

Дніпропетровський металургійний інститут

На правах рукопису

ЗИКОВ Юрій Сергійович

РОЗВИТОК ТЕОРІЇ І РОЗРОБКА ЕФЕКТИВНИХ СХЕМ ВИРОБНИЦТВА  
ХОЛОДНОТЯГНУТИХ ПРОФІЛІВ ТА ВИРОБІВ ІЗ НИХ

Спеціальність 05.16.05 -

"Обробка металів тиском"

А в т о р е ф е р а т

дисертації на здобуття наукового ступеня

доктора технічних наук

Дніпропетровськ - 1993

Роботу виконано у Запорізькому індустріальному інституті.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор Тарновський В.Й.;  
доктор технічних наук, професор Шаповал В.М.;  
доктор технічних наук Кузнецов Є.Д.


Провідне підприємство - Дніпропетровське метизне виробниче об'єднання.

Захист дисертації відбудеться 12 жовтня 1993 р. о 12<sup>30</sup> годині на засіданні спеціалізованої ради Д 068.02.01 при Дніпропетровському металургійному інституті.

Адреса: 320635, м. Дніпропетровськ, проспект Гагаріна 4.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Дніпропетровського металургійного інституту.

Автореферат розіслано 10 вересня 1993 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої ради  
професор, доктор технічних наук  М.М. Саф'ян

ЛНБ України ім.В.Стефаника



00815495 (W)

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність проблеми. Підвищення якості конкурентноздатності продукції, зниження енерго- та ресурсовитрат, підвищення продуктивності при виробництві холоднотягнутих профілів та виробів із них є першочерговими задачами у період переходу економіки держави до ринкових відносин. Рішення цих задач тісно пов'язане з необхідністю удосконалення технологічних процесів виробництва холоднотягнутих профілів та виробів із них, що може бути здійснено на основі подальшого розвитку теорії процесів волочіння та прокатування, розробки нових високоефективних схем пластичної деформації.

Ціль роботи. Теоретичне рішення задач волочіння суцільних профілів круглого та прямокутного перерізів, а також прокатування виробів у валковій системі валок-кільце, розробка на їх основі, випробування та упровадження комплексу технічних рішень, які у сукупності забезпечують підвищення техніко-економічних показників виробництва холоднотягнутих профілів та виробів із них.

Наукова новизна. Теоретичним шляхом з урахуванням реальних механічних властивостей металу розв'язана задача по визначенню напруження волочіння крізь волоку, робочий канал якої включає перехідну зону. Знайдено оптимальні значення радіусу закруглення перехідної зони та кутів волочіння.

Одержано теоретичні формули для розрахунку напруження волочіння прямокутного профілю з чотирьохбічним обтиском його поперечного перерізу крізь волоку з клинковою формою робочої зони, яка за допомогою перехідної зони плавно з'єднана з калібруючою зоною. Встановлено, що мінімальне напруження волочіння досягається у випадку використання не тільки оптимальних кутів волочіння та оптимальних значень радіусу перехідної зони, але й співвідношень обтисків по протилежних сторонах протягнутого профілю. Теоретичним і експериментальним шляхами визначено оптимальні значення обтиску ширини штаби і оптимальні співвідношення обтисків з протилежних сторін перерізу деформуючого профілю. Експериментальним аналізом визначено раціональні значення довжини калібруючої зони волоки під час волочіння прямокутних профілів.

Досліджено волочіння прямокутного дроту крізь здвоєні во-

локи і визначено раціональний розподіл обтисків між волоками.

Варіаційним методом одержана формула для визначення товщини шару мастила при вході в зону деформації під час волочіння. Розроблено новий метод визначення коефіцієнту тертя під час волочіння.

Розроблено основи теорії прокатування у валковій системі валок-кільце. Встановлено, що за рахунок невеликих кутів зустрічі металу з інструментом максимальні обтиски, за умовами захвату, під час прокатування в системі валок-кільце можуть у 2-6 і більше разів перевищувати максимальні обтиски простого процесу прокатування. Під час прокатування між валком і кільцем середня довжина зони деформації може у 2-3 і більше разів перевищувати таку довжину простого процесу прокатки, що викликає відповідне збільшення розширення та енергосилових параметрів процесу деформації.

Запропоновані нові рішення в галузі волочіння і прокатування захищені II-ма авторськими свідоцтвами на винаходи та 3-ма позитивними рішеннями Держкомвинаходів на видання двох авторських свідоцтв і одного патенту.

