

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МАШИНОБУДУВАННЯ**

На правах рукопису

Міренський Ігор Григорович

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ І ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ
ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКУ МІЦНІСНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ І
ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ВИГОТУВАННЯ
ГНУЧКИХ ЕЛЕМЕНТІВ МАШИН**

05.02.09 - динаміка, міцність машин, приладів та апаратури

**Автореферат дисертації на здобуття
наукового ступеня доктора технічних наук**



Харків - 1996



00759740 (W)

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі теоретичної механіки

Харківської державної академії місцевого господарства

- Офіційні опоненти
- доктор технічних наук, член-кореспондент
НАН України, професор
Бондар Олександр Євгенович
 - доктор технічних наук,
старший науковий співробітник
Лобанов Віктор Костянтинович
 - доктор технічних наук,
старший науковий співробітник
Дворинков Володимир Іванович
- Провідна організація - Харківський науково-технологічний комплекс
(Міністерство машинобудування військово-промислового комплексу і конверсії, м. Харків)

Захист відбудеться "16" листопада 1996 р. о 14 год. в аудиторії XI поверху
на засіданні спеціалізованої вченої ради Д02.18.01

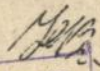
в Інституті проблем машинобудування НАН України
/310046, м. Харків, вул. Д. Пожарського, 2/10/.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Інституту проблем
машинобудування НАН України за адресою:

310046, м. Харків, вул. Д. Пожарського, 2/10

Автореферат розісланий "12" апреля 1996 р.

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради доктор технічних наук,
професор


Воробієв Ю.С.

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи і ступінь дослідженості тематики дисертації

Інтенсивний розвиток промислового комплексу нерозривно пов'язаний з використанням підйомно-транспортного обладнання різного призначення. Важкі умови експлуатації ставлять підвищені вимоги щодо його надійності, яка багато в чому зумовлюється довговічністю гнучких елементів - кручених виробів, що є важливою ланкою багатьох механізмів і підйомно-транспортних машин.

У значній мірі проблему підвищення стійкості гнучких елементів можна розв'язати шляхом застосування дроту високого розривного опору. Різні типи сталевих канатів, металокорд, попередньо навантажені залізобетонні конструкції, пружини відповідального призначення, рояльний та спицевий дріт - ось далеко не повний перелік виробів з високоміцного дроту. У цьому переліку найбільший інтерес являють собою сталеві канати та металокорд.

Особливо широке розповсюдження отримали сталеві канати у галузях гірничодобувної промисловості, таких як вугільна, нафтова, газова. Термін служби канатів невеликий: у шахтних умовах він не перевищує в середньому одного року, а на екскаваторах - декількох місяців.

Сьогодні для армування гумотехнічних виробів /пневматичних автомобільних шин, зубчастих і клинових пасів, рукавів високого тиску та ін./ використовують латунований металокорд і високоміцний дріт у вигляді одинарного нитковидного матеріалу. Із закордонної практики слід відзначити застосування металокорду як армуючого елемента високовідповідальних плоских пасів, гумових стрічок, котрі виконують функцію амортизатора, а також багатьох видів еластомірної продукції типу анкеровних стрічок, пневматичних ресор, з'єднувачів труб тощо.

Наукові дослідження, присвячені питанням конструювання, технології виготовлення кручених виробів для окремих галузей промисловості, їх динамічного розрахунку та витривалості, одержали подальший розвиток у роботах Букштейна М.А., Ветрова О.П., Глушка М.Ф., Гончаренко Н.К., Горошка О.О., Динника А.М., Дукельського А.М., Житкова Д.Г., Ковальського Б.С., Козлова В.Т., Ксюніна Г.П., Нестерова П.П., Савіна Г.М., Флоринського Ф.В. та ін.

Потреба промисловості у кручених виробах дуже велика і її можна задовольнити не лише збільшенням обсягу виробництва, але й поліпшенням їх якісних показників. Проблема, що розглядається, є багатогранною й порушує розв'язання комплексу задач, що включає розробку прогресивних конструкцій, визначення раціональних технологічних параметрів виготовлення високоміцного дроту та виробу в цілому, створення високоефективного канатного обладнання. Таким чином, вишукування шляхів удосконалення виробництва виробів являє собою науковий інтерес, заслуговує особливої уваги, має велике народногосподарське значення, й отже, є актуальною проблемою.

Виконані теоретичні й експериментальні дослідження сприяють розв'язанню важливої наукової та народногосподарської проблеми, що полягає у розробці технологічних підвалів виготовлення кручених виробів різного призначення /стальних канатів і цілого ряду типів металокорду/ з високоміцного дроту, підвищенні їх якості та довговічності, а також задоволенняні у певній мірі попиту споживаючих галузей.

Однак незважаючи на наявні певні досягнення у галузі експериментального дослідження фізико-механічних властивостей вихідного матеріалу, теорії та практики виготовлення кручених виробів різного призначення, а також створення й удосконалення канатосукального обладнання тема, що порушується в дисертації, - виявлення зв'язку технологічних параметрів виготовлення гнучких елементів машин з ха-

рактиками міцності дроту, зокрема високого розривного опору - до цього часу не отримала належного розв'язання й розглядається вперше.

Мета роботи полягає в розробці наукових підвалин ефективних технологій виробництва дроту високого розривного опору та гнучких елементів машин різного призначення. В межах сформульованої мети були поставлені й розв'язані такі завдання:

1. Встановлено закономірності зміни фізико-механічних характеристик канатного дроту різного рівня міцності при статичному й циклічному навантаженнях, що дозволяє аналізувати вплив технологічних факторів його виробництва і хімічного складу вихідного матеріалу.

2. Розроблено технологічні підвалини виготовлення дроту й сталевих канатів високого розривного опору.

3. Обґрунтовано раціональні параметри механізму несправжньої скрученості, спрямовані на підвищення якісних показників металокорду різних типів.

4. Розроблено конструкцію преформуючого пристрою з оптимальним співвідношенням його геометричних розмірів.

Методи досліджень. Поставлені задачі визначили методи досліджень, основними серед яких були метод аналізу та наукових узагальнень досягнень науки й практики, метод аналітичних досліджень із залученням сучасного математичного апарату, метод експериментальних досліджень в лабораторних і промислових умовах з використанням різних засобів вимірювальної техніки, метод техніко-економічного аналізу.

Обґрунтування теоретичної і практичної цінності досліджень та їх наукової новизни. Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій зумовлюється тим, що проведений в експериментальному та теоретичному планах комплекс досліджень вихідного матеріалу та

гнучкого елемента в цілому ґрунтується на відомих концепціях в області теорії, практики виготовання кручених виробів для різних умов експлуатації та створення високоефективного канатосукального обладнання, механізмів статичного руйнування металу та руйнування металу від втомленості, а також розробках інших вчених. Виконані на спеціальному лабораторному обладнанні з надійною ймовірністю $\alpha = 0,95$ експериментальні дослідження дозволили створити технологічні підвалини гнучких елементів /стальних канатів і ряду типів металокорду/ з високоміцного дроту, які підтверджені дослідно-промисловою перевіркою розроблених положень і рекомендацій. В цілому всі результати є новими й ступінь їх достовірності висока.

Досліджувані фізико-механічні властивості високоміцного дроту, що застосовується при виготованні гнучких елементів машин, при статичному й циклічному навантаженнях залежно від хімічного складу матеріалу та фактичних характеристик технології його виробництва. Побудована багатофакторна модель зміни деформації крайніх волокон дроту під час суцання його у сталку, коефіцієнти якої відображають ступінь впливу кожного з розглянутих факторів, що дозволяє дати науково обґрунтовані рекомендації щодо удосконалення технології виготовання дроту та кручених виробів. Вивчено характер зміни залишкової скрученості металокорду різних типів з урахуванням параметрів механізму несправжньої скрученості та якісних показників готового виробу, а також вихідного матеріалу. На підґрунті розробленої математичної моделі встановлені області оптимальних значень швидкостей обертання підкручування та відкручування повного торсіону. Розроблені нові конструкції вертикальної канатосукальної машини декількох модифікацій одинарного та подвійного скручування з електромагнітною фіксацією ротора. Теоретично й експериментально обґрунтований новий принцип здійснення у процесі суцання попередньої деформації еле-

ментів металокорду і сталевих канатів тонких типорозмірів. Суть цього принципу полягає у преформації одночасно двох заготовок на одному деформуючому ролику, який оснащено відповідною кількістю симетрично розміщених канавок.

Великий фактичний матеріал про фізико-механічні властивості вихідного матеріалу і дані про вплив на них ряду технологічних факторів виготовлення, розроблені рекомендації, запропоновані закономірності та технічні рішення можуть використовуватися науково-дослідними інститутами та проектно-конструкторськими організаціями, заводами метизного й кабельного виробництва, а також підприємствами інших галузей промисловості під час розробки прогресивних конструкцій кручених виробів, нових схем виготовлення дроту і відповідного сталеводного обладнання, відпрацювання технологічного процесу виготовлення гнучких елементів різного призначення і виконання розрахунку силових характеристик виробу у цілому.

