

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»**

БУЗЬКО СВІТЛАНА ВАСИЛІВНА

УДК 620.179.148:621.315.2

**МЕТОД ДОПУСКОВОГО КОНТРОЛЮ ЗМІННИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ
ПРОФІЛІВ ПРОВІДНИКОВИХ КАБЕЛЬНИХ ВИРОБІВ**

Спеціальність 05.11.13 – прилади і методи контролю
та визначення складу речовин

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2012

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі електроізоляційної та кабельної техніки Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут" Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України, м. Харків

Науковий керівник: доктор технічних наук, доцент
Золотарьов Володимир Михайлович,
публічне акціонерне товариство
"Завод Південкабель", м. Харків,
генеральний директор

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Щапов Павло Федорович,
Національний технічний університет
"Харківський політехнічний інститут", професор
кафедри інформаційно-вимірювальних технологій і
систем ;
кандидат технічних наук, доцент
Кириленко Всеволод Михайлович,
Національний технічний університет України
"Київський політехнічний інститут",
доцент кафедри відновлюваних джерел енергії

Захист відбудеться " ____ " _____ 2012 р. о ____ год. ____ хв. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.09 в Національному технічному університеті "Харківський політехнічний інститут" за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут".

Автореферат розісланий " ____ " _____ 2012 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

С.М. Глоба.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Освоєння вітчизняною промисловістю випуску силових кабелів на напругу до 330 кВ з ізоляцією із зшитого поліетилену висунуло підвищені вимоги, в тому числі і до якості жил цих кабелів, які можуть досягати перерізу 2000 мм². Це, в свою чергу, потребувало розробки більш досконалого процесу і методу активного операційного неруйнівного допускового та вхідного контролю з застосуванням нових технічних засобів. Чим вища напруга кабелю, тим значніше впливають чистота поверхні жил та допуски їх геометричних параметрів на виникнення тріаннів та інших небезпечних дефектів ізоляції на загальний ресурс роботи таких високотехнологічних виробів, якими є сучасні енергонасичені кабелі середньої, високої та надвисокої напруги.

До цього часу на кабельних підприємствах використовувались методи контролю з допомогою найпростішого вимірювального інструменту (мікрометри, штангенциркулі та ін.), а також хімічні методи контролю вхідних матеріалів.

Таким чином, актуальним є питання розробки сучасного методу допускового контролю з допомогою розрахункових контрольних профілів та з урахуванням закономірностей формоутворення провідникових кабельних виробів, що дозволяє не тільки застосовувати активний операційний контроль, а й підвищити надійність промислового обладнання за рахунок зниження кількості обривів та передаварійних ситуацій. Вирішення вказаних задач визначило напрямок досліджень дисертаційної роботи.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційну роботу виконано на кафедрі електроізоляційної та кабельної техніки НТУ «ХПІ» відповідно до госпрозрахункової науково-дослідної роботи «Гармонізація національних стандартів з міжнародними та європейськими стандартами» (ДП «Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості», м. Київ). Здобувач виконував роботи на етапі «Вибір і контроль розмірів струмопровідних елементів кабелів» в якості виконавця.

Мета та задачі дослідження. Метою дослідження є розробка методу допускового контролю змінних технологічних профілів провідникових кабельних виробів.

Для досягнення мети поставлені наступні задачі:

- проаналізувати стан неруйнівного контролю, що застосовується у виробництві провідникових кабельних виробів;
- розробити метод операційного неруйнівного контролю геометричних розмірів провідникових кабельних виробів для підвищення надійності промислового обладнання та наступного переходу до допускового контролю технологічних профілів;
- розробити математичну модель побудови контрольних профілів на основі закономірностей, що відображають течію металу в осередку деформації

для допускового контролю провідникових кабельних виробів складного перерізу;

– удосконалити метод розрахунку контрольних профілів для допускового контролю якості провідникових кабельних виробів круглого перерізу з урахуванням допустимих обтиснень для вихідних матеріалів і, в першу чергу, міді і алюмінію на першому переході, який найбільш навантажений;

– визначити залежність основних фізико-механічних показників, які найбільш суттєво впливають на вибір множини контрольних профілів і, в першу чергу, залежності межі міцності від обтиснення для основних вихідних матеріалів, одержаних за новітньою технологією, від їх складу з урахуванням масової долі домішок.

Об'єкт дослідження – процеси впливу фізико-механічних параметрів провідникових матеріалів на розрахунок контрольних профілів при допусковому контролі змінних технологічних профілів провідникових кабельних виробів.

Предмет дослідження – методи і засоби неруйнівного контролю геометричних параметрів провідникових кабельних виробів різноманітного перерізу.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених задач використано: аналітичні методи математичної фізики – для складання інтегральних рівнянь Фредгольма першого роду, часткові рішення яких визначають контрольні профілі; чисельний метод лінійної алгебри (вирішення систем лінійних алгебраїчних рівнянь методом Гауса) – для одержання контрольних профілів у вигляді чисельних рішень некоректно поставленої задачі математичної фізики та їх застосування в допусковому контролі при обробці інструменту формоутворення провідникових кабельних виробів складних перерізів; методи теорії електричного поля – для встановлення аналогії між еквіпотенціальними лініями та контрольними профілями і області між початковим профілем заготовки та кінечним профілем готового виробу; експериментальне визначення складу матеріалів та їх характеристик спектрометричним методом – для встановлення відповідності механічних показників основних вихідних матеріалів (міді і алюмінію) для виготовлення провідникових виробів з урахуванням наявності в них різних домішок.

Наукова новизна одержаних результатів:

– розроблено і обґрунтовано високопродуктивний метод неруйнівного допускового контролю змінних технологічних профілів провідникових кабельних виробів за допомогою розрахованих з наперед заданою точністю контрольних профілів. Це принципово дозволяє застосувати швидкісну автоматизовану обробку результатів контролю;

– вперше на основі інтегральних рівнянь Фредгольма першого роду розроблена математична модель побудови контрольних профілів для визначення двомірних зон допуску провідникових кабельних виробів складного перерізу та розраховані контрольні профілі для найбільш вживаних на практиці жил секторного перерізу;

– отримав подальший розвиток метод розрахунку контрольних профілів для допускового контролю якості провідникових кабельних виробів круглого перерізу з урахуванням допустимого обтиснення. Встановлено, що на найбільш навантаженому першому переході, допустиме обтиснення складає 46% і 36% для м'якої міді та алюмінію при використанні формоутворюючого інструменту зі сплаву карбїду вольфраму та 48% і 38% при використанні вставок з технічного алмазу;

– вперше експериментально з урахуванням результатів вхідного мас-спектрометричного контролю встановлено зв'язок між фізико-механічними показниками сучасних матеріалів для виготовлення провідникових виробів та масовою долею нормованих домішок в них, що дозволило врахувати допустиме обтиснення при розрахунках контрольних профілів.

Практичне значення одержаних результатів для підприємств кабельної галузі полягає в розробці неруйнівного методу допускового контролю перш за все провідникових виробів для новітніх вітчизняних зразків кабелів на напругу до 330 кВ. Результати роботи впроваджені в ПАТ завод “Південкабель” (м. Харків) як інженерні методи розрахунку контрольних профілів для контролю провідникових виробів складного перерізу з урахуванням параметрів, які характеризують процес формоутворення.

