

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МАТЕРІАЛОЗНАВСТВА ім. І. М. Францевича

УДК 678:621.365:621.762

На правах рукопису

ГРІФЕН Леонід Олександрович

КОМПОЗИЦІЙНІ РЕЗИСТИВНІ МАТЕРІАЛИ
З УПОРЯДКОВАНОЮ МАКРОСТРУКТУРОЮ
ДЛЯ ЕЛЕКТРОНАГРІВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ
ПРОМИСЛОВОГО ТА ПОБУТОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Спеціальність 05.16.06 - Порошкова металургія і
композиційні матеріали

А в т о р е ф е р а т
дисертації на здобуття вченого ступеня
доктора технічних наук

Київ - 1996

46 35, 250
Робота виконана в Інституті проблем матеріалознавства
ім. І. Н. Францевича НАН України

Офіційні опоненти:

Член-кореспондент НАН України
доктор технічних наук, професор
ГНЕСІН Георгій Гдалевич

Академік технологічної академії
України, доктор технічних наук
ЗАБАВГА Володимир Федорович

Доктор технічних наук, професор
ВАСИЛЬЧЕНКО Василь Миколайович

Провідна організація: Український науково-дослідний Інститут
електротермічного обладнання
(УкрІДІелектротерм)

Захист відбудеться 23 вересня 1996 р. о _____ год. на засі-
данні спеціалізованої Ради Д 016.23.02 в Інституті проблем матері-
алознавства НАН України.

.З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Інституту.

Автореферат розісланий 23 липня 1996 р.

Відгуки на автореферат в 2-х прим., завірені печаткою установи,
просимо направляти на адресу: 252142, м. Київ, вул. Крижанів-
ського, 3, Інститут проблем матеріалознавства НАН України,
Спецрада Д 016.23.02

Вчений секретар
спеціалізованої Ради
доктор технічних наук

Р.В. Мінакова

ЛННБ України ім. В. Стефаника



00753713 (Q)

ЛННБ ім. В. Стефаника
АН України

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

На низькотемпературній процесі (до 600°C) в різних галузях промисловості, в сільськогосподарському виробництві, в комунально-побутовому господарстві і т.ін. витрачається більш ніж половина (53%) усіх енергетичних ресурсів. Тому підвищення ефективності енергоспоживання, зниження енергетичних втрат при низькотемпературному нагріві в чи не найважливішим напрямком енергозбереження. Найбільш ефективним є використання електронагріву, котрий відзначається точністю локалізації, дозування енергії та регулювання температури, компактністю та надійністю пристроїв, раціональністю конструкцій і зниженням матеріалоемності того обладнання, в якому він застосовується, а головне - зниженням енергетичних втрат.

Однак, з усіх видів енергії, що споживається в низькотемпературних процесах, на електронагрів припадає усього два відсотки. З огляду на високу ефективність електронагріву в багатьох промислово розвинених країнах опрацьовані та успішно здійснюються національні програми по форсованій заміні електронагрівом багатьох технологій, що базуються на спалюванні палива, і це вже приносить практичні результати. Так, наприклад, у Франції частка електроенергії, що використовується для електронагріву, досягла 35%. Ми у цьому відношенні значно відстали (у нас ця частка не перевищує 10%). Одна з причин, що стримує впровадження електронагріву в народне господарство, - відсутність необхідної елементної бази. Практично усі задачі низькотемпературного електронагріву намагаються вирішити на основі трубчатих електронагрівачів, котрі, попри важливі переваги, часто не забезпечують необхідного технічного та економічного рівня електронагрівальних пристроїв. Це змушує приймати неоптимальні рішення, а в ряді випадків взагалі виключає можливість вирішення тих задач, котрі виникають у практиці.

Зі сказаного випливає, що подальший розвиток електронагріву та підвищення його ролі в енергозбереженні істотним чином залежать від розробки нових високоефективних електронагрівальних приладів і пристроїв. Останні ж, у свою чергу, потребують розробки нових матеріалів з необхідними характеристиками, і перш за все - резистивних матеріалів для створення нагрівних елементів цих пристроїв, де відбувається перетворення електричної енергії на теплову. Питання розробки деяких видів такого роду матеріалів, технології їх промислового виробництва, методів їх використання в електронагрівальних пристроях різноманітного призначення і присвячена ця робота.

Актуальність проблеми. Останнім часом все більший розвиток одержують дослідження та розробки в галузі електронагріву за допомогою нагрівних елементів, виконаних на основі композиційних резистивних матеріалів. Однак існуючі резистивні матеріали у ряді випадків не забезпечують необхідних властивостей електронагрівальним приладам на їх основі як за стабільністю параметрів, так і за діапазоном характеристик. Найбільш стабільними параметрами відзначаються резистивні матеріали на основі безперервних лінійних струмопровідних елементів. Вони дозволяють одержати плоскі гнучкі резистивні полотна, що мають широкий діапазон електричних характеристик та лінійних розмірів при високій механічній міцності. Тому такі матеріали, що їх отримують на основі механічних технологій волокнистих матеріалів, вже досить давно застосовуються з вказаною метою. Але відповідні опрацювання як у нас, так і за рубежом, носять спорадичний характер і, як правило, спрямовані на вирішення вузьких конкретних завдань. В той же час широке промислове використання такого типу резистивних матеріалів вимагає опрацювання теоретичних засад їх проектування з урахуванням забезпечення необхідних параметрів, технології їх промислового виробництва, так само як і основ конструювання на базі цих матеріалів високоефективних електронагрівальних приладів та пристроїв для різних галузей народного господарства.

Важливість вирішення вказаних задач спричинила до включення даних робіт до цілого ряду державних та відомчих науково-технічних програм у галузі низькотемпературного нагріву на основі композиційних резистивних матеріалів, в яких автор був відповідальним виконавцем та науковим керівником.

Ціль роботи. Безпосередньою метою цієї роботи, що визначала конкретні задачі досліджень, було:

розробка волокнистих композиційних резистивних матеріалів з упорядкованою макроструктурою, що в комплексі відзначаються широким діапазоном електричних, теплових, фізико-механічних та інших властивостей;

створення наукових основ та методів проектування вказаних матеріалів з заданим комплексом властивостей;

вибір, модернізація та розробка технологічного обладнання, а також опрацювання оптимальних технологічних параметрів та схем для забезпечення їх промислового виробництва;

опрацювання принципів конструювання на базі вказаних матеріалів (з урахуванням їх структурних та експлуатаційних характери-

стик) електронагрівальних пристроїв з поверхнево розподіленим тепловиділенням;

створення та промислове освоєння електронагрівальних пристроїв для технічних і біологічних об'єктів з реальним зниженням енергоспоживання;

Методи досліджень. Як основа теоретичних та методологічних досліджень приймався системний підхід, що забезпечує взаємопов'язаний аналіз та створення резистивних композиційних матеріалів з упорядкованою макроструктурою і електронагрівальних пристроїв на їх основі. Використовувались математичні методи аналізу і натурне моделювання структур матеріалів та технологічних процесів їх отримання, тензометричні, тепловізійні та інші фізичні методи експериментальних досліджень (у тому числі зі створенням нових дослідних приладів), статистичні методи обробки їх результатів.

Наукова новизна. Для забезпечення вирішення задач цієї роботи автором безпосередньо чи під його науковим керівництвом вперше отримані наступні наукові результати:

в результаті аналізу існуючих структур резистивних композиційних матеріалів дана їх загальна класифікація, аналіз переваг та недоліків, а також класифікація волокнистих резистивних полотен з упорядкованою макроструктурою відповідно до їх структурних та технологічних особливостей, визначені галузі їх використання і напрям досліджень;

опрацьовані методи проектування структур волокнистих композиційних резистивних матеріалів, у тому числі проектування струмопровідних елементів з урахуванням їх електричних і фізико-механічних властивостей, переплетень тканих і трикотажних полотен, включаючи створення електричних з'єднань, електричної та теплової ізоляції, забезпечення необхідних питомих електричних параметрів, габаритних розмірів і т.ін.;

створені основи технології сумісної переробки лінійних елементів з істотно відмінними фізико-механічними властивостями при забезпеченні умов цілісності електричного ланцюга, які відрізняють резистивні композиційні матеріали з упорядкованою макроструктурою від інших матеріалів; що також виготовляються за механічною технологією волокнистих матеріалів;

опрацьовані принципи конструювання елементів електронагрівальних приладів та пристроїв з урахуванням особливостей використовуваних в них композиційних резистивних матеріалів.

Вірогідність одержаних наукових результатів забезпечується значним об'ємом експериментальних даних, що отримані з використанням сучасних методів досліджень, а також позитивними результатами їх широкого промислового застосування.

Практична цінність та реалізація результатів роботи. На основі опрацьованих методів розроблена промислова технологія виготовлення волокнистих композиційних резистивних матеріалів, розроблені конкретні структури цих матеріалів з заданими параметрами і на їх базі високоефективні електронагрівальні пристрої (новизна яких підтверджена вітчизняними та зарубіжними авторськими свідоцтвами та патентами) для різних галузей промисловості, транспорту, сільськогосподарства та побутової техніки. Налаштоване промислове виробництво цих матеріалів та пристроїв.

Опрацьовані прилади та пристрої забезпечують високу технічну та економічну ефективність, знижуючи в ряді випадків енергоспоживання на 20-50 %. Так, наприклад, лише впровадження електронагрівачів стрілочних залізничних переволів забезпечило річний економічний ефект в розмірі 0,5 млн. крб. (за цінами до 1990 року). Подальше впровадження розроблених матеріалів забезпечується відповідною нормативно-технічною документацією (випущено ряд технічних умов, підготовлено два державних стандарти).

Публікації і апробація роботи. Основні результати роботи відбиті в 15 брошурах і книгах, в 30 статтях, що опубліковані в центральних та галузевих науково-технічних журналах, збірниках наукових праць ВУЗів та НДІ, в тезах доповідей на наукових конференціях. За результатами виконаних робіт одержано 35 авторських свідоцтв та патентів. Результати роботи доповідались та були схвалені на 12 всесоюзних та республіканських семінарах і конференціях, а також на міжнародній конференції "Металічні та керамічні волокнисті матеріали" (Польща, 1994 р.).

Особистий внесок автора полягає у постановці та вирішенні основних теоретичних та експериментальних задач роботи. Під керівництвом та при безпосередній участі автора опрацьовані методи, методики, експериментальні установки, виконані теоретичні та експериментальні дослідження. Автору належать основні ідеї більшості публікацій і винаходів, а також аналіз та узагальнення результатів.

На захист виносяться:

наукові основи і методи проектування гнучких плоских резистивних композиційних матеріалів з упорядкованою макроструктурою;

нові базові структури резистивних полотен з широким діапазоном електричних, теплових та інших характеристик, що забезпечують високу ефективність створених на їх основі електронагрівальних приладів та пристроїв;

вихідні принципи конструювання електронагрівальних пристроїв з поверхнево розподіленим тепловиділенням з урахуванням специфіки композиційних резистивних матеріалів з упорядкованою макроструктурою;

результати освоєння виробництва волокнистих композиційних резистивних матеріалів і електронагрівальних пристроїв промислового та побутового призначення на їх основі як конкретного вирішення важливої народногосподарської задачі.

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, шести глав, загальних висновків і додатків. Вона містить опис роботи на 298 сторінках машинопису, 118 рисунків та список використаної літератури з 303 найменувань. Загальний обсяг - 4' сторінок.

ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі наведено обґрунтування актуальності проблеми, рішення якої присвячена ця дисертація, коротко висладено наукову новизну одержаних результатів, їх теоретичне та практичне значення.

В першій главі викладені результати аналізу особливостей електронагрівальних пристроїв з поверхнево розподіленим тепловиділенням (пристроїв поверхневого електронагріву) та тих резистивних матеріалів, що в них використовуються, на основі котрого визначені безпосередні цілі й задачі досліджень.

