у хвильоводах, резонаторних і хвильоводно-резонаторних структурах НВЧ поля;
- науково обгрунтована можливість використання енергії Вч та НВЧ полів в процесах ТО швейних виробів;
- розроблені технології та устаткування дублювання деталей одягу в пакетах на пресовій основі, поелементного дублювання окремих деталей як з поліетиленовими, так і з поліамідними клейовими прокладками на конвейерній основі, об'ємного формування та віброформування готових виробів.

Новизна отриманих результатів підтверджена 13 авторськими свідоцтвами. Всі аналітичні вирази підтверджені експериментом і використовуються при розрахунках оптимальних режимів з'єднання деталей швейних виробів в полях ВЧ та НВЧ.

Практична цінність роботи. Результати досліджень виконані дослідником особисто, або під його науковим керівництвом та участю, впроваджені у вигляді методик розрахунку технологічних режимів зварювання, дублювання деталей швейних виробів технічного призначення в полях високої та надвисокої частоти, сушіння діелектричних матеріалів, що дозволило створити принципово нові енергозберігаючі технології, конкурентноспроможні на світовому ринку зразки устаткування для дублювання деталей одягу у полі НВЧ, пресування та сушіння білизни, конвейерного сушіння деревини, видавлювання соків та масел за допомогою пресу, конвейерного сушіння овочів та фруктів, захищених авторськими свідоцтвами.

Реалізація роботи. Використання на виробництві методик розрахунку параметрів ВЧ та НВЧ установок для дублювання текстильних та плівкових матеріалів на Московському заводі АЗЛК, впровадження у виробництво і експлуатацію спробних зразків нового обладнання

для конвейерної сушки деревини на Київському комбінаті будматеріалів, НВЧ конвейєра на Знам'янському заводі "Пуансон", НВЧ-пресу для витискання олії на ВО "Хмельницькхарчопром", мікрохвильової печі "Подолянка-3"на Шепетівському заводі "Радар", реалізація комплектів конструкторсько-технологічної документації, забезпечило економічний ефект понад 4 млн.крб. у цінах 1990-1992 рр. при скороченні витрат енергії на процеси, значному покращені якості продукту, що підтверджено актами підприємств-замовників.

Результати роботи викладені та схвалені на Всесоюзній 6-й науково-практичній конференції "Застосування НВЧ-енергії в технологічних процесах та наукових дослідженях", Саратів, 11-13 червня 1991 р., на науково-технічній конференції країн СНД "Якість та конкурентна спроможність товарів масового вжитку", у квітні 1993р, у м.Хмельницькому, а також на розширеному засіданні кафедр технології та конструювання швейних виробів Хмельницького технологічного інституту в травні 1994 р., Державної Академії легкої промисловості України у вересні 1994 року.

Публікації. За матеріалами дисертації опубліковано 26 друкованих робіт. У тому числі 13 авторських свідотств СССР, України, 6 науково-технічних звітів за результатами виконаних дослідницьких робіт, під науковим керівництвом автора.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, семи розділів з висновками, загальних висновків, списку використаної літератури, що включав 152 найменування, трьох додатків. Дисертацію викладено на 283 сторінках, у тому числі 221 сторінка машинописного тексту, 57 малюнків, 15 таблиць.

ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі коротко викладено основні положення дисертації, обґрунтовано актуальність теми, наукову новизну і практичну значимість роботи, зформульовано цілі і задачі досліджень.

У першому розділі проведено аналіз вітчизняної та зарубіжної науково-технічної літератури з проблем з'єднання деталей швейних виробів в електромагнітних полях. Результати аналізу дозволили здійснити класифікацію відомих методів з'єднання матеріалів у полі СтВЧ за технологічною ознакою. Перевагу практичного застосування отримали методи з'єднання деталей швейних виробів з термопластичних матеріалів з ізотропною структурою та високим значенням електричних характеристик - відносною діелектричною проникністю ε та тангенсом кута діелектричних втрат $tg\delta$. Ряд авторів відзначають перспективність методів, що використовують проміжні сполучні речовини з високим фактором діелектричних втрат (K), які дозволяють з'єднати в полі СтВЧ різні комбінації матеріалів, які використовуються у швейній промисловості.

Як правило, у наукових працях, присвячених проблемам високочастотного зварювання текстильних матеріалів, процес з'єднання розглядається при постійному тиску та контакті в системі "електрод-матеріал-електрод" на протязі всього циклу з'єднання.

Але в електричній теорії В.В.Дерягіна та Н.А.Кротової відзначалося, що умови, при яких можливий достатньо повний контакт поверхонь - найважливіші, але суто технологічні питання.

Процес з'єднання матеріалів з макронеоднорідною структурою в полі СтВЧ повинен врахувати кореляцію фізико-механічних, електрофізичних характеристик матеріалу та технологічних параметрів процесу. Комплексний підхід до розробки методів з'єднання таких матеріалів в полях ВЧ та НВЧ було покладено в основу роботи.

Другий розділ присвячений теоретичному аналізу режимів з'єднання деталей швейних виробів у полі СтВЧ. Зроблено висновок про те, що відоме рівняння енергетичного балансу процесу, яке встановлює зв'язок між електричним та тепловим полями, стосовно матеріалів з макронеоднорідностями не коректне. Це рівняння при використанні енергії тільки на нагрівання матеріалу має вигляд:

$$0{,}555 \cdot \varepsilon' \cdot tg\delta \cdot f \cdot E^2 \cdot 10^{-6} = 4{,}18 \frac{c\gamma}{\eta_t} \cdot \frac{\Delta T}{\Delta \tau}$$

де c – питома теплоємність матеріалу;

$\varepsilon, tg\delta$ – електричні характеристики матеріалів;

f – частота;

E – напруженість електричного поля у матеріалі;

$\Delta T / \Delta \tau$ – швидкість нагрівання;

γ – щільність матеріалу;

η_t – термічний к.к.д. процесу, що враховує втрати тепла у навколишнє середовище.

Цей висновок базується на високій чутливості ε' та $tg\delta$ матеріалів до температури та відомому впливові характеру розподілу неоднорідностей у структурі матеріалу на рівномірність нагрівання.

Для урахування температурної залежності електричних характеристик матеріалів був проведений термокінетичний аналіз процесу. В результаті аналізу було зроблено припущення про необхідність розподілу процесу з'єднання матеріалів у полі СтВЧ на стадії, у відповідності з закономірністю зміни електричних характеристик матеріалів. При цьому отримані формули, які дозволяють визначити величину питомої потужності, яка виділяється при нагріванні матеріалу у полі СтВЧ.

Для випадку, коли електричні характеристики матеріалів мають

один максимум, процес з'єднання потрібно розділити на дві стадії: зростаючих та спадаючих значень фактору діелектричних втрат ($K = \varepsilon \cdot tg\delta$).

Закон зміни питомої потужності у процесі з'єднання на першій стадії:

$$P_{пл1} = 0.555 f E^2 (\tilde{\tau} D - \Psi) \qquad (2.2)$$

на другій стадії:

$$P_{пл2} = 0.555 f E^2 \Psi \exp\left[\frac{\Psi}{K_T}(\tilde{\tau} - \tilde{\tau}_1 - \tilde{\tau}_H)\right] \qquad (2.3)$$

Тривалість першої стадії:

$$\tilde{\tau}_1 = \frac{K_{max}}{\Psi} \ln \frac{K_{max}}{K_T} \qquad (2.4)$$

другої: $\tilde{\tau}_2 = \frac{K_{max}}{\Psi} \ln \frac{K_{max}}{K_T}$

$$D = \frac{K_{max} - K_H}{\tilde{\tau}_{max} - \tilde{\tau}_H}; \qquad \Psi = \frac{K_{max} \cdot \tilde{\tau}_H - K_H \tilde{\tau}_{max}}{\tilde{\tau}_{max} - \tilde{\tau}_H}$$

де K_H, K_{max}, K_T – початкове, максимальне та текуче значення фактору діелектричних втрат матеріалів;

Ψ – швидкість нагрівання на першій стадії процесу;

$\Psi \frac{K_{max}}{K_T}$ – швидкість нагрівання на другій стадії процесу.