Практична цінність роботи. Розроблено формули і методику розрахунку маршрутів волочіння круглих профілів з урахуванням реальних механічних властивостей металу і використанням оптимальних параметрів волочильного інструменту в залежності від ступеню зміцнення протягнуваного металу. Визначено оптимальні кути волочіння і оптимальні значення радіусу округлення перехідної зони волоки. Запропоновано методи абразивної обробки робочих каналів твердосплавних волок, які поряд з виготовленням перехідної зони дозволяють оптимізувати характер мікрогеометрії поверхні волочильного каналу, що при волочінні низьковуглецевого сталюого дроту забезпечує підвищення стійкості волок в середньому у 2 рази. Розроблено новий ефективний склад мастильного покриття для калібрування сталюих прутків та дроту, котрий дозволяє понизити тягові зусилля при волочінні на 20-30 % і більше, поліпшити якість продукції, одержати економію металу, електроенергії та матеріалів, поліпшити санітарно-гігієнічні умови у цеху.

Визначено оптимальні параметри процесу волочіння прямокутного профілю у монолітні волоки. Розроблено методику розрахунку раціональних маршрутів волочіння прямокутних профілів на одно-

кратних і багатократних волоочильних станах. Визначено раціональні значення довжини калібруючої зони волюки для волючіння прямокутного профілю. Розроблено ефективну технологію волючіння прямокутного дроту через здвоєні волюки, яка забезпечує підвищення стійкості передчистових волюк маршруту в середньому у 1,95 разів і чистових волюк маршруту у середньому в 1,65 разів, поліпшити якість продукції, одержати економію металу, електроенергії та матеріалів. Розроблено ефективну сполуку технологічного мастила для волючіння прямокутного дроту з алюмінію, яка дозволяє поліпшити якість готової продукції, знизити трудомісткість виготовлення, підвищити продуктивність волючильних станів.

Запропоновано п'ять нових конструкцій волюк, які дозволяють знизити трудомісткість при їх обробці і одержати при волючінні значний економічний ефект.

Розроблено технологію інтенсивного прокатування заготовки для волючіння прямокутного дроту в інструменті типу валок-кільце, яка дозволяє скоротити до 7 переходів під час волючіння. Запропоновано нові технологічні схеми виробництва каркасів оболонок гнучких тросів легкового автомобіля ЗАЗ-1102 "Таврія", які дозволили Запорізькому автомобільному заводу відмовитися від імпорту цих виробів із-за кордону.

Реалізація робіт у промисловості. Результати теоретичних та експериментальних досліджень упроваджені до виробництва під час волючіння прутків та дроту круглого перерізу на Запорізьких заводах "Дніпроспецсталь" та метизному заводі, на Дніпропетровському метизному виробничому об'єднанні, на ВО "Іжсталь" (м.Іжевськ), під час волючіння прямокутних профілів на Запорізькому кабельному заводі, а також на чотирьох підприємствах Російської Федерації: в установі п/с М-5647; на підприємстві п/с Г-4184; на підприємстві п/с А-1668; на заводі Мінважмашу (м.Москва).

Апробація роботи. Матеріали роботи докладено і обговорено: на об'єднаному науковому семінарі кафедри ОМТ ДМетІ та прокатних відділів ІЧМ АН України (м.Дніпропетровськ, 1976, 1984, 1991, 1992 р.р.); на Республіканських науково-технічних конференціях по розробці та використанню технологічних мастил (м.Київ, 1973-1976, 1978, 1980 р.р.); на 2-й науково-технічній конференції з металургії в Арабській Республіці Єгипет (м.Каїр, 1978 р.); на Республіканських науково-технічних конференціях "Тертя і техно-

логічні мастила при обробці металів тиском" (м. Дніпропетровськ, 1973-1985 р.р.); на науково-технічній конференції "Енергозберігавальна технологія виробництва прокату" (м. Донецьк, 1987 р.); на 4-й Всесоюзній науково-технічній конференції "Теоретичні проблеми прокатного виробництва" (м. Дніпропетровськ, 1988 р.); на щорічних науково-технічних конференціях НТТ ЧМ "Удосконалювання прокатувального та волочильного виробництва" (м. Запоріжжя, 1970 - 1988 рр.); на Всесоюзній науково-технічній конференції "Нові технологічні процеси прокатування, як засоби інтенсифікації виробництва і підвищення якості виробів" (м. Челябінськ, 1989 р.); на Всесоюзному науково-технічному семінарі "Освоєння виробництва прогресивних видів прокатної продукції в умовах госпрозрахунку" (м. Москва, ВДНГ, 1989 р.); на виставці-ярмарці науково-технічних розробок вузів України "Прогресивні технології і матеріали для машинобудування" (м. Харків, ХПІ, 1989 р.); на наукових семінарах кафедри ОМТ Запорізького індустріального інституту (м. Запоріжжя, 1991-1992 рр.); на науковому семінарі кафедри метизного виробництва, металознавства та термообробки Дніпродзержинського індустріального інституту (м. Дніпродзержинськ, 1991 р.); на об'єднаному науковому семінарі кафедри ОМТ ДПІ та прокатних відділів ДОННДІЧМ (м. Донецьк, 1991 р.); на об'єднаному науковому семінарі кафедр Магнітогорського гірничометалургійного інституту (м. Магнітогорськ, 1992 р.).