Розподілення тепла по значній частині поверхні підвищує рівномірність нагріву і знижує тепловий опір між нагрівним елементом та об'єктом нагріву. Це призводить до зниження теплової інерційності усього пристрою, що полегшує управління, а головне - зменшує температуру нагрівного елементу, що підвищує надійність та знижує втрати в навколишнє середовище.

Істотного розширення можливостей в даній галузі можна досягти, використовуючи композиційні резистивні матеріали, котрі являють собою упорядковане чи статистичне сполучення струмопровідних та електроізоляційних компонентів, що обумовлюють придбання матеріалом нових інтегративних властивостей, які не притаманні кожному компоненту зокрема. Існує значна кількість композиційних резистивних матеріалів, що відрізняються як структурними характерис-

тиками, так і властивостями (див. рис. 1). В композиційних резис-



Рис. 1

тивних матеріалах обидва типи компонентів можуть бути представлені частками, волокнами або плівками, створюючи (за типом струмопровідного елемента) відповідно дисперсні, волокнисті або шаруваті композиції. З точки зору такої їх важливої характеристики як провідність ці матеріали можуть бути розділені на дві групи, в одній з яких використовуються резистивні властивості вихідних матеріалів, а в іншій - нові властивості, що їх не мали вихідні елементи.

В останню групу входять матеріали на основі дискретних (штапельованих) волокон та диспергованих часток. При необхідності їх електропровідність може вар'юватись в досить широкіх межах. Оскільки електричний ланцюг в цих матеріалах створюється з виключенням контактів між окремими струмопровідними елементами, то електропровідність такого роду матеріалів залежить від ряду важкоконтрольованих умов і стабільністю не відзначається.

Більш стабільні характеристики мають резистивні матеріали на основі плівок та безперервних волокон. Це можуть бути тонкі плівки, що утворюють певну конфігурацію струмопровідного елемента на ізоляційному матеріалі, а також великий клас матеріалів з безперервними лінійними струмопровідними елементами, що тим чи іншим чином рівномірно закріплені на плоскій гнучкій основі.

Ці останні матеріали мають ряд переваг (перш за все, стабільність і рівномірність опору та механічну стійкість), однак при

виготовленні потребують значної кількості ручної праці. Тому зростає зацікавлення викликає клас резистивних матеріалів такого типу, структура яких створюється в процесі їх виготовлення методами механічної технології волокнистих матеріалів. Даний резистивний матеріал одержують з лінійних струмопровідних і електроізоляційних елементів шляхом їх переплетення між собою з утворенням різних видів резистивних полотен.

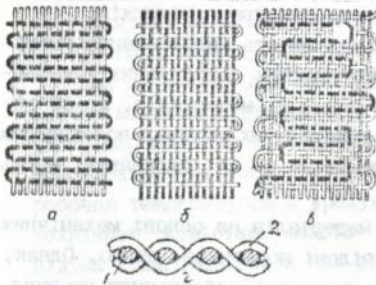


Рис. 2

розміщення в поперечному напрямку або додаткової основи при поздовжньому розташуванні в полотні. При їх відсутності ізоляція між сусідніми участками нагрівного елемента досягається за рахунок ниток іншої системи, що перехрещуються між собою (г).

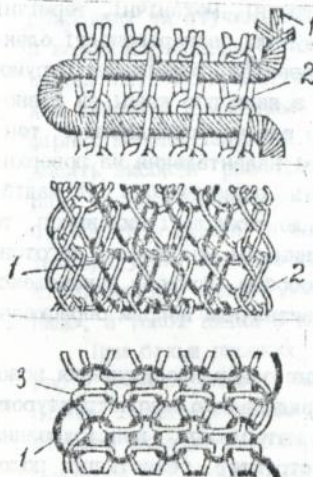


Рис. 3

ізолюваної нитки 3 (в). В основов'язаних полотнах (б) ряди петель зі струмопровідної нитки 1 розміщуються вертикально (вздовж

полотна) і відокремлюються один від одного проміжками, що утворюються петлями з електроізоляційних ниток 2.

Ще одним типом текстильних резистивних полотен є плетені. Їх ознака - наявність ниток, розміщених по діагоналі, хоча в них можуть бути також нитки поздовжнього напрямку. Відповідно до цього розрізняють два типи плетених електронагрівників.

І, нарешті, слід згадати про можливість виготовлення резистивних матеріалів за допомогою нетрадиційних текстильних технологій, на основі так званих нетканих матеріалів, що об'єднують широкий клас одержуваних на текстильних машинах волокнистих полотен, у яких, однак, не всі елементи, що їх складають, мають суто регулярне розташування.

Принципи побудови резистивних матеріалів на основі механічних технологій волокнистих матеріалів відомі порівняно давно. Однак, як виявилось, самі по собі вони ще не здатні забезпечити промислової реалізації резистивних матеріалів даного роду.

У зв'язку з необхідністю створити умови для проходження електричного струму першою структурною вимогою до такого роду резистивних матеріалів є безперервність електричного ланцюга, при чому необхідно забезпечити, щоб електричні, механічні, термічні фактори у процесі експлуатації не порушували безперервності електричного ланцюга. Не менш важливим є характер розміщення струмопровідних елементів у площині полотна, з яким пов'язані як рівномірність нагріву та реалізація заданого закону розподілення тепловиділення в цій площині, так і теплові навантаження на поверхні струмопровідних елементів, що визначають ефективність та надійність електронагрівних пристроїв. Що ж до технологічних вимог, то на перший план висувається питання принципової можливості виготовлення необхідних структур машинним способом. Потреби в комплексному вирішенні перерахованих питань й визначили напрям опрацювань та досліджень в даній роботі.

Друга глава присвячена опрацюванню основ проектування волокнистих композиційних матеріалів з упорядкованою макроструктурою, що включає вибір відповідних вихідних матеріалів, конструювання струмопровідного елементу і створення структур резистивних полотен із заданими характеристиками. Напрямок розробок в кінцевому рахунку визначався завданням створення високоефективних електронагрівальних пристроїв з поверхнево розподіленим тепловиділенням, для чого необхідні плоскі композиційні резистивні матеріали зі стабільними параметрами та їх широким діапазоном, технологічні

при виготовленні та надійні в експлуатації.

У зв'язку з тим, що стабільність параметрів електронагрівних приладів, у яких використовуються резистивні полотна, є в процесі експлуатації одним з найбільш істотних вимог до них, вихідні матеріали лінійних елементів повинні відзначатись стабільністю електрофізичних та фізико-механічних властивостей на протязі достатньо довгого періоду при робочій температурі.

Як матеріал для електроізоляційних ниток використовується значна кількість природних і штучних матеріалів, що мають здатність перекривати шлях електричному струму, тобто з високим питомим електричним опором (у звичайних умовах порядку 10^8 Ом м). За робочою температурою з урахуванням прийнятих Міжнародною електро-технічною комісією класів ізоляції електроізоляційні нитки, а відтак і виготовлені з них резистивні полотна, можуть бути розділені на чотири групи, перша з яких допускає робочу температуру до 105°C , друга - до 155°C , третя - до 220°C і четверта - вище 220°C .

Якщо за умовами застосування резистивних полотен вони не потребують високої нагрівальної витривалості, то найбільш доцільно як ізоляційні нитки використовувати звичайні текстильні нитки з природних чи штучних органічних матеріалів. Це можуть бути нитки з волокон рослинного походження, а також з поліамідних, поліпропіленових, поліакрилінїтрильних та інших видів синтетичних волокон. Але найбільш придатними для цієї мети виявляються нитки з поліефірних волокон завдяки високим фізико-механічним характеристикам, досить високій робочій температурі (до 155°C), тривкості щодо ряду несприятливих природних факторів, можливості попередньої стабілізації розмірів та іншим позитивним властивостям. При вищих температурах використовуються модифіковані матеріали на основі поліаміду, здатні довгий час працювати при температурі 220°C і вище, а також нитки з поліімідних волокон.

При більш високих робочих температурах (до 400°C) завдяки своїй термостійкості, значній механічній міцності, високим ізоляційним характеристикам широко використовуються склонитки різноманітного складу. Недоліком їх є більш низькі інші технологічні характеристики (вдовження при розриві, стійкість до багаторазового вигинання і т.ін.). Для цих же цілей використовуються нитки з азбестових волокон, але вони мають значно гірші технологічні властивості. При необхідності в ще більш високих робочих температурах (до 600°C) як ізоляційні елементи використовуються нитки з скловолокон кремнеземного складу, кварцеві та ін.

Основні електрофізичні властивості резистивних полотен, зокрема, їх питомий електричний опір, значною мірою визначається характеристиками струмопровідних елементів, що входять до їх складу. Ці елементи можуть виконуватись на основі різноманітних матеріалів, але головним чином на основі тонких металевих провідників (дроту), що вигідно відрізняються високою стабільністю властивостей, і в той же час допускають переробку на відповідному текстильному устаткуванні.

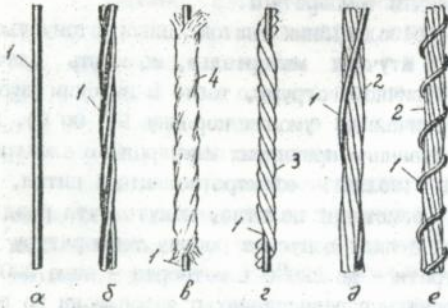


Рис. 4

Деякі види струмопровідних ниток на основі металевого дроту, представлені на рис. 4. Металева дротина I, що є безпосереднім провідником електричного струму, в якій відбувається перетворення електричної енергії на тепло, може бути одиночною (а), або об'єднаною за допомогою крутіння з іншими дротинами (б). Вона може бути скручена з текстильною ниткою 2 (д) або обкручена навколо неї (е). На ній може бути утворений шар з електроізоляційних волокон (в) чи суцільне полімерне покриття, або ж вона може бути обкручена ізоляційною ниткою (г). Можливі струмопровідні нитки з декількома з цих структурних елементів. Використання цих конструкцій струмопровідних ниток дає можливість вар'ювати експлуатаційні та технологічні характеристики резистивних композиційних матеріалів.

При скручуванні дроту одного діаметра між собою кожний елемент розташовується своєю віссю по гвинтовій лінії на поверхні циліндру, діаметр якого $D = kd$, де d - діаметр дроту, а коефіцієнт k дорівнює 1 для двох, $2/\sqrt{3}$ і $2/\sqrt{2}$ для трьох і чотирьох елементів відповідно. Якщо прийняти N - число крутін на одиницю довжини, то довжина дроту в витку $L = \sqrt{(\pi D)^2 + (1/N)^2}$, а відношення його довжини до довжини нитки $K_{np} = \sqrt{1 + (\pi k d N)^2}$.

При заміні одиночного провідника діаметром d для зниження його жорсткості на n провідників діаметром d_n їх діаметри зв'язані співвідношенням $d = d_n \sqrt{(\rho/\rho_n)n}$, де ρ, ρ_n - питомий опір. При цьому загальна жорсткість n провідників діаметром d_n буде в n раз менша, ніж одиночного провідника діаметром d . При наявності крутіша довжина проволочки в комплексній нитці залежить

ще від коефіцієнта крутіння $K_{кр}$ (або ж зворотної йому величини ук-
рутки φ). Крім того, слід враховувати коефіцієнт пластичної де-
формації δ , з урахуванням якого діаметр кожного провідника комп-
лексної нитки буде $d_n = d/\sqrt{\delta}$. З урахуванням всіх цих обставин
діаметр вихідного провідника d_o , що застосовується замість роз-
рахованого діаметра d , складе $d_o = d\sqrt{K_{кр}\delta/n} = \sqrt{\delta}/(\varphi n)$. Тепло-
віддаюча поверхня дроту при цьому буде відрізнятись від випадку
одиночного провідника на коефіцієнт $K_{11} = F_n/F_1$, котрий для двох,
трьох та чотирьох провідників відповідно складає 1,41; 1,45; 1,50.