Особистий внесок дисертанта. У роботі, що реферується, особисто автором встановлений під час статичного навантаження взаємозв'язок між фізико-механічними властивостями канатного дроту різного типорозміру та технологічними факторами його виготовлення з кількісною оцінкою впливу кожного параметра, що досліджується /роботи 6, 7, 16, 41/; вивчено характеристики втомлюваності дроту з урахуванням вмісту вуглецю у сталі, параметрів технології, типорозміру та інших факторів /роботи 1, 3, 5, 8, 9, 11, 12, 17, 18, 23/; запропоновано новий підхід та визначені оптимальні величини деформації згину крайніх волокон дроту різного типорозміру під час суцання його в гнучкі елементи /роботи 1, 2, 4, 10, 13, 14, 15, 20, 24/; отримані закономірності зміни якісних показників металокорду різних типів з урахуванням параметрів механізму несправжньої скрученості та на їх підґрунті встановлені можливі поєднання швидкостей обертання роторів підкручування та відкручу-

вання повного торсіону /роботи 19, 21, 22, 25/; запропоновані технічні рішення під час розробки нових конструкцій вертикальної канатосукальної машини декількох модифікацій одинарного та подвійного скручування з електромагнітною фіксацією ротора /роботи 28-31, 33-36, 39, 40/; виконані теоретичні передумови та розроблена прогресивна конструкція технологічного пристрою на опорах кочення для знімання сукальних напруг під час виготовлення крученого виробу на високошвидкісних канатосукальних машинах /роботи 26, 27, 32, 37, 38/.

Реалізація результатів роботи. Під керівництвом автора і за його безпосередньою участю:

1. На Орловському сталепрокатному заводі впроваджені у 1985 році раціональні параметри роторів підкручування та відкручування повного торсіону під час виготовлення металокорду типів 22Л15, 9Л15/27 і 4Л27, які дозволили отримати прямолінійний кручений виріб із мінімальною залишковою скрученістю, підвищити надійність досліджуваного пристрою, продуктивність канатосукального обладнання, поліпшити його якісні характеристики, а саме: збільшити агрегатний розрив у межах $7,0 \pm 54,3\%$, адгезію - $8,7 \pm 43,2\%$, витривалість в $1,15 \pm 2,59$ разів і зменшити на $62,8\%$ величину прогину металокорду 4Л27, що виготовляється у поєднанні з рихтувальним пристроєм у двох площинах. Для спрощення процедури розрахунку технологічних операцій без застосування обчислювальної техніки побудовано відповідні номограми.

2. Розроблена галузева інструкція щодо вибору параметрів механізму несправжньої скрученості під час сукання металокорду на машинах типу ДV-2, затверджена головним інженером ВВО "Союзметиз" МЧМ СРСР як керівний матеріал.

3. Підготована технічна документація, виготована та впроваджена /у 1991 р./ на АТ "Орловський сталепрокатний завод" партія пре-

формуючих пристроїв на опорах кочення зі встановленим оптимальним співвідношенням їх геометричних розмірів і вибраними параметрами настроювання у кількості 460 штук і 260 комплектів запасних частин до неї. Розроблена заводська технологічна інструкція виробництва металокорду типу 9Л15/27 із застосуванням даного преформатора та проведено навчання обслуговуючого персоналу згідно з затвердженою програмою цільового призначення. Застосування розроблених преформаторів під час виробництва зазначеного вище типу металокорду дало можливість знизити динамічний натяг /на 22-32%/ й амплітуду його коливання, зменшити в процесі сукання обривність дротів /в 4,3 рази/ та нормативний коефіцієнт витрат /на 10 кг/ латунованого дроту на 1т готової продукції, одержати виріб з високими якісними показниками та гарантованою мінімальною залишковою скрученістю / $0 \pm 0,5$ об./ . Економічний ефект від провадження запропонованої розробки становив 2,9 млн. російських крб. у цінах 1991 року.

4. Продана у 1992 році АТ "Орловський сталепрокатний завод" ліцензія № 417/92 на використання розробленої конструкції технологічного пристрою для здійснення попередньої деформації елементів кручених виробів /патент СРСР № 1779272/.

Апробація роботи. Окремі положення дисертаційної роботи, а також дисертація в цілому доповідались й обговорювались на технічних радах АТ "Орловський сталепрокатний завод" /Орел, 1980-1984 рр.; 1990-1993 рр./, I-X науково-технічних конференціях "Технічні засоби океанічного та промислового рибальства" /Севастополь, 1983-1992 рр./, XXV-XXVII науково-технічних конференціях викладачів, аспірантів і співробітників Харківського інституту інженерів міського господарства /Харків, 1990-1994 рр./, кушовому семінарі Інституту гірничої механіки ім. М.М.Федорова /Донецьк, 1994 р./, об'єднаному науковому семінарі Інституту проблем машинобудування НАН України /Харків,

1994 р./, розширеному засіданні кафедри теоретичної та прикладної механіки Харківської державної академії міського господарства /Харків, 1995 р./.

Публікації. Зміст роботи опубліковано в 41 наукових працях: одній монографії, 29 статтях, отримано 7 патентів, у тому числі 5 з провідних розвинених країн у галузі канатного виробництва /США, Великобританії, Японії, ФРН, НДР/ та 4 авторських свідоцтва на винаходи.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, 5 розділів, висновку, списку використаної літератури зі 176 бібліографічних найменувань, 5 додатків, 39 рисунків, 21 таблиці, машинописного тексту на 165 стор., усього 383 стор.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Розділ 1. СТАН ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТУВАННЯ КАНАТНОГО ДРОТУ ВИСОКОЇ МІЦНОСТІ ТА КРУЧЕНОГО ВИРОБУ В ЦІЛОМУ

Досвід виробництва вихідного матеріалу гнучких елементів показав, що існує декілька шляхів розв'язання проблеми підвищення його характеристики міцності, що передбачають удосконалювання існуючого технологічного процесу виготовлення канатного дроту "патентування - холодне волочіння" за рахунок застосування електроконтактної термообробки, різних схем охолодження /піни, киплячого шару та ін./, сталі з підвищеним вмістом вуглецю, зміни схеми та умов холодної деформації, використання легованих сталей і розробку різних схем термомеханічного зміцнення. Виконаний аналіз результатів досліджень, присвячених цій проблемі, показав, що пошуки прогресивних технологічних схем його виробництва є доцільними і перспективними, а також сприяють вирішенню актуальної проблеми підвищення стійкості кручених виробів різного призначення.

Питання підвищення якісних показників крученого виробу, що є невід'ємною частиною більшості видів вантажопідійомних, будівельних і транспортних машин, торкається розв'язання комплексу задач у галузі удосконалювання методів раціонального конструювання та розробки прогресивних конструкцій виробів з урахуванням специфічних умов експлуатації, пошуків ефективних схем одержання вихідного матеріалу з високими механічними властивостями, удосконалювання технологічного процесу виготовлення, а також модернізації сукального обладнання.

У цьому аспекті розглянуто існуючі методи геометричної побудови кругло- і фасоннопрядених сталевих канатів, способи нейтралізації сукальних напружень у виробі /преформація, попередня обтяжка, низькотемпературний відпуск/, рекомендації щодо вибору параметрів сукання дротів у сталки та виробу в цілому, шляхи підвищення їх корозійно-втомної міцності /оцинкування канатного дроту, застосування спеціальних мастил, полімерних матеріалів і протекторного захисту/, розробки по удосконалюванню та створенню нових технологічних схем виготовлення якісного металокорду на сукальному обладнанні різних типів.

На підґрунті вивчення та проведення аналізу результатів виконаних розробок у галузі канатного та металокордового виробництва необхідно відзначити ефективність запропонованих заходів, реалізація яких сприяє підвищенню якісних показників кручених виробів різного призначення. Однак вони не дають можливості у повній мірі вирішити проблему одержання високоякісних гнучких елементів різного призначення з високоміцного дроту.

Розділ 2. ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ

КАНАТНОГО ДРОТУ РІЗНОГО РІВНЯ МІЦНОСТІ

Під час конструювання кручених виробів /стальних канатів, металокорду/ різного призначення, а також під час розробки та вибору параметрів технологічних пристроїв, призначених для забезпечення потрібної якості в процесі їх виготовлення, необхідно знати характеристики дроту, які одержуються під час проведення комплексних досліджень, що включають до себе стандартні механічні випробування та вивчення пружнопластичних властивостей під час одновісного розтягу.

Для проведення цих досліджень був виготовлений сталевий дріт /усього 55 варіантів/ найбільш поширених типорозмірів у металокордовому та канатному виробництві /0,15-2,6 мм/ з границею міцності у діапазоні від 1330 до 2870 Н/мм². Зразки дроту виготовляли на канатних заводах за такими технологічними схемами: "гартування+електровідпуск", бейнітування та патентування. Різний міцнісний рівень дроту досягався зміною вмісту вуглецю, температури ізотермічної обробки та її тривалістю, ступенем сумарної деформації тощо.

Статичні випробування показали, що істотно впливають на механічні властивості технологічні схеми виготовлення канатного дроту. Так, більш високі механічні властивості при однаковій границі міцності має канатний дріт, виготовлений шляхом патентування порівняно з іншими технологічними схемами. Аналогічні переваги відносно до пластичних властивостей дроту дає технологія виготовлення "гартування+електровідпуск" порівняно з бейнітуванням.

У результаті дослідження фізико-механічних характеристик елемента крученого виробу встановлено, що для бейнітованого канатного дроту з підвищенням вмісту вуглецю /0,57-0,85%/ у сталі модуль зміцнення і справжня границя міцності зростають на /3,4-21,1%/ й /5,3-16,9%/ відповідно, а умовна границя плинності знижується на

14,2-24,2%/. Зменшення типорозміру дроту, що випробовується, виготовленого за вказаними вище технологіями, сприяє підвищенню всіх механічних характеристик під час одновісного розтягу. Збільшення загальних і зменшення часткових обтисків, а також температурного режиму ізотермічного розпаду спричиняє зниження максимального відносного видовження у межах 1,1+89,8%, при цьому спостерігається зростання значень решти фізико-механічних характеристик. Канатний дріт діаметром 1,30 та 1,45 мм, виготовлений шляхом "гартування + електровідпуск", має підвищені значення модуля зміцнення /14,7+23,1%/, справжньої границі міцності /1,1+23,6%/, та відносного видовження /11,4+56,4%/, порівняно з патентованим та бейнітованим при рівній характеристиці міцності.