Розроблений автоматизований метод контролю змінних технологічних профілів, який виключає суб'єктивний фактор і дозволяє автоматизувати загалом цей трудомісткий процес та уникнути одноманітної непродуктивної праці технічного персоналу, як це було раніше.

На базі проведених в умовах виробництва досліджень розроблені рекомендації щодо застосування високопродуктивного методу контролю провідникових кабельних виробів.

Основні наукові результати використовуються в навчальному процесі кафедри електроізоляційної і кабельної техніки НТУ «ХП».

Особистий внесок здобувача. Всі основні наукові положення розроблені здобувачем особисто. Серед них: розробка та обґрунтування методу допускового контролю провідникових кабельних виробів у вигляді контрольних профілів, складання інтегральних рівнянь та їх вирішення для визначення контрольних профілів для провідникових виробів складного перерізу, експериментальне визначення основних фізико-механічних показників та складу вихідних матеріалів, що застосовуються для формоутворення провідникових виробів і впливають на визначення контрольних профілів.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи доповідались на: III Міжнародній науково-технічній конференції “Фізико-технічні проблеми електротехнічних матеріалів і компонентів” (м. Москва, 1999 р.); на Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми теорії і практики технології машинобудування, механічної і фізико-технічної обробки» (м. Харків, 2004 р.); IX і XII Міжнародних конференціях «Физические и компьютерные технологии» (м. Харків, 2004 р, 2006 р.); XI

Міжнародній конференції «Електромеханіка, електротехнології, електротехнічні матеріали і компоненти (м. Алушта, 2006 р.).

Публікації. Основний зміст дисертації відображено в 18 наукових публікаціях, з них: 10 статей у наукових фахових виданнях України, 1 монографія (окремий розділ).

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, 3 додатків, списку літератури. Повний обсяг дисертації становить 173 сторінки; з них 6 рисунків по тексту; 13 рисунків на 13 окремих сторінках; 5 таблиць по тексту; 2 таблиці на 2 сторінках; додатків на 36 сторінках; списку використаних літературних джерел з 107 найменувань на 11 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульована мета і наукова задача дослідження, наведені відомості про наукову новизну і практичну цінність одержаних результатів. Викладені відомості щодо апробації і впровадження результатів роботи.

В першому розділі проаналізовано сучасний стан та тенденції розвитку методів і засобів контролю провідникових кабельних виробів, що включають контроль електричних показників (контроль електричного опору жил різноманітного перерізу), контроль механічних показників шляхом визначення межі міцності та відносного видовження, контроль геометричних параметрів поперечного перетину. Встановлено взаємозв'язок розрахунків контрольних профілів з параметрами технологічного процесу формоутворення. Контрольними вони названі тому, що їх конфігурація є шаблонами для порівняння профілів калібрувальних поясків реальних волок при обробці їх заготовок та з метою урахування зношування останніх. Існуючі методи побудови контрольних профілів (метод "ручної" графічної побудови, методи математичного моделювання, метод прямих аналогій та ін.) не враховують фізико-механічних властивостей провідникових матеріалів та їх склад, особливо залежність межі міцності від технологічного обтиснення. Сформульовані основні задачі досліджень, що ґрунтуються на створенні більш досконалої математичної моделі процесу формоутворення, створенні методу автоматизованих розрахунків контрольних профілів, що враховують фізико-механічні властивості провідникових матеріалів та їх склад.

В другому розділі викладено запропонований метод контролю провідникових кабельних виробів за допомогою розрахованих з урахуванням закономірностей формоутворення контрольних профілів калібрувальних поясків формоутворюючого інструменту (рис.1). Дійсні профілі калібрувальних поясків, які відповідають профілям поперечного перетину провідникових кабельних виробів, сканують на просвічування, заносять в пам'ять комп'ютера, масштабують і порівнюють з розрахунковими контрольними профілями. Відповідність профілів калібрувальних поясків формоутворюючого

інструменту профілям провідникових кабельних виробів забезпечується вибором допустимих обтиснень на основі розрахунку силових параметрів формоутворення. Відхилення профілів калібрувальних поясків від контрольних профілів повинно лежати в межах встановлених допусків. Це є критерієм допускового контролю.

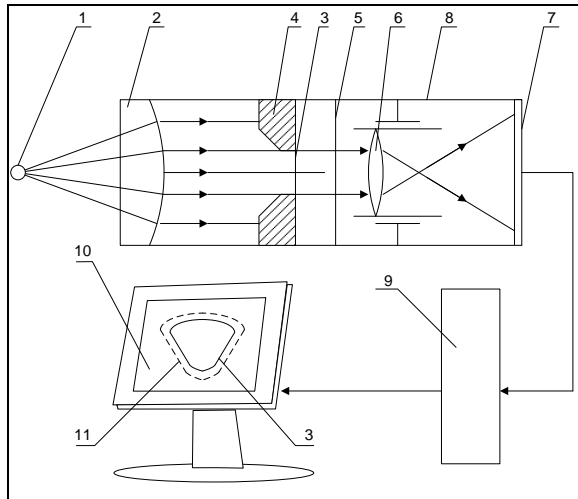
Принципова можливість застосування запропонованого методу з використанням комп'ютерної обробки результатів контролю параметрів поперечного перерізу фасонних виробів відкриває пристрій, принцип дії якого і загальний вигляд показано на рис. 1. В ньому пучок світла від джерела 1, в якості якого може бути використаний лазер або інше джерело світла, через лінзу 2 проходить через калібрувальний поясок 3 формоутворюючого інструменту 4, напівпрозорий екран 5, об'єктив 6 та проектується на цифрову двовимірну матрицю 7 скануючого пристрою цифрової камери 8, яка має цифровий вихід на системний блок комп'ютера 9. При застосуванні скануючого пристрою з одновимірною цифровою матрицею, елементи цифрової камери 6, 7, 8 можуть бути заміщені сканером, придатним для сканування на просвіт (наприклад, сканером EPSON Perfection 2400 Photo). Останній пристрій значно дешевший за пристрій з двовимірною матрицею. Комп'ютер, після відповідної обробки, відображає фактичний профіль калібрувального пояска 3 на екрані дисплея 10. На ньому відображається також розрахунковий контрольний профіль 11, та поля допуску (рис. 2) після чого контроль відхилення встановлених параметрів здійснюється програмними засобами.

Обробка результатів контролю провідникових кабельних виробів складного перерізу можлива, наприклад, для секторних проводів, шляхом встановлення фактичних відхилень двох основних технологічних параметрів ширини b і висоти h сектора і порівняння їх з допустимими технологічними відхиленнями (табл. 1). В загальному випадку контроль може здійснюватись по всьому периметру виробу.