Окремі розробки експонувалися на ВДНГ СРСР та ВДНГ УРСР.

Публікація. Основний зміст роботи опубліковано у 37 статтях, двох навчальних посібниках та одній монографії. Оригінальні технічні рішення захищені 11-ма авторськими свідоцтвами на винаходи та 3-ма позитивними рішеннями Держкомвинаходів про видання двох авторських свідоцтв і одного патенту.

Об'єм роботи. Дисертація складає 176 сторінок машинописного тексту, 11 таблиць, 99 малюнків, список використаної літератури, який включає 254 назви та 30 сторінок додатків.

## В С Т У П

Завдання підвищення ефективності металообробних галузей народного господарства, поліпшення якості та підвищення конкурентноздатності виробленої продукції, економії металу й скорочення усіх видів енерго- і ресурсовитрат є особливо актуальною в наш час - період переходу економіки до ринкових відносин. Одним з напрямлень у рішенні цього завдання є удосконалювання технологічних процесів виробництва холоднотягнутих суцільних профілів та виробів із них.

В дисертації дана наукова розробка оптимальних параметрів геометрії робочих каналів волок для волочіння суцільних профілів круглого та прямокутного перерізів, оптимальних співвідношень деформації з боків поперечного перерізу протягуваного прямокутного профілю, раціональних значень довжини калібруючої зони волоки, ефективних сполук технологічних мастил для чорних та кольорових металів.

В роботі зроблено теоретичний та експериментальний аналіз проблем підвищення ефективності технологічних процесів виробництва холоднотягнутих суцільних профілів та виробів із них за рахунок використання процесу прокатування у валковій системі валок-кільце, що при виготовленні ряду виробів дозволяє одержати значний економічний ефект.

Теоретичні та експериментальні розробки базуються на всебічному аналізі робіт з волочіння та прокатування вітчизняних і зарубіжних вчених: І.М. Павлова, С.І. Губкіна, І.Л. Перліна, О.І. Целікова, О.П. Чекмарьова, О.П. Грудєва, І.Я. Тарновського, О.О. Поздєєва, В.Л. Колмогорова, В.М. Видріна, О.О. Дінника, Г.Я. Гуна, Г.Л. Колмогорова, І.П. Ренне, В.В. Соколовського, В.З. Жилкіна, В.О. Ніколаєва, Ю.В. Коковихіна, Б.Р. Картака, В.Й. Тарновського, М.Г. Полякова, Г.С. Гуна, В.К. Смирнова, А.К. Григорьєва, О.В. Третякова, В.Л. Мазура, К. Байєра, М.І. Білова, В.М. Кліменка, В.Г. Корохова, В.І. Гореліка, Г.Е. Аркуліса, Г.А. Вострикова, В.В. Антипина, В.І. Уральського, М.З. Єрманка, В.К. Білосевича, І.М. Недовізія, Є. Кьорбера, Г. Закса, Є. Зібеля, Б. Авіцура та ін.

## І. ВОЛОЧІННЯ СУЦІЛЬНОГО КРУГЛОГО ПРОФІЛЮ

Форма подовжного профілю обтискуючої зони волоки значно впливає на величину енергосилових параметрів процесу волочиння, на інтенсивність спрацювання волок, якість протягуваних виробів та продуктивність волочильних станів. У практиці волочиння частіше використовуються волоки з конічною формою волочильного каналу і менше - радіальні волоки. Однак, між конічною обтискуючою зоною (довжиною  $l$ ) та калібруючою зоною (довжиною  $l_k$ ) завжди є зона плавного переходу (перехідна зона) довжиною  $l_n$ , яка має радіус закруглення  $r$ .

Наявність перехідної зони забезпечує зниження зусилля волочиння та істотне збільшення стійкості волоки, так як виключається можливість інтенсивного спрацювання місця сполучення за рахунок ліквідації різкого повороту волокон металу в процесі деформації.

Перехідна зона може утворитися в волоці в результаті зносу ділянки стику обтискуючої та калібруючої зон. Однак в реальних умовах волочиння при дуже низьких допускаючих відхиленнях по діаметру протягуваного профілю калібруючий отвір волоки виходить з ладу по його зносу перш ніж утвориться перехідна зона оптимальної протяжності. При цьому волочиння проходить з збільшеним витратом енергії, підвищеною обривністю, з погіршенням якості готового виробу. У ряді випадків волочиння крізь обтискуючий канал, що не має перехідної зони, стає практично неможливим. Тому волоки необхідно виготовляти з присутністю в робочому каналі перехідної зони оптимальної протяжності.