Особливий інтерес серед показників, одержаних на основі досліджень під час одновісного розтягу, становлять модуль пружності E та умовна границя плинності σ_s канатного дроту з позиції знання їх кількісного значення під час вирішення задач, пов'язаних з розробкою конструкцій і виробництвом кручених виробів.

Проведені дослідження дозволили встановити співвідношення між умовною границею плинності й тимчасовим опором розриву для дроту різних марок сталі й технологій виготовлення. У результаті обробки експериментальних даних знайдено такі емпіричні залежності:

технологія - патентування

$$\left. \begin{aligned} \sigma_s &= (0,8784 \pm 0,0495) \sigma_{\text{тим}} && \text{(марка сталі 60),} \\ \sigma_s &= (0,9084 \pm 0,0316) \sigma_{\text{тим}} && \text{(марка сталі 70),} \\ \sigma_s &= (0,8906 \pm 0,0456) \sigma_{\text{тим}} && \text{(марка сталі 60 і 70)} \end{aligned} \right\} \quad /1/$$

технологія - бейнітування

$$\left. \begin{aligned} \sigma_s &= (0,9606 \pm 0,0264) \sigma_{\text{тим}} && \text{(марка сталі 60),} \\ \sigma_s &= (0,9157 \pm 0,0535) \sigma_{\text{тим}} && \text{(марка сталі 80),} \\ \sigma_s &= (0,9381 \pm 0,048) \sigma_{\text{тим}} && \text{(марка сталі 60 і 80)} \end{aligned} \right\} \quad /2/$$

технологія - "гартування + електровідпуск"

$$\sigma_s = (0,7962 \pm 0,0385) \sigma_{\text{тим}} \quad \text{(марка сталі 60)} \quad /3/$$

Досвід сталедротового виробництва показав, що одержати канатний дріт з певною границею міцності можна шляхом застосування різної технології виготовання, а саме варіюванням величинами загальних і часткових обтисків, температурним режимом термічної обробки, а також хімічним складом сталі. У цьому плані було розв'язане завдання знаходження узагальненого рівняння, що дозволяє встановити зміну модуля пружності вихідного матеріалу залежно від таких технологічних факторів: вмісту вуглецю ($C, \%$), марганцю ($Mn, \%$) і сірки ($S, \%$) у сталі, загальних ($Q, \%$) і часткових ($q, \%$) обтисків, температури аустенізації ($T_{\text{ауст.}}, ^\circ\text{C}$), режиму ізотермічного розпаду ($t_{\text{ізо.}}, ^\circ\text{C}$ і $\tau_{\text{ізо.}}, \text{хв.}$), а також типорозміру ($\delta, \text{мм}$) зразка, що випробовується.

Використовуючи метод Брандона з застосуванням обчислювальної техніки, знайдені складові функціональної залежності, яка розглядається. На підґрунті знайденої закономірності розглянуто вплив кожного з відзначених технологічних факторів на пружну характеристику канатного дроту.

У цілому виконані дослідження під час одновісного розтягу дозволили кількісно оцінити зміну фізико-механічних характеристик канатного дроту з урахуванням його технології виготовання, встановити співвідношення між умовною границею плинності й тимчасовим опором розриву вихідного матеріалу. Здобуті результати сприяють вирішенню актуальної проблеми підвищення ресурсу кручених виробів та обґрунтуванню технологічних параметрів їх виготовання.

Розділ 3. ТЕХНОЛОГІЧНІ ПАРАМЕТРИ ВИГОТУВАННЯ ВИСОКОМІЦНОГО ДРОТУ ТА СУКАННЯ ЙОГО В СТАЛКИ КРУЧЕНИХ ВИРОБІВ

Досвід експлуатації сталевих канатів, що використовуються як гнучкий елемент багатьох підйомних машин і механізмів, свідчить, що однією з основних причин виведення їх з ладу є наявність надприпусти-

мих обривів дроту внаслідок руйнування металу від втомленості. Аналіз існуючих втомних теорій дозволяє відзначити, що всі вони спрямовані на пояснення механізму руйнування металу під впливом повторно-змінних навантажень, і ще немає такої теорії, яка б дозволила достатньо повно оцінити в якісному та кількісному відношеннях властивості канатного дроту в умовах циклічно змінних напружень. Це викликало необхідність проведення експериментальних досліджень під час симетричного та асиметричного циклів зміни навантаження за часом для оцінки впливу технологічних параметрів виготовлення на довговічність дроту від втомленості.

Втомні дослідження під час симетричного циклу здійснювали на зразках канатного дроту різного типорозміру /0,80 - 2,60 мм/ і високого рівня міцності, виготованих за приведеними вище технологічними схемами /усього 47 варіантів/.

Характерною особливістю випробувань є розкид результатів. Для зменшення негативного фактора зразки дроту кожного варіанта відбирали з одного мотка. Застосовуючи статистичний метод обробки при малому числі результатів, знайдені кореляційні рівняння, що дозволили побудувати графічні залежності в координатах $\lg \sigma - \lg N$.

Дослідження дозволили одержати не тільки якісну оцінку характеристик дроту під час циклічного навантаження, але й оцінити в кількісному відношенні його опір від втомленості з урахуванням вмісту вуглецю в сталі, технологічних параметрів виготовлення та масштабного фактора.

Аналіз результатів втомних досліджень під час симетричного циклу зміни напруження за часом дозволив виявити таку тенденцію: збільшення загальних обтисків та вмісту вуглецю в сталі, а також зменшення температури ізотермічного розпаду, часткових обтисків і типорозміру зразка, що випробовується, сприяють підвищенню міцності від

втомленості канатного дроту в малоцикловій області, а також зростанням границі витривалості.

Виконані дослідження дозволили не лише якісно та кількісно оцінити вплив розглянутих факторів на здатність металу протистояти впливу циклічно змінних навантажень, але й з позиції руйнування від втомленості вибрати раціональні параметри виготовлення висококомічного дроту. Висококомічний канатний дріт /більше 2000 Н/мм²/ має високі втомні властивості, якщо технологічними параметрами виготовлення передбачалась величина загальних обтисків вище 80%, а часткових - у межах 10-12%. Температурний режим ізотермічного розпаду був різним залежно від технологічної схеми виготовлення. Зокрема, для бейнітованого процесу виготовлення дроту раціональним температурним режимом ізотермічного розпаду є $t_{\text{ізм.}} = 330 + 340^{\circ}\text{C}$.

Таки: чином, отримані раціональні режими дозволяють здійснити виготовлення канатного дроту високого розривного опору з високими втомними властивостями, які в сукупності з гарними пластичними властивостями будуть позитивно позначатися на напрацюванні кручених виробів.

Одним з резервів підвищення працездатності сталевих підйомних канатів є правильний вибір параметрів сукання дротів у сталку та сталок в канат з урахуванням конструкції виробу та умов його експлуатації. Дослідження канатного дроту на циклічну міцність під час симетричного прогину дозволили з позиції руйнування металу від втомленості визначити раціональні технологічні параметри виготовлення його з високою границею міцності. Однак матеріал дроту в канаті перебуває в стійкій пластичній зоні, і це не дозволяє використовувати отримані раніше результати з втомної довговічності під час симетричного циклу для вибору параметрів сукання. У зв'язку з цим виникла необхідність

проведення досліджень щодо визначення оптимальних параметрів суцання дротів у сталку.

Основні фундаментальні дослідження з цього питання виконані П.П.Нестеровим. У літературі з даної проблеми існує декілька точок зору. Аналізуючи запропоновані рекомендації, відзначимо, що всі вони визначені з позиції конструювання канатів з дроту з низькою границею міцності, що дорівнює $1600-1700 \text{ Н/мм}^2$ без урахування втомних властивостей високоміцного канатного дроту та технології його виготовлення. Розвиваючи наукові ідеї П.П.Нестерова, досліджено канатний дріт з різним тимчасовим опором розриву та технологією виготовлення на циклічну міцність при асиметричному циклі зміни деформації за часом, яка й дозволила визначити оптимальну величину деформацій згину крайніх волокон при максимальній кількості циклів руйнування.

Випробування проводили на спеціальній лабораторній установці, конструкція якої дає можливість здійснювати дослідження на втомну міцність при асиметричному циклі й задавати різну деформацію зразків, що випробовуються. Вибраний цикл у певній мірі імітує характер зміни величини деформації /напруження/, якої зазнають елементи крученого виробу в процесі експлуатації, й характеризується сталою величиною деформації $\varepsilon_{\text{ср.1}}$, а також змінною ε_2 . При цьому слід відзначити, що величина $\varepsilon_{\text{ср.}}$ є сама тою деформацією згину, яку слід задавати канатному дроту під час суцання його в сталку.

Кореляційне рівняння необхідного порядку по кожному випробуваному варіанту, що відображає залежність $N = f(\varepsilon_{\text{ср.}})$, знаходили з допомогою рівняння Чебишева. У результаті опрацювання експериментальних даних отримані математичні залежності дають можливість визначити оптимальну величину деформації дроту під час суцання його в сталку, виходячи з його втомних властивостей, які відповідають максимальній кількості циклів до руйнування, для чого їх досліджува-

ли на екстремум. Оптимальні значення відносного видовження у крайніх волокнах крученого елемента знаходяться: для дроту $\varnothing 1,30$ мм - у межах 1,703+1,577% (марка сталі 60, $\sigma_{\max} = 1710 + 2370H / \text{мм}^2$) та 1,602+1,59% (марка сталі 80, $\sigma_{\max} = 2060 + 2550H / \text{мм}^2$); $\varnothing 1,40$ мм - 1,817+1,664% (марка сталі 60, $\sigma_{\max} = 1730 + 1990H / \text{мм}^2$); $\varnothing 1,45$ мм - 1,977+1,797% (марка сталі 60, $\sigma_{\max} = 1970 + 2380H / \text{мм}^2$) й 2,036+1,871% (марка сталі 80, $\sigma_{\max} = 1930 + 2410H / \text{мм}^2$); $\varnothing 1,80$ мм - 2,756+2,56% (марка сталі 60, $\sigma_{\max} = 1330 + 1900H / \text{мм}^2$).