Типом комплексної струмопровідної нитки, що найчастіше ви-
користовується при виготовленні резистивних полотен, є така, яка
виготовляється сполученням металевого провідника з текстильною
ниткою за допомогою крутіння. При цьому відбувається певне видов-
ження дроту, що входить до складу комплексної нитки, по відношен-
ню до довжини цієї нитки (за рахунок крутіння навкруг стержневої
нитки). Коефіцієнт $K_{кр}$, що визначає їх співвідношення при ді-
аметрі стержневої нитки D з кроком навивання h і діаметрі дро-
ту d , складає

$$K_{кр} = l/h = (1/h)\sqrt{\pi^2(D+d)^2 + h^2}.$$

Для кручених комплексних ниток експериментальним шляхом виз-
начались деякі важливі для технологічних процесів виготовлення
нагрівальних полотен їх фізико-механічні властивості. В основному
це стосувалось ниток, що були одержані через крутіння провідників
з сплаву опору Х20Н80 діаметром 0,1 та 0,2 мм з текстильною ниткою
двох типів: поліефірною комплексною ниткою лінійної густини 111
текс, і термофіксованою поліефірною комплексною ниткою лінійної
густини 111 текс $\times 3$ з круткою S з числом кручень 100, 200 і
300 m^{-1} . Величина укрутки дроту зростає з підвищенням числа
круть особливо сильно зі збільшенням його діаметра. Зростає при
цьому й жорсткість, причому жорсткість кручених ниток підвищується
порівняно з сумарною жорсткістю їх компонентів. Приєднання дроту
підвищує продовжню жорсткість нитки, однак збільшення крутки, на
відміну від жорсткості при згині призводить до деякого її змен-
шення. Видовження при розриві зі збільшенням крутки дещо зростає.
В комплексній струмопровідній нитці змінюються також теплові
характеристики.

Основні види тканих резистивних полотен представлені на рис. 2.
На рис. 5 зображені деякі варіанти виконання тканих резистивних
полотен з різним ступенем ізолюваності струмопровідної нитки, де
представлені розрізи тканин поперек або вздовж струмопровідного

елемента I (незалежно від його розміщення в утоку чи в основі). Струмopовідна нитка може бути розташована не лише в площині тканини (а), утвореної електроізоляційними нитками 2, але й на її поверхні (б). Вона може розміщуватись між полотнами двополотенної

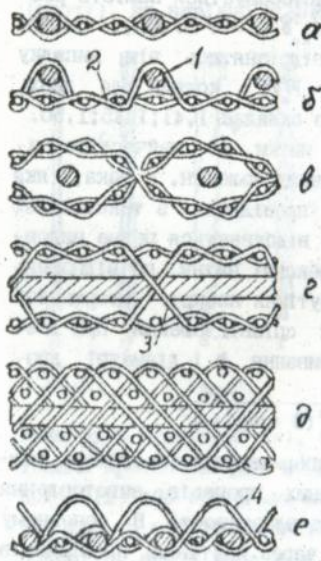


Рис. 5

тканини - в каналах, що утворені ними при переході з шару в шар (в), або розділяється ізоляційними нитками спеціальної перев'язочної основи 3 (г), а також входить до складу багатшарової тканини (д). Можливе також створення додаткових шарів ізоляції, наприклад, у вигляді ниток збільшеної товщини або ворсу 4 (е). Складні переплетення з утоковим розташуванням струмopовідних ниток можуть вироблятися лише на човникових ткацьких верстатах, обладнаних не менш ніж двома човниками, і в усіх випадках - відповідною кількістю ремізних рам.

Утокові електронагрівальні тканини відзначаються послідовним з'єднанням окремих віток струмopовідної нитки у вигляді відрізків утоку, виключеного в тканину від одного її краю (пружка) до іншого. Утворюючи безперервний електричний ланцюг, вони спо-

лучені з країв участками, довжина яких дорівнює відстані між цими

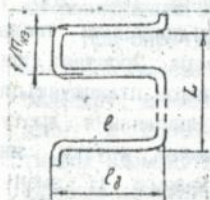


Рис. 6

витками (рис.6).Тоді довжина струмopовідної нитки 1, довжина кожної утокової вітки якої l_B при n відрізків в довжині полотна L , може бути знайдена з виразу $l = l_B n + L$. Якщо позначити щільність розміщення струмopовідної нитки (електронагрівного елемента) як $\Pi = n/L$, то довжина її складе

$$l = l_B \Pi_{на} L + L(1 + l_B \Pi_{на}).$$

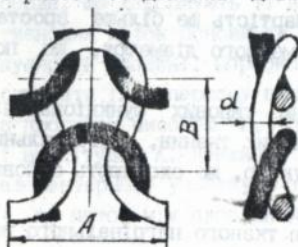
При заданому значенні питомого опору струмopовідної нитки $\kappa_{на}$ електричний опір R тканого полотна довжиною L (або відповідно його питомий опір r у відрітку одиничної довжини) для утокового розташування струмopовідної нитки $R_{ут} = \rho_{на} L (1 + l_B \Pi_{на})$.

Не лише дріт у струмопровідній нитці, але й вона сама підпадає під різноманітні деформації, внаслідок чого її довжина у кожній вітці нагрівного елемента l_b перевищує величину активної частини нагрівального полотна b . Якщо деформацію струмопровідної нитки в процесі виготовлення тканини позначити через $a(\%)$, то довжина її вітки буде $l_b = (a/100 + 1) \cdot b$, і відповідно опір відрізка полотна довжиною L складе $R_{yt} = \rho_{ns} L [1 + (1 + a/100) \Pi_{ns} b]$, а питомий опір за довжиною $r = \rho_{ns} L [1 + (1 + a/100) \Pi_{ns} b]$. Якщо по довжині нагрівального полотна L розташовано n секцій, то при довжині секції $l_c = L/n$ його загальна провідність складе $G = \frac{n}{\rho_{ns} l_c} \times [1 + (1 + a/100) \Pi_{ns} b]^{-1}$.

Для основного електронагрівального полотна з n паралельними струмопровідними нитками, розділеними на k доріжок, при їх послідовному сполученні опір $R_{oc} = k^2 R_a = \frac{k}{b} \Pi_{ns} R_{yt} = \frac{l}{b} k^2 \Pi_{ns} (1 + a/100) \rho_{ns}$.

Характеристика питомого опору в'язаних (трикотажних) резистивних полотен, основні типи котрих були представлені на рис. 3, істотно залежать від характеру розташування в них струмопровідних ниток. Для тих із них, в яких петельну структуру утворюють лише електроізоляційні нитки, а нитки струмопровідні розміщені прямолінійно, визначення електричних параметрів виконується аналогічно до тканих резистивних полотен. В інших же, де струмопровідні нитки утворюють петлі, аналогічне визначення питомого електричного опору істотно утруднюється тим, що воно пов'язане з формою петлі, в той час як ця остання залежить не лише від властивостей струмопровідної нитки, але й від ряду технологічних моментів - типу обладнання, параметрів переробки та ін. Однак аналіз залежності електричного опору від деяких з цих факторів дозволяє оцінити їх вплив на дану характеристику резистивних полотен, що дає можливість враховувати його при їх проектуванні.

Петля кулірної гладі має форму просторової кривої, зображеної на рис.7. Її довжина- довжина проєкції $l_n = \frac{\pi}{2} A + \pi d + 2\sqrt{B^2 + d^2}$.



Якщо жорсткість струмопровідної нитки близька до жорсткості ізоляційної, то вона утворює просторову криву, довжина якої $l_n = \pi \sqrt{(0,5A+d)^2 d^2 + 2\sqrt{B+2d^2}}$.

Для відрізка полотна шириною b з урахуванням деформації струмопровідної нитки ($a = l_n / F$) на довжині відрізка L , що містить m петельних рядів по n петель в ряду, довжина нагрівного

Рис. 7

елемента $l_{n,0} = n p l_n = n L_{n,0} a A - L_{n,0} a b$, а $R_{к,л} = l_{n,0} \rho_{к,л}$.

В основов'язаному переплетенні петлі, що утворюються даною ниткою розташовуються у різних петельних рядах, а отже вони з'єднані між собою додатковими участками нитки - протяжками.

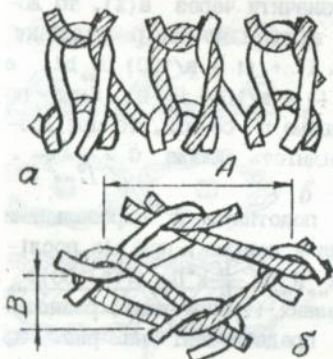


Рис. 8

Одне з основов'язаних переплетень - трико - представлено на рис. 8 в двох видах: в процесі виготовлення (а) і в вільному стані (б). Довжина струмопровідної нитки в петлі (з урахуванням протяжок) $l_n = 4,7d + \sqrt{(0,5A)^2 + B^2}$. Вираз для електричного опору відрізка основов'язаного полотна має вигляд, аналогічний кулірному.

Електричні характеристики як тканих, так і трикотажних резистивних полотен залежать також від тих електричних з'єднань, що їх може бути виконано не лише в готовому полотні, але також безпосередньо в процесі виготовлення. Послідовне, паралельне і змішане з'єднання віток нагрівного елемента істотно розширює діапазон електричних характеристик резистивних полотен.

При проектуванні резистивних полотен з заданим значенням електричного опору можливе одержання необхідних результатів при різних сполученнях, щільності розташування струмопровідної нитки в полотні і її питомого електричного опору. При цьому слід мати на увазі, що оскільки маса дроту з питомою густиною ρ при його довжині l складає величину $Q = 0,25 \rho \pi \cdot d^2 l$, а опір нагрівного елемента визначається виразом $R = 4kl/\pi d^2$, то вираз для маси дроту приймає вигляд $Q = kd^4$, де $k = \rho^2 \pi^2 R / 16k$. Таким чином, маса дроту, що йде на виготовлення нагрівного елемента із заданим опором, зростає пропорційно четвертому ступеню його діаметра; відповідно зростає також і його вартість. Вартість ще більше зростає при використанні крученої нитки з дроту меншого діаметру, що повинно відповідним чином враховуватись.

Третя глава присвячена опрацюванню типових функціональних структур резистивних полотен - нагрівальних тканин, нагрівальних стрічок та петельних резистивних структур, що охоплюють основні напрямки їх застосування.

Головною структурною характеристикою тканого нагрівального по-

лотна є вид переплетення між його лінійними елементами, за рахунок якого і створюється дана структура. Якщо кожна нитка основи перереплітається з нитками утоку, позмінно опиняючись над і під утоковою ниткою (при виготовленні на верстаті) то в результаті одержується полотняне переплетення. Якщо порядок змінюється, одержуються інші види переплетень, зокрема, саржові.

Найбільшу міцність закріплення лінійного елемента в полотні забезпечує полотняне переплетення, яке звичайно й використовується, якщо до нагрівальних полотен не пред'являється додаткових вимог. Застосування саржових переплетень дозволяє за рахунок меншої деформації ниток одержати їх більш високу щільність розташування в тканині. Істотно й те, що деякі з них несиметричні відносно площини полотна, що в необхідних випадках дозволяє виводити нагрівний елемент більше на одну з його сторін, утворюючи переважно односторонню електро- та теплоізоляцію.

Істотним обмеженням для використання тих чи інших переплетень в нагрівальній тканині є та обставина, що звичайно струмопровідна нитка розміщується не по всій її ширині. Деформація ниток в тканині внаслідок їх перегинів під взаємним впливом значною мірою залежить від виду переплетення, отже, буде різною в активній частині полотна та в його пружках. Ця обставина перешкоджає використанню загального навою для ниток основи. Введення в активній частині елементів так званого репсового переплетення урівнює сумарну деформацію її основних ниток з пружковими не зважаючи на більшу щільність розположення в них утокових ниток.