В загальному випадку форма подовжного профілю волочильного каналу характеризується показником  $m$ , рівним  $m = l_n / L$  (де  $L$  - загальна довжина конічної та перехідної зон). При  $m = 0$  має місце конічний, а при  $m = 1$  - радіальний подовжній профілі обтискуючої зони волоки. При  $0 < m < 1$  форма профілю робочої зони названа комбінованою.

Оптимальні параметри процесу волочиння можуть бути визначені з принципу мінімуму потужності деформації. Потужність волочиння

$N$  круглого профілю у волоку з комбінованою формою подовжного профілю робочої зони включає наступні компоненти

$$N = N_1 + N_2 + N_3 + N_4 + N_5 + N_6 + N_7, \quad (I.I)$$

де  $N_1, N_2$  - потужності внутрішніх сил (опору) в конічній та пе-

рехідній зонах;

$N_3, N_4, N_5$  - потужності сил контактного тертя в конічній, перехідній та калібруючій зонах;

$N_6, N_7$  - потужності сил зрізу в площині входу металу у волоку і сили протинатягу.

Приймаємо, що в конічній зоні твірною подовжнього профілю є пряма лінія, а в перехідній зоні - парабола. Припустимо також, що контактне напруження тертя  $\tau$  по всій довжині зони деформації постійне і пропорціональне середньому опору деформації  $\sigma_T$  металу у зоні деформації, одержимо формулу для потужності волочіння

$N$ , поділивши яку на секундний об'єм  $V = v_1 F_1$  ( $v_1, F_1$  - швидкість волочіння та площа поперечного перерізу протягнуваної штаби) маємо вираз приведенного напруження волочіння  $\sigma_{\text{вол}}/\sigma_T$ :

$$\frac{\sigma_{\text{вол}}}{\sigma_T} = \left\{ \frac{8}{9 \text{tg}^2 \alpha} \left[ \sqrt{\left(1 + \frac{3}{4} \text{tg}^2 \alpha\right)^3} - 1 \right] + \frac{f_T}{\text{tg} \alpha} \right\} \ln \frac{\mu}{\mu_n} + \sqrt{(\ln \mu_n)^2 + \dots} + \frac{4}{27} \left( \frac{6}{\varepsilon_n} \gamma - 5 \right)^2 \text{tg}^2 \alpha + \frac{4f_T}{\text{tg} \alpha} \gamma + 4f_T \frac{l_k}{D_1} + \phi \text{tg} \alpha + \frac{\sigma_0}{\sigma_T}, \quad (1.2)$$

де  $\alpha$  - половина кута робочого конусу (кут волочіння);

$f_T$  - коефіцієнт тертя по опору деформації металу (показник тертя);

$\mu$  - коефіцієнт витягання за перехід;

$\mu_n, \varepsilon_n$  - коефіцієнт витягання та відносний обтиск у перехідній зоні:  $\mu_n = (1 + \varepsilon_n)^2$ ;  $\varepsilon_n = 2r(1 - \cos \alpha)/D_1$ ;

$\phi = 2/(3\sqrt{3})$ ;  $\gamma = \sqrt{\varepsilon_n} \arctg \sqrt{\varepsilon_n}$ ;

$\sigma_0$  - напруженість протинатягу.

Аналіз рівняння (1.2) показав, що залежність приведенного напруження волочіння від кута  $\alpha$  і показника  $m$  характеризується наявністю його мінімальних значень. В звичайних умовах волочіння, мінімальне напруження волочіння досягається при використанні волок, маючих комбінований тип подовжнього профілю обтискувочої зони, коли значення показника  $m = 0,1 \dots 0,6$ . В цих умовах конічний ( $m = 0$ ) і особливо радіальний ( $m = 1$ ) подовжні профілі робочої зони обумовлюють значення приведенного напруження волочіння значно більші (до 20...30%), ніж оптимальний комбінований профіль. Волоки з радіальним профілем дають найменше напруження волочіння тільки при низьких значеннях коефіцієнту тертя та малих ви-

тягах за перехід, що певно близько до умов волочіння дроту у алмазні волокни та в якійсь мірі волочінню у режимі рідинного тертя.