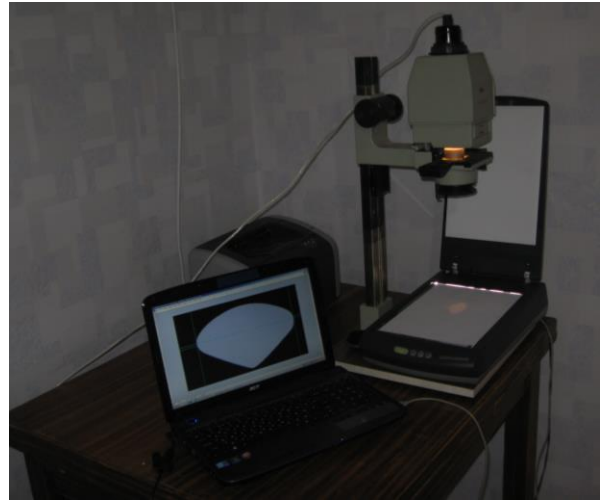
Таким чином можна здійснювати також автоматизований контроль відхилення площі поперечних перерізів виробів від заданої. Найбільш важливими даними для оцінки якості кабельних виробів є розраховані автоматично параметри відхилення профілю сканованого калібрувального пояска від контрольного профілю.

Основною умовою реалізації даного методу є відповідність профілю формоутворюючого інструменту і виробу, яка забезпечується вибором допустимого обтиснення.

Розроблений пристрій, що реалізує запропонований метод допускового контролю дозволяє відтворювати розміри дійсних профілів калібрувальних поясків технологічного інструменту і, відповідно, – дійсні профілі перерізів провідникових кабельних виробів з відносною похибкою близько 0,1...0,2 % (рис. 2). Ця похибка обумовлена в значній мірі шириною лінії дійсного сканованого профілю на екрані дисплею, що, в свою чергу, обумовлено



а)



б)

Рис. 1. Схема допускового контролю геометричних параметрів провідникових кабельних виробів з використанням запропонованого методу (а), і пристрій для цього (б), реалізований на обладнанні заводу «Південкабель».

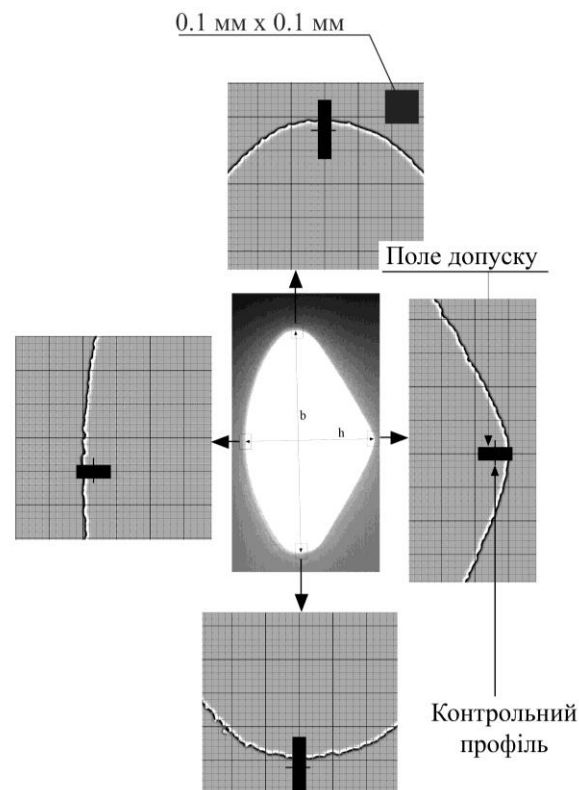


Рис. 2. Виконання допускового контролю провідникових кабельних виробів секторного перерізу з допомогою розробленого методу

розрізнявальною можливістю використаного скануючого пристрою (в даному випадку сканера EPSON Perfection 2400 Photo, який має максимальну розрізнявальну властивість 2400 точок на 1 дюйм).

Таблиця 1

Основні результати операційного контролю геометричних параметрів секторних мідних (*) та алюмінієвих жил трьох- та чотирьохжильних силових кабелів для останніх в маршруті калібрувальних поясків з урахуванням ресурсу (50 км виготовленого проводу)

№ ПП	$S_{жс}$, мм ²	h , мм	Допуск, мм		δ_h , мм	b , мм	Допуск, мм		δ_b , мм	Резуль- тат контро- лю
			+	-			+	-		
1*	33,83	5,98	0,05	0,05	+0,03	8,73	+0,07	0,09	0,07	+
2*	45,76	7,01	0,06	0,05	+0,06	10,04	+0,05	0,10	0,05	-
3*	45,76	6,21	0,06	0,05	+0,04	10,96	+0,04	0,11	0,04	+
4	34,21	6,10	0,04	0,04	+0,02	8,45	+0,02	0,06	0,02	+
5	46,33	6,20	0,05	0,05	+0,03	10,88	+0,05	0,09	0,05	+
6	65,76	8,46	0,06	0,06	+0,04	11,55	+0,02	0,09	0,02	+
7	65,76	7,45	0,05	0,05	+0,01	12,70	+0,018	0,10	0,18	-
8	91,27	8,81	0,07	0,08	+0,06	15,06	+0,06	0,15	0,06	+
9	115,5	11,27	0,10	0,11	+0,04	15,46	+0,06	0,16	0,06	+
10	115,5	9,94	0,09	0,09	+0,06	16,96	+0,03	0,17	0,03	+
11	141,7	12,49	0,12	0,11	+0,07	17,15	+0,04	0,17	0,04	+
12	141,7	11,04	0,09	0,10	+0,06	18,77	+0,08	0,19	0,08	+
13	178,1	13,99	0,13	0,13	+0,03	19,11	+0,09	0,19	0,09	+
14	178,1	12,42	0,11	0,11	+0,06	20,85	+0,03	0,21	0,03	+
15	233,4	13,98	0,12	0,13	+0,15	21,54	+0,09	0,24	0,09	-

Примітка. Номери позицій 1, 2, 4, 6, 9, 11, 13, 15 відносяться до жил чотирьохжильних кабелів з кутом сектору 96,42 ° ... 90 °. Решта позицій відносяться до жил трьохжильних кабелів з кутом сектору 120 °.

На етапі доводки початкових профілів здійснюють допусковий контроль калібрувальних поясків тих заготовок волок, які не визначають розміри провідникових кабельних виробів, тобто всіх волок в технологічному маршруті за виключенням останньої волоки. Допусковий контроль здійснюють шляхом порівняння всього профілю з розрахунковим контрольним профілем, від якого по всьому периметру встановлена двомірна зона технологічного допуску, обмежена двома кривими L_{max} та L_{min} , котрі побудовані, відповідно, з урахуванням плюсового та мінусового відхилення. Позитивним критерієм

допускового контролю є те, що реальний профіль повинен бути обмеженим кривими L_{max} і L_{min} . Для останніх волок, від яких залежать розміри готових виробів в технологічному маршруті, здійснюють операційний вимірювальний контроль відхилень параметрів b і h . На наступному етапі, в міру того, як вичерпується ресурс волок, за встановленим алгоритмом (рис 2), проводиться операційний контроль геометричних параметрів секторних профілів усіх волок в технологічному маршруті. Результати такого контролю, для найбільш важливих секторних профілів калібрувальних поясків останніх в маршруті волочіння волок, наведені в Табл.1. Після виходу відхилень параметрів b і h секторних профілів трьох довільних волок в маршруті волочіння за встановлені допуски проводиться їх перешліфування на нові профілі і повторний допусковий контроль.