Деформація, котрій струмопровідна нитка піддається в процесі виготовлення тканини, залежить від ряду структурних та технологічних факторів, але перш за все від впливу зі сторони ниток інших систем і робочих органів ткацького верстату. Після прокладення в момент прибою на утокову нитку діють поперечні сили з боку пластин берда, що деформують її в площині тканини, а також сила взаємного тиснення ниток основи та утоку, що викликає деформацію в перпендикулярній площині. Обробка експериментальних даних дозволила апроксимувати їх у першому випадку укороченою циклоїдою (трхоїдою) з з прогином висотою h , а в другому - синусоїдою з циклом $2A$ і амплітудою A . Довжина кривої деформованої утокової нитки l на елементарному участку b тканини при числі пластин N берда на 100мм і m ниток між пластинами можна визначити з виразу:

$$l_b = \int_0^{2\pi} \sqrt{\left(\frac{dx}{d\varphi}\right)^2 + \left(\frac{dy}{d\varphi}\right)^2 + \left(\frac{dz}{d\varphi}\right)^2} d\varphi,$$

де $\frac{dx}{d\varphi} = \frac{50}{\pi N_0} \left(1 - \frac{h \pi N_0}{100} \cos \varphi\right); \quad \frac{dy}{d\varphi} = \frac{h}{2} \sin \varphi;$

$$\frac{dz}{d\varphi} = A \frac{m}{2} \left(1 - \frac{h \pi N_0}{100} \cos \varphi\right) \cos \left[\frac{m}{2} \left(\varphi - \frac{h \pi N_0}{100}\right)\right].$$

Коефіцієнт деформації ниток знаходиться як $a = 1 N_0 - 100, \%$.

Оскільки даний вираз незручний для практичного використання,

була побудована номограма,

яка дає можливість

оцінити деформацію стру-

мопровідної нитки залежно

конструктивних і техноло-

гічних факторів. Дослід-

ження великої кількості

зразків нагрівної тканини

дозволило виявити залеж-

ності величин сріл проги-

ну струмопровідної нитки

з дроту в вертикальній та

горизонтальній площинах

(рис. 9), та величину ко-

ефіцієнта деформації від

щільності по основі та

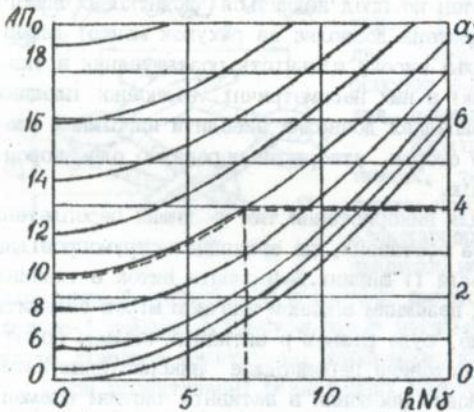


Рис. 9

утоку, від діаметра дроту, і оцінити вплив заправочних параметрів ткацького верстата на вказані величини.

Розглянуто також інші види деформації струмопровідної нитки в тканині, в тому числі викликані зміною структури останньої при релаксації деформацій від зусиль заправочного натягу, при температурних впливах і т. ін.

За рахунок внутрішніх з'єднань струмопровідних ниток в тканині можливо істотно розширити електричні характеристики резистивного полотна. Серед існуючих способів частіше за все використовуються з'єднання через переплетення резистивних струмопровідних ниток з розташованими в пружках металевими провідниками, що виконують роль струмопідводів. Надійність з'єднання залежить від довжини лінії контакту між цими провідниками, що представляє суму довжин ліній контакту вздовж твірних основної та утокової ниток при їх обхваті одна одною, тобто $L_k = L_o + L_y$. Так, довжина лінії контакту основною нитки діаметром d_o з утоковою діаметром d_y при щільності

розміщення провідників струмопідводу Π_r і фази будови тканини Φ

$$L = d \left\{ \arccos \frac{\Phi(d_o + d_y)}{(1+\Phi) \sqrt{\left[\frac{\Phi(d_o + d_y)}{1+\Phi} \right]^2 - 1/\Pi_r^2}} - \arccos \frac{d_o + d_y}{\sqrt{\left[\frac{\Phi(d_o + d_y)}{1+\Phi} \right]^2 - 1/\Pi_r^2}} \right\}$$

Довжина лінії контакту по утоковій нитці визначається аналогічно.

У більшості випадків відрізок тканого резистивного полотна має прямокутну форму і містить в собі рівномірно розподілені за довжиною струмопровідні нитки. Однак у випадку необхідності існує можливість в процесі тkania змінювати щільність розміщення як основних, так і утокових ниток. В першому випадку міняється щільність по основі шляхом застосування берд зі змінним номером, а в другому – по утоку через зміну швидкості відтяжки.

Другим видом таких резистивних полотен, що широко застосовуються, є ткани електронагрівальні стрічки. Вони виготовляються на стрічковкацьких верстатах, які відзначаються наявністю жорсткого кінематичного зв'язку човника з іншими механізмами верстата, що дозволяє застосовувати в утоку струмопровідні нитки підвищеної жорсткості. Але тут практично відсутня можливість зміни човників, отже, і можливість введення заповнюючого електроізоляційного утоку, що обмежує можливість використання складних переплетень.

Нитки підвищеної жорсткості розміщуються в площині стрічки так, як показано на рис. 10, а, і їх довжина в стрічці залежить від її ширини, від її ширини, жорсткості та натягу нитки. При цьому відстань між сусідніми вітками нагрівного елемента по краях стрічки α менша за середню β , що створює небезпеку замикання між ними. Ліквідувати цей недолік можна введенням в структуру додаткових електроізоляційних елементів (пружкових ниток), що повертають пружкові петлі струмопровідних ниток 1 на деякий кут відносно площини стрічки; при цьому довжина пружкових ниток виявляється меншою за довжину ізоляційних основних ниток 2 (рис. 10, б).

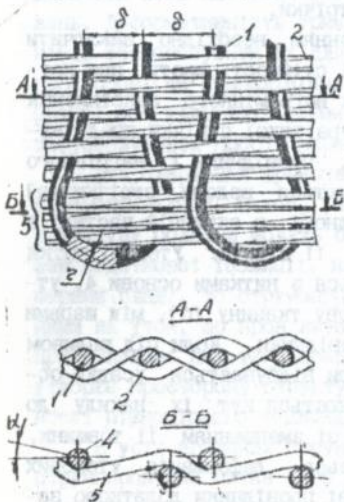


Рис. 10

5-6-24 93

Для випадків рівномірного тепловиділення в об'ємі були розроблені нагрівальні стрічки типу "хрест" та "трихпроменева зірка", що мають відповідну форму поперечного перерізу. Як в цьому, так і в деяких інших випадках (наприклад, при нагріві повітря, що проходить крізь стрічку) стрічка повинна мати розріджену структуру при надійному закріпленні струмопровідної нитки. З цієї метою використовувались так звані перевивальні переплетення.

Звичайно відрізки ткані нагрівальної стрічки мають прямокутну форму, але в ряді випадків виникає потреба в криволінійних нагрівальних елементах. Їх можна виготовити, застосовуючи сировину з різними усадковими властивостями з наступною термообробкою. Нитки з різними усадковими властивостями чергуються таким чином, щоб з одного краю стрічки концентрувались безусадкові, а з іншого - усадкові нитки. Після термоусадки з підвищенням температури на Δt відрізка стрічки шириною b та довжиною L при коефіцієнті усадки a радіус кривизни визначається як $r = Lb/(\Delta t a)$.

Найчастіше застосовуються нагрівальні стрічки з утоковим розположенням струмопровідної нитки. Діапазон їх застосування ще розширюється з використанням в утоку здвоеного провідника. Основні нагрівальні стрічки мають більш вузьку сферу застосування, що головним чином пов'язане з впливом розширенням дроту при нагріванні, яке призводить до порушення структури стрічки.

Щоб запобігти такого роду порушенням необхідно виключити

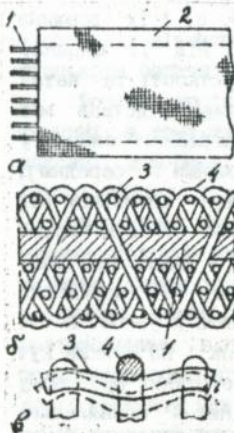


Рис. II

втрата поздовжньої стійкості дроту при нагріванні за рахунок його міцного закріплення в стрічці. Структура такої стрічки представлена на рис. 11. Провідники 1 нагрівного елемента розташовуються вздовж стрічки (а) паралельно один одному в активній частині з пружками 2 з обох її сторін. Утокові нитки 3, що переплітаються з нитками основи 4, утворюють багат шарову тканину (б), між шарами якої розміщені провідники. Коли під впливом високої температури відбувається усадка основних ниток, змінюється кут їх нахилу до площини стрічки зі зменшенням її товщини, причому відбувається деформація утокових ниток (в). Металеві провідники додатково закріплюється, що запобігає втраті ними поздовжньої стійкості при підвищенні температури.

Пружкові основні нитки частково виконуються з нетерmostійкого матеріалу; при їх руйнуванні вивільняється частина довжини утоккових ниток, необхідна для відповідної перебудови структури.

Ще одним типом тканих електронагрівальних стрічок є стрічки з нагрівним елементом у вигляді ворсу. Останній виконується з основних струмопровідних ниток різними способами. В усіх випадках довжина кожної струмопровідної нитки значно перевищує довжину самої стрічки, і повинна спеціально розраховуватись залежно від величини й форми петлі ворсу, параметрів нитки та ґрунту.

Досить широке застосування одержують також резистивні полотна трикотажних переплетень зі сполучених між собою петель, котрі мають корисні для тієї чи іншої мети особливості. Основні види таких полотен представлені на рис. 4.

Найбільш простим видом трикотажного нагрівального полотна є таке, яке складається з рядів петель, утворених струмопровідними і електроізоляційними нитками, що чергуються між собою. Пров'язування різної кількості рядів петель з електроізоляційних ниток поміж струмопровідними дозволяє одержати при рівних умовах різну щільність розташування нагрівного елементу в полотні, що сумісно з вар'юванням характеристик струмопровідних ниток забезпечує широкий діапазон його питомого опору і відповідно різноманітність застосувань. Деформативність трикотажних резистивних полотен дає можливість застосовувати їх для нагріву непласких поверхонь, створюючи просторові чи криволінійні нагрівні елементи, нагрівачі циліндричної або кільцевої форми і т.ін. Частіше за все для цих цілей застосовуються прості переплетення (наприклад, кулірна гладь).

Для одержання трикотажних нагрівників, які мають пружки без струмопровідних ниток, використовують дволіцевий трикотаж. В структуру полотна можуть бути введені нитки утку, що утворюють шар додаткової ізоляції. Якщо кулірний трикотаж утворений двома шарами гладі, то струмопровідна нитка може бути прокладена поміж ними як уток, що пров'язується в деяких місцях для закріплення. При в'язанні полотен переплетенням "ластик" струмопровідна нитка утворює просторову структуру, що виявляється корисною при необхідності рівномірного тепловиділення в певному об'ємі.

В усіх згаданих структурах трикотажних резистивних полотен струмопровідна нитка бере участь в утворенні їх основних елементів - петель. Але вона може розташовуватись в полотні прямолінійно, закріплюючись в ньому іншими петлями, їх протяжками або іншими

структурними елементами. Струмopрoвідна нитка може бути розміщена між лицьовою та виворітньою петлями кулірного трикотажу або струмopрoвідні нитки у вигляді ниток основи розміщуються між протяжками петель сусідніх рядів, які утворені з різних ниток, що підводяться в процесі в'язання перед і за струмopрoвідними нитками. Подібного результату можна досягти при використанні так званих платинованих переплетень, при в'язанні яких згадані дві нитки подаються одночасно на ту ж саму голку.

Існує можливість одночасного введення в трикотажне полотно ниток як уткових, так і основних. У цьому випадку воно набуває властивостей, аналогічних властивостям тканини, в тому числі стає практично нерозтягуваним. Такі полотна одержали назву тканов'язаних. Додаткові елементи при цьому зв'язанні не лише з петлями ґрунту, але й один з одним. Струмopрoвідна нитка може розташовуватись прямолінійно в одній з систем.