Оскільки випробування на втомну міцність при асиметричному циклі зміни деформації за часом зазнавали зразки канатного дроту різного тимчасового опору розриву, з'явилась можливість розглянути функціональну залежність $\varepsilon_{\text{сук.}} = f(\sigma_{\max})$. Встановлено, що підвищення характеристики міцності дроту одного типорозміру під час суцання його в сталку викликає зменшення величини деформації; збільшення вмісту вуглецю в сталі для одного діаметра дроту сприяє зростанню значення $\varepsilon_{\text{сук.}}$; при одному й тому ж тимчасовому опорі розриву з підвищенням діаметра зразка, що випробовується, оптимальна величина деформації згину зростає.

Під час проведення втомних випробувань оцінювали кількісний вплив хімічного складу сталі й ряду технологічних факторів на величину деформації крайніх волокон дроту при суцанні його в сталку. З допомогою ЕОМ М-222 здійснено однофакторний дисперсійний аналіз, який показав ось що. Найбільше впливає на величину суцальних деформацій діаметр випробовуваного зразка канатного дроту. Приймаючи за основу залежність $\varepsilon_{\text{сук.}} = f(\delta)$ та використовуючи метод Брандона, знайдено узагальнене множинне рівняння, що відображає вплив ряду факторів на величину деформації згину /рис.1-3/.

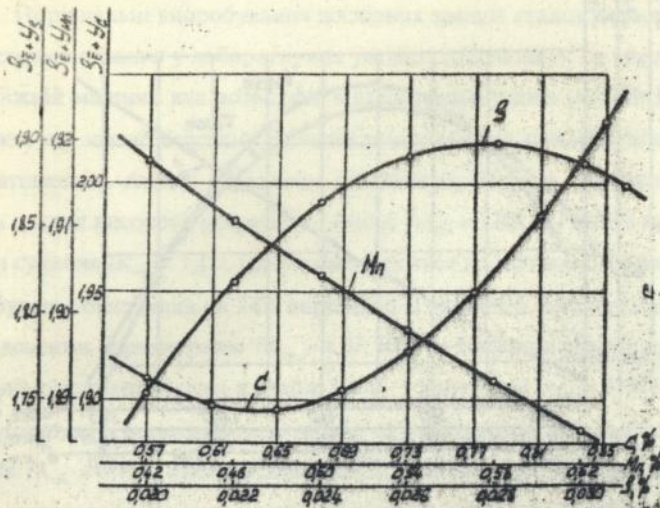


Рис.1. Вплив хімічного складу сталі на оптимальну величину деформації згину канатного дроту

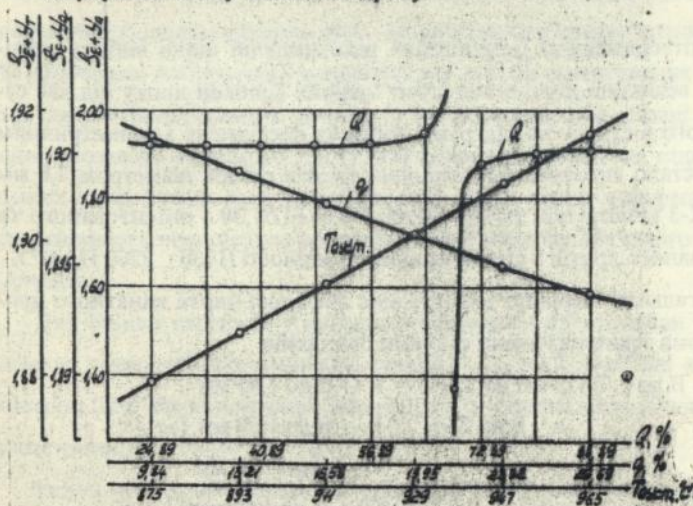


Рис.2. Вплив технологічних параметрів виготовлення канатного дроту на оптимальну величину деформації згину

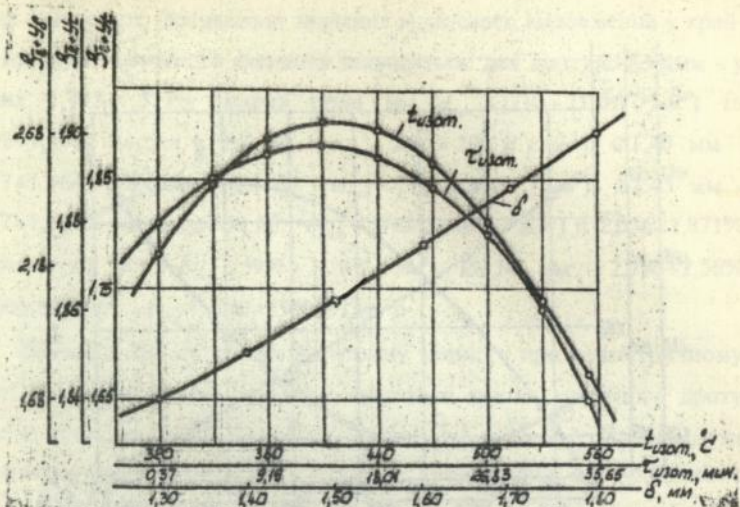


Рис.3: Залежність оптимальної величини деформації згину дроту від діаметра й режиму ізотермічного розпаду

Підтвердженням розроблених рекомендацій щодо вибору оптимальної величини деформації згину крайніх волокон дроту під час сушіння його в сталку на підґрунті втомних досліджень з асиметричним циклом стало виготовлення дослідних зразків сталок діаметром 7,0 мм типу ЛК-3 конструкції 1/1,60+6/1,45; 6/0,60+12/1,30 з патентованого та беїнітованого дротів з різною границею міцності /1730 ; 2260 Н/мм² /.

Загальний маршрут виготовлення дослідної партії канатного дроту за двома технологічними схемами був такий:

6,5] П → В до 5,0] П → В до 3,3] Б → В до 1,45 мм

В до 3,0] Б → В до 1,30 мм

П → В до 1,45 мм

П → В до 1,60 мм

В до 2,6] П → В до 1,30 мм] П → Б до 0,60 мм

Б → В до 0,60 мм

де П - патентування, Б - бейнітування, В - волочіння.

Порівняльні випробування дослідних зразків сталок з різними параметрами сукання у лабораторних умовах здійснювали на спеціальній пробіжній машині, яка дозволяла відтворювати умови роботи ділянки сталки, що зазнає перегину на шківі з одночасною дією розтягального навантаження. Аналіз отриманих результатів свідчить, що працездатність сталок високого розривного опору $/\sigma_{\text{роз}} = 2260 \text{ Н / мм}^2/$ з параметрами сукання $/K_{\text{сн}} = 7,12/$, що рекомендуються на підґрунті втомних випробувань, була вища на 24% порівняно зі зразками, виготовленими за заводськими параметрами $/K_{\text{сн}} = 8,3/$; 60% - з патентованого дроту й за заводською технологією, а також 3,4% - з дроту при $\sigma_{\text{роз}} = 1730 \text{ Н / мм}^2$, виготовленого шляхом патентування та з вибраними параметрами сукання $/K_{\text{сн}} = 6,72/$. Виготовлення сталок з оптимальними параметрами сукання з патентованого канатного дроту приводить до збільшення їх напрацювання на 55%. Підвищення розривного опору сталок за рахунок застосування дроту високої границі міцності при одній технології виготовлення /заводській/ приводить до збільшення працездатності на 30%. Проведені лабораторні випробування сталок, виготовлених з різними параметрами сукання, показали, що величини деформації згину крайніх волокон канатного дроту, які рекомендуються, на підґрунті втомних випробувань при асиметричному циклі зміни деформації за часом сприяють підвищенню напрацювання елементів крученого виробу /сталок/.

Для оцінки стійкості у промислових умовах виготовляли за заводською технологією з кратністю сукання $K_{\text{кат}} = 6,5$ дослідні канати діаметром 22,0 мм конструкції 6x25 + 1 о.с. зі сталок з оптимальними параметрами.

Результати промислових випробувань дослідних канатів як підйомних на екскаваторах типу Е-10011 показали їх підвищене напрацю-

вання порівняно з серійними /ГОСТ 7665-80/. Так, середнє напрацювання дослідних канатів з патентованого дроту було в 1,52 разів вище, ніж стандартних. Об'єм ґрунту, перероблений високоміцними канатами $l\sigma_{ном} = 2260 \text{ Н / мм}^2$ з бейнітованого дроту, становив 27,4 тис.м³, що на 83% більше об'єму, вибраного серійними.

Таким чином, проведені дослідження напрацювання канатів зі сталок, виготовлених з оптимальними параметрами сукання, добре погоджуються з даними, отриманими в лабораторних умовах. Підтверджена гірогідність запропонованих з позиції руйнування металу від втомленості технологічних параметрів сукання дротів в сталку, які сприяють підвищенню ресурсу гнучких елементів.