Третій розділ присвячено експериментальному дослідженню процесів з'єднання та теплової обробки деталей швейних виробів у полі СтВЧ. З цією метою було виготовлено експериментальне обладнання, що дозволило отримати функціональні залежності між технологічними режимами роботи устаткування та електрофізичними характеристиками матеріалів з неоднорідною макроструктурою та показниками

якості технологічного процесу /дефектності з'єднання, характеристик міцності/.

Експерименти проведено з традиційними текстильними матеріалами костюмної та пальтової групи, а також з деякими видами нетканних та коврових матеріалів: синтетичним нетканим матеріалом "Містра" /20% віскозні волокна, 80% - поліамідні/, синтетичним ватином / 50% нітронові волокна, 50% - поліпропіленові/, очісом - спеціальним нетканим об'ємним матеріалом з суміші синтетичних та шерстяних волокон, просочений, для кращого зварювання, полівінілацетатною емульсією, а також в'язально-прошивним килимовим матеріалом типу "Сусполь-Малимо", що апретований стандартним латексним покриттям.

На експериментальному устаткуванні, що складалося з двох вимірювачів добротності типу Е9-7А, які працюють за диференційним принципом, були отримані залежності електричних характеристик ε', $tg\delta$ матеріалів від тиску P та температури T. Діапазон зміни $P = 0{,}986 \cdot 10^3 \div 4{,}906 \cdot 10^6$ Па; $T = 293 \div 433$ К. Контрольним застосувався спосіб зворотнього заміщення, який зручний при вимірюванні ледь відчутних змін ємності.

У результаті спільного статистичного опрацювання двох груп вимірювань, що виконувались на різному устаткуванні, при довірчій ймовірності 0,95, гарантійна помилка експерименту при вимірюванні ε' не перевищувала 7%, $tg\delta$ - 10%.

Вплив тиску на температурну залежність $\varepsilon', tg\delta(T)$ виявився в інтервалі температур 293 - 393 К.

При подальшому збільшенні температури нагрівання матеріалів вплив P на $\varepsilon', tg\delta$ незначний для технологічних розрахунків. Отримані залежності можуть пояснюватися змінами макроструктури матеріалів під дією P та T, витісненням з структури матеріалів повітряних включень. В інтервалі температур 373 - 433 К мак-

роструктура матеріалу стабілізується і наступна зміна ε', $tg\delta$, пояснюється температурним впливом /мікроструктурними процесами/.

Вплив тиску на показник дефектності з'єднання $\tilde{tg}$ /%/ було виявлено у результаті експерименту, що проводився на реконструйованому обладнанні для діелектричного нагрівання типу ВЧД-1,6/40. При цьому з допомогою світловипромінювальних датчиків фіксувалося поверхневе горіння, прокол іскрою або пропалювання матеріалів, з допомогою реле захисту генератора від перевантажень – механічне продавлювання матеріалів електродом.

Загальною закономірністю для досліджених матеріалів було збільшення показника дефектності з'єднання з ростом тиску. Існує діапазон тиску, в якому $\tilde{tg}$ має мінімум. Загальний висновок: оптимізація тиску тільки за показниками характеристик міцності не гарантує якісне протікання процесу з'єднання матеріалів з макронеоднорідною структурою у полі СтВЧ.

Оскільки результати носили більше кількісний характер і не пояснювали механізмів утворення дефектів, для якісної оцінки цього процесу було виконано математичне моделювання екстремальних режимів з'єднання на ЕОМ ЕС-1022.

В основу розрахунку параметрів процесу з'єднання деталей швейних виробів методом кінцевих елементів покладено математичну модель вигляду:

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(\varepsilon_x \frac{\partial \varphi}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\varepsilon_y \frac{\partial \varphi}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(\varepsilon_z \frac{\partial \varphi}{\partial z}\right) = 0$$

Граничні умови:

$$\varphi = \varphi_B \quad \text{на } S_1$$

та

$$K_{xx}\frac{\partial \varphi}{\partial x}e_x + K_{yy}\frac{\partial \varphi}{\partial y}e_y + K_{zz}\frac{\partial \varphi}{\partial z}e_z + g + \frac{1}{a}(\varphi - \varphi_\infty) = 0$$

на S_2

S_1, S_2 – площа кінцевих елементів, що утворюють повну границю.

З варіаційної точки зору рішення цього рівняння з граничними умовами еквівалентного пошуку мінімуму функціоналу

$$\chi = \int_V \frac{1}{2}\left[K_{xx}\left(\frac{\partial\varphi}{\partial x}\right)^2 e_x + K_{yy}\left(\frac{\partial\varphi}{\partial y}\right)^2 e_y + K_{zz}\left(\frac{\partial\varphi}{\partial z}\right)^2 e_z - 2Q\varphi\right] dV + \int_S g\varphi + \frac{1}{2}h(\varphi - \varphi_\infty)^2 \Big] dS$$

що мінімізується на множині вузлових значень $\{\varphi\}$.

Параметри процесу з'єднання матеріалів розраховували за методом кінцевих елементів. Методика розрахунку наступна:

I. Електроди разом із з'єднуваним матеріалом являли собою кусково-однорідну область, що розділена на 4I кінцевий елемент, кожний із них мав 4 вузли на стороні, тобто з I2 ступенями свободи.

2. Числове інтегрування за обсягом кінцевих елементів проводили методами Гауса. Системи рівнянь I98 порядку розв'язували методом зв'язаних градієнтів.

3. Збіжність, що оцінювалася величиною розривів напруги на межах кінцевих елементів, була задовільною, що дозволило обмежитись вибором вказаної кількості кінцевих елементів та числа вузлових значень невідомих.

4. Розрахункова кусково-однорідна область складалася з ряду однорідних підобластей, що відрізнялися значенням ε та потенціалом електроду φ.

5. Поле потенціалу φ обчислювалось по всіх вузлах. Для кожного кінцевого елементу розраховувалась напруга E у вузлах по формулі:

$$E = \int_S |E|^2 dS \qquad (3.1)$$

де S – площа кінцевого елементу.

6. Середній рівень напруги у межах кінцевого елементу оцінювався як:

$$|E_{ср}| = \sqrt{\frac{\int |E^2| dS}{S}} \qquad (3.2)$$

7. Топографія густини джерел тепла визначалася з урахуванням температурної залежності $tg\delta(P,T)$ у екстремальних умовах з'єднання матеріалів в полі СтВЧ/$P_{min} = 0{,}966 \cdot 10^3$ Па; $P_{max} = 1{,}972 \cdot 10^6$ Па/.

Густина джерел тепла Q' зв'язана з напругою поля $tg\delta$ слідуючою залежністю

$$Q' = E^2 \cdot tg\delta \cdot 10^{-3} \qquad (3.3)$$

Згідно з проведеними розрахунками були побудовані графіки, які показують розподіл відносної напруги поля E/E_0 по ширині електроду X, а також розподіл питомої потужності по кінцевих елементах /КЕ/.

Аналіз отриманих залежностей дозволив пояснити механізм утворення дефектів, при з'єднані матеріалів з макронеоднорідностями у полі СтВЧ.

Встановлено, що при мінімальному тиску електрода на матеріал неоднорідність поля у середньому в 2,19 рази більша, ніж при максимальному. При мінімальному тиску переважає механізм електричного пробою матеріалів, при максимальному – термічної деструкції.

Проведені дослідження підтвердили теоретичне передбачення про наявність функціональної залежності між величиною та тривалістю контакту в системі "електрод-матеріал-електрод" та показниками якості технологічного процесу, дозволили сформулювати вимоги до способу з'єднання деталей швейних виробів з неоднорідною макроструктурою у полі СтВЧ.