Це дозволяє забезпечити процес допускового контролю геометричних розмірів жил сучасних кабелів і проводів з ізоляцією із зшитого поліетилену на напругу до 330 кВ.

В третьому розділі на основі математичної моделі побудови контрольних профілів для круглих провідникових кабельних виробів, що враховує однорідні, неоднорідні деформації та тертя в кінчному осередку і калібруючому пояску, розвинуто метод уточненого визначення граничних і допустимих обтиснень з урахуванням основних силових параметрів формоутворення.

Для граничних обтиснень ε на першому переході складено трансцендентне рівняння

$$\frac{2 \cdot \sigma_T^k(\varepsilon)}{\sigma_T^0 + \sigma_T^k(\varepsilon)} = 1,2 \cdot \left[\left(1 + \frac{f}{\alpha} \right) \cdot \ln \frac{1}{1-\varepsilon} + \frac{2}{3} \cdot \alpha \right], \quad (1)$$

де σ_T^0 , σ_T^k – границя текучості матеріалу до і після першої волоки, f – коефіцієнт тертя на контактній поверхні, α – напівкут волоки, ε – обтиснення.

З нього були знайдені граничні і допустимі значення обтиснень (табл. 2), що важливо з точки зору застосування запропонованого методу, оскільки профілі калібрувальних поясків формоутворюючого інструменту повинні відповідати профілям провідникових кабельних виробів. Перевищення граничних обтиснень, які наведені в табл. 2, призводять до частих обривів, а перевищення допустимих обтиснень призводить до недопустимого відхилення профілю провідникового виробу від контрольного профілю при виготовленні жил та їх елементів перерізом 800...2000 мм².

В четвертому розділі розроблена математична модель побудови контрольних профілів у вигляді інтегрального рівняння Фредгольма 1-го роду при формоутворенні провідникових виробів складного перерізу. З використанням варіаційного методу складений функціонал

$$J[z(x, y)] = \iint_{\Omega} F(x, y, z, p, q) dx dy, \quad (2)$$

де x, y, z – декартові координати, в яких визначається невідома контактна поверхня $S[z(x, y)]$ на площину $z=0$ і обмежена профілем заготовки $L_0(x, y)$ та кінцевим профілем готового виробу $L_k(x, y)$.

Таблиця 2

Граничні й допустимі (у дужках) значення обтиснень для першої волоки при виготовленні мідних і алюмінієвих жил кабелів і проводів з ізоляцією із зшитого поліетилену

Матеріал, що протягається	Матеріал волоки	
	Сплав ВК	Технічний алмаз
М'яка мідна катанка	54 % (46 %)	56 % (48 %)
М'яка алюмінієва катанка	42 % (36 %)	44 % (38 %)

Невідомі контрольні профілі $L_1(x, y), L_2(x, y), \dots, L_{k-1}(x, y)$ лежать в області Ω і є проєкціями перетину мінімальної поверхні площинами $z = const$. Якщо шукати рішення, виходячи з умови загальної сили тертя на контактній поверхні $S[z(x, y)]$, то останній функціонал $J[z(x, y)]$ досягає свого мінімуму, коли функція $z(x, y)$ є рішенням рівняння Остроградського-Ейлера

$$F_z = \frac{\partial}{\partial x} [F_p] - \frac{\partial}{\partial y} [F_q] = 0, \quad (3)$$

де F_z, F_p, F_q - часткові похідні функції F по відповідних змінних z, p, q .

Таким чином, довільна точка $z(x, y)$ на контактній поверхні $S[z(x, y)]$ задовільняє рівнянню Лапласа

$$\frac{\partial^2 z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 z}{\partial y^2} = 0, \quad (4)$$

з граничними умовами першого роду $z(L_0) = C_0 = const$, $z(L_k) = C_1 = const$.

Звідси видно, що між задачею визначення контрольних профілів та електростатичною задачею Дирихле для рівняння Лапласа є аналогія при геометрично подібних границях області Ω .

В роботі доведено, що найбільш прийнятним методом вирішення такої задачі з урахуванням особливостей області Ω є метод невідомих вторинних

джерел поля $\sigma(M)$, які на границях Ω задовольняють інтегральному рівнянню Фредгольма 1-го роду

$$\frac{1}{2\pi} \int_{L_0+L_k} \sigma(M) \ln \frac{1}{r_{QM}} dl_M = \begin{cases} C_0, Q \in L_0 \\ C_1, Q \in L_k \end{cases}, \quad (5)$$

де Q, M – точки інтегрування та спостереження відповідно, C_0, C_1 – константи, що мають смисл електростатичних потенціалів φ_0 і φ_1 на електродах з периметрами L_0 і L_k , r_{QM} – відстань між M і Q .

Подальшою заміною невідомої неперервної функції $\sigma(M)$ східчастою функцією $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_q$ в точках M і Q з номерами $1, 2, \dots, q$, інтегральне рівняння Фредгольма першого роду (5) зведено до системи лінійних алгебраїчних рівнянь для невідомих щільностей зарядів $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_q$.

В матричному вигляді це можна записати так

$$\|A\| \cdot \|\sigma\| = \|\varphi\|, \quad (6)$$

де $\|A\|$ – матриця ядра рівняння, $\|\sigma\|$ – вектор-стовпець невідомих щільностей зарядів, $\|\varphi\|$ – відомий вектор стовпець потенціалів на провідниках з периметрами L_0 і L_k .

Система рівнянь (6) вирішувалась для найбільш поширених секторних жил трох- та чотирьохжильних кабелів з кутами $2\beta=120^\circ$ і 90° . Як відомо інтегральне рівняння Фредгольма першого роду є некоректно поставленою задачею математичної фізики. При розмірності матриці ядра $\|A\|$, що дорівнює 798 рішення рівняння не втрачало стійкості. Для визначення контрольних профілів з набору знайдених рішень (рис. 3) був створений інженерний метод розрахунків силових параметрів і коефіцієнтів запасу та проектування переходів при волочінні. На основі складеної структури мереж та потоків інформації були розроблені рекомендації щодо застосування створеної автоматизованої методики розрахунку контрольних профілів для найбільш вживаних секторних струмопровідних жил з використанням станків з ЧПУ, програмованими логічними контролерами та системою програмного забезпечення комплексного управління виробництва.

Для визначення допустимих обтиснень з урахуванням силових параметрів процесу формоутворення кабельних провідникових виробів і розрахунків технологічних маршрутів та забезпечення надійності (безобривності) процесу волочіння, експериментально визначались основні фізико механічні показники вихідного матеріалу — мідної та алюмінієвої катанки (рис. 4). Звідси видно, що функція $\sigma_\varepsilon(\varepsilon)$ для мідної катанки, яка виготовлялась за застарілою технологією прокатування з мідних зливків, зростає досить повільно в усьому діапазоні

зміни обтиснення ε . В той же час для катанки, отриманої за новітнім методом "Urcast", має місце значення зростання межі міцності $\sigma_e(\varepsilon)$ при зростанні ε . Це дозволяє зробити висновок, що отримана методом "Urcast" катанка більш пластична в усьому діапазоні обтиснень ε і, загалом, більш придатна для виготовлення провідникових кабельних виробів. Для алюмінієвої катанки, отриманої методом безперервного лиття або прокатування зливків суттєва різниця між кривими $\sigma_e(\varepsilon)$ має місце тільки при обтисненні, що не перевищує 20 ... 30%, причому, катанка, отримана прокатуванням зливків загалом більш пластична при обтисненнях $\varepsilon < 30\%$.