Розділ 4. ВИБІР ПАРАМЕТРІВ МЕХАНІЗМУ НЕСПРАВЖНЬОЇ СКРУЧЕНОСТІ ПІД ЧАС ВИГОТОВЛЕННЯ МЕТАЛОКОРДУ РІЗНИХ ТИПІВ

Одним з найбільш поширених видів продукції метизного виробництва з високоміцного дроту є металокорд, який вважається самим капіталомістким за затратами на одиницю потужності - вони в 15-17 разів вищі, ніж при організації виробництва сталюого дроту чи канатів.

Поставлену задачу розв'язували експериментальним шляхом в умовах Орловського сталепрокатного заводу для металокорду типів 22Л15, 9Л15/27, 21Л15 і 4Л27 /в поєднанні з рихтувальним пристроєм у двох площинах та без нього/.

Для одержання металокорду на канатосукальних машинах одиначного сукання типу ДV-2 застосовують механізм несправжньої скрученості, який складається з роторів підкручування та відкручування, а також дводисковий преформуєчий пристрій, поєднання раціональних параметрів яких дозволяє досягнути потрібної якості виробу.

Для вибору раціональних параметрів пристрою попередньої деформації, що застосовується, під час виготовлення металокорду типів 9Л15/27, 21Л15 та 4Л27 були виконані експериментальні дослідження, які дозволили розглянути вплив зміщення з відставанням рухомого по відношенню до нерухомого диска преформатора на ступінь розкручуваності крученого виробу під час проходження його через центр механізму несправжньої скрученості.

Нерозкручуваність типів металокорду, що розглядаються, досягається за рахунок зміщення з відставанням другого диска преформатора на кут, який дорівнює відповідно $17-18^\circ$ /тип 9Л15/27/ і $18-19^\circ$ /тип 21Л15 та 4Л27/.

У літературі є теоретичні розробки щодо усунення за допомогою торсіону його залишкової крученості. Але аналітичні залежності розрахунку параметрів механізму несправжньої скрученості одержані під час розгляду технологічних схем виготовлення крученого виробу на машинах подвійного сукання та роторних типу SRN, що передбачають застосування напівторсіону /підкручування/ з наступним рихтуванням в одній або двох площинах.

Досвід експлуатації багатороторних машин показав, що в останній час збільшилась кількість відказів підшипників механізму несправжньої скрученості через велике число обертів та зросла обривність дротів у самому механізмі, на частку якого припадає коло 36% загального числа обривів. У зв'язку з цим досліджувався вплив параметрів механізму несправжньої скрученості на якість металокорду не лише для виявлення прийнятих раціональних параметрів, але й для відшукування можливостей підвищення надійності механізму в цілому. У процесі проведення експериментів металокорд типу 22Л15 вивчали без обплетального дроту, перевіряючи його вплив на залишкову крученість, а також армуючий елемент для шин легкових автомобілів /4Л27/ у поєд-

нанні з рихтувальним пристроєм у двох площинах та без нього з метою дослідження величини прогину на довжині 200 мм залежно від параметрів механізму несправжньої скрученості.

У результаті обробки статистичних даних із залученням обчислювальної техніки для металокорду різних типів одержали множинні рівняння:

- тип 22Л15:

$$\begin{aligned} \bar{n}_{z,x} = & 9,718 \exp\{-0,0029\sqrt{149541,5 - 65,116n_x} - 0,0021a_{np} + 0,000724h_{np} + \\ & + 1,23(\ln \sigma_{max} - 0,000648\sigma_{max}) - 0,1728 \ln n_x - 6560,506(\delta - 1,507)^2 - \\ & - 0,033 \ln K_x - 5,198\} - 6,196; \end{aligned} \quad 15/$$

-тип 9Л15/27:

$$\begin{aligned} \bar{n}_{z,x} = & [-0,0000085n_x - 0,000004(h_{np} - 1,314)^2 + 0,0000113a_{np} + 0,009266 \ln n_x + \\ & + 0,0000052\sqrt{58157,53 - 21,817\sigma_{max}} + 0,0000041K_x - 20,767(\delta - 0,2697)^2 - \\ & - 0,0323]^{-1} - 34,262; \end{aligned} \quad 16/$$

-тип 21Л15:

$$\begin{aligned} \bar{n}_{z,x} = & [0,000025n_x + \frac{0,08}{h_{np} + 6,756} - 0,0000014(a_{np} - 36,115)^2 - 0,000018n_x - \\ & - 0,001K_x - 0,08316]^{-1} + 24,01; \end{aligned} \quad 17/$$

-тип 4Л27* у поєднанні з рихтувальним пристроєм:

$$\begin{aligned} \bar{n}_{z,x} = & 1,811 \exp\{0,154(\ln K_x - 0,375K_x) - 0,01h_{np} - 0,5(\ln \sigma_{max} - 0,00091\sigma_{max}) - \\ & - 0,0029n_x - 0,000012(a_{np} - 86,533)^2 + 2,6 \ln n_x - 12,802\} - 7,107; \end{aligned} \quad 18/$$

-тип 4Л27:

$$\begin{aligned} \bar{n}_{z,x} = & [2479,54(\ln K_x - 0,3845K_x) + 71,36h_{np} - 0,047(\sigma_{max} - 2574,984)^2 - \\ & - 22,85n_x - 6,115a_{np} - 392,82\sqrt{136379 - 23,574n_x} + 158135,7]^{0,323} - 23,025, \end{aligned} \quad 19/$$

де $n_{z,x}$ - залишкова крученість металокорду, об.; δ - діаметр дроту, мм;

σ_{max} - тимчасовий опір розриву дроту, Н/мм²; n_x і n_z - швидкість обертання відповідно підкручування та відкручування механізму несправжньої скрученості, хв⁻¹; K_x - коефіцієнт, що характеризує розмір кільця сталки /дроту/ й дорівнює відношенню діаметра до 20; a_{np} і h_{np} - пара-

метри, що характеризують прямолінійність металокорду й відповідно відхилення від площини по ширині та висоті, мм.

Розв'язуючи залежності /5/-/9/ на ЭОМ ЕС-1022 з введенням таких граничних умов: $n_{1x} = 10$ /на підґрунті проведених досліджень впливу обплітального дроту на величину залишкової крученості/; $a_{np} = h_{np} = 0$ /для 22Л15/; $n_{1x} = a_{np} = h_{np} = 0$ /для 9Л15/27, 21Л15, 4Л27* та 4Л27/ визначили раціональні параметри механізму несправжньої скрученості, які забезпечують одержання прямолінійного металокорду конструкцій з мінімальною залишковою крученістю, котрі розглядаються. Для простоти знаходження цих параметрів без залучення обчислювальної техніки побудовані номограми під час зміни залишкової крученості -2,0+2,0 оберту з похибкою 0,4% порівняно з розрахунковими даними.

Враховуючи великий масив отриманих раціональних значень та для зручності їх реалізації надалі встановлені області оптимальних параметрів повного торсіону за умови $|n_{1x, \text{розр}} - n_{1x, \text{факт}}| \leq 0,5$. На їх підґрунті здійснена якісна оцінка впливу кожного фактора з фіксацією усієї решти.

З позиції вишукування шляхів зменшення величини прогину в умовах Орловського сталепрокатного заводу виконані дослідження, що дозволили розглянути вплив статичного натягу дротів і типорозміру відхильного шківів на цей показник. Аналіз даних дозволив відзначити відсутність певного зв'язку між статичним натягом і показником крученого виробу, що розглядається. Застосування відхильного шківів з великим діаметром /150 мм/ спричиняє збільшення залишкової крученості металокорду, зниження показників по прямолінійності й ріст прогину на 4-40%.

Результати виконаних теоретичних досліджень і запропоновані рекомендації щодо вибору раціональних параметрів механізму не-

справжньої скрученості підтвержені експериментально-промисловою перевіркою.

Промислові випробування показали, що ці рекомендації забезпечують виробництво прямолінійного металокорду з мінімальною залишковою крученістю і більш високими механічними характеристиками порівняно з вимогами стандарту. Досвід експлуатації кордосукального обладнання з розробленими параметрами роторів несправжньої скрученості свідчить, що реалізація запропонованих обертів, особливо мінімальних, сприяє зниженню обривності дротів у процесі сукання й підвищенню продуктивності канатних машин на 5%. Застосування рихтувального пристрою спільно з механізмом несправжньої скрученості в процесі виготовлення металокорду типу 4Л27 дає можливість в порівнянні з технологічним процесом, який передбачає здійснення сукання без рихтування, отримати кручений виріб з кращими механічними показниками й мінімальною величиною прогину на довжині 200 мм, при цьому зниження її склало 62,8%.

Розділ 5. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА МЕТАЛОКОРДУ

Удосконалювання технології виготовлення металокорду шляхом створення нового й модернізації діючого сукального обладнання, а також поліпшення технологічних пристроїв до них заслуговує особливої уваги, оскільки сприяє вирішенню актуальної проблеми - задоволення потреби народного господарства в цій продукції.

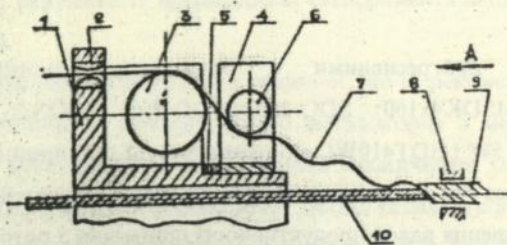
Для підвищення надійності й зменшення габаритних розмірів розроблені конструкції вертикальної канатосукальної машини з електромагнітною фіксацією ротора декількох модифікацій, пов'язаних з розміщенням і кількістю /4-8/ зарядних катушок. Машина призначена для виробництва сталок і простих конструкцій металокорду. Запропоноване технічне рішення отримало визнання у таких провідних в галузі ка-

натного виробництва країнах, як США, Великобританія, Японія, ФРН, НДР.