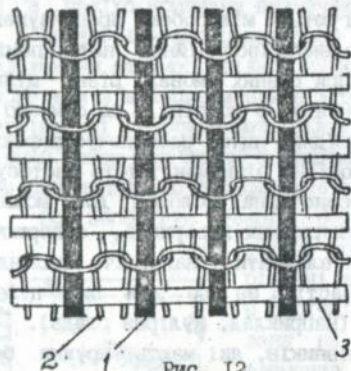


Рис. 12

На рис. 12 показана структура тканов'язаного полотна з основним розміщенням струмopрoвідних ниток 1, закріплених між петлями 2 та ізоляційними утковими нитками 3. Аналогічно створюється резистивна структура при утковому розміщенні струмopрoвідної нитки, однак в цьому разі можливе одержання секційного нагрівного полотна, якщо пружкові нитки виконати з електропoвідного матеріалу і використати як струмопідводи.

В результаті досліджень різних в'язаних структур був опрацьований новий клас трикотажних переплетень, що розширює існуючий асортимент в'язаних полотен та можливості створення волокнистих резистивних матеріалів. Якщо органи трикотажної машини, які спрямовують нитки основи, виготовити такими, що переміщуються вздовж ряду голок, виникає можливість створення в'язаних структур з введенням в них похилих основ - або з прямолінійним розміщенням ниток у полотні, або з їх прокладанням у вигляді основов'язаних петель (окремо чи сумісно з кулірними петлями). На круглов'язальній машині співвідношення числа цих елементів (вуховин) n та числа голок циліндра m при k петлеутворюючих систем виражається як $n = m + (a/b)k$, де a/b - величина зміщення, виражена в голкових

кроках (де a і b - цілі числа).

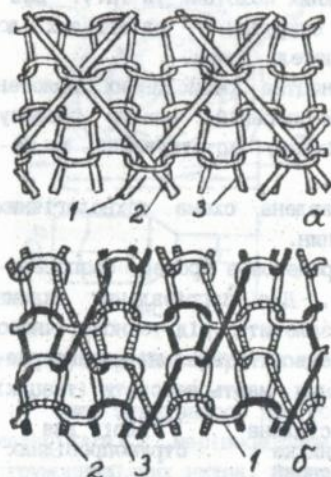


Рис. 13

Відповідні переплетення представлені на рис. 13, а і б. У першому випадку прямолінійно розташовані нитки похилих основ 1 і 2 закріплюються в полотні, що утворене петлями кулірної глади 3. В другому випадку полотно складається з кулірних петель 1, зв'язаних з поперечних ниток, та петель 2 і 3 основ'язаного переплетення, утворених відповідно двома похилими основами в протилежних діагональних напрямках. Ряди петель кулірного переплетення чергуються з рядами петель петель основ'язаного. У наведених структурах трикотажних полотен струмопровідна нитка може бути розташована в тих же системах, що дає

можливість вар'ювання структур в'язаних резистивних матеріалів. На цій же основі може бути створена значна кількість інших переплетень, що відрізняються різноманітністю електрофізичних і фізико-механічних властивостей.

У четвертій главі розглянуті деякі особливості технології волокнистих композиційних резистивних матеріалів з упорядкованою макроструктурою. На відміну від традиційних текстильних матеріалів, які також виготовляються на основі механічних технологій волокнистих матеріалів, особливості виробництва резистивних полотен визначаються специфічними вимогами безперервності нагрівного елемента та необхідністю сумісної переробки вихідних елементів з істотно різними фізико-механічними характеристиками.

Безперервність нагрівного елемента може бути порушена як за рахунок впливу механічних навантажень у процесі переробки, так і внаслідок обмеженості місткості технологічних паковок. Особливості фізико-механічних властивостей струмопровідних ниток (лінійна густина, жорсткість, міцність, коефіцієнт тертя і т. ін.) викликають необхідність змін у технологічному устаткуванні і технологічних параметрів переробки: відстані між паковками, їх маси, швидкості переміщення робочих органів, матеріалу останніх і т.п. В структурі резистивного полотна взаємний тиск струмопровідних та електроізоляційних ниток призводить до їх різної деформації відповідно

жорсткості (різний вигин ниток основи та утку в нагрівальних тканинах, різна форма петель в трикотажних полотнах та ін.). Важливим моментом є можливість утворення сукрутин – затягнутих до стану пластичної деформації матеріалу петель дроту.

В загальному випадку процес виробництва резистивних полотен складається з підготовчих технологічних операцій, власне процесу їх формування на відповідному технологічному устаткуванні та завершуючих операцій.

Як приклад на рис. 14 представлена схема технологічних операцій виготовлення нагрівальних тканин.

Найбільш важливим технологічним процесом є процес безпосереднього формування резистивного полотна. Для нагрівальних тканин цей процес (ткання) істотним чином залежить від технологічного устаткування, що для цього використовується. Оптимальні характеристики для виготовлення нагрівальних тканин мають верстати (ткацькі



машини), призначені для виробництва бавовняних та льняних тканин з пряжі низьких номерів. Їх човниковий механізм повинен мати щонайменше два човники, котрі змінюються в роботі за заданою програмою, і кількість ремізних рам, що дозволяє здійснити переплетення необхідної складності. Однак специфіка технології нагрівних тканин робить доцільним опрацювання спеціального обладнання. Відповідно до визначених нами вимог Клянівський машинобудівний завод випустив партію ткацьких верстатів типу АТ2-60Л5, спеціально призначених для виготовлення нагрівальних тканин з ниток високої лінійної густини.

Як уже згадувалось, одним з найбільш розповсюджених порушень технологічного процесу при виготовленні нагрівних тканин є утво-

рення сукрутин, причина якого - підкрутка дроту при осьовому змотуванні з шпулі утокової нитки, що намотувалась тангенціально. Схема утворення сукрутин представлена на рис. 15.

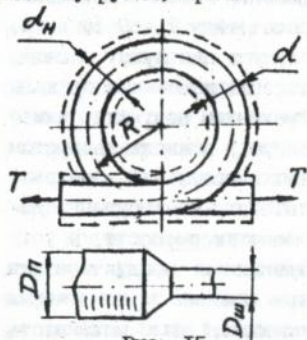


Рис. 15

На дротину діє момент крутіння $M_{кр} = G \pi d^4 / 8 (D_n + D_{ш})$, і згину $M_{зг} = EJ/R$, що викликані натягом нитки T , який викликає також розпрямляючий момент $M_p = T d_n$. З урахуванням вказаних міркувань, а також того, що граничне значення напруження в матеріалі дроту, при якому починається пластична деформація, $\sigma_{max} = Ed/2R$,

умова утворення сукрутин має вигляд $\frac{d}{d_n} \cdot \frac{d}{(D_n + D_{ш})/2} > \frac{\sigma_{max}}{E G}$.

Вище згадувалось про можливість створення резистивних тканих матеріалів з нерівномірним розташуванням основних та утокових струмопровідних ниток. Однак з цієї метою необхідно дещо модернізувати технологічне обладнання. Так, зміни відстані між основними нитками по довжині полотна можна досягти, використовувачи берда з перемінним номером, відстань між пластинами яких змінюється в міру напращування тканини. Було опрацьовано ряд конструкцій таких берд, котрі забезпечують широкий діапазон змін цієї відстані (до двох разів). Розроблено також систему управління номером берда за заданою програмою, а також змінюванням щільності розташування утокових ниток, що дозволяє відповідним чином управляти розміщенням нагрівного елемента в утокових нагрівних тканинах.

Особливості прокладання утокової нитки, втім, як і істотно менша ширина виробленого полотна (стрічки), наперед визначають особливості технології тканих електронгрівальних стрічок, у тому числі характеру і послідовності технологічних операцій. Звичайно в них відсутні операції виготовлення комплексних струмопровідних ниток, оскільки за рідкими винятками для цієї мети використовується одиночний або здвоєний (а часом і строєний) дріт безпосередньо на утоковій шпулі. Інша відміна полягає в доцільності при меншій кількості основних ниток замість їх снування (розміщення на груповій паковці) використати шпулярник з індивідуальним розміщенням паковки для кожної основної нитки.

Одним з найбільш важливих питань технології є вибір типу стрічковтаського верстату. Аналіз існуючого устаткування показує,

що практично єдиним придатним для вироблення електронагрівних стрічок виявляється стрічковкацький верстат типу ТЛ-80-І, який, однак, потребує певної модернізації. В зв'язку з цим було змінено схему його заправки, введено механізм фіксації положення пружків стрічки та поворотна грудниця, посилено механізм відтяжки, вжито ряд заходів для захисту крайніх ниток основи від пошкоджень дротом в утоку, а головне, опрацьовано човник нової конструкції з направляючим пристроєм у вигляді здвоєних роликів. Його застосування дозволило переробляти утокову нитку підвищеної жорсткості, в усіх випадках нормалізувати процес ткання, підвищивши продуктивність праці за рахунок зниження обривності ниток основи та виключення затяжок утоку і утворення його петель на пружках, і дало можливість поставити виробництво нагрівних стрічок на промислову основу.

Трикотажні нагрівальні полотна виготовляються на круглов'язальних та плосков'язальних машинах. Відповідно розрізняється і технологія цих полотен, однак її узагальнена технологічна схема мало відрізняється від схем для інших типів резистивних полотен.

Із плосков'язального трикотажного устаткування застосування знаходять напівавтомати типу ПВК або ПВЕМ 3 і 6 класів (в ряді випадків також 8 і 10 класів) з порівняно невеликими змінами. До останніх відносяться зниження швидкості в'язання, модернізація ниткопровідних, натяжних та гальмівних пристроїв, установка додаткових тримачів для котушок з дротом та деякі інші. Струмopвідна нитка при цьому може бути представлена одиночним металевим провідником, комплексною ниткою - з дроту чи в поєднанні з текстильною, а також може одночасно подаватись в зону в'язання декілька ниток. Вимоги до струмопровідної нитки ті ж самі, що й у тканні, але посилені більшим ступенем її деформації при в'язанні.

Трикотажні електронагрівальні полотна з прямолінійним розташуванням струмопровідних ниток головним чином виготовлялись на круглов'язальних машинах марки MAP, котрі реалізують тканов'язане переплетення (основно-утоковий трикотаж) технічного призначення. З огляду на особливу перспективність такого резистивного полотна було проведено дослідження процесу його в'язання з визначенням натягу ниток усіх систем в часі, який залежить як від роботи механізмів в'язання, так і від взаємодії цих ниток, що дозволило опрацьовати рекомендації з оптимізації технологічного процесу.

Для виготовлення трикотажних полотен з похилими основами необхідно спеціальне устаткування, що реалізує поступове зміщення ниток цих основ відносно голок. Можливі різні варіанти технічної

реалізації такого устаткування, головним чином круглов'язальних машин як з нерухомим, так і з обертовим циліндром. Опрацьовано основні принципи створення такого обладнання, у тому числі визначені траєкторії руху робочих органів, а також принципи конструкції ряду типів трикотажних машин з різними можливостями утворення такого роду переплетень. Для практичної реалізації трикотажу з похилими основами необхідне проведення досить значного об'єму науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт.

П'ята глава присвячена дослідженню деяких електричних, теплових та фізико-механічних властивостей волокнистих резистивних полотен, котрі значною мірою визначають ефективність їх застосування як матеріалів нагрівних елементів електронагрівальних пристроїв з розподіленим тепловиділенням в різних галузях народного господарства.