В практиці зручніше користуватися не оптимальними значеннями показника  $m$ , а відношенням  $r/D_1$ . Оптимальні значення кута  $\alpha$  й відношення  $r/D_1$  визначили з системи рівнянь

$$\left. \begin{aligned} \partial \sigma_{\text{воп}} / \partial (\text{tg} \alpha) &= 0, \\ \partial \sigma_{\text{вкл}} / \partial (r/D_1) &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (I.3)$$

Аналіз даних, одержаних з використанням рівнянь (I.3) показав, що із збільшенням коефіцієнтів витягу і тертя значення оптимальних кутів волочіння зростають. Залежність оптимального кута волочіння від параметру  $r/D_1$  характеризується наявністю максимуму, знаходження якого практично не залежить від витягу за перехід і знаходиться в інтервалі змінення фактору  $r/D_1 = 0,7 \dots 1,5$ . При цьому максимальне значення оптимальних кутів волочіння перевищує аналогічні значення для волокни, яка не має перехідної зони на  $1 \dots 2^\circ$ .

Оптимальні значення відношення  $r/D_1$  практично не залежать від витягу за перехід, являючись функцією коефіцієнту тертя і кута волочіння. При значеннях цих параметрів, часто маючих місце під час волочіння, оптимальні значення відношення  $r/D_1$  складають  $0,8 \dots 1,5$  або в середньому  $r_{\text{оп}}/D_1 = 1$ .

Аналогічне дослідження виконано з використанням закону тертя Амонтона у вигляді  $\tau = f\rho$  ( $f$  - коефіцієнт тертя,  $\rho$  - середній контактний тиск на стінку волокни), при цьому одержано вираження для визначення напруження волочіння і середнього контактного тиску.

Аналіз одержаних рішень показав, що наявність у волочильному каналі перехідної зони і збільшення її довжини сприятливо відображаються не тільки на зниженні напруження волочіння, але й на зменшенні зносу та підвищенні експлуатаційної стійкості волокни за рахунок зниження (до  $20 \dots 30\%$ ) середнього контактного тиску на стінку волокни.

Встановлено також, що наявність протинатягу деформуючого профілю зумовлює збільшення оптимальних значень відношення  $r/D_1$ . При низьких значеннях коефіцієнту тертя, а також під час волочіння з протинатягом металу оптимальні значення відношення  $r/D_1$  більше 2. Тут оптимальна форма подовжнього профілю волочильного каналу близька до радіальної.

Під час волочіння, в результаті пластичної деформації метал

зміцнюється, що може бути враховано залежністю

$$\sigma_{ТХ} = \sigma_{Т0} \left[ 1 + \kappa (1 - \lambda_x^{-m}) \right], \quad (1.4)$$

де  $\sigma_{Т0}$ ,  $\sigma_{ТХ}$  - опір металу до деформації і в розглядуваному перерізі робочої зони волоки;

$\lambda_x$  - сумарне витягання в розглядуваному перерізі;

$\kappa, m$  - реологічні коефіцієнти.

Використовуючи співвідношення (1.4), метод тонких перерізів, закон тертя Амонтона для кожного перерізу зони деформації, при заміні дуги скруглення у перехідній зоні хордою, одержано формули для визначення подовжнього розтягуючого і нормального контактного напружень уздовж волоочильного каналу, а також для розрахунку напруження волочиння  $\sigma_1$  у першому переході (при  $t_k = 0$ )

$$\sigma_1 = \sigma_{ТК} (1 + 1/\delta_n) \left[ (1 - \mu_n^{-\delta_n}) (1 + \kappa_n + z_n) - z_n (1 - \mu_n^{-m}) \right] + \mu_n^{-\delta_n} \left[ \sigma_k + \phi \sigma_{ТК} (tg \alpha - tg \frac{\alpha}{2}) \right] + \phi \sigma_{Т1} tg \frac{\alpha}{2}, \quad (1.5)$$

де  $\sigma_{ТК}$  - опір металу в перерізі стику кінчної та перехідної зон;

$\sigma_{Т1}$  - опір металу після волоки;

$\sigma_k$  - подовжнє розтягуюче напруження в площині стику кінчної та перехідної зон

$$\sigma_k = \sigma_{Т0} (1 + 1/\delta) \left[ (1 - \mu_k^{-\delta}) (1 + \kappa + z) - z (1 - \mu_k^{-m}) \right] + \mu_k^{-\delta} (\sigma_0 + \phi \sigma_{Т0} tg \alpha);$$

$$\delta = fctg \alpha, \quad \delta_n = fctg \frac{\alpha}{2}, \quad z = \frac{\kappa \delta}{m - \delta};$$

$\mu_k$  - коефіцієнт витягання у кінчній зоні;

$\kappa_n, z_n$  - параметри перехідної зони.