Найбільш прогресивними є безроторні машини /типу MSD2/4x160; MSDK4x160; SDO-200; SDO-250; DV2SZ; DV3SZ; SDT2/46; SDT115W і SDT410W/, що працюють за принципом подвійного скручування та забезпечують при відносно невисокій частоті обертання збільшення вдвоє продуктивності порівняно з роторним обладнанням одинарного сукання. Відмітною особливістю кордосукальних машин даного типу є розміщення зарядних катушок. У цьому аспекті становить інтерес конструкція вертикальної машини, в основу якої закладено зазначений вище принцип призначеної для виробництва металокорду конструкції 2+2.

Проведений аналіз конструкцій преформаторів у галузі канатного виробництва на підґрунті патентної інформації у межах СНД та провідних промислово розвинених країн /Великобританії, США, Франції, ФРН, Швейцарії, НДР, Японії/, що займаються розробкою аналогічного обладнання, а також вивчення літературних джерел дозволили виявити прогресивні технічні рішення й відзначити таку характерну особливість. Усі запропоновані розробки передбачають преформацію кожного елемента крученого виробу окремо.

З метою усунення недоліків, притаманних роликівим та пластинчастим преформаторам, для виготовлення металокорду та сталевих канатів тонких діаметрів розроблена нова конструкція технологічного пристрою, в якій на опорах кочення встановлені напрямні та преформуючі ролики зі здатністю регульованого переміщення у поздовжній площині. Таке технічне рішення дає можливість преформувати одночасно два дроти на одному деформуючому ролику, який має при собі відповідне число канавок для проходу елементів з симетричним розміщенням /рис.4/.



Вид А

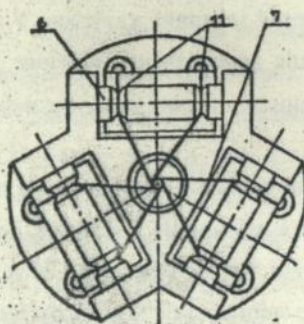


Рис.4. Загальний вигляд преформатора на опорах кочення із схемою преформування елементів крученого виробу:

- 1 - корпус; 2 - ніпель-фільера; 3 - напрямний ролик; 4 - диск;
- 5 - прокладка; 6 - деформуючий ролик; 7 - канатний дріт;
- 8 - сукальні плашки; 9 - канат; 10 - серцевина металокорду;
- 11 - канавки на деформуючому ролику

У процесі опрацювання конструкції преформатора виконано комплекс теоретичних й експериментальних досліджень, дозволивших вибрати оптимальне співвідношення відстані між центрами канавок на деформуючому ролику з позиції забезпечення структурної цілісності по

довжині та перерізу металокорду, що виготовляється. Крім того, розглянуто вплив опорної поверхні на діаметр залишкової кривизни дроту з метою визначення мінімального типорозміру напрямного ролика, за якого дріт зазнає лише пружних деформацій. Установлено, що рівномірне укладання дротів по всій довжині в процесі сукання металокорду під час здійснення одночасної преформації двох заготовок на одному деформуючому ролику відбувається при зміні співвідношення l/d_p у діапазоні $3,7+4,1$, де l - відстань між центрами канавок і d_p - діаметр деформуючого ролика.

Дослідження впливу циліндричної поверхні ролика при чистому вигині на d_{max} дроту дозволили визначити мінімальний типорозмір ролика $D_p=12$ мм і вище, при якому спостерігається різке збільшення радіуса залишкової кривизни через відсутність пластичного деформування вихідного матеріалу. Остаточний вибір діаметра напрямного ролика здійснено під час визначення параметрів преформації технологічного пристрою з урахуванням якісних показників металокорду.

Уперше П.П.Нестеровим розроблені теоретичні підвалини процесу попередньої деформації дротів і на підґрунті їх пружнопластичних характеристик запропонована аналітична залежність для визначення радіуса кривизни. У дослідженнях інших авторів показано, що використання цієї формули призводить до завишених значень попереднього радіуса вигину й тим самим не забезпечує одержання якісного крученого виробу. Це пояснюється відсутністю урахування впливу поздовжньої розтягувальної сили на спіральні деформований дріт на ділянці між преформатором та сукальними плашками, а також параметрів настроювання преформуючого пристрою.

Таким чином, за розглянутою схемою виготовлення задача визначення напружено-деформованого стану дротів зводиться до розгляду спільної дії вигину та розтягу. Враховуючи, що поздовжня сила за ве-

личною невелика й спричиняє незначні напруження розтягу порівняно зі згинальними, під час розв'язування даної задачі з невеликим наближенням можна використовувати гіпотезу плоских перерізів.

У результаті досліджень напружено-деформованого стану одержані відповідно аналітичні залежності для визначення згинального моменту M і $d_{\text{мк}}$ дроту з урахуванням впливу діаметра деформуючого ролика d_p , поздовжньої сили P , а також ряду пружнопластичних характеристик:

$$M = \frac{I_x E}{3\pi\rho} \left\{ 3\pi(1-\lambda) + \frac{16\lambda\sigma_{\text{гп}}\rho}{E\delta} \left[2 - \left(\frac{2\sigma_{\text{гп}}}{E\delta} \right)^2 \right] + \frac{128PK_{\text{гп}}\rho}{\pi E\delta^2} \right\}; \quad /10/$$

$$d_{\text{мк}} = \left\{ \frac{\lambda}{3\pi E\delta} \left[\frac{3\pi E\delta}{d_p + \delta} - 8\sigma_{\text{гп}} \left\{ 2 - \left[\frac{\sigma_{\text{гп}}}{E\delta} (d_p + \delta) \right]^2 \right\} - \frac{64K_{\text{гп}}P}{\pi\lambda\delta^2} \right] \right\}^{-1}, \quad /11/$$

де E - модуль пружності дроту, Н/мм², I_x - момент інерції поперечного перерізу дроту відносно осі x , який дорівнює $\pi\delta^4/64$, мм⁴; δ - діаметр дроту, мм; ρ - радіус кривизни зігнутої осі дроту під час навантаження, що дорівнює $r_p + \delta/2$, мм; r_p - радіус деформуючого ролика, мм; λ - параметр зміцнення, який визначається згідно з виразом $1 - E_1/E$; E_1 - модуль зміцнення матеріалу дроту, Н/мм²; $K_{\text{гп}}$ - поправочний коефіцієнт, що враховує амплітуду зміни поздовжньої сили в процесі сукання крученого виробу.

Під час здійснення попередньої деформації дротів необхідно одержати розміри залишкової спіралі, яка відповідала б геометричним параметрам сукання елементів у металокорд, тобто можна записати:

$$d_{\text{мк}} = \frac{d_{\text{срп}}}{\sin^2 \alpha_{\text{срк}}}, \quad /12/$$

де $d_{\text{срп}}$ - середній діаметр зовнішнього повиву виробу, мм; $\alpha_{\text{срк}}$ - кут сукання повиву, що дорівнює

$$\alpha_{\text{срк}} = \arctg \frac{\pi d_{\text{срп}}}{h} = \arcsin \frac{\pi d_{\text{срп}}}{h \sqrt{1 + \left(\frac{\pi d_{\text{срп}}}{h} \right)^2}}, \quad /13/$$

де h - крок сукання дротів у металокорд, мм.

Беручи до уваги зазначену умову преформації, одержано вираз зміни коефіцієнта K_n з урахуванням геометричних параметрів сукання виробу:

$$K_n = \frac{\lambda}{C} \left\{ \frac{3\pi}{16B} \left[1 - \frac{B\delta}{\lambda d_{\text{ср.}} \left(\frac{h^2}{\pi^2 d_{\text{ср.}}^2} + 1 \right)} \right] - A \left(1 - \frac{A^2 B^2}{2} \right) \right\}, \quad /14/$$

де $A = \sigma_s / E$; $B = \frac{d_p}{\delta} + 1$; $C = \frac{4P}{\pi E \delta^3}$.

Технологічною картою виготовування металокорду типу 9Л15/27 передбачено крок сукання, що дорівнює 9,5+11,0 мм. У зв'язку з цим виконані розрахунки K_n для різних значень кроків сукання крученого виробу у діапазоні зміни поздовжньої сили $P=18+23$ Н при фіксованому діаметрі деформуючого ролика преформуючого пристрою, що дорівнює 6 мм. Аналіз отриманих графічних залежностей /рис.5/ показав, що виготовання крученого виробу зі збільшенням кроком сукання та зменшення величини поздовжньої сили в діапазоні, що розглядається, спричиняють підвищені значення K_n .

Встановлено, що досліджені параметри преформації помітно впливають на прямолінійність і залишкову крученість металокорду. У діапазоні зміни діаметра напрямного ролика $D_{н.р.}=17,0+18,5$ мм, що розглядається, спостерігається раціональне співвідношення $D_{н.р.} / d_p = 2,6+3,1$, яке забезпечує виготовання металокорду, що не розкручується, прямолінійного з мінімальною залишковою крученістю $/0+\pm 0,5$ об./.