З'єднання /витиск/ матеріалів із синтетичних волокон відбу-

вається шляхом нагрівання матеріалу у полі СтВЧ до наступу структурних змін у волокні і регулюємому тискові. Причому, з метою підвищення якості обробки та зменшення енерговитрат, нагрівання матеріалів проводять у дві стадії: на першій - при напрузі електричного поля СтВЧ, що відповідає оптимальним значенням /4÷·10^5 В/м/ до температури, при якій наступають структурні зміни у волокні, при тискові, який менший ніж оптимальний /що необхідно для отримання достатньої міцності з'єднання/, на другій стадії напругу поля знижують до /I÷2 ·10^5 В/м/, а тиск збільшують до оптимального, закінчуючи процес при зниженій напрузі поля /а.с. 950831/.

Критерієм переходу від однієї стадії процесу з'єднання матеріалів до другої є температура, при якій відбуваються структурні зміни у волокнах, яка пов'язана з електричними характеристиками матеріалу функційною залежністю $K(T)$.

Оптимізація тиску на першій стадії процесу проводилась методом кореляційно-регресійного аналізу, який базується на побудові та аналізі статистичної моделі у вигляді рівняння регресії, що приблизно виражає залежність результативного ознак-фактора /$P_{ном}$/ від одного чи декількох ознак-факторів:

$$P_{ном} = f(P_1, P_2^e) \qquad (3.4)$$

де P_1 - тиск, що виключає ймовірність теплової деструкції матеріалів, який виділяється залежністю $Q'(W_{кэ})$;

P_2 - тиск, що забезпечує мінімальні зміни однорідності поля СтВЧ у процесі з'єднання, який описується залежністю E/E_0 /X/.

Рівняння регресії для досліджування матеріалів, що дозволяє визначити $P_{ном}$ для першого етапу процесу, має слідуючий вигляд:

$$P_{ном} = 0{,}585\ P_{ном2} \qquad (3.5)$$

де $P_{ном2}$ - оптимальний тиск для другого етапу з'єднання, який можливо визначити за відомими методами.

Експлуатаційні характеристики зварювальних швів оцінювались для двох груп з'єднань: з'єднання, які були отримані при постійному тиску електроду на матеріал та постійній напрузі на робочому конденсаторі /базовий метод/ і при змінних параметрах, що регулювались у відповідності з вимогами розробленого способу. При дослідженнях використовувались рекомендації М.І.Сухарєва та В.Є.Романова.

Випробування зварювальних швів на жорсткість на приладі В.М.Лазаренко, тертя на приладі ІТС /ГОСТ 9844-74/ і розшарування значних відмінностей в характеристиках не виявили.

Електричні пробої матеріалів при реалізації способу зварювання килимових матеріалів з штучною шкірою та полівінілхлоридною плівкою на обладнанні фірми "Пауль Кіеффель" були зменшені у 3-4 рази у порівнянні з базовим способом зварювання.

Оскільки практичний інтерес представляла і можливість об'ємного формування деталей одягу, в тому числі і зволожених, були розроблені математичні моделі та експериментально досліджені процеси.

Рівняння енергетичного балансу /2.I, 2.2, 2.3/, які висвітлюють термокінетику процесу зварювання матеріалів з макронеоднорідною структурою, багато в чому справедливі і для режиму "сухого" формування. На відміну від "сухого", режим формування пакету з початковим зволоженням буде залежати, в основному, від поведінки води у полі СтВЧ, оскільки фактор діелектричних втрат ε'' води значно вищий, аніж цей фактор будь-якого з текстильних матеріалів.

Запропоновано наступне рівняння енергетичного балансу з урахуванням витрат енергії на нагрівання та випаровування вологи:

$$\rho_0(C_0 \mu C_в)\frac{dT}{d\tau} = W_1(\tau) + W_2(\tau) + W_3(\tau) \qquad (3.6)$$

$$W_1(\tau) = \beta(T_c - T_0) + r\rho_0\Psi$$

$$W_2(\tau) = \beta(T_c - T_0)r'\rho_0\Psi\exp\left[-\frac{\Psi}{a_r}(\tau - \tau_1 - \tau_0)\right] \qquad (3.7)$$

$$W_3(\tau) = 4{,}18\,\frac{cp}{\eta_T}\cdot\frac{\Delta T}{\Delta\tau}$$

де $W_{1,2,3}$ – значення густини джерела тепла на стадіях процесу;

r – потайлива теплота випаровування;

ρ – щільність;

β – коефіцієнт масообміну;

η_T – термічний к.к.д. процесу.

Математичне моделювання процесу, виконане аналогічно описаному вище, для трьох форм електродів /плоско-паралельної, випукло-паралельної та симетричної/, дозволило зформулювати слідуючі передбачення:

1. Для всіх режимів можливість об'ємного формування електродами, які відрізняються від плоско-паралельної форми, виключена із-за високої неоднорідності поля.

2. Для режиму формування деталей одягу із зволоженням пакету тканин висока ймовірність електричних пробоїв, тому що система "електрод-матеріал-електрод" при нагріванні, за рахунок процесу пароутворення, стає електропровідною.

3. Розглянуті моделі не дозволяють дублювати поліетиленові підкладочні матеріали через низьке значення фактору діелектричних втрат цих матеріалів.

Ці передбачення були підтверджені експериментами, які виконувалися на пристрої Б-Д 1,6/40 та на пресовому устаткуванні типу ČS /ЗІЗ/ ПСП-2.

Математичне та фізичне моделювання процесів ТО у полі СВЧ

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

дозволило зформулювати наступні висновки.

1. Практичне застосування може мати режим дублювання багатошарових пакетів плоско-паралельної форми з поліамідними прокладками без зволоження пакету.

2. К.к.д. процесу дублювання можна збільшити до 35-40%, а енергозатрати зменшити у 3-4 рази.

3. До недоліків процесу ТО у полі СтВЧ потрібно віднести його низьку універсальність, неможливість реалізації традиційних операцій /об'ємного формування, дублювання поліетиленових клейових матеріалів/.

4. Для універсалізації режимів ТО у полі СтВЧ необхідно зменшити напругу електричного поля, щоб виключити електричні пробої, при цьому зберегти рівень питомої потужності, необхідний для підтримання прийнятого темпу нагрівання /40-60с/.

Згідно рівняння/2.1/ такий режим можливо реалізувати, якщо знизити поля, одночасно підвищити частоту, тобто провести перехід у діапазон надвисоких частот.

Діапазон надвисоких частот.

Розділ четвертий присвячений теоретичному обґрунтуванню технологічних режимів зварювання, склеювання, дублювання, об'ємного формування деталей одягу у НВЧ полі /2,45 мГЦ - 30 ГГц/.

Перелічені процеси розглянуті з урахуванням слідуючого посилання. Структура електромагнітного поля взагалі і НВЧ діапазону зокреса, залежить від способу його збудження, характеру розповсюдження /у хвильоводі, просторі, резонаторі/, тобто в залежності від місця та часу розгляду його взаємодії з текстильними матеріалами можна зробити висновки про технологічні процеси, що реалізуються в конкретних структурах електромагнітного поля.

При аналізі процесу зварювання матеріалів з макронеоднорідною структурою у полі НВЧ об'ємного резонатору було зроблено висновок про те, що якість зваренного з'єднання буде забезпечена при збереженні слідуючих умов.

Враховуючи хвильовий характер поля, однорідність електромагнітного /ЕМ/ поля у резонаторній камері повинна бути високою /близько до I/, або коефіцієнт температуропровідності з'єднувальних матеріалів достатньо високий, для забезпечення рівномірного розігрівання діелектриків на площі зварювання.

Припустиму зміну густини джерела тепла (ΔQ) по площі з'єднувальних матеріалів (S) можна визначити за формулою:

$$\Delta Q = \sqrt{\frac{\Delta T_g \cdot C_m}{f \cdot \Delta \varepsilon'' \cdot \tilde{\iota}}} \qquad (4.1)$$

де ΔT – допустима різниця температур по площі;

C_m – теплоємність матеріалів.

Враховуючи те, що ступінь однорідності поля об'ємного резонатору низька, як і теплоємність матеріалів /діелектриків/, був зроблений висновок про низьку ймовірність реалізації режимів зварювання матеріалів у полі об'ємного резонатору без істотного корегування відмічених факторів.