Для встановлення відповідності між основними фізико-механічними властивостями мідної катанки, отриманої за новітньою технологією безперервного витягування з розплаву катодів методом "Urcast", та її складом було застосовано спектрометричний метод. Для цього використовувався стаціонарний спектрометр "Spectrolab" з випаровуванням металу іскровим електричним розрядом. Світло, що випромінювалось збудженими атомами

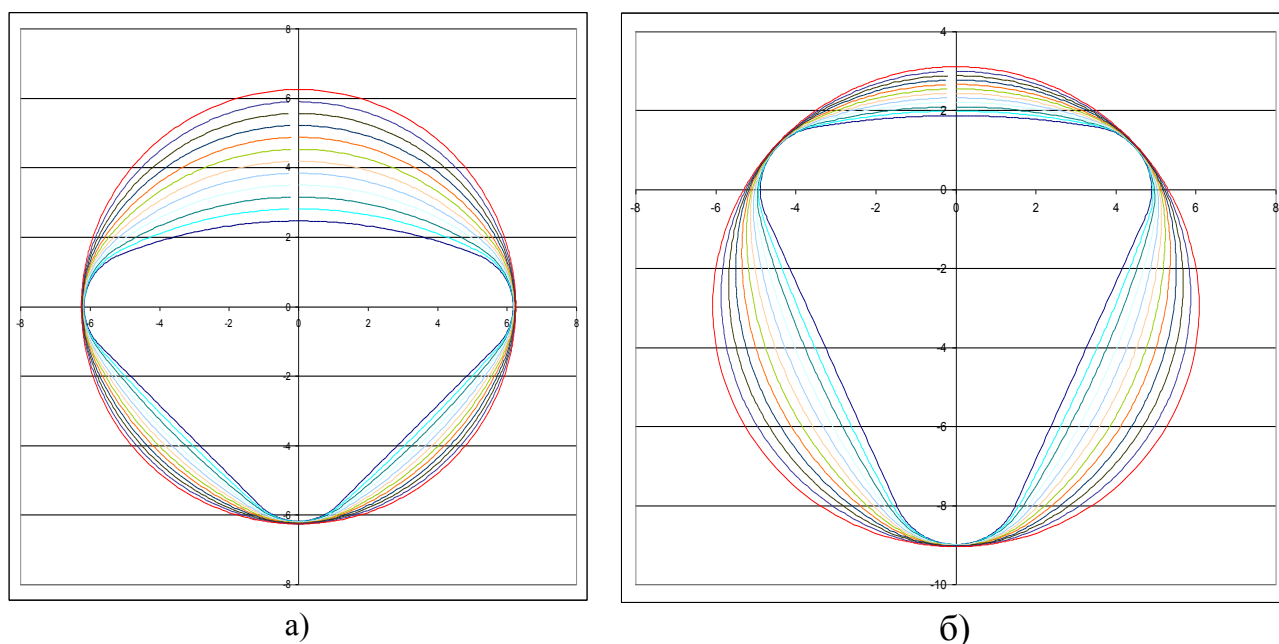


Рис. 3. Контрольні профілі, отримані на основі рішення інтегрального рівняння Фредгольма 1-го роду для круглого вихідного та секторного кінцевого профілів. Параметри секторного профілю: а) площа сектора $S = 70 \text{ мм}^2$; кут сектора $\beta = 45^\circ$; товщина ізоляції $\delta = 3,4$; радіус закруглення $r = 1,6$; б) площа сектора $S = 70$; кут сектора $\beta = 24^\circ$; товщина ізоляції $\delta = 3,4$; радіус закруглення $r = 1,6$

Таблиця 3

Результати експериментального визначення складу вихідного матеріалу

№ п/п	№ бухти	Масова доля домішок, %, не більше								
		Sb	As	P	Pb	S	Sn	Fe	Zn	Ag
1	307	0,0003	0,0003	0,0001*	0,0001	0,0003	0,0001*	0,0001*	0,0003	0,0005
2	308	0,0004	0,0001*	0,0001	0,0005	0,0005	0,0001*	0,0006	0,0004	0,0003*
3	309	0,0003	0,0004	0,0001*	0,0005	0,0002	0,0001*	0,0006	0,0002	0,0005
4	310	0,0003	0,0001*	0,0001*	0,0004	0,0001	0,0001*	0,0007	0,0002	0,0003*
5	311	0,0001*	0,0001*	0,0001*	0,0004	0,0001	0,0001*	0,0001*	0,0002	0,0003*
6	312	0,00049	0,0001*	0,0001*	0,00023	0,0001	0,0001*	0,00015	0,00018	0,0003*
7	313	0,00053	0,00082	0,0001*	0,0001*	0,00037	0,00017	0,0001*	0,00017	0,00058
8	314	0,00038	0,00049	0,0001*	0,00012	0,00016	0,0001*	0,00011	0,00015	0,0002*
9	315	0,00017	0,00048	0,0001*	0,00021	0,00018	0,0001*	0,00011	0,00015	0,00066
10	316	0,00047	0,0001*	0,0001*	0,00016	0,00030	0,0001*	0,0001*	0,00020	0,0003*

Таблиця 4

Результати експериментального визначення фізико-механічних показників вихідного матеріалу

№ п/п	№ бухти	Відносне видовження, %	Середнє значення відносного видовження, %	Питомий електричний опір, Ом·мм ²	Зусилля розриву, кг
1	307	41 - 40,5 - 41	40,83	0,01713	180,46
2	308	40 - 41,5 - 42,5	41,33	0,01717	183,76
3	309	38 - 38 - 38	38	0,01715	182,32
4	310	43 - 40 - 42	41,66	0,01717	180,72
5	311	40,5 - 41 - 42	41,17	0,01715	183,69
6	312	41 - 40 - 41,5	40,83	0,01711	182,52
7	313	38 - 38 - 39	38,33	0,01716	182,71
8	314	45 - 42 - 41	42,67	0,01715	179,74
9	315	41 - 42 - 40	41	0,01716	184,72
10	316	40 - 42 - 40,5	40,83	0,01715	183,69