Для оцінки ефективності розробленої конструкції преформуючого пристрою на опорах кочення виконані порівняльні випробування, що включають замір динамічного натягу дротів з різних кареток канатосукальної машини, а також з металу різної технологічності. Крім того, передбачалось визначення обривності елементів у процесі сукання виробу, якісних показників металокорду на підґрунті проведення стан-

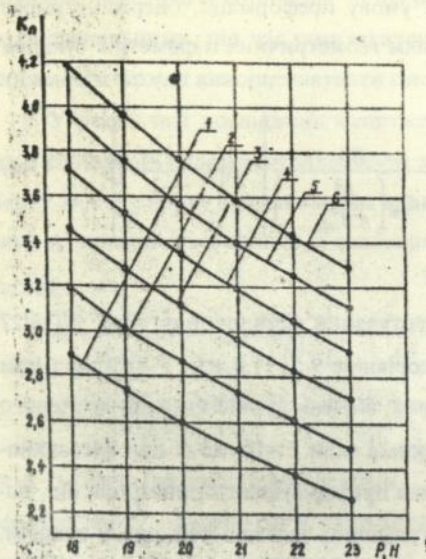


Рис. 5. Зміна значення K_n залежно від поздовжньої сили для металокорду з різним кроком сукання:

- 1 - 9,498 мм; 2 - 9,759 мм;
- 3 - 10,027 мм; 4 - 10,301 мм;
- 5 - 10,581 мм; 6 - 10,847 мм

дартних випробувань відповідно до технічного стандарту та дослідження можливості переробки металу з підвищеним діаметром. Як базовий був прийнятий двошаровий преформатор, що застосовується зараз для здійснення попередньої деформації дротів.

Установлено, що використання дворолікового преформатора з такими параметрами настроювання: $D_{к,р}=18$ мм і $d_p=6$ мм дозволило знизити динамічний натяг дротів на 22-23% і зменшити амплітуду його коливання. Така тенденція спостерігається на усіх каретках канатосукальної машини. По відношенню до дослідження дроту з низькою технологічністю, тобто відбракованого на іншому кордосукальному обладнанні, необхідно відзначити стабільне зменшення натягу на 27%, що ще раз свідчить про ефективність запропонованого технічного рішення.

Використання розробленої конструкції з параметрами настроювання, що рекомендуються, забезпечує одержання металокорду, який не розкручується, зі значно меншою залишковою крученістю. Так, з дослідними преформаторами у середньому 77% канатів мали нульову залишкову крученість, тоді як з преформаторами, що застосовувалися, - лише 36%. Необхідно також відзначити, що максимальна величина залишкової крученості металокорду, виготованого на експериментальних преформаторах, становила 1 оберт, а на заводських - 3 оберти. У процесі сукання металокорду з експериментальними преформаторами незважаючи на те, що 70% об'єму спрацьованого металу становили катушки з низькою технологічністю, обривність дротів була в 4,3 разів нижча. Підтвердженням широких можливостей використання даного технологічного пристрою служить також переробка дроту з підвищеним діаметром $10,272 \pm 0,276$ мм/. Результати виконаних досліджень свідчать про те, що запропонований принцип преформування сприяє підвищенню продуктивності кордосукального обладнання та розв'язанню актуальної задачі зниження витрат металу на 1 т готової продукції.

Крім того, зараз з використанням розробленого преформатора виготована дослідна партія об'ємом 50 т металокорду типу 9Л127/32 зі стабільною нульовою залишковою крученістю.

Таким чином, на підґрунті проведених теоретичних та експериментальних досліджень розроблена малогабаритна й менш металоемна конструкція технологічного пристрою для попередньої деформації елементів у процесі сукання на швидкісному канатосукальному обладнанні, що повністю виключає недоліки, притаманні двопластинчастим преформаторам.

ВИСНОВОК

У роботі узагальнено результати комплексного дослідження фізико-механічних та експлуатаційних властивостей вихідного матеріалу канатного дроту і гнучких елементів машин різного призначення. На підставі проведеного узагальнення даються науково обгрунтовані рекомендації щодо удосконалення технології виготовлення та оптимізації конструкцій, підвищення надійності і якості кручених виробів.

Комплекс виконаних досліджень дозволив вирішити значну народногосподарську проблему - розробити технологію виробництва високоміцного дроту й виробів з нього, що не має аналогів, і створити серію оригінального технологічного обладнання для виробництва гнучких кручених елементів широкого призначення. Новизна й практична цінність виконаних розробок підтверджується авторськими свідоцтвами на винаходи й патентами, в тому числі закордонними.

Основні результати роботи зводяться до наступного:

1. Досліджено вплив хімічного складу сталі (вмісту вуглецю, марганцю, сірки), величин загальних і часткових обтисків, режиму ізотермічного розпаду (температури й тривалість ізотермічного процесу), масштабного та інших факторів на фізико-механічні й експлуатаційні властивості канатного дроту. Наведено якісну й кількісну оцінку впливу зазначених факторів на характеристику деформаційної здатності, статичної та втомленої міцності дроту різного хімічного складу сталі та типорозміру. Здійснено багатофакторний аналіз і побудовано математичну модель, що дозволяє оперативно вибирати вихідний матеріал, який найбільш повно задовольняє прийняту технологію та реальні умови проектуваного гнучкого елемента.

2. За результатами випробувань канатного дроту різних марок сталі встановлено, що найбільшу довговічність в умовах малоциклового й тривалого циклічного навантаження під час симетричного цик-

ду має сталений дріт невеликих типорозмірів з високим вмістом вуглецю в сталі, що виготовувано шляхом патентування. На основі одержаних результатів визначено оптимальні величини загальних і часткових обтисків, температурного режиму бейнітованого процесу, що забезпечує раціональну технологію виготовування дроту з високою втомленою міцністю.

3. Розроблено й науково обґрунтовано раціональні режими суцання гнучких елементів. Виявлено, що як основний критерій, за яким можна гадати про несущу здатність крученого елемента, може бути прийнята деформація крайніх волокон дроту під час суцання його в сталку. Визначено оптимальні значення цієї деформації залежно від марки сталі і діаметра дроту. Реалізація запропонованих рекомендацій у промислових умовах дозволила підвищити напрацювання кручених виробів порівняно з серійними більш ніж на 60%.

4. Вперше досліджено фактори (параметри несправжньої скрученості, показники прямолінійності готового виробу, якість вихідного матеріалу, характеристика його міцності), що впливають на залишкову крученість металокорду типів 22Л15, 9Л15/27, 21Л15 та 4Л127. Встановлено, що найбільший вплив на залишкову крученість справляють параметри підкручування та відкручування повного торсіону.

5. Визначено оптимальні режими несправжньої скрученості, що дозволили одержати прямолінійний металокорд із мінімальною залишковою крученістю, підвищити надійність досліджуваного пристрою, продуктивність канатосукального обладнання, поліпшити його якісні показники, зокрема, агрегатний розрив на 7,0+54,3%, адгезію на 8,7+43,2%, витривалість в 1,15+2,59 разів і для металокорду 4Л127, що сукається у поєднанні з рихтувальним пристроєм, зменшити величину прогину на 62,8%.

6. Розроблені на рівні винаходів конструкції вертикальної канато-сукальної машини декількох модифікацій одинарного та подвійного скручування з електромагнітною фіксацією ротора, призначеної для виготовлення сталок і металокорду в цілому. Виконані розробки визнані у ряді провідних у галузі канатного виробництва країн /США, Великобританія, Японія, ФРН, НДР/.

7. Запропоновано новий принцип здійснення попередньої деформації елементів металокорду і сталених канатів тонких діаметрів у процесі їх сукання, що передбачає преформацію одночасно двох заготовок на одному деформуючому ролику з симетричним розміщенням канавок. Обґрунтовано раціональні відстані між центрами канавок на деформуючому ролику, а також типорозміри напрямного й деформуючого роликів, що забезпечують одержання металокорду з високими показниками якості.

8. Розроблено малогабаритну, менш металосмну й ефективну конструкцію преформуючого пристрою на опорах кочення, що дозволяє знизити динамічний натяг /на 22-32%. і амплітуду його коливання, зменшити обривність у процесі сукання дротів /у 4,3 рази/ та нормативний коефіцієнт витрати /на 10 кг/ латунованого дроту на 1 т готової продукції, у поєднанні з параметрами настроювання, що що рекомендуються, механізма несправжньої скрученості одержати якісний кручений виріб з гарантованою мінімальною залишковою крученістю $10 \pm 0,5$ об./ і має широкі можливості його використання під час переробки дроту підвищеного діаметра $10,272 \pm 0,32$ мм/.

Основний зміст роботи відображено в публікаціях:

Монографія

1. Миренский И.Г. Канаты повышенной наработки для подъемного оборудования //Научные основы рационального проектирования и

эксплуатации элементов подъемного оборудования //Под ред. П.П.Нестерова. -Киев: Наук.думка, 1978. -С.132-157.

Статті

2. Нестеров П.П., Миренский И.Г., Кононенко Л.Ф. Результаты промышленных испытаний опытных канатов с укороченным шагом свивки //Стальные канаты. -1970. -№7.-С.195-199.

3. Нестеров П.П., Миренский И.Г., Марченков В.С. и др. Влияние электротермической обработки на циклическую прочность проволоки в коррозионной среде //Передовой опыт в строительстве и эксплуатации шахт. -1971. -Вып.6. -С.160-162.

4. Нестеров П.П., Миренский И.Г. Определение оптимальных параметров деформации канатной проволоки //Металлург. и горноруд. пром-ть. -1971. -№4(70). -С.65-67.

5. Нестеров П.П., Миренский И.Г., Мешков Ю.Я. и др. Результаты испытаний канатной проволоки различной прочности на выносливость //Бюллетень ЦНИИчерметинформации.-1972.-№23(691). -С.47-49.

6. Міренський І.Г., Підченко З.П. Експериментальне дослідження високоміцних матеріалів для елементів підйомних установок глибоких шахт //Підйомно-транспортне устаткування. -1972. -Вип.3. -С.27-32.

7. Нестеров П.П., Міренський І.Г., Мальований А.М. Експериментальне визначення пружних характеристик канатного дроту //Там же. -С.120-121.

8. Марченков В.С., Миренский И.Г. Влияние фактора отдыха на циклическую прочность канатной проволоки //Металлург. и горноруд. пром-сть.-1973.-№1(79).-С.51-53.