Однією з важливих умов для цього, особливо при організації серійного виробництва, є точність підтримання такого параметра як питомий електричний опір резистивного композиційного матеріалу. Якщо питомий опір r полотна активної шишинов b_a з поперечним розташуванням з густиною Π_{aa} струмопровідної нитки з питомим опором ρ визначається виразом $r = \rho(1 + b_a \Pi_{aa})$, то його погіршеність

$$\delta_r = \frac{1}{r} \left(\left| \frac{\partial r}{\partial \rho} \right| \alpha_\rho + \left| \frac{\partial r}{\partial b} \right| \alpha_b + \left| \frac{\partial r}{\partial \Pi} \right| \alpha_\Pi \right)$$
, де $\frac{\partial r}{\partial \rho} = 1 + b_a \Pi_{aa}$; $\left| \frac{\partial r}{\partial b} \right| = \rho \Pi_{aa}$; $\left| \frac{\partial r}{\partial \Pi} \right| = \rho b_a$ - часткові похідні за відповідними перемінними, або після переворень в відносних відхиленнях $\delta_r = \delta_\rho + A(\delta_b + \delta_\Pi)$, де A - коефіцієнт пропорціональності, який дорівнює $A = b \Pi_{aa} / (1 + b \Pi_{aa})$.

Для нормальної експлуатації важливою є електрична ізоляція струмопровідних елементів, у тому числі та, що входить до структури даних композиційних матеріалів. Опір ізоляції при цьому істотно залежить від робочої температури. Так, наприклад, рівняння, що виражає залежність опору ізоляції нагрівного елемента багатопшарової електронагрівальної стрічки з крмнеземних ниток має вигляд $\ln R + \ln T^{-2} = \ln e^b$, або $R = e^{bT^2}$. Коефіцієнти a і b визначаються лінійною апроксимацією за результатами експериментальних досліджень. Експериментально визначається також електрична міцність ізоляції, що для стрічки типу ЛОН складає 2 - 2,5 кВ.

У зв'язку зі специфічним призначенням даного класу композиційних резистивних матеріалів особливе значення мають їх теплові властивості. Оскільки при нагріві в резистивному полотні тепло передається іншим його елементам від струмопровідної нитки, то на поверхні полотна має місце певний температурний перепад, і серед-

ня температура полотна ще не визначає температури окремих його елементів. З метою визначення температури нагрівного елемента були спеціально опрацьовані метод та пристрій, що дають можливість визначити її залежність від різних факторів. На рис. 16 показано розподілення температур в нагрівальній тканині між струмопровідними нитками при різних питомих потужностях і з різним ступенем теплової ізоляції (суцільні й штрихові лінії). На великих поверхнях розподілення температур визначалось за допомогою тепловізійної техніки. При аналітичному визначенні перепадів температур теплопровідність текстильного матеріалу може бути виражена залежністю: $\lambda = \lambda_1 [m\gamma^2 + (1-m) + 4\gamma^2 m(1-m)/(1+\gamma)]$, де γ - відношення теплопровідностей повітря і матеріалу волокон, тобто $\gamma = \lambda_2/\lambda_1$, а m -

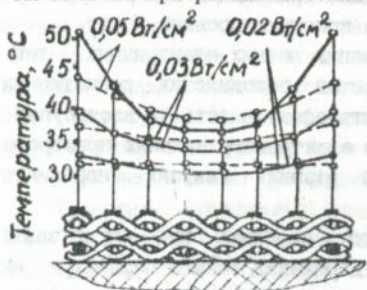


Рис. 16

об'ємна частка пор, яка при густині матеріалу в цілому ρ і густині матеріалу волокон ρ_1 , складає $m = 1 + \frac{\rho_1}{\rho}$.

За фізико-механічними параметрами у цьому відношенні резистивне полотно мало відрізняється від відповідних текстильних полотен (наприклад, це стосується деформативності полотен трикотажних). Але є і специфічні моменти, пов'язані з безперервністю електричного ланцюга. Так, проводились випробування нагрівних стрічок на стійкість до багаторазового вигину, що дали позитивні результати.

Важливим є збереження цілісності електроізоляції у тих випадках, коли така загроза виникає внаслідок деформації струмопровідних ниток у результаті термічного розширення. Якщо провідник закріплений таким чином, що його позовдовжні переміщення виключені, в його матеріалі при підвищенні температури на Δt виникають напруження $\sigma = \alpha \Delta t E$. Тоді під дією викликаних ними центрально прикладених позовдовжніх зусиль при досягненні ними критичного значення може статись позовдовжній вигин, який призводить до порушення ізоляції. Критична сила визначається за формулою Ейлера $F = \pi^2 EJ/l_c^2$ при критичному напруженні в матеріалі стрижня $\sigma_k = F_k/s$, де l_c - довжина, а s - переріз стрижня (рис. 17, а). Якщо нитки, що утворюють електро- і теплоізоляцію, при згині будуть створювати силу протидії, пропорційальну вигинові y , що дорівнює $k y dx$ на елемент стрижня довжиною dx , то для круглого перерізу гранична

температура складе $\Delta t = \frac{1}{\alpha} \sqrt{2k\lambda E}$.

Таким чином, можливість втрати стійкості крім інших факторів визначається міцністю закріплення струмопровідної нитки в структурі полотна. На рис. 17,б показані результати випробувань щодо цього параметру для випадку основного розташування

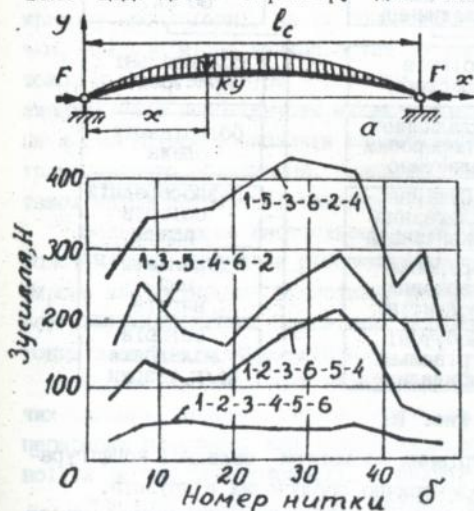


Рис. 17

струмопровідних ниток в багатопровідній електронагрівній стрічці з різними варіантами переплетення. Зусилля закріплення визначається тим тиском, що його чинять на провідник нитки утоку, який, зокрема, визначається щільністю розміщення утоку і ниток основи, котрі притискують утокові нитки. Ці фактори в свою чергу залежать від виду переплетення.

Окрім розглянутих характеристик в ще ряд властивостей, що певним чином характеризують експлуатаційні можливості резистивних поло-

тен, такі як паро- та повітряпроникність, хімічна стійкість і т.ін., однак вони мають часткове значення і повинні розглядатись відповідно до конкретних випадків застосування.

Питання, пов'язані з особливостями застосування волокнистих резистивних матеріалів, розглянуті в шостій главі. Вказані матеріали призначені для створення нагрівних елементів електронагрівальних пристроїв з поверхнево розподіленим тепловиділенням в самих різних галузях промисловості, будівництва, транспорту, сільського господарства, в побутовій та медичинській техніці. Основні галузі їх застосування представлені на рис. 18.

При значних розмірах грізких поверхонь і відносно незначній питомій потужності використовуються секційні нагрівальні тканини. Коли ж, навпаки, потрібна значна питома потужність, тим паче при підвищених температурах, але при незначних розмірах, то перевага віддається застосуванню нагрівного елемента у вигляді відрізка стрічки. Трикотажні полотна найчастіше знаходять застосування у випадках, коли корисною виявляється їх висока здатність до дефор-



Рис. 18

мацій. При необхідності в нагрівних елементах складної конфігурації вони складаються з ряду електрично сполучених відрізків.

В усіх випадках конструювання нагрівних елементів однією з найбільш важливих і складних задач, від вирішення якої значною мірою залежить працездатність та надійність електронагрівальних пристроїв, є створення струмопідводячих контактних з'єднань. Опрацьовано ряд конструктивних рішень даної задачі, котрі враховують специфічні особливості резистивних матеріалів, в тому числі методами механічного з'єднання, зварювання, пайки і т.ін. Для запобігання механічним порушенням як в технологічних процесах, так і при експлуатації, контактні пристрої звичайно тим чи іншим способом закріплюються на полотні.

Однією з умов економічної, надійної та безпечної роботи електронагрівальних пристроїв є правильний вибір електричної ізоляції, додаткової чи такої, що входить до складу нагрівного елемента органічною складовою частиною. Сполученням вказаних методів можна забезпечити рішення задачі електричної ізоляції, в тому числі і в особливих умовах (наприклад, при підвищеній вологості).

На основі розроблених композиційних резистивних матеріалів з упорядкованою макроструктурою з урахуванням приведених особливостей конструювання був створений та знайшов застосування ряд високо-ефективних електронагрівальних приладів та пристроїв з поверх-

нево розподіленим тепловиділенням. Зупинимось на деяких з них.

В ряді випадків для забезпечення нормальної роботи технологічного обладнання в ньому необхідно підтримувати певну температуру. Так, при перекачуванні в'язких та легкошлавких продуктів по трубопроводах, а також для запобігання замерзанню в них води при відкритому прокладенні, на їх поверхні вкладаються нагрівальні стрічки. Важливе місце займає в тих же умовах обігрів баків, цистерн тощо, а також арматури - насосів, вентилів, клапанів. В останньому випадку така необхідність виникає також при транспортуванні газу. Це ж стосується і випадків забезпечення нормальної роботи гірничо-транспортного обладнання, бункерів та аналогічних пристроїв, а також автотранспортної техніки у несприятливих кліматичних умовах.

Вельми широке застосування пристроїв на основі резистивних полотен має місце в різноманітних засобах проти обледеніння. Широке застосування резистивні матеріали знайшли у пристроях для обігріву залізничних стрілочних переводів з метою запобігання сніговим заносам та обледенінню.

Широке застосування поверхневий електронагрів одержав в робочих органах технологічного устаткування, таких як обладнання для переробки пластмас, для волого-теплової обробки виробів текстильної та легкої промисловості, в галузі харчової промисловості та ін.

Пристрої вказаного типу успішно використовуються для створення електроопалювальних приладів як традиційного типу, так і таких як, наприклад, електрокалорифери, гріючі панелі, а також порівняно рідко застосовуваних через відсутність необхідної елементної бази, але виключно ефективних як економічно, так і за виконуваною функцією пристроїв променистого опалення (зокрема, для обігріву корабельних кают).

В будівництві поверхнево розподілений електронагрів використовується для різних цілей - розморожування ґрунту, нагріву інертних, прискорення "визрівання" бетону, а також для сушіння після оздоблення. Важливе значення для екології має використання електронагріву замість рідкого палива для плавлення бітуму.

В області обігріву людини, окрім пристроїв електроопалення, слід зазначити створення ряду приладів для забезпечення індивідуального теплового комфорту. Особливо широко розвинулось виробництво побутових електрогрілок, випущених мільйонами екземплярів. Для обігріву людини в несприятливих умовах опрацьовані як окремі локальні пристрої (наприклад, пристрої для обігріву кисті руки), так і обігріваючі костюми. Розроблені також нагрівальні пристрої тера-

пелітичного призначення (обігрівачі ліжечок для немовлят, килети для лікування хворих на туберкульоз, інші грілки терапевтичного призначення, пристрої для реабілітації хворих і т.ін.).

Крім згаданих електронагрівальних приладів слід відзначити конструкції на основі описаних матеріалів таких приладів як електроплитки та спеціалізовані прилади для приготування їжі (електросковородки, електрокаструлі, електротиховарки), духовки, прилади побутової гігієни (наприклад, електроутюги), котрі при використанні композиційних резистивних матеріалів одержують ряд додаткових позитивних експлуатаційних властивостей.