Аналіз одержаних рішень показав, що подовжнє розтягуюче напруження  $\sigma_x$  для кожного переходу зростає від мінімального на вході до максимального значення на виході з волоки. Нормальне контактне напруження  $p_x$  вже зміцненого металу (другий і наступні переходи) максимальне на вході у волоку і знижується до виходу з неї. Під час волочиння незміцненого металу (перший перехід) крива нормальних напружень характеризується наявністю макси-

муму, положення якого для конічної волоки близьке до середини довжини зони деформації, що пояснюється сумісним впливом характеру напруження і кривої зміцнення. Оскільки напруження тертя пропорційне нормальному напруженню, то у першому переході слід чекати більш рівномірне спрацювання по довжині волоочильного каналу, а в другому і наступних переходах – інтенсивне спрацювання вхідної частини волоки з утворенням кільця зносу.

Оптимальні параметри процесу волочіння визначено з системи (1.3). Прийняті припущення дозволили оцінити залежність оптимальних параметрів від величини реологічних коефіцієнтів  $\kappa$  і  $m$ , а також від ступеню зміцнення протягуваного металу. Так, із збільшенням параметрів  $\kappa$  і  $m$  оптимальні кути волочіння кільця (на  $1...2^\circ$ ) зростають. Із збільшенням зміцнення металу передположінням значення оптимальних кутів волочіння знижуються. Наприклад, для 6-го переходу під час волочіння низьковуглецевого сталюого дроту оптимальний кут волочіння на  $0,7...2,5^\circ$  менше, ніж для першого переходу.

З урахуванням впливу калібруючої зони формула (1.5) приймає вигляд

$$\sigma_{вол} = \sigma_{Г1} - (\sigma_{Г1} - \sigma_1) \exp(-4fl_k/D_1). \quad (1.6)$$

Рівняння (1.6) використано для аналізу дослідних даних з волочіння (з швидкістю 1 м/с) круглого дроту з сталі марки У8А на однократному волочильному стані І/750. Розрахункові значення напруження волочіння порівняли також з даними розрахунку за формулами Закса, Кьорбера, Губкіна, Перліна, Дінника, Тарновського і Поздєєва. Аналіз показав, що формули (1.5) і (1.6) придатні для технологічних розрахунків.

В умовах калібруючого цеху Запорізького заводу "Дніпроспецсталь" виконано експерименти по визначенню оптимальних кутів волочіння сталюих прутків (діаметром 13,5 і 20 мм) на ланцюговому стані і при волочінні сталюого дроту (діаметром 6,3 і 7,3 мм) на однократному волочильному стані І/750. Оптимальні кути визначали за мінімальним зусиллям волочіння заготовки крізь комплекти однакового діаметру, але маючих різні кути робочих конусів.

Аналогічно на Запорізькому метизному заводі визначали оптимальні кути волочіння сталюого дроту під час його волочіння на багатократній машині І5/200. Одночасно досліджено стійкість волок на знос при швидкісному волочінні.

Аналіз дослідних даних показав, що величина оптимального кута волочиння в основному визначається коефіцієнтом витягання за перехід. При цьому із збільшенням витягування оптимальний кут зростає. Впливання інших факторів (хімічного складу сплаву, виду технологічного мастила, швидкості волочиння та інше) виявляється менше. Під час мокрого волочиння дроту встановлено також, що кутам волочиння, близьких до оптимальних, відповідає і найбільша експлуатаційна стійкість волок на спрацювання.

Розроблено методи абразивної обробки каналів волок, які поряд з виготовленням перехідної зони надають мікрогеометрії поверхні волочильного каналу раціональний характер, що сприяє утриманню технологічного мастила в зоні деформації. Під час сухого волочиння сталюого дроту це дозволило збільшити стійкість волок в середньому у 2 рази.

## 2. ВОЛОЧІННЯ ПРЯМОКУТНОГО ПРОФІЛЮ

Використовуючи інженерний метод, закон тертя Амонтона у вигляді  $\tau_x = f p_x$  (де  $\tau_x$ ;  $p_x$  - напруження контактного тертя і нормальне контактне напруження в розглядуваному перерізі) і співвідношення швидкостей деформацій в поперечному та вертикальному напрямках згідно до умови Тарновського-Видріна, одержали формулу для визначення напруження волочиння прямокутного профілю з чотирьохбічним обтиском його поперечного перерізу

$$\sigma_{всл} = 2\tau_s \left( B + \frac{D}{\delta} \right) (1 - \mu^{-\delta}) + \frac{tg\alpha}{2} (\tau_{sc} \phi_0 \mu^{-\delta} + \tau_{s1} \phi_1) + \sigma_0 \mu^{-\delta}, \quad (1.7)$$

де  $\tau_{so}$ ,  $\tau_{s1}$ ,  $\tau_s$  - напруження чистого зсуву металу до волочиння, після переходу і середнє для зони деформації;

B, D,  $\phi_0$ ,  $\phi_1$  - параметри, які рівні:  $B = (2 + a)/2A$ ,  $D = A/$

$$/(1+a), A = \sqrt{1+a+a^2}, \phi_0 = \sqrt{1 + \frac{4}{3} \left( a \frac{B_0}{H_0} \right)^2}, \phi_1 = \sqrt{1 + \frac{4}{3} \left( a \frac{B_1}{H_1} \right)^2};$$

a - показник поперечної деформації,  $a = \ln \frac{B_0}{B_1} / \ln \frac{H_0}{H_1}$ ;

$H_0$ ,  $H_1$  - товщина штаби до і після переходу;

$B_0$ ,  $B_1$  - ширина штаби до і після переходу.