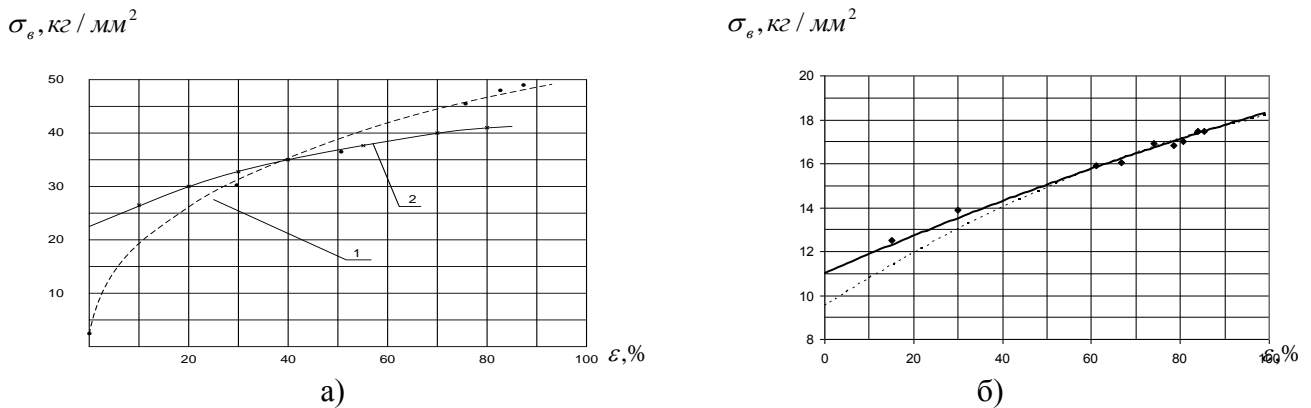


Рис. 4. Експериментальна залежність межі міцності σ_s від обтиснення ε ; а) – для міді: 1 – вихідний матеріал – катанка, отримана витягуванням з розплаву катодів методом «Urcast». 2 – вихідний матеріал – катанка, отримана гарячою прокаткою з мідних зливків; б) – для алюмінію: 1 – вихідний матеріал – катанка, отримана прокатуванням зливків; 2 – катанка, отримана безперервним литтям з розплаву алюмінію

досліджуваного матеріалу аналізувалось оптичною схемою приладу і порівнювалось з попередньо занесеними в пам'ять процесора калібрувальними даними, а результати з відносною похибкою не більше 5% відображались на моніторі.

Експеримент (табл. 3), де для наочності представлені результати 10 дослідів з проведених 20, дозволив встановити, що виготовлена методом "Urcast" мідна катанка діаметром 8 мм, в якій присутні не більш 0,00053% сурми, 0,00082% миш'яку, 0,0001% фосфору, 0,0005% свинцю та сірки, 0,00017% олова, 0,0007% заліза, 0,0003% цинку, 0,00066% срібла, 0,00009% марганцю, 0,0001% селену, телуру, хрому і кадмію, 0,0002% нікелю і 0,0003% кремнію має середнє значення електричного опору не більше 0,017156 ом·мм²/м та зусилля розриву не менше 180,46 кг (табл. 4). При цьому залежність деформаційного зміцнення $\sigma_s(\varepsilon)$ цього матеріалу від обтиснення описується кривою 1 на рис. 4. Це повністю задовольняє сучасним вимогам, що висуваються до вихідних матеріалів для виготовлення провідникових виробів новітньої кабельно-провідникової продукції.

ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі вирішено науково-практичну задачу розробки неруйнівного допускового методу контролю змінних технологічних профілів провідникових кабельних виробів в першу чергу для кабелів з ізоляцією із зшитого поліетилену на напругу до 330 кВ.

1. На основі аналізу інформаційних джерел і теоретичних досліджень обґрунтовано необхідність неруйнівного допускового контролю провідникових кабельних виробів з урахуванням закономірностей їх формоутворення.

2. Розроблено і обґрунтовано високопродуктивний метод операційного неруйнівного контролю геометричних розмірів провідникових виробів з допомогою контрольних профілів для підвищення надійності промислового обладнання та для наступного переходу до допускового контролю змінних технологічних профілів.

3. На основі інтегральних рівнянь Фредгольма першого роду розроблена математична модель побудови контрольних профілів для визначення двомірних зон допуску провідникових кабельних виробів складного перерізу та розраховані контрольні профілі для найбільш вживаних на практиці жил секторного перерізу.

4. Отримав подальший розвиток метод розрахунку контрольних профілів для допускового контролю якості провідникових кабельних виробів круглого перерізу з урахуванням допустимого обтиснення. Встановлено, що на найбільш навантаженому першому переході, допустиме обтиснення складає 46% і 36% для м'якої міді та алюмінію при використанні формоутворюючого інструменту зі сплаву карбиду вольфраму та 48% і 38% при використанні вставок з технічного алмазу.

5. Експериментально з урахуванням результатів вхідного мас-спектрометричного контролю встановлено зв'язок між фізико-механічними показниками сучасних матеріалів для виготовлення провідникових виробів та масовою долею нормованих домішок в них, що суттєво впливає на вибір допустимих обтиснень та розрахунок контрольних профілів.

6. Результати дисертації використані як практичні методи розрахунку контрольних профілів для секторних проводів в ПАТ «Завод Південкабель», а також в навчальному процесі на кафедрі електроізоляційної та кабельної техніки НТУ «ХП».

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Бузько С.В., Карпушенко В.П., Науменко О.А. Вдосконалення волочіння складних профілів / Силові кабелі низької та середньої напруги. Конструювання, технологія, якість // В.П.Карпушенко, Л.А.Щебенюк, Ю.О.Антонець, О.А.Науменко. – Харків: Регіон-інформ, 2000. – С.290-339. *Здобувачем запропоновані нові співвідношення для розрахунків контрольних профілів аналітичними і чисельними методами.*

2. Бузько С.В.. Выбор переходов при волочении сложных профилей методом интегральных уравнений/ Бузько С.В.. Карпушенко В.П., Науменко А.А. //Сб.науч.тр. Харьковского государственного политехнического университета. «Информационные технологии: наука,техника, технология, образование, здоровье». – Харьков: ХГПУ, 1997. – Ч.5. – С. 237-241. *Здобувачем виведені інтегральні рівняння для вибору контрольних профілів.*

3. Бузько С.В., Силовые кабели с изоляцией из силанольношпигитого полиэтилена/ Золотарев В.М., Бузько С.В., Карпушенко В.П., Науменко А.А. //Сб.науч.тр. Харьковского государственного политехнического университета «Информационные технологии: наука, техника, образование, здоровье». – Харьков: ХГПУ, 1998. –ч.1. – С. 520-522. *Здобувачем доведена можливість застосування запропонованих ним співвідношень для розрахунку контрольних профілів для жил кабелів з ізоляцією із силанольношпигитого поліетилену.*

4. Бузько С.В. Состояние и тенденции развития методов выбора переходов при волочении сложных профилей электротехнического назначения. / Бузько С.В., Карпушенко В.П., Науменко А.А. // Производство проката. – М.: Машиностроение, 1998, № 10. – С. 11-14. *Здобувачем запропоновано метод розрахунку контрольних профілів для кабельних виробів складних профілів.*

5. Бузько С.В. Анализ применимости теоретических и эмпирических зависимостей для определения усилия волочения жил силовых кабелей /Бузько С.В. // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. – Харьков: ХГПУ, 2000. – Вып. 127. – С. 17-19. *Здобувачем запропоновані нові співвідношення між теоретичними та аналітичними залежностями для визначення зусиль волочіння жил силових кабелів, суттєвих з точки зору вибору контрольних профілів.*