Специфічні випадки використання поверхневого електронагріву в сільському господарстві пов'язані в рослинництві з обігрівом теплиць, обеззаражуванням ґрунту і т.ін., а в тваринництві - перш за все з обігрівом молодняка сільськогосподарських тварин. Високу ефективність виявили опрацьовані на основі резистивних полотен комплекти для локального комбінованого обігріву порослят-сосунів. Важливою галуззю застосування є кормоприготування та переробка сільгосппродуктів.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Проведена робота дозволила вирішити комплексну науково-технічну проблему створення та промислового освоєння гнучких пласких резистивних композиційних матеріалів з упорядкованою макроструктурою, котрі виготовляються за допомогою механічних технологій волокнистих матеріалів, а також розробки та впровадження в народне господарство високоефективних електронагрівальних пристроїв з поверхнево розподіленим тепловиділенням на основі цих матеріалів. Для досягнення вказаних цілей дослідження носили комплексний системний характер і були спрямовані на узгодження властивостей та характеристик даних композиційних резистивних матеріалів з вимогами, що їх представляють різні технології низькотемпературного електронагріву з одного боку, і прийомів проектування та конструктивних особливостей електронагрівних пристроїв поверхневого нагріву з можливостями структур і технологій цих матеріалів - з іншого. Теоретичні, експериментальні та конструкторські опрацювання й дослідження проводились одночасно з розширенням галузей застосування та об'ємів використання їх результатів в промисловій і побутовій техніці, що дозволило коректувати їх з урахуванням накопичуваного практичного досвіду. Робота, проведена в усіх згаданих напрямках, дає можливість формулювати наступні основні наукові та практичні висновки:

1. Наукові основи проектування гнучких пласких композиційних резистивних матеріалів з упорядкованою макроструктурою базуються на специфічних особливостях структури та технології цих матеріалів, що пов'язані з вимогами безперервності електричного ланцюга та необхідністю сумісної переробки засобами механічної технології волокнистих матеріалів лінійних елементів з істотно відмінними фізико-механічними властивостями. Що ж до методів проектування цих матеріалів, то вони ґрунтуються на послідовному підпорядкуванню спрямованих на задоволення експлуатаційних вимог таких задач як вибір вихідних матеріалів, конструювання струмопровідного елемента, створення відповідної структури - з урахуванням можливостей відповідної технології та зі зворотним зв'язком, що коригує сферу застосування конкретного матеріалу.

2. Для обґрунтування шляхів реалізації розроблених методів вивчені способи створення структурних елементів даних матеріалів, що забезпечують одержання необхідних властивостей. Зокрема, опрацьовані методи конструювання струмопровідних елементів, в тому числі у вигляді комбінованої нитки, що складається з металевих провідників та електроізоляційних текстильних ниток, котрі спільно надають їм необхідних електричних, теплових та фізико-механічних характеристик. Розроблені методи дозволяють визначити питомий електричний опір резистивних полотен залежно від їх структурних характеристик, перш за все щільності розміщення струмопровідного елемента в площині полотна, питомого опору та деформації останнього, котрій він піддається під дією інших елементів структури та робочих органів технологічного обладнання, а також методи забезпечення електричної й теплової ізоляції через створення відповідних зв'язків електроізоляційних елементів.

3. Як реалізація опрацьованих наукових основ і методів проектування створений ряд базових структур композиційних резистивних матеріалів з упорядкованою макроструктурою на основі ткацьких та трикотажних переплетень. Ці структури вирішують задачу вар'ювання в широкому діапазоні питомого електричного опору ($10^{-1} - 10^4$ Ом на метр довжини), питомої потужності ($0,01 - 10$ Вт/см²), робочої температури ($-60 - +600^\circ$) та інших експлуатаційних параметрів. За рахунок відповідного вибору переплетень досягається надійна фіксація струмопровідних елементів у резистивному полотні, діапазон електричних характеристик істотно розширюється завдяки внут-

рішнім з'єднанням. Усе це створило можливість розробляти ткани та трикотажні резистивні полотна різноманітного призначення для широкого кола конкретних електронагрівних приладів і пристроїв промислового та побутового призначення.

4. Для ефективного використання опрацьованих матеріалів в галузі електронагріву з поверхнево розподіленим тепловиділенням в конструкції відповідних електронагрівальних пристроїв необхідно враховувати їх специфічні особливості. Відповідно були опрацьовані вихідні принципи конструювання таких приладів, що включають забезпечення щонайменшого і рівномірного термічного опору між нагрівним елементом та об'єктом нагріву, методи створення надійних контактних з'єднань з струмопідводами, конструювання нагрівних елементів складної форми з прямокутних відрізків матеріалу тощо.

5. Розроблені принципи проектування композиційних резистивних матеріалів з упорядкованою макроструктурою та конструювання електронагрівних пристроїв з поверхнево розподіленим тепловиділенням дали змогу створити ряд приладів для захисту машин і механізмів за несприятливих кліматичних умов (нагрівачі для різних систем двигунів внутрішнього згорання, пристрої для боротьби з обледенінням, враховуючи нагрівники стрілочних залізничних перевоїв, нагрівні пристрої для трубопроводів та арматури і т.ін.), для робочих органів технологічного устаткування (пристрої для переробки пластмас, для технологічних ємностей, для будівництва, для обробки виробів текстильної та швейної промисловості, харчоприготування та ін.), побутових приладів (опалювальні прилади, прилади для приготування їжі, прасування і т.п.), приладів для обігріву біологічних об'єктів (безпосереднього обігріву людини, втім з терапевтичною метою, прилади для сільського господарства, зокрема обігріву молодняка) та багатьох інших. Промислове впровадження вказаних та інших приладів та пристроїв підтвердило широкі можливості удосконалення низькотемпературних процесів і перспективи подальшого розвитку вказаних матеріалів та пристроїв на їх основі.

Основні положення дисертації викладено в наступних роботах:

1. Гриффен Л.А., Вититин В.С., Гымарь В.А., Ханес Е.А. Тканые электронагреватели. - М.: ЦНИИТЭИлегпром, 1972. - 18 с.
2. Гриффен Л.А., Ткаменева И.Н., Вититин В.С. Текстильные электронагреватели в промышленности и в быту. - М.: ИНФОРМЭЛЕКТРО, 1977. - 67 с.

3. Карпинос Д.М., Гриффен Л.А., Тюменева И.Н. Текстильные электронагреватели и перспективы их использования для бытового и промышленного нагрева. - Киев: Знание, 1980. - 18 с.

4. Карпинос Д.М., Гриффен Л.А., Тюменева И.Н., Измаков О.М. Устройства для обогрева человека на основе гибких электронагревателей. - М.: ИНФОРМЭЛЕКТРО, 1977. - 67 с.

5. Карпинос Д.М., Гриффен Л.А., Тюменева И.Н. Электронагревательные устройства на основе композиционных материалов и их использование в быту и технике. - Киев: Знание, 1982. - 20 с.

6. Гриффен Л.А., Карпинос Д.М., Тюменева И.Н., Бондарь Е.С. Применение композиционных резистивных материалов в бытовых электронагревательных устройствах. - М.: ИНФОРМЭЛЕКТРО, 1983. - 30 с.

7. Грунтенко Г.С., Архипов А.П., Гриффен Л.А. и др. Создание и внедрение специальных устройств электроподогрева технологического оборудования, запорной арматуры и трубопроводов компрессорных станций для повышения надежности в условиях низких температур. - М.: ВНИИгазпром, 1986. - 24 с.

8. Гриффен Л.А., Палиенко Е.Я. Эффективность использования электронагрева в народном хозяйстве. Киев: УкрНИИТИ, 1987. - 12 с.

9. Гриффен Л.А., Науменко И.М., Тучинский Л.И. Новые прогрессивные материалы и технологии для тепловыделяющих и теплообменных устройств технического и бытового назначения. - Киев: Знание. - 1989. - 16 с.

10. Гриффен Л.А., Измаков О.М., Глушенко В.М., Гуриак В.Н. Электрообогрев стрелочных переводов. - Киев: УкрНИИТИ, 1989. - 22 с.

11. Гриффен Л.А., Вититин В.С., Глушенко В.М. Тканые электронагреватели. - Киев: УкрНИИТИ, 1990. - 48 с.

12. Вититин В.С., Гриффен Л.А. Гибкие бытовые электроприборы. - Киев: УкрНИИТИ, 1990. - 24 с.

13. Пилиповский Ю.Л., Грудина Т.В., Гриффен Л.А. и др. Композиционные материалы в машиностроении. - Киев: Техніка, 1991. - 141 с.

14. Гриффен Л.О., Рymar В.А., Вититин В.С. Виготовлення електронагрівної тканини // Легка промисловість. - 1971. - № 1. - С. 29-30.

15. Гриффен Л.О., Сидоров В.М. Принципи побудови берд з регульованим номером // Легка промисловість. - 1974. - № 1. - С. 18-20.

16. Гриффен Л.О., Вититин В.С. Тканый електронагрівник // Легка промисловість. - 1974. - № 5. - С. 34-36.

17. Гриффен Л.А., Савельева Е.Н., Рymar В.А., Бькадоров Р.В.

К вопросу о расчете уработки ворсовой основы перевивочных тканей // Изв.вузов.Технол.текст.пр-сти. - 1975. - № 5. - С. 35-38.

18. Гриффен Л.А., Тканые электронагреватели как электротехнические устройства и текстильные изделия // Электротермия. - 1976. - № 7. - С. 8-12.

19. Гриффен Л.А., Тименева И.Н. Трикотажные электронагреватели // Совершенствование технологии переработки химических волокон. - М.: ВНИИХВ, 1977. - № 3. - С. 51-55.

20. Гриффен Л.А., Вититин В.С., Глушенко В.М. Факторы, влияющие на особенности технологии изготовления нагревательных тканей // Там же. - С. 74-76.

21. Вититин В.С., Савельева Е.Н., Гриффен Л.А. Исследование некоторых эксплуатационных характеристик нагревательных тканей // Совершенствование технологии переработки химических волокон. - М.: ВНИИХВ, 1977. - № 4. - С. 30-34.

22. Вититин В.С., Гриффен Л.А., Кутепов О.С. Особенности строения и технологии изготовления нагревательных тканей // Изв.вузов.Технол.текст.пр-сти. - 1978. - № 2. - С. 22-24.

23. Вититин В.С., Гриффен Л.А., Кутепов О.С. Уработка утка при пространственной деформации // Изв.вузов. Технол.текст.пр-сти. // 1978. - № 3. - С. 56-59.

24. Гриффен Л.А., Тименева И.Н. Трикотажные нагревательные полотна // Новые обогревающие материалы и устройства, методы и технологические процессы их получения. - Киев: ИПМ АН УССР, 1979. - С. 62-69.

25. Гриффен Л.А. Текстильные электронагреватели и перспективы их использования для бытового и промышленного нагрева // Там же. - С. 56-61.

26. Гриффен Л.А., Глушенко В.М. Тканая электронагревательная лента повышенной мощности // Там же. - С. 69-74.

27. Карпинос Д.М., Рыжкова С.В., Кадыров В.Х., Гриффен Л.А., Глушенко В.М. Тканый электронагреватель, предназначенный для работы в агрессивных средах // Там же. - С. 88-91.

28. Маслеников Ю.И., Гриффен Л.А., Тименева И.Н. Натяжение основных нитей при вязании основно-уточного кулирного трикотажа // Изв.вузов. Технол.легкой пр-сти. - 1981. - № 6. - С. 118-123.

29. Глушенко В.М., Гриффен Л.А., Рыжкова С.В. Обогрев трубопроводов тканями ленточными электронагревателями // Гибкие электропроводящие материалы и устройства на их основе для обо-

грева людей и техники. - Киев: ИПМ АН УССР, 1982. - С. 23-29.

30. Гриффен Л.А., Тамженева И.Н. Определение температуры нагревательного элемента // Там же. - С. 58-61.

31. Гурнак В.Н., Гриффен Л.А., Глущенко В.М., Измаков О.М. Эффективные средства борьбы с обледенением стрелочных переводов // Экономика Советской Украины. - 1988. - № 2. - С. 43-45.

32. Гриффен Л.А., Архипов А.П., Глущенко В.М. Электронагреватель узла управления газовыми кранами // Нефтяная и газовая промышленность. - 1988. - № 3. - С. 49-50.

33. Гриффен Л.А. Особенности и перспективы развития электронагревательных устройств с поверхностно распределенным тепловыделением // Электронагревательные устройства на основе композиционных резистивных материалов. - Киев: ИПМ АН УССР, 1988. - С. 3 - II.