З урахуванням впливу калібруючої зони волоки формула (1.7)

може бути записана так:

$$\sigma_{вол} = 2\tau_{s1}B - (2\tau_{s1}B - \sigma'_{вол}) \exp[-2f(1+a)l_k/H_1], \quad (I.8)$$

де  $\sigma_{вол}$  - напруження волочиння при  $l_k = 0$ , яке може бути знайдено з виразу (I.7).

Приймаючи, що напруження тертя постійне по довжині осередку деформації і пропорційне середньому контактному тиску  $p$ , одержали також формули для визначення напруження волочиння та контактної тиску для умов волочиння прямокутного профілю крізь волоку, робочий канал якої між клинвою і калібруючою зонами включає перехідну зону з радіусом закруглення  $r$

$$\left. \begin{aligned} \frac{\sigma_{вол}}{2\tau_s} &= \frac{A_1 A_4 + A_2 A_3 + \sigma_0 (A_3 - \mu A_1)}{A_3 - A_1}, \\ \frac{p}{2\tau_s} &= \frac{A_2 + A_4 - \sigma_0 (\mu - 1)}{A_3 - A_1}, \end{aligned} \right\} \quad (I.9)$$

де  $A_1 \dots A_4$  - умовні параметри.

Аналіз одержаних формул показав, що під час волочиння прямокутної штаби мінімальне напруження волочиння досягається не тільки при використанні оптимальних кутів волочиння і оптимальних значень приведенного радіуса закруглення перехідної зони, а також при використанні оптимальних значень показника поперечної деформації. При цьому, із збільшенням значень коефіцієнту витягання і тертя напруження волочиння зростає. Однак, залежність напруження волочиння від величини відношення сторін  $B_1/H_1$  протягуваного профілю істотна лише при його значеннях менш від 4.

Наявність у волоці перехідної зони забезпечує не тільки зниження напруження волочиння, але й контактної тиску на поверхню волочильного каналу, за рахунок чого значно зменшується знос волок та підвищується їх стійкість. Збільшення витягування за перехід та коефіцієнту контактної тертя, а також напруження протягу дає істотне зниження середнього контактної тиску на стінку волоки.

Дослідивши перше рівняння системи (I.9) на екстремум

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \sigma_{всл}}{\partial (tg \alpha)} = 0; \quad \frac{\partial \sigma_{всл}}{\partial (r/H_1)} = 0; \quad \frac{\partial \sigma_{всл}}{\partial \alpha} = 0, \end{aligned} \right\}$$

знайшли оптимальні значення кута  $\alpha$ , приведенного радіусу  $r/H_1$  закруглення перехідної зони і показника поперечної деформації, а також відносного обтиску ширини протягнутої штаби.

Аналіз одержаних даних показав, що із збільшенням коефіцієнтів витягування та контактної тертя, а також відношення сторін  $B_1/H_1$  значення оптимальних кутів волочиння зростають. Однак вплив відношення  $B_1/H_1$  істотний лише при його значеннях менше від 4.

Залежність оптимальних кутів  $\alpha$  від фактору  $r/H_1$  характеризується наявністю максимуму, положення якого мало залежить від витягання і знаходиться в інтервалі значень відношення  $r/H_1 = 0,8 \dots 1,5$ . Із зменшенням коефіцієнту тертя, а також під час волочиння з протинатягом штаби положення цього максимуму зміщується у бік більш високих значень  $r/H_1$ . При значенні радіусу перехідної зони  $r = H_1$  і  $f = 0,06 \dots 0,10$  величина оптимального кута волочиння на  $1 \dots 3^0$  більше, ніж для волюки без перехідної зони.

Оптимальні значення параметру  $r/H_1$  з підвищенням коефіцієнту тертя та кута волочиння - знижуються, а з підвищенням витягування за перехід, зростанням напруження протинатягу та відношення сторін  $B_1/H_1$  протягнутого профілю - збільшуються. Однак, вплив останнього істотний лише при його невеликих значеннях. В умовах, які найчастіше мають місце у практиці волочиння оптимальні значення  $r/H_1$  знаходяться в інтервалі  $0,75 \dots 1,5$ .