Істотно покращити структуру поля в об'ємному резонаторі технічно важко, а збільшити значення теплоємкості дублюючих матеріалів можна, наприклад, за рахунок зволоження дублюючих матеріалів.

Розрахунки показали, що зволожені матеріали є практично ізотропними за показником коефіцієнта відбиття ЕМ хвилі, що є достатньою підставою для висновку про можливість реалізації режиму дублювання матеріалів з макронеоднорідною структурою у полі НВЧ об'ємного резонатору у разі їх зволоження.

Термокінетичний аналіз був виконаний для випадку дублювання

деталей одягу в пакеті, та об'ємного формування готових виробів.

Так, при дублюванні зволожених пакетів, диференційні рівняння переносу тепла у нагрітому пакеті отримали із закону збереження енергії:

$$\frac{\partial}{\partial \tilde{t}}(c\rho_0 T) = -div(q) \qquad (4.2)$$

де $c = c_0 + \sum_{i=1}^{2} \tilde{c}_i \cdot u_i$ – приведена питома теплоємність при $i = 1,2$, при цьому 0 – відповідає сухій речовині, I – пару, 2 – рідині.

Систему диференційних рівнянь, що описують термокінетику процесу дублювання матеріалів у полі НВЧ об'ємного резонатору привели до слідуючого вигляду:

$$\begin{aligned}
\frac{\partial T}{\partial \tilde{t}} &= div(\lambda \nabla T) + 0{,}555 f \varepsilon'' E^2 k(\tilde{\tau}\mathcal{D} - \Psi) \\
\frac{\partial u}{\partial \tilde{t}} &= div(a_m \nabla u + a_m \delta_T \nabla T + \frac{k_\rho}{\rho_0} \nabla P) \qquad (4.3) \\
\frac{\partial P}{\partial \tilde{t}} &= \frac{1}{c_0 \rho_0} div(k_\rho \nabla P) + \left(\frac{P}{T} \cdot \frac{\partial T}{\partial \tilde{t}} + \frac{P_e}{T} \cdot \frac{\partial T}{\partial \tilde{t}}\right) - \frac{\varepsilon}{c_0} \cdot \frac{\partial u}{\partial \tilde{t}}
\end{aligned}$$

Граничні умови були прийняті у вигляді:

$$\begin{aligned}
&-\lambda \frac{\partial T}{\partial n} + q_n(\tilde{\tau}) - r(1-\xi) j_n(\tilde{\tau}) = 0 \\
&K_\rho \left(\frac{\partial P}{\partial n}\right) + a_m \rho_0 \left(\frac{\partial u}{\partial n}\right) + a_m \rho_0 \delta_T \left(\frac{\partial T}{\partial n}\right) + j_n(\tilde{\tau}) = 0 \qquad (4.4) \\
&P = P_0
\end{aligned}$$

де $q_n(\tilde{\tau})$ – питомий потік тепла на граничній поверхні;
$j_n(\tilde{\tau})$ – питомий потік вологи на граничній поверхні;
P_0 – зовнішній тиск.

Термокінетичний аналіз розглянутих процесів дозволив зформулювати слідуючі передумови.

I. Основними факторами, які впливають на технологічні процеси, що реалізуються у полі НВЧ об'ємного резонатору, на відміну від термоконтактного та парового нагрівання є градієнт термобародифузії і фільтраційний коефіцієнт.

2. Виключення ряду ланок у ланцюгу передачі енергії матеріалу вказує на можливість підвищення к.к.д. процесів.

3. Рішення диференційних рівнань числовими методами показали, що витрати енергії на процес склеювання та зварювання деталей у "сухому" режимі в 3-4 рази менші у порівнянні з термоконтактним та паровим нагріванням, а при склеюванні і формуванні деталей з попереднім зволоженням пакету - у 2-3 рази.

Термокінетичний аналіз вищезазначених процесів, що реалізуються у хвильовідних структурах НВЧ поля, було виконано на прикладі хвильоводу прямокутного перерізу, оскільки хвильову задачу для любого типу хвильовода можливо звести /наприклад, методом конформних перетворень/ для хвильової задачі для плоскопаралельної лінії /прямокутного хвильоводу/, заповненої анізотропним середовищем.

Мета аналізу - розробка методики розрахунку електродинамічних та теплових процесів, які мають місце при термообробці матеріалів з макронеоднорідною структурою у НВЧ полі хвильовідно-резонаторної системи.

Послідовність аналізу слідуюча.

I. Обгрунтувався вибір методу рішення електродинамічної задачі, дискретизувалась крайова задача, виконувалась алгоритмізація та комп'ютерна реалізація математичної моделі. Розраховувались поля питомої потужності всередині хвильоводу. Аналогічно опису-

вався нестаціонарний прогес нагрівання. Розраховувалось температурне поле, час термообробки /рішення теплової задачі/. Електродинамічна задача для установленого гармонічного процесу описувалась рівнянням Гельмгольца у вигляді:

$$\nabla_1^2 \varphi + \varkappa_1^2 \varphi = 0$$

де $\varphi = \{E_z H_z\}^T$; $\varkappa_1 = (k^2 - \gamma^2)^{1/2}$ – поперечне хвильове число;

$\gamma = \beta - i\alpha$ – повздовжне хвильове число;

E_z, H_z – повздовжні складові комплексних амплітуд електричного та магнітного поля;

$\nabla_1^2 = \partial^2/\partial x^2 + \partial^2/\partial y^2$ – двохмірний оператор Лапласа.

Теплова задача зводилась до рішення рівняння теплопровідності неоднорідного тіла, що має внутрішні теплові джерела:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a^2\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial T^2}{\partial z^2}\right) + \frac{P_{nn}}{C_p} \qquad (4.5)$$

де $a^2 = \lambda / C_p$ – коефіцієнт температуропровідності;

λ – теплоємкість матеріалу;

T – різниця температур матеріалу та навколишнього середовища;

P_{nn} – густина внутрішніх джерел тепла;

τ – час.

Для розрахунку власних параметрів електромагнітного поля хвильовода та резонаторів використовувався метод кінцевих елементів. При виборі методу керувались слідуючим. Метод застосовується для структур з вільною формою границі. Форма, розміри та число розглядуваних підобластей можуть бути змінними, що дає можливість переходити від однієї області визначення до другої, у рамках одного алгоритму. Метод не обмежує властивості суміжних середовищ в області визначення пошукової функції.

Для структури, яка показана на мал. 4.1., були введені криволінійні ортогональні координати / r, τ, z /.

Диференційне рівняння /4.5/ представлялося у вигляді

$$L\Theta = \lambda\Theta \tag{4.7}$$

де Θ – власний вектор повздовжніх компонент електричного $(E_z = E_z' - iE_z'')$ та магнітного $(H_z = H_z' - iH_z'')$ полів;

$$\Theta = [E_z', E_z'', H_z', H_z'']^T, \quad \lambda = \omega^2$$

ω – власна частота хвильовідної системи;

$L = \mathcal{D}^{-1}\nabla_1^2$ – диференційний оператор, зв'язаний з антисиметричною матрицею;

$$\mathcal{D} = \begin{bmatrix} -g' & g'' & 0 & 0 \\ & -g' & 0 & 0 \\ & & -g' & c'' \\ & & & -g' \end{bmatrix} \tag{4.8}$$