34. Глущенко В.М., Липатов Н.Н., Луценко С.Д., Гриффен Л.А. Электрообогрев для функциональной емкости // Процессы и аппараты пищевых производств. - М.: 1988. - С. 18-20.

35. Захаров Ю.В., Гриффен Л.А., Эльгарт Я.Л. Использование панелей на базе электронагревателей с поверхностно-распределенным тепловыделением для обеспечения теплых условий в жилых и служебных помещениях судов // Охрана труда и охрана окружающей среды в судостроении. - Николаев: Никол. кораблестр. ин-т, 1987. - С. 44-47.

36. Захаров Ю.В., Гриффен Л.А., Эльгарт Я.Л. Нагреватель картера холодильного компрессора // Холодильная техника. - 1990. - № 4. - С. 7-II.

37. Гриффен Л.А. Методы и средства поверхностного электронагрева // Энергетика и электрификация. - 1992. - № 1. - С. 41-45.

38. Гриффен Л.А. Поверхностный электронагрев // Энергосберегающие электронагревательные устройства на основе композиционных резистивных материалов. - Киев: ИПМ АН У, 1993. - С. 7 - 139.

39. Гриффен Л.А. Резистивные композиты с упорядоченной макроструктурой в низкотемпературных электронагревателях // Энергетика и электрификация. - 1994. - № 3. - С. 48-51.

40. Griffen L.A. Tekstylne materialy oporowe i urzadzenia grzejne wyprodukowane na ich bazie // Metalowe i ceramiczne materialy włókienne, Bielsko-Biala, 1994, - В. 53-63.

41. Гриффен Л.А., Вититин В.С., Глущенко В.М. Текстильные резистивные материалы и электронагревательные устройства на их основе // Сучасні технології в текстильній та легкій промис-

ловости, ч. I. - Киев: ДАЛІУ, 1996. - С. 75-79.

42. Гриффен Л.А., Вититин В.С., Глушенко В.М. Особенности технологии композиционных резистивных материалов с упорядоченной макроструктурой // Исследования в области композиционных материалов. - Киев: ИИМ НАНУ, 1995. - С. 161-170.

43. А.с. СССР № 311996. Бердо с переменным номером ткацкого станка / Заика А.Н., Гриффен Л.А., Сидоров В.М. - Оpubл. 1971. - Бюл. 25.

44. А.с. СССР № 318178. Тканый электронагреватель / Гриффен Л.А., Вититин В.С., Рымарь В.А. - Оpubл. 1971. - Бюл. 31.

45. А.с. СССР № 335307. Бердо ткацкого станка / Гриффен Л.А., Сидоров В.М., Арбитан А.А. - Оpubл. 1972. - Бюл. 4.

46. А.с. СССР № 417555. Устройство для управления ткацким станком / Глушенко В.М., Гриффен Л.А., Коломиец А.Я. и др. - Оpubл. 1974. - Бюл. 8.

47. А.с. СССР № 428231. Устройство для питания электрического нагревателя и контроля его температуры / Гриффен Л.А., Вититин В.С. - Оpubл. 1974. - Бюл. 18.

48. А.с. СССР № 488369. Тканая электронагревательная лента / Гриффен Л.А., Вититин В.С. - Оpubл. 1975. - Бюл. 38.

49. А.с. СССР № 547048. Тканая электронагревательная лента / Гриффен Л.А., Глушенко В.М. и др. - Оpubл. 1977. - Бюл. 6.

50. А.с. СССР № 578382. Одинарный футерованный трикотаж / Масленников Ю.И., Гриффен Л.А., Смирнов Л.С. и др. Оpubл. 1977. - Бюл. 40.

51. А.с. СССР № 555885. Грелка для уха / Тименева И.Н., Гриффен Л.А., Сазыкина О.Н., Смирнова Л.А. - Оpubл. 1977. - Бюл. 16.

52. А.с. СССР № 831886. Кругловязальная машина / Масленников Ю.И., Гриффен Л.А., Смирнов Л.С. и др. - Оpubл. 1981. - Бюл. 19.

53. А.с. СССР № 607569. Устройство для варки пищи / Литвина Л.С., Луценко С.Д., Гриффен Л.А. и др. - Оpubл. 1989. - Бюл. 7.

54. А.с. СССР № 831886. Кругловязальная машина / Масленников Ю.И., Гриффен Л.А., Смирнов Л.С. и др. - Оpubл. 1981. - Бюл. 19.

55. А.с. СССР № 839074. Гибкий электронагреватель / Гриффен Л.А., Тименева И.Н. - Оpubл. 1991. - Бюл. 20.

56. А.с. СССР № 862943. Гибкий хладопровод / Муськин Ю.Н., Кадьрова Л.К., Гриффен Л.А. и др. - Оpubл. 1981. - Бюл. 34.

57. А.с. СССР № 897024. Терморегулятор / Гриффен Л.А., Оголенко В.Ф., Вититин В.С. и др. - 1981; пат. Швеции № 830665 - 4,

1985; пат. Италии № 1169371, 1986; пат. Великобритании № 2150713, 1987.

58. А.с. СССР № 909801. Гибкий электронагреватель / Черепенько А.П., Шуметов В.Г., Гриффен Л.А., Тьменева И.Н. - Оpubл. 1982. - Бюл. 8.

59. А.с. СССР № 977535. Верхняя подушка гладильного пресса / Черепенько А.П., Шуметов В.Г., Баканов Н.И., Гриффен Л.А. - Оpubл. 1982. - Бюл. 44.

60. А.с. СССР № 977535. Рабочий орган вакуумной сушилки кож / Школьников В.С., Черепенько А.П., Гриффен Л.А. и др. - Оpubл. 1983. - Бюл. 28.

61. А.с. СССР № 1043209. Верхняя подушка гладильного пресса / Черепенько А.П., Шуметов В.Г., Гриффен Л.А. - Оpubл. 1983. - Бюл. 35.

62. А.с. СССР № 1044880. Шланг / Королев В.М., Мартыновский Ю.П., Гриффен Л.А. и др. - Оpubл. 1983. - Бюл. 36.

63. А.с. СССР № 1172119. Устройство для искусственного подогрева вдыхаемого воздуха / Тучинский Л.И., Науменко И.М., Гриффен Л.А. и др. - Оpubл. 1985. - Бюл. 37.

64. А.с. СССР № 1236029. Верхняя подушка гладильного пресса / Черепенько А.П., Иванов Э.А., Гриффен Л.А. и др. - Оpubл. 1986 - Бюл. 1.

65. А.с. СССР № 1548107. Модульная зашивка судового помещения / Захаров Ю.В., Гнездилов В.В., Гриффен Л.А. и др. - Оpubл. 1990. - Бюл. 9.

66. А.с. СССР № 1557232. Устройство для обогрева стрелочно-го перевода / Несвит В.А., Толубец В.М., Гриффен Л.А. и др. - Оpubл. 1990. - Бюл. 14.

67. А.с. СССР № 1585406. Ткань с электропроводящей нитью / Хватов С.Н., Стулов В.В., Гриффен Л.А., Эльгарт Я.Л. - Оpubл. 1990. - Бюл. 30.

68. А.с. СССР № 1612015. Электроуток / Черепенько А.П., Калугин М.М., Гриффен Л.А., Вититин В.С. - Оpubл. 1990. - Бюл. 45.

69. А.с. СССР № 1648386. Устройство для нагревания парафиновых ванн при гистологических исследованиях / Милкус А.М., Филлякин Н.И., Гриффен Л.А. и др. - Оpubл. 1991. - Бюл. 19.

70. А.с. СССР № 1770474. Челнок лентоткацкого станка / Гриффен Л.А., Глушенко В.М., Вититин В.С. - Оpubл. 1992. - Бюл. 39.

71. А.с. СССР № 1776359. Тканая электронагревательная лента / Гриффен Л.А., Глушенко В.М., Вититин В.С., Рутковский А.Е. - Опубл. 1992. - Бюл. 39.

72. Тканый электронагреватель / Оптовец В.Т., Невструева Н.И., Гриффен Л.А., Вититин В.С., Стулов В.В. // Европатент № 501799 А, 1993; пат.КНР №1065769, 1992; пат.Тайваня №62177, 1993; пат. Канады № 2061856, 1993.

73. Пат.Украины № 1756. Электропроводная ткань / Оптовец В.Т., Невструева Н.И., Гриффен Л.О. та ін. - Опубл. 1994. - Бюл.3.

74. Пат.Украины № 1757. Тканый электронагреватель / Оптовец В.Т., Невструева Н.И., Гриффен Л.О. та ін. - Опубл. 1994. - Бюл.3.

75. Пат.России № 2046953. Электропроводящая ткань / Оптовец В.Т., Невструева Н.И., Гриффен Л.А. и др. - Опубл. 1995. - Бюл. 30.

76. Пат.России № 2027320. Тканый электронагреватель / Оптовец В.Т., Невструева Н.И., Гриффен Л.А. и др. - Опубл. 1995. - Бюл. 2.

77. Глушенко В.М., Гриффен Л.А., Измалков О.М. и др. Обогрев трубопроводов ленточными электронагревателями. Препр.ИИМ. - Киев: ИИМ АН УССР, 1983. - 40 с.

78. Гриффен Л.А. Резистивные композиционные материалы с упорядоченной макроструктурой. Препр. ИИМ. - Киев: ИИМ НАНУ, 1994. - 47 с.

79. Матеріали текстильні нагрівні. Терміни та визначення. - ДСТУ 2461-94 / Смирнов Л.С., Савельева О.М., Гриффен Л.О. та ін. - Київ: Держстандарт України, 1994. - 28 с.

80. Материалы текстильные нагревательные. Общие технические условия. - ДСТУ 3134-95 (ГОСТ 30312-95) / Смирнов Л.С., Савельева Е.Н., Гриффен Л.А. и др. - Киев: Держстандарт України, 1995.

Наведений перелік наукових праць відображує основні теоретичні та експериментальні результати, які лягли в основу положень, що виносяться на захист.

При вирішенні часткових задач брали участь: В.М.Глушенко, В.С.Вітїтін, І.М.Кохана (Тименєва).

А Н Н О Т А Ц И Я

Гриффен Л.А. Композиционные резистивные материалы с упорядоченной макроструктурой для электроннагревательных устройств промышленного и бытового назначения. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.16.06 "Порошковая металлургия и композиционные материалы". Институт проблем материаловедения НАН Украины, г. Киев, 1996 г. (рукоп.).


Розроблені наукові основи проектування получених з'єднаннями за допомогою механічної технології лінійних токопроводящих і електроізоляційних елементів композиційних резистивних матеріалів з заданими електрофізическими і другими властивостями. Створені їх базові структури в формі електронагрівальних тканин, тканих лент і трикотажних полотен. Розроблені і введено в промислову технологію указаних матеріалів і високоєфективних електронагрівальних пристроїв промисленого і побутового призначення на їх основі.

S U M M A R Y

L. Griffen. Composite resistive materials with ordered macrostructure for electrical heating devises for industrial purposes and everyday uses. Thesis for a doctor's degree in technical sciences in the speciality 05.16.06 "Powder metallurgy and composite materials". Institute for Materials Research of NAS of Ukraine. Kiev, 1996 (manuscr.).

Scientific basis for designing of the composite resistive materials that are formed by mechanical technologie out of linear current conducting and insulating elements with the predetermined electrophysical and other properties were developed. Respective basic structures in the form of electroheating fabrics, woven tapes and knittings were created. Technology for commercial fabrication of these materials has been developed and introduced as well as fabrication of the high effecient electrical heating devises for industry and everyday uses with the utilization of these materials.

ключові слова: композиційні резистивні матеріали, текстильні електронагрівальники, технологія волокнистих матеріалів, низькотемпературний нагрів, поверхневий електронагрів, нагрів робочих органів, побутові електронагрівні прилади



436742

AB 35.280

AB 35.280