6. Бузько С.В. Инженерная методика расчета коэффициентов запаса при волочении фасонных профилей. / Бузько С.В., Карпушенко В.П., Науменко А.А. // Вісник інженерної академії наук України. – Київ: 2001. - № 3. – С. 290-296. *Здобувачем запропонований інженерний метод розрахунку коефіцієнтів запаса та контрольних профілів при волочінні фасонних виробів.*

7. Бузько С.В. Приближенные соотношения для определения предельных обжатий при волочении круглых медных и алюминиевых профилей для жил кабелей и проводов. / Золотарев В.М., Бузько С.В., Карпушенко В.П., Науменко А.А. // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» .- Харків: НТУ «ХПІ», 2004. – вып. 67. –С. 54-55. *Здобувачем запропоновані приблизні співвідношення для визначення граничних обтиснень для вибору контрольних профілів при волочінні круглих мідних та алюмінієвих жил.*

8. Бузько С.В. Методика определения параметров, характеризующих процесс волочения проволоки для токопроводящих жил. / Карпушенко В.П., Науменко А.А., Бузько С.В., Никулин В.В. // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» .- Харків: НТУ «ХПІ», 2004. - № 7. – С. 17-29. *Здобувачем запропонований метод вибору контрольних профілів з урахуванням зусилля і напруги волочіння.*

9. Бузько С.В. Методика определения допустимых обжатий на первом переходе при волочении круглой проволоки электротехнического назначения из меди и алюминия./ Золотарев В.М., Карпушенко В.П., Науменко А.А., Бузько С.В. // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» .- Харків: НТУ «ХПІ». – 2005. - № 12. –С. 92-95. *Здобувачем запропонований метод визначення допустимих обтиснень для*

вибору контрольних профілів на першому переході при волочінні міді і алюмінію з застосуванням теоретичних співвідношень для напруги волочіння.

10. Бузько С.В. Критерии применимости устройств электрического контроля изоляционных элементов кабельных изделий на современных автоматизированных экструзионных линиях. /Золотарев В.М., Карпушенко В.П., Науменко А.А., Бузько С.В., Золотарев В.В.// Вісник Харківського Національного технічного університету сільського господарства. – Харків: ХНТУСГ, 2005. - № 33. –С. 153-156. *Здобувачем запропоновані критерії застосування пристроїв контролю ізольованих кабельних виробів в сучасних автоматизованих екструзійних лініях.*

11. Бузько С.В. Определение силовых параметров при волочении фасонных токопроводящих жил силовых кабелей. / Золотарев В.М., Карпушенко В.П., Бузько С.В., Золотарев В.В. // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» .- Харків: НТУ «ХПІ»– 2006. - № 28. – с.67-71. *Здобувачем запропоновано визначати контрольні профілі з урахуванням основних силових параметрів при волочінні фасонних струмопровідних жил силових кабелів для функцій обтиснення на кожному переході.*

12. Бузько С.В. Моделирование переходов при волочении фасонных профилей. / Золотарев В.М., Карпушенко В.П., Бузько С.В. // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» .- Харків: НТУ «ХПІ», 2006. - № 7. – с. 6-11. *Здобувачем запропонований метод моделювання форми переходів, що базується на варіаційній постановці задачі про мінімум тертя на контактній поверхні для визначення контрольних профілів.*

13. Бузько С.В. Определение усилия волочения круглых профилей./ Карпушенко В.П., Золотарев В.М., Бузько С.В., Науменко А.А. //Кабели и провода. – М.: ВНИИКП, 2008. - № 2. –С. 22-26. *Здобувачем запропоновані нові співвідношення для визначення контрольних профілів з урахуванням основних силових параметрів при волочінні круглих профілів з міді і алюмінію та їх деформаційного зміцнення.*

14. Бузько С.В. Расчет коэффициентов запаса маршрутов волочения сложных профилей/ Бузько С.В., Карпушенко В.П., Науменко А.А. //Физико-технические проблемы электротехнических материалов и компонентов: III международ. конф., 30 ноября – 2 декабря, 1999 г.: труды – М.: Технический университет МЭИ. - 1999. – С.100. *Здобувачем запропоновано розраховувати коефіцієнти запасу маршрутів волочіння з урахуванням вибору для них контрольних профілів.*

15. Бузько С.В. Теоретическое и практическое значение полуугла рабочего конуса волокна / Бузько С.В. // Проблемы теории и практики технологии машиностроения, механической и физико-технической обработки: междунар. науч.-техн. конф. 22 – 26 мая, 2000 г.: труды – Харків: ХНПК «ФЭД», 2000. – С. 172-174. *Здобувачем запропоноване нове співвідношення між*

теоретичними та практичними значеннями напівкута робочого конусу з урахуванням вибору контрольних профілів.

16. Бузько С.В. Понятие геометрического фактора волоочильного инструмента и его использование в практических вычислениях/ Золотарев В.М., Бузько С.В., Карпушенко В.П., Науменко А.А. // Физические и компьютерные технологии: IX междунар.научн.-техн.конф.,3-4 июня, 2004 г.: труды – Харьков: ХНПК «ФЭД», 2004. – С. 94-97. *Здобувачем запропоновано визначати основні силові параметри при волочинні провідникових кабельних виробів як функції геометричного фактору волоочильного інструменту з урахуванням вибору контрольних профілів.*

17. Бузько С.В. Математическая модель электрической напряженности изолированных жил силовых кабелей / Бузько С.В., Золотарев В.В., Карпушенко В.П., Науменко А.А. // Физические и компьютерные технологии: XII междунар. научн.- техн. конф. 7 – 8 июня, 2006 г.: труды - Харьков: ХНПК «ФЭД», 2006. – С. 239-241. *Здобувачем запропоновано знаходити топологію електричного поля поблизу кутів округлення секторної жили через рішення рівняння Лапласа в прилеглих до них областях при визначенні контрольних профілів.*

18. Бузько С.В. Определение силовых параметров волоочения в условиях кабельного предприятия / Золотарев В.М., Карпушенко В.П., Бузько С.В., Науменко А.А. // Электромеханика, электротехнологии, электротехнические материалы и компоненты: XI междунар. конф.; 18 – 23 сентября, 2006 г.: труды – М.: Технический университет МЭИ, 2006. – Ч.1. – С.52-53. *Здобувачем запропоновано визначати контрольні профілі з урахуванням основних силових параметрів волочиння в умовах кабельного підприємства як функції граничної напруги текучості металу.*

АНОТАЦІЇ

Бузько С.В. Метод допускового контролю змінних технологічних профілів провідникових кабельних виробів. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.13 – прилади і методи контролю та визначення складу речовин. – Національний технічний університет "Харківських політехнічний інститут". Харків, 2012.

В дисертації вирішена наукова задача розробки методу допускового контролю змінних технологічних профілів в процесі виготовлення сучасних провідникових кабельних виробів різноманітного перерізу.

Складені трансцендентні рівняння для першого переходу, рішення яких дозволило встановити, що граничні обтиснення на ньому становлять при волочинні міді з м'якої катанки 54% і 42%, а допустимі обтиснення відповідно 46% і 36% при застосуванні волок ВК. При застосуванні волок з технічного алмазу, ці показники становлять відповідно 56% і 44% та 48% і 38%. Це обумовлює можливість застосування запропонованого методу контролю.