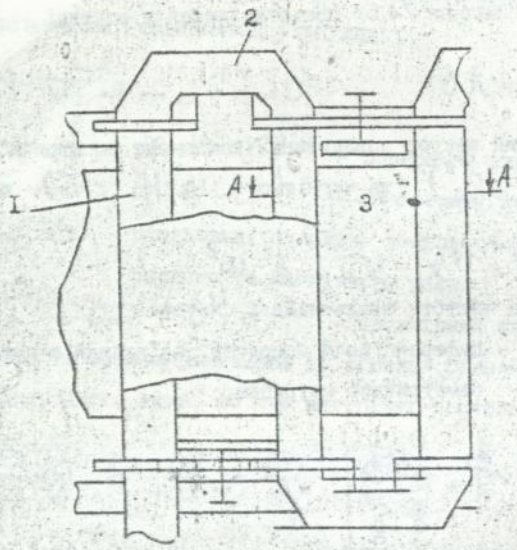
$$g' = \varepsilon_r' \mu_r (1 - tg\delta_e tg\delta_m) - \left(\frac{\beta c}{\omega}\right)^2 + \left(\frac{\alpha c}{\omega}\right)^2$$

$$g'' = \varepsilon_r'' \mu_r' (tg\delta_e + tg\delta_m) - 2\frac{\beta c}{\omega}\cdot\frac{\alpha c}{\omega}.$$

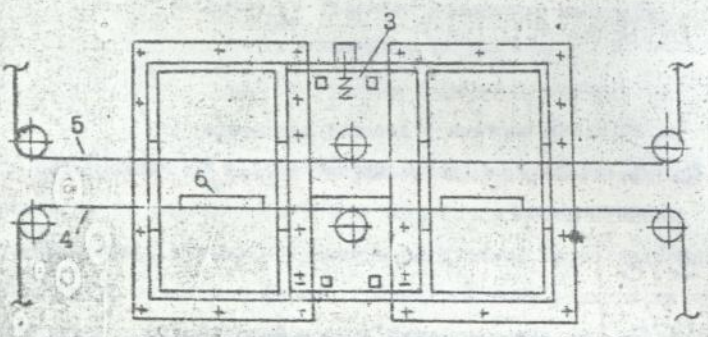
ε_r', μ_r' – матеріальні частини відносної діелектричної $(\varepsilon_r = \varepsilon_r' - i\varepsilon_r'')$ та магнітної $(\mu_r = \mu_r' - i\mu_r'')$ проникливості;

$$\left.\begin{aligned} tg\delta_e &= \varepsilon_r''/\varepsilon_r' \\ tg\delta_m &= \mu_r''/\mu_r' \end{aligned}\right\}$$ – тангенси кутів діелектричних та магнітних втрат.

Для чисельного рішення /4.5/, в якому є несамоспрягний оператор, застосовували метод кінцевих елементів у формі методу зва-



A-A



Мал 4.I. Елемент хвильоводно-резонаторної системи, що підлягала розрахунку:

I, 2 – мандрова система; 3 – система притискувачів;

4, 5 – транспортуючі стрічки; 6 –

жених нев'язок /МЗН/. Це дало можливість отримати основне співвідношення МЗН безпосередньо з /4.5/, минувши формулювання функціоналу у рамках варіаційного обчислення.

При розбитті в МЗН області R на E-трикутних елементів на кожному елементі мала місце слідуюча поліноміальна апроксимація:

$$\theta^{(e)} = \sum_{i=1}^{L} N_i^{(e)} \tilde{\theta}_i^{(e)} \qquad (4.9)$$

де $N_i^{(e)}$ – функція форми МЗН, яка має смисл інтерполянти пощукової функції в i – вузлі e-го елементу;

$\tilde{\theta}_i^{(e)}$ – вектор вузлових значень повздовжніх значень повздовжніх компонент поля;

$e = 1,\dots,E$; $L = \frac{(n+1)(n+2)}{2}$ – число вузлів трикутного елементу;

n – порядок полінома /4.9/.

Були обчислені структури ЕМ поля та розподіл питомої потужності в області взаємодії усередині хвильовідного елементу з випромінювальної /мал. 4.2а/ та невипромінювальної /мал. 4.2б/ щілини хвильовідного елементу.

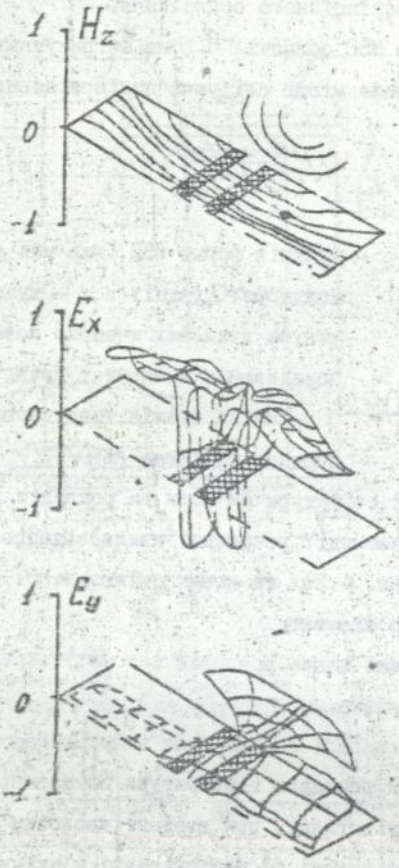
Було розраховано також розподіл питомої потужності усередині хвильовідних елементів.

При рішенні теплової задачі було запропоновано рівняння, яке дозволяє визначити розподіл температури по ширині текстильного матеріалу в явному вигляді, при введені числових значень, теплоємкості, теплопровідності та тепловіддачі з'єднуваних матеріалів:

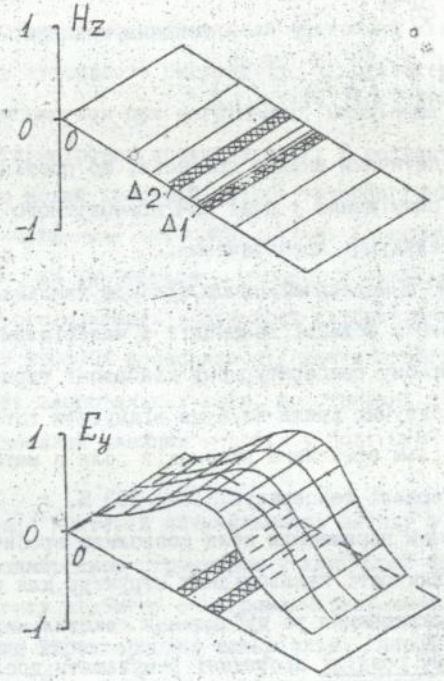
$$U = \sum_{0}^{\infty} \frac{2\sin\mu_n}{\mu_n + \sin\mu_n\cos\mu_n} \cdot \cos(\mu_n Z) \exp(-\mu_n^2 F_o) \qquad (4.10)$$

де U – безрозмірна температура;

$Z = Z/\delta$ – безрозмірна координата;



Мал. 4.2в. Структура поля хвильоводного елементу з мікрополоскою щілиною.



Мал. 4.2б. Структура поля хвильоводного елементу з невипромінюючою щілиною.

$F_0 = a^2\tau/\delta$ – число Фур'є /безрозмірний час/ ;

$ctg\,\mu = \frac{\mu}{Bi}$; Bi – число Біо;

δ – товщина тканини.

$$m = (k^2\lambda - \lambda)\lambda$$

Термокінетичний аналіз процесів, що протікають в текстильних матеріалах, розміщених у полі НВЧ прямокутного хвильоводу, дозволив зробити слідуючі передбачення.

I. Режим з невипромінюючою щілиною хвильоводу дозволяє вирівнювати поле в області взаємодії з матеріалом.

2. По всьому температурному діапазоні термообробки /293 – 415 К/ поле бігучих хвиль не буде відчувати істотних змін.

3. Найбільш ефективна взаємодія поля з матеріалами буде проходити в інтервалі температур 3I6 – 393 К.

Розрахунки параметрів поля дозволили зробити висновок про позитивні можливості хвильовідних структур для реалізації режимів зварювання, склеювання та дублювання текстильних матеріалів.

У п'ятому розділі проведені результати досліджень електричних та електрофізичних характеристик текстильних матеріалів з анізотропною структурою. Визначені критерії якості технологічних процесів, що протікають у полях ВЧ та НВЧ, розроблені експериментальні установки та пристрої, що дозволять здійснити контроль електричних характеристик матеріалів у зоні з'єднання.