9. Міренський І.Г., Підченко З.П. Вплив деформації на довговічність канатних дротин //Підйомно-транспортне устаткування.-1973.-Вип.4. -С.80-84.

10. Миренский И.Г., Сахновский А.А. Установка для испытания канатной проволоки на циклическую прочность при асимметричном цикле изменения нагружения //Расчет и конструирование элементов подъемно-транспортных установок. -Киев. -1973. -С.80-83.
11. Миренский И.Г., Сазонова А.А. Влияние технологии изготовления канатной проволоки на ее циклическую прочность //Там же.-С.118-122.
12. Нестеров П.П., Миренский И.Г., Черненко Н.Ф. Результаты испытаний канатной проволоки высокого разрывного сопротивления на симметричный изгиб //Вопросы подъема глубоких шахт.-Киев.-1974.-С.256-260.
13. Миренский И.Г., Кривцов А.Т. Техничко-экономические показатели по применению канатов из высокопрочной проволоки для подъема полезных ископаемых с больших глубин //Там же.-С.260-262.
14. Дроздов Н.И., Миренский И.Г., Семкин А.Т. и др. Изготовление высокопрочных канатов из бейнитированной проволоки //Черная металлургия. Бюллетень научн.техн.информ.-1978.-№16(828).-С.44-47.
15. Гречаникова Л.Д., Миренский И.Г. Работоспособность стальных канатов при низких температурах //Подъемно-транспортное оборудование. -1979.-Вып.10.-С.57-59.
16. Миренский И.Г. Влияние ряда параметров технологического характера на модуль упругости канатной проволоки //Пробл. машиностроения. -1980.-Вып.10. -С.68-70.
17. Миренский И.Г. Влияние масштабного фактора на циклическую прочность стальной проволоки //Подъемно-транспортное оборудование. -1980. -Вып.11.-С.57-60.
18. Миренский И.Г. Влияние содержания углерода на усталостную прочность высокопрочной проволоки //Подъемно-транспортное оборудование. -1982. -Вып.13.-С.67-70.

19. Миренский И.Г., Гроза В.Ф., Псарев С.Д. и др. Уменьшение остаточной крутимости металлокорда на кордовьющих машинах //Сталь. -1982. -№11. -С.47-49.
20. Миренский И.Г. Влияние параметров свивки на выработку стальных канатов и прядей //Исследование оптимальных металлоконструкций и деталей подъемно-транспортных машин. - Саратов. -1984.-С.24-28.
21. Миренский И.Г., Таран Н.С., Протопопов И.Г. и др. Выбор параметров механизма ложной крутки при свивке металлокорда на машинах типа ДВ-2 /Отраслевая инструкция.-Минчермет СССР.-1984.-20с.
22. Миренский И.Г., Алексеев Ю.Г., Протопопов И.Г. и др. Усовершенствование технологии изготовления металлокорда //Сталь. -1985. -№5. -С.59-62.
23. Миренский И.Г. Выбор технологических параметров изготовления высокопрочной проволоки//Пробл.машиностроения. -1985. -Вып.24. -С.55-57.
24. Миренский И.Г. Пути повышения работоспособности стальных канатов //Подъемно-транспортное оборудование.-1985.-Вып.16. -С.59-63.
25. Миренский И.Г. Рациональные параметры изготовления металлокорда типа 21Л15 //Металлург. и горноруд. пром-ть. -1991. -№3. -С.36-38.
26. Миренский И.Г., Алексеев Ю.Г., Калоша Г.А. Применение преформаторов на опорах качения при производстве металлокорда //Сталь.-1993.-№2.-С.65-68.
27. Миренский И.Г. Выбор направляющего ролика для преформирующего устройства кордовьющей машине //Повышение эффективности и надежности городского хозяйства.-Киев.-1993.-С.107-114.

28. Пат. 2074623 А Великобритания, Мки³ Д07В 7/02, Д1Т. Вертикальная канатовьющая машина /Х.С.Шахпазов, С.Ф.Коровайный, И.Г.Миренский и др. -1981.
29. А.с. 961393 СССР, Мки³ Д07В 3/00. Канатовьющая машина сигарного типа /Н.П.Штых, И.Г.Миренский, Л.Ф.Мусолова и др. -ДСП -Без права опубл.
30. А.с. 1023016 СССР, Мки³ Д07В 3/00. Канатовьющая машина /В.Ф.Гроза, Х.С.Шахпазов, И.Г.Миренский и др. -Опубл. 15.06.83, Бюл.№22.
31. А.с. 1049594 СССР, Мки³ Д07В 3/00. Канатовьющая машина /В.В.Бортовой, И.Г.Миренский, Л.П.Лебедь и др.-Опубл. 23.10.83, Бюл.№39.
32. А.с. 1063898 СССР, Мки³ Д07В 7/02. Преформатор к канатовьющей машине /М.Я.Губин, И.Г.Миренский, А.И. Антонов и др.-Опубл. 30.12.83, Бюл.№48.
33. Пат. 4368614 США, Мки³ Д07В 3/04, 3/12, 7/02. Вертикальная канатовьющая машина /И.Н.Недовизий, И.Г.Миренский, Н.П.Штых и др. -1983.
34. Пат. 161004 ГДР, Мки³ Д07В 3/00. Канатовьющая машина /Х.С.Шахпазов, И.Г.Миренский, С.А.Ропаков и др. -1984.
35. Пат. 59-28675 Япония, Мки³ Д07В 3/04. Канатовьющая машина /Н.И.Дроздов, И.Г.Миренский, В.С.Старченко и др. -1984.
36. Пат. ДЕ 3109756 С2 ФРГ, Мки⁴ Д07В 3/10. Канатовьющая машина /Л.Ф.Мусолова, И.Г.Миренский, В.Ф.Мищика и др. -1986.
37. Пат. 1779272 СССР, Мки⁴ Д07В 7/02. Преформатор к канатовьющей машине /И.Г.Миренский, В.В.Ивашкевич, Г.А.Калоша и др. -Опубл. 30.11.92, Бюл.№44.
38. Пат. 1348 Украина, Мки⁴ Д07В 7/02. Преформатор до канатов'ючої машини /Л.Г.Міренський, В.В.Івашкевич, Г.О.Калоша та ін. -1993.

39. Гроза В.Ф., Миренский И.Г., В.Ф.Янушевская. Расчет поперечных колебаний вала вертикальной прядевьюющей машины /Харьк.политехн. ин-т. -1981.-19с.- Деп.ЦНИИчерметинформация 16.05.81, № 1358.
40. Миренский И.Г., Калоша Г.А. Современные тенденции развития производства металлокорда /Харьк. ин-т инж.город.хоз-ва. -1992. 29с. -Деп.УкрНИИНТИ. 22.08.92., № 1312.
41. Миренский И.Г., Козлов В.С., Ивашкевич В.В. Исследование упругопластических свойств проволоки при производстве витых изделий //Технические средства рационального морского и океанического промысла рыбы: Тез.докл.конф., Севастополь. -1990. - С.38-39.

SUMMARY

Mirensky I.G. Experimental and theoretical analysis of the correlation of strength properties and technological parameters of the production of machine flexible elements.

The thesis is a monograph submitted for a Doctor's degree of Technical Sciences /speciality 05.02.09 - dynamic, strength of machines and devices/Institute of Engineering Industry Problems, Ukrainian National Academy of Sciences, Kharkov, 1995.

A monograph, 29 scientific publications, 7 patents and 4 author's certificates are presented for the defence, the works contain the results of theoretical and experimental research in the field of theory and practice of the wire ropes and metalcord manufacture from a highly strong wire and the production of a highly effective twisting equipment. It has been established that the chemical steel composition, the factors of technological character and the size of the type greatly influence the properties of the wire during the uniaxial stress and cyclically transforming loadings, and also parameters of the twisted manufactured articles. The residual twisting correlation with the

parameters of a mechanism of a false twist has been determined, the correlation with indicators of its straightforwardness and the quality of the forming-up material has been also shown. The industrial introduction of the suggested parameters of flexible elements manufacturing and the developed technological equipments have been put into practice, the data of their efficiency have been given.

АННОТАЦИЯ

Миренский И.Г. Экспериментальный и теоретический анализ взаимосвязи прочностных свойств и технологических параметров изготовления гибких элементов машин.

Диссертация является рукописью на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.02.09 - динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры, Институт проблем машиностроения НАН Украины, Харьков, 1995.

Защищается 1 монография, 29 научных работ, 7 патентов и 4 авторских свидетельства, которые содержат результаты теоретических и экспериментальных исследований в области теории и практики изготовления стальных канатов и металлокорда из высокопрочной проволоки, а также создания высокоэффективного свивального оборудования. Установлено, что химический состав стали, факторы технологического характера, типоразмер оказывают существенное влияние на свойства проволоки при одноосном растяжении и циклически изменяющихся нагрузках, а также параметры изготовления витых изделий. Выявлена взаимосвязь остаточной крутимости металлокорда с параметрами механизма ложной крутки, показателями его прямолинейности и качеством исходного материала. Осуществлено промышленное внедрение предложенных параметров изготовления гибких элементов и раз-

работанных технологических устройств, приводятся данные об их эффективности в процессе эксплуатации.

Ключові слова:

високоміцний дріт, залишкова крученість металокорду,
гнучкі елементи.

Відповідальний за випуск проф. Євдокимов А.Г.

Підписано до друку 26.03.96 Формат 60x90 1/16

Ум.друк.арк. 2,00

Папір друк. №1.

Обл.вид.арк. 1,92

Тираж 110 пр. Зам.№ 93

Ротапринт інституту проблем машинобудування НАН України

310046, м.Харків, вул. Д.Пожарського, 2/10

AB 34.494

AB 34.494