На основі узагальненої варіаційної постановки задачі розроблена математична модель для визначення контрольних профілів, зокрема для секторних проводів, як рішень інтегральних рівнянь Фредгольма – 1-го роду.

Розроблено метод практичного визначення контрольних профілів з урахуванням основних силових параметрів процесу формоутворення провідникових кабельних виробів. Експериментально методом мас-спектроскопії встановлена відповідність між масовою часткою домішок у вихідному матеріалі – мідній катанці, що одержана за новітньою технологією витягування з розплаву катодів, та її основними фізико-механічними показниками (відносним видовженням, питомим електричним опором, межею міцності). Розроблено рекомендації для автоматизованого розрахунку контрольних профілів волочильного інструменту з використанням для його виготовлення станків з ЧПУ та системи програмного забезпечення контролю.

Ключові слова: неруйнівний контроль, допусковий контроль розмірів, провідникові вироби, мідь, алюміній, контроль домішок.

Бузько С.В. Метод допускового контролю переменных технологических профилей проводниковых кабельных изделий. – Рукопись.

Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 – приборы и методы контроля и определения состава веществ. – Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт". Харьков, 2012.

Освоение промышленностью выпуска силовых кабелей на напряжение до 330 кВ и выше с изоляцией из сшитого полиэтилена выдвинуло повышенные требования, в том числе, и к их жилам, которые могут достигать в сечении 2000 кв. мм. Это, в свою очередь, потребовало разработки более совершенного процесса и метода активного операционного неразрушающего допускового и входного контроля проводниковых кабельных изделий и материалов для их изготовления с применением новых, более совершенных технических средств.

Чем выше напряжение кабеля, тем существеннее влияние состояния поверхности жил и допусков их геометрических параметров на возникновение опасных дефектов изоляции. К ним относятся, прежде всего, водные и электрические триинги, которые представляют наибольшую опасность для пластмассовой изоляции из сшитого полиэтилена. Рост этих триингов может со временем существенно сократить ресурс работы таких высокотехнологичных изделий, которыми являются современные энергонасыщенные кабели среднего, высокого и сверхвысокого напряжения с изоляцией из сшитого полиэтилена.

В диссертации решена научно-практическая задача разработки метода допускового контроля переменных технологических профилей в процессе изготовления современных проводниковых кабельных изделий различного сечения и, в первую очередь, жил кабелей и их элементов секторного поперечного сечения.

На основе анализа имеющихся результатов исследований установлено, что допусковый контроль переменных технологических профилей проводниковых кабельных изделий с помощью расчётных контрольных профилей необходимо проводить с учётом закономерностей их формообразования.

Получил дальнейшее развитие метод расчёта контрольных профилей для допускового контроля проводниковых кабельных изделий круглого сечения у учётом допустимого обжатия.

Составлены трансцендентные уравнения для первого перехода, решение которых позволило установить, что предельные обжатия на нем составляют при волочения меди из мягкой катанки 54% и 42%, а допустимые обжатия соответственно 46% и 36% при применении волок ВК. При применении волок из технического алмаза, эти показатели составляют соответственно 56% и 44% и 48% и 38%. Это обуславливает возможность применения предложенного метода контроля.

На основе обобщенной вариационной постановки задачи разработана математическая модель определения контрольных профилей, в частности для секторных проводов, как решений интегральных уравнений Фредгольма 1-го рода. Определены двумерные зоны допусков проводниковых кабельных изделий сложного профиля для наиболее употребительных на практике жил секторного сечения. Из них скручивают жилы большого сечения (до 2000 кв.мм.) кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение до 330 кВ включительно.

Разработан метод расчёта контрольных профилей для проводниковых кабельных изделий сложного поперечного сечения с учётом основных силовых параметров процесса формообразования проводниковых кабельных изделий и допустимых обжатий. Это позволило в свою очередь разработать систему автоматизированного выбора из всей совокупности необходимых контрольных профилей изделий сложного поперечного сечения.

Экспериментально методом масс-спектроскопии установлено соответствие между массовой долей примесей в исходном материале – медной катанке, полученной по новейшей технологии вытягивания из расплава катодов, и ее основными физико-механическими показателями (относительным удлинением, удельным электрическим сопротивлением, пределом прочности).

Экспериментально установлено, что изготовленная методом "Urcast" медная катанка диаметром 8 мм, в которой присутствуют не более 0,00053% сурьмы, 0,00082% мышьяка, 0,0001% фосфора, 0,0005% свинца та серы, 0,00017% олова, 0,0007% железа, 0,0003% цинка, 0,00066% серебра, 0,00009% марганца, 0,0001% селена, теллура, хрома и кадмия, 0,0002% никеля и 0,0003% кремния имеет среднее значение электрического сопротивления не более 0,017156 Ом·мм²/м и усилие разрыва не менее 180,46 кг. Установлена зависимость деформационного упрочнения $\sigma_{\epsilon}(\epsilon)$ этого материала от обжатия. Показано, что это полностью удовлетворяет современным требованиям, выдвигаемым к исходным материалам для изготовления проводниковых

кабельных изделий новейшей кабельно-проводниковой продукции, и, в первую очередь, элементов секторного сечения проводящих жил кабелей среднего, высокого и сверхвысокого напряжений с изоляцией из полиэтилена, сшитого в среде сухого азота.

Разработаны рекомендации для автоматизированного расчета контрольных профилей волочильного инструмента с использованием для его изготовления станков с ЧПУ и системы программного обеспечения контроля.

Ключевые слова: неразрушающий контроль, допусковый контроль размеров, проводниковые изделия, медь, алюминий, контроль примесей.

Buz'ko S.V. A method for tolerance monitoring of wires' and cables' variable technological profiles. – Manuscript.

Thesis for a Ph. D. degree in technical sciences in specialty 05.11.13 – devices and methods of checkup and determination of substances' makeup. – National technical university “Kharkov Politechnical Institute”, Kharkov 2012.

In the thesis, scientific problem of development of monitoring method for testing in-line during manufacturing of cable and wire conductors with various section's shapes is solved.

The transcendent equations for first die are formulated; solution of these equations allowed to determine that reduction limit on the first die accounts to 54% and 42% for drawing of soft rolled copper wire and acceptable reduction, 46% and 36% correspondingly, when using VK dies. These values account to 56% and 44%, 48% and 38% correspondingly, when using carbon dies. This provides a possibility of using the proposed monitoring method.

On the basis of generalized variational problem the mathematical model for computation of control profiles (particularly for wedge-shaped conductors) is developed. The control profiles are calculated as solutions of Fredholm equation of first kind.

The methods of practical determinations of primary force parameters of cable and wire conductors shaping process and of automated drawing die's shape computations are developed.

Experimentally by using mass-spectroscopy the conformity between impurity content in raw material – a soft rolled copper wire, which was manufactured using a novel technology of drawing wire from liquid melt of copper cathodes – and its primary physico-mechanical values (elongation, resistivity, breaking point). The recommendations for automated computations of drawing die's control profiles and for dies' manufacturing by using numerically controlled machine tools integrated with monitoring software are developed.

Keywords: nondestructive test, tolerance monitoring, wires and cables, copper, aluminum, impurities' monitoring.