З цією метою досліджено характер взаємодії потоку потужності електромагнітної хвилі з дослідними матеріалами резонаторним методом та методом відкритих хвильоводів, у діапазоні довжин хвиль 400 КГц, 20 МГц, 2450 МГц.

Встановлені температурні залежності фактору діелектричних втрат $\varepsilon''(T)$, коефіцієнт відбиття $R(T)$ та коефіцієнту про-

зорості $\overline{T} = (T)$. Досліджено вплив характеру розподілу неоднорідностей у структурі матеріалу на коефіцієнт відбиття електромагнітної хвилі. Встановлено оптимальний частотний діапазон довжини хвиль, в якому чутливість сигналу S_i до електричних характеристик, які змінюються при нагріванні, найбільша /діапазон сантиметрових та міліметрових довжин хвиль/. В результаті дослідження запропоновано новий критерій якості технологічного процесу, який базується на порівнянні поточних значень електричних характеристик матеріалів, що змінюються у процесі з'єднання з еталонними. Реалізація цього критерію в пристрої автоматичного управління процесом /а.с. № 990909/ дозволила підвищити стабільність характеристик міцності зварювальних швів, що отримані розробленим методом з'єднання деталей швейних виробів у полі СтВЧ /а.с. № 950831/.

Розроблений новий критерій оптимальності методу з'єднання матеріалів з макронеоднорідною структурою у полі СтВЧ базується на чутливості коефіцієнту відбиття електромагнітної хвилі до електричних і структурних характеристик матеріалів. Розроблені експрес-методика та пристрій для визначення цього критерію.

Практичне значення розроблених критеріїв ілюструє табл.I.

В таблиці I, R - комплексний показник, що характеризує не тільки оптичні, але й електричні властивості матеріалів.

Для матеріалів з низьким фактором діелектричних втрат, R близький до нуля, тобто, матеріал практично не відбиває електромагнітну хвилю, а тому не придатний для зварювання у полі СтВЧ без додаткової обробки. Просочений полівінілацетатною емульсією очіс дозволяє віднести його до першої групи матеріалів, що класифікується в табл.I за коефіцієнтом відбиття. Килимовий матеріал з потенційно високими електричними характеристиками, із-за високої пористості також практично не відбиває електромагнітну хвилю, тому

відноситься до другої групи матеріалів. Після додаткового апретування, збільшення коефіцієнту $R > 0,2$ дозволяє віднести його в першу групу та застосувати відомий режим з'єднання.

Методика впроваджена на Московському АЗЛК при оздоблені салону автомобіля з використанням зварювальної установки фірми "Körting Kieffel".

Оцінити ступінь впливу структурних особливостей матеріалів /орієнтацію неоднорідностей, оптичну щільність і т.д./ на енергетичний режим технологічного процесу з'єднання матеріалів з макронеоднорідною структурою у полі СтВЧ можна введенням емпіричного коефіцієнту диссипації електричного поля k, який еквівалентний коефіцієнту відбиття R /табл.I/.

У зв'язку з цим, рівняння енергетичного балансу процесу, з урахуванням термокінетики та структурних особливостей матеріалів, має слідуючий вигляд:

$$0,555 k f \bar{t}^2 \left[(\bar{\tau}\mathcal{D}-\Psi)+\Psi \exp\left[\frac{\Psi}{K_T}(\bar{\tau}-\bar{\tau}_1-\bar{\tau}_m)\right]\right]=4,18\frac{c\gamma}{\eta_t}\cdot\frac{\Delta T}{\Delta t} \qquad (5.1)$$

Запропоноване рівняння дозволило точніше розраховувати енергетичне співвідношення процесу /табл.I значення $P_{пп1}$ -отримали без урахування термокінетики процесу й структурних особливостей матеріалів, а $P_{пп2}$ - з урахуванням/.

Означені структурні та електричні характеристики матеріалів були реалізовані при виконанні експериментального моделювання режимів з'єднання матеріалів у полі НВЧ об'ємного резонатора та хвилеводу.

Таблиця I

Класифікація матеріалів за коефіцієнтом відбиття у сантиметровому діапазоні НВЧ.

Матеріали	Коефіцієнти		Питома потужність /Вт/м^3/	
Група I				
Нетканий матеріал "Містра"	0,35	I,4	6,5 I0^7	9,0 I0^7
Килимовий матеріал з додатковим апретуванням	0,30	I,3	6,0 I0^7	8,0 I0^7
Просочений очіс	0,25	I,I	6,7 I0^7	8,0 I0^7
Група 2				
Непросочений очіс	0,I5	0,8	5,0 I0^7	4,0 I0^7
Килимовий матеріал з нормальним апретуванням	0,I5	0,8	5,0 I0^7	5,0 I0^7
Синтетичний ватин	0,I5	0,8	6,8 I0^7	5,0 I0^7

У шостому розділі на експериментальних установках досліджувався процес дублювання матеріалів у полі НВЧ, уточнювались граничні технологічні можливості цього частотного діапазону.

Для вивчення процесів з'єднання матеріалів у полі об'ємного резонатора було сконструйовано експериментальну установку на базі магнетрону АК-I22 з фторопластовими пресуючими плитами, які дозволяють виконувати операції пресування деталей площею I50 x 200 мм при товщині пакету до I00 мм.

Виконані дослідні зварювання показали, що поліамідні матеріали можна зварювати у полі НВЧ без попереднього зволоження, проте опір розшарування виявився за абсолютними значеннями нижчий, ніж у зразків, з'єднаних термоконтактним методом /у I,5 – 2 рази/. При

цьому розподіл температури у шарах був не гірше ± 5 К. Але розподіл температури по площі коливався у межах ± 10–15 К. Цей результат пояснюється високою неоднорідністю поля об'ємного резонатору, що підтвердило вірність висновків, зроблених при аналізі термокінетики процесу. Аналогічні результати були отримані й при зварюванні поліамідної тканини з тканинами "Сновянка", "Консул", "Рада".

Зразки поліетиленових матеріалів, як і різні комбінації поліетиленових прокладок з тканинами "Сновянка", "Консул", "Рада", у полі НВЧ не зварювались. Це пояснюється низькими електричними характеристиками поліетилену.

При зварюванні поліамідних матеріалів між собою при зведеному пакету, а також при склеюванні поліамідних прокладочних матеріалів з різними текстильними матеріалами були отримані позитивні результати. При цьому опір розшаруванню у всіх партіях зразків був одного порядку з зразками, що отримали термоконтактним зварюванням, а для зразків пальтової та костюмної групи – у 1,5–2 рази вищим.

Якісне з'єднання було отримано при любій комбінації текстильних матеріалів та поліамідних клейових матеріалів у пакеті. Температура в шарах матеріалу /товщиною до 10 см/ досягала 415 К, рівномірність температурного поля на поверхні тканин не перевищувала ± 5 К.

Після статистичного опрацювання результатів експериментів та на 5%-ній значимості рівнянь регресії були отримані адекватні математичні моделі, перевірка яких за критерієм Фішера показала на їх адекватність. Середньо відхилення розрахункових даних від фактичних не виходила за межі 5%.

Експериментальним шляхом були отримані кількісні результати,

які встановлюють залежність температури нагрівання від часу, залежність вологоутримання пакетів тканин від часу термообробки.

Проведені дослідження дозволили зформулювати слідуючі висновки.

У полі НВЧ об'ємного резонатору можна реалізувати операції зварювання та склеювання поліамідних прокладок з попереднім зволоженням адгезиву. Режим з'єднання поліетиленових матеріалів з текстильними у полі НВЧ об'ємного резонатору, як із зволоженням пакету, так і без зволоження, не можливий для практичного застосування.

Для дослідження процесу з'єднання матеріалів у полі бігучої хвилі була сконструйована установка на базі магнетрону М-105 з хвильоводом перерізом 45 х 90 мм, з збудженням хвилі типу H_{10}.

У результаті виконання дослідних зварювань було досягнуто задовільну якість з'єднання клейових прокладочних матеріалів з тканинами.

Поліетиленові зразки практично не нагрівались у полі "бігучої" хвилі при використанні транспортуючої та прижимної стрічок з анідних кордних тканин. При використанні транспортуючої стрічки з склопластикової тканини з вугільнографітовим покриттям вдалося досягти якісного з'єднання поліетиленових прокладок. Вугільнографітове покриття склопластикової тканини має фактор діелектричних втрат ε'' на порядок вищий, аніж любий із з'єднуваних матеріалів, що гарантує якісне прогрівання прокладочного матеріалу незалежно від його електричних характеристик.

Випробування отриманих з'єднань на гнучкість, терти, розшарування у порівнянні зі швами, отриманими термоконтактним зварюванням, не виявили істотних відмінностей.

Таким чином, експериментальні дослідження, виконані у ді-

пазоні НВЧ, показали, що теоретичні передбачення про можливість реалізації операцій дублювання, склеювання, зварювання, об'ємного формування деталей швейних виробів були правильними. Перераховані процеси можуть бути реалізовані як у пристроях на базі об'ємних багатомодових резонаторів, так і у пристроях на основі хвильовідних структур, склавши реальну альтернативу процесам, які реалізуються з використанням термоконтактного та парового нагрівання.

У сьомому розділі показані приклади розрахунку та практичної реалізації розроблених технологій. Наведені конструктивні особливості пресу НВЧ, що реалізує режими ВТО у полі об'ємного резонатору, пресу НВЧ, що реалізує процес дублювання у хвильовідно-резонаторних структурах при конвейєрному транспортуванні напівфабрикату /прес розроблений при технічній допомозі фірми "Каннегіссер", ФРН/, причому з можливістю дублювання тканин клейовими прокладками як з поліетиленовим так і з поліамідним покриттям, без зволоження дублюючих матеріалів.

Описана установка та спосіб віброформування готових виробів у полі об'ємного резонатору. Описана автоматична установка контролю процесу зварювання у полях високої та надвисокої частоти, що реалізує принцип гнучкого зворотнього зв'язку. Показані напрямки удосконалення технологічних процесів швейної промисловості з використанням хвиль водів спеціального призначення: жолобкових, Н-образних. Описані технології та можливі області застосування розроблених пристроїв та режимів у інших галузях промисловості. Зокрема, у процесах прання, просушування, прасування білизни.

У додатку приведені розрахунки економічної ефективності запропонованих технологій, температурні залежності електричних характеристик ряду текстильних та матеріалів із плівки у діапазоні 27-2450 МГц, результати статистичної обробки вимірів, акти впровадження у виробництво результатів досліджень.

ВИСНОВКИ

1. В роботі вперше розроблені теоретичні та практичні основи технологічних процесів ТО деталей одягу, з'єднання матеріалів з макронеоднорідною структурою у полях високої та надвисокої частоти, що дозволило створити конкурентноспроможні на світовому ринку енергозберігаючі технології та устаткування як для швейної промисловості так і для суміжних галузей, що має важливе народногосподарське значення.

2. Проведені аналітичні та експериментальні дослідження термокінетики процесу з'єднання матеріалів у полі СтВЧ, у результаті яких запропоновані формули для визначення питомої потужності, що виділяється у матеріалі з урахуванням зміни електричних та структурних характеристик матеріалів у процесі нагрівання. Розроблено спосіб з'єднання матеріалів з макронеоднорідною структурою у полі СтВЧ, що враховує кореляцію між стискуванням, повітрязатримуючими характеристиками волокон у масі та показниками якості технологічного процесу, визначені граничні технологічні можливості діапазону СтВЧ для технології швейних виробів.

3. Виконано математичне та фізичне моделювання режимів з'єднання матеріалів з макронеоднорідною структурою в полях НВЧ об'ємного резонатору у прямокутному хвильоводі. Експериментально доведено можливість реалізації відомих операцій ТО з використанням енергії НВЧ поля.

4. Вивчена термокінетика процесів зварювання, склеювання, дублювання деталей швейних виробів у полях надвисокої частоти, збуджених в об'ємних багатомодових резонаторах та хвильовідних структурах. Виявлено особливості технологічних процесів, які реалізуються у пристроях НВЧ-нагрівання.

5. На основі експериментального дослідження характеристик

взаємодії потоку електромагнітної енергії з матеріалами розроблені нові критерії якості технологічного процесу та оптимальності методу високочастотного зварювання деталей швейних виробів. Критерій якості технологічного процесу, на відміну від відомих, базується на порівнянні змінюваних значень характеристик потоку електромагнітної енергії з еталонними, дозволяє здійснити корективу процесу з'єднання з урахуванням електрофізичних та структурних характеристик матеріалів у зоні шва. Критерій оптимальності методу дозволяє обгрунтовано прийняти оптимальний режим з'єднання матеріалів у полі СтВЧ з урахуванням їх оптичних та електричних характеристик.

6. Досліджені електричні / ε, tg / та електрофізичні характеристики /коефіцієнт відбиття та прозорості електромагнітної хвилі /текстильних матеріалів у широкому частотному /27-9600 МГц/ та температурному /293-493 К/ діапазонах, що дозволило уточнити ряд параметрів математичних моделей, що використовувались для синтезу пристроїв НВЧ-нагрівання деталей швейних виробів як у резонаторних, так і в хвильовідних структурах.

7. На основі теоретичних та експериментальних досліджень розроблені принципово нові технології: спосіб ВТО деталей швейних виробів у полі об'ємного резонатору /а.с. № 1359374/; способи дублювання деталей одягу у хвильовідно-резонаторних структурах /а.с. № 4774133, 4645837/; спосіб ВТО готових виробів на віброманекені /а.с. № 1714008/ та пристрій для його реалізації /а.с. № 4820367/; спосіб прання, просушування та прасування білизни, та пристрій для його реалізації /а.с. № 1770487/; ряд способів та пристроїв, які реалізують запропоновані математичні моделі у технологічних процесах суміжних промисловостей, просушування деревини у рупорно-хвильовідному резонаторі, термофіксації текстильних полотен /а.с. № 1726601/ вакуумного просушування лікарських рослин та ін.

8. Розроблені технології, методи розрахунку режимів, способи реалізації технологічних режимів, експериментальні пристрої та пристосування отримали практичне застосування.

На Клайпедській фабриці бавовняних тканин запропонована методика оптимізації витрат апретуючих покриттів, які наносять перед зварюванням у полі СтВЧ, на килимові матеріали з високою пористістю. При цьому з застосуванням критерію оптимальності R встановлено раціональний вихід апрету.

На швейній ділянці /цех № 2/ Московського автомобільного заводу /АЗЛК/ впроваджена методика розрахунку енергетичних співвідношень процесу з'єднання швейних виробів технічного призначення /при оздоблені салону автомобіля/ з матеріалів з макронеоднорідною структурою у полі СтВЧ з використанням обладнання фірми "Körting Kiefel".

У Київському СКБ "Генератор" ВО "Октава" впроваджені експериментальна установка резонаторного типу для дослідження процесів просушування діелектричних матеріалів, методика розрахунку та конструкція НВЧ-нагрівача преса для ВТО деталей швейних виробів.

На Київському комбінаті будівельних матеріалів впроваджена хвильовідна установка для просушування деревини.

На заводі "Пуансон" м.Знаменка впроваджена експериментальна установка резонаторного типу для просушування діелектриків, підготовлена конструкторська документація для випуску пробної партії установок.

На Шепетівському заводі "Радар" впроваджено методику розрахунку установок вакуумного просушування рослин у полі НВЧ, що дозволило в 2-3 рази скоротити витрати енергії на процес сушки з збереженням вітамінних властивостей рослин.

Шепетівському заводу "Радар" реалізовано: конструкторсько-технологічну документацію та пробний зразок пресу конвейерного

типу для дублювання деталей швейних виробів у НВЧ полі, який споживає енергію у 2,2 рази менше, ніж кращі світові аналоги; реалізовано технічну документацію на мікрохвильовий побутовий пральний напівавтомат з розширеними функціональними можливостями, який на операції сушіння білизни скорочує витрати енергії у 3,2 рази, а час сушіння - у 2,5 рази; реалізовано технічну документацію та пробний зразок настільної конвеєрної установки для розігріву сосисок та приготування кави. Час розігріву напівфабрикату у мікрохвильовому резонаторі становить 10-12 с., що в 5 раз менше, ніж у аналогічній установці термоконтактного типу при рівних витратах енергії.

На Хмельницькому об'єднанні "Хмельницькхарчопром" впроваджено НВЧ прес резонаторного типу для витискання соняшникової олії, що дозволяє об'єднати процеси розігріву і пресування, збільшити вихід олії на 10%.

ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ ДИСЕРТАЦІЇ ОПУБЛІКОВАНІ В СЛІДУЮЧИХ РОБОТАХ

1. Скрипник В.Н., Алексеенко А.И., Красильников С.Р. Формование деталей швейных изделий в поле токов высокой частоты. Известия вузов. Технология легкой промышленности. № 5, 1986. С. 99-101.
2. Скрипник В.Н. Моделирование процесса влажно-тепловой обработки швейных изделий в поле токов высокой частоты. Известия вузов. Технология легкой промышленности. № 2, 1987. С. 98-100.
3. Скрипник В.Н. Влажно-тепловая обработка швейных изделий в СВЧ поле. Известия вузов. Технология легкой промышленности. № 5, 1992, С. 35-38.
4. Скрипник В.Н. Влажно-тепловая обработка деталей одежды в СВЧ поле. Известия вузов. Технология легкой промышленности. № 6, 1992, С. 35-41.
5. Скрипник В.Н. Конвейер для сушки фруктов и овощей в СВЧ поле. Тезисы Всесоюзной 6-й научно-практической конференции "Применение СВЧ энергии в технологических процессах и научных исследованиях". Саратов ВНТО им.А.С.Попова, 1991. С.13.
6. Скрипник В.Н., Баксалов Р.В. Дублирование текстильных материалов в СВЧ поле. Тезисы 6-й научно-практической конференции "Применение СВЧ энергии в технологических процессах и научных исследованиях". Саратов ВНТО им.А.С.Попова, 1991. С.93.
7. Скрипник В.Н. Объемное формование деталей одежды в СВЧ поле. ХТИ, Научные труды участников научно-технической конференции стран СНГ "Качество и конкурентная способность товаров массового потребления". Хмельницкий, 1993, С.67-68.
8. Скрипник В.Н., Баксалов Р.С. Особенности сушки белья при центрифугировании в СВЧ поле. Тезисы научно-технической конференции стран СНГ". Качество и конкурентная способность товаров

массового потребления". Хмельницкий, 1993. ХТИ, С.70-71.

9. А.с. 1359374 /СССР/. Способ влажно-тепловой обработки деталей швейных изделий, Скрипник В.Н. БИ № 46, 1986.

10. Решение патентной экспертизы № 4834150/12/029643. Устройство для тепловой обработки швейных изделий. Скрипник В.Н., Кашлев В., Водотовка В.И. 06.05.91.

11. Решение патентной экспертизы № 4771133/12/150835. Способ формования деталей одежды и готовых изделий.Скрипник В.Н. 7.09.90.

12. Решение государственной научно-технической экспертизы изобретений № 4845837/09. Скрипник В.Н., Водотовка В.И., Кашлев В. Способ термообработки материалов и изделий в электромагнитном поле СВЧ и устройство для его осуществления. 2.07.90.

13. Скрипник В.Н., Березненко Н.П. Положительное решение государственной научно-технической экспертизы изобретений № 4820367/12/029642. Устройство для влажно-тепловой обработки швейных изделий.

14. Скрипник В.Н. Положительное решение государственной научно-технической экспертизы изобретений № 4663383/12/072884 от 01.07.91. Способ влажно-тепловой обработки деталей швейных изделий.

15. Скрипник В.Н. Положительное решение патентной экспертизы № 4819864/12/039649 от 14.03.90. Способ формования деталей швейных изделий.

16. Скрипник В.Н., Скрипник Н.В. А.с. 1781350 /СССР/. Способ влажно-тепловой обработки деталей швейных изделий. Опубликовано в БИ № 46, 1992.

17. Скрипник В.Н., Водотовка В.И. А.с. 1770487 /СССР/. Способ стирки и отжима белья и устройство для его осуществления. Опубликовано в БИ № 39, 1992.

18. Скрипник В.Н. Положительное решение государственной научно-технической экспертизы изобретений № 5024565/12/004474. Машина для стирки и отжима белья.

19. Скрипник В.Н., Тучин В.А., Заборов С.В. А.с. 1726601 /СССР/. Устройство для жидкостной и термической обработки движущегося текстильного материала. Опубликовано в БИ № 14, 1992.

20. Скрипник В.Н. А.с. 1714008 /СССР/. Способ формирования деталей одежды и готовых изделий. Опубликовано в БИ № 7, 1992.

21. Скрипник В.Н., Кульчицкий В.Р., Баксалов Р.С. Отчет о НИР № гос.регистрации 01.9.1001002 "Разработка микроволновой стирально-сушильной машины для белья и швейных изделий. Хмельницкий, ХТИ, 1991. С.45.

22. Скрипник В.Н., Кущевский Н.А., Кульчицкий В.Р. Отчет о НИР № гос.регистрации 01900023194. Исследование способа влажно-тепловой обработки швейных изделий в электромагнитном поле СВЧ и определение требований и конструкции микроволнового пресса. Хмельницкий, ХТИ, 1991.

23. Отчет о НИР № гос.регистрации 01930091434 "Разработка изготовления и внедрения опытных образцов микроволнового вакуумного комплекса для сушки сельхозсырья с получением ароматического конденсата". Скрипник В.Н., Водотовка В.И., Рыбалко О.П., Хмельницкий, ХТИ, 1993. С.50.

24. Отчет о НИР № гос.регистрации 01934009833 "Исследование процесса дублирования деталей швейных изделий в электромагнитном поле СВЧ и создание на этой основе технологической линии". Скрипник В.Н., Савков В.И., Бессмертная Л.В., Хмельницкий, ХТИ, 1993. С.45.

25. Отчет о НИР № гос.регистрации 0193 023559. Исследование технологии формования и виброформования деталей одежды в СВЧ поле.

Скрипник В.Н., Савков В.И., Бессмертная Л.В., Хмельницкий, ХТИ, 1993. С.54.

26. Отчет о НИР № гос.регистрации 0185 0076872. Разработка технологического процесса соединения ПВХ пленок с ковровыми материалами в поле токов высокой частоты. Алексеенко А.И., Скрипник В.Н., Хмельницкий, ХТИБО, 1984, С.37.

А Н Н О Т А Ц И Я

Скрипник Б.Н. Методы тепловой обработки деталей швейных изделий в полях высокой и сверхвысокой частоты.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.19.04 - технология швейных изделий, Государственная академия легкой промышленности Украины, Киев, 1994.

Работа посвящена проблеме внедрения электромагнитной энергии высокой и сверхвысокой частоты в технологические процессы тепловой обработки деталей швейных изделий.

В работе отражены теоретические и экспериментальные исследования процессов сварки, дублирования, формования, объемного формования деталей одежды и готовых изделий в волноводных и резонаторных структурах электромагнитного поля.

Ключові слова: електромагнітна енергія, зварювання, дублювання, формування, деталі одягу.

A N N O T A T I O N

Skripnik V.N. Methods of thermal treatment of clothing parts in the fields of high and superhigh frequency.

The thesis is submitted for the degree of Doctor of Sciences (Technology) in speciality 05.19.04 - technology of clothing, State Light Industry Academy of Ukraine, Kiev, 1994.

The research work is devoted to the problem of introduction of the electromagnetic energy of high and superhigh frequency into the technological processes of thermal treatment of clothing parts.

The theoretical and experimental investigations of the processes of welding, doubling of clothing parts and ready-made goods in waveguide and resonator structures are presented.

Ав 31.449