Оптимальні значення показника поперечної деформації  $a$  і відносного обтиску ширини штаби  $\Delta B/B_1$  ( $\Delta B$  - абсолютний обтиск ширини штаби) в основному визначається відношенням сторін  $B_1/H_1$  протягнутого профілю, а вплив інших факторів виявляється менше. Із збільшенням відношення  $B_1/H_1$ , кута волочиння та коефіцієнту тертя оптимальні значення показника  $a$  і  $\Delta B/B_1$  знижуються, а з зростанням витягу за перехід - збільшуються. Вплив напруження протинатягу і параметру  $r/H_1$  на чисельні значення показника поперечної деформації та відносного обтиску ширини штаби незначний.

Для практичних розрахунків напруження волочиння прямокутних профілів одержали слідує зручнішу формулу, засновану на використанні рівняння (1.7) при заміні дуги перехідної зони хордою

$$\sigma'_{всп} = 2\tau_{сп} \left( \delta + \frac{\lambda}{\delta_n} \right) (1 - \mu_n^{-\delta}) + \mu_n^{-\delta} \left[ \sigma_{кл} + \frac{\tau_{сст}}{2} (tg \alpha - tg \frac{\alpha}{2}) \phi_{ст} \right] + \frac{\tau_{ст}}{2} tg \frac{\alpha}{2} \phi_1, \quad (I.10)$$

де  $\tau_{сп}$ ,  $\tau_{сст}$  - напруження чистого зсуву середні для перехідної зони і в площині стику клинової та перехідної зон;

$\mu_n$ ,  $\delta_n = fctg(\alpha/2)$  - витяг і параметр для перехідної зони;

$\phi_{ст}$  - параметр, аналогічний  $\phi_1$ , для площини стику;

$\sigma_{кл}$  - подовжнє напруження на виході з клинової зони

$$\sigma_{кл} = 2\tau_{скл} \left( \delta + \frac{\lambda}{\delta} \right) (1 - \mu_{кл}^{-\delta}) + \left( \sigma_0 + \frac{\tau_{зо}}{2} \phi_0 tg \alpha \right) \mu_{кл}^{-\delta};$$

$\tau_{скл}$  - середнє напруження чистого зсуву металу в клиновій зоні.

Формула (I.10) та рівняння (I.7) використані для визначення розрахункових значень напруження волочіння і порівняння з дослідними значеннями для умов волочіння прямокутних профілів з міді. Значення напруження волочіння були розраховані також за формулами Губкіна і Дінника. Аналіз розрахункових та дослідних даних показав, що рівняння (I.7) і (I.10) можуть бути використані для технологічних розрахунків.

Виконано дослідження в лабораторних та виробничих умовах по визначенню оптимальних кутів волочіння прямокутних штаб з міді і алюмінію. Аналіз експериментальних даних показав, що вони добре узгоджуються з раніше одержаними теоретичними даними. При цьому, з зростанням витягування за перехід оптимальний кут волочіння також зростає. Збільшення ступеню попереднього зміцнення металу викликає деяке зниження оптимального кута волочіння. Дослідами встановлено, що хімічний склад протягнутого металу, ступінь бокового обтиску штаби та інші фактори істотного впливу на величину оптимального кута волочіння не виявили.

Вперше експериментальним шляхом визначено оптимальні бокові обтиски прямокутної штаби і оптимальні співвідношення обтисків по протилежних сторонах перерізу протягнутого прямокутного профілю. Встановлено, що оптимальні відносні обтиски ширини штаби в основному визначаються відношенням сторін  $B_1/H_1$  протягнутого профілю. При цьому, з зростанням відношення  $B_1/H_1$  оптимальні значення відносного обтиску ширини штаби знижуються. При збільшенні витягу за перехід оптимальні значення  $\Delta B/B_1$  кілька

зростають. Впливання ж інших факторів процесу волочіння: роду металу і ступеню його зміцнення, типу технологічного мастила та інше, виявляються менше. Одержані в дослідях значення оптимальних відносних обтисків ширини протягнуваної штаби добре узгоджуються з результатами раніше виконаного теоретичного аналізу.

Оптимальні значення  $r/N_1$  експериментально визначили за допомогою волочильного пристрою, включаючого два поворотних деформуючих елемента, які під час волочіння забезпечують осередку деформації комбінований подовжній профіль, тобто наявність клинової та перехідної зон в оптимальному поєднанні. Волочінню підлягали м'які та попередньо зміцнені прямокутні штаби з міді та алюмінію.

Аналіз одержаних даних показав, що найменше напруження волочіння досягається при значеннях  $r/N_1 = 0,8 \dots 1,5$ , що добре узгоджуються з одержаними раніше теоретичними висновками.

Експериментальним шляхом при волочінні прямокутного дроту з міді одержано також раціональні значення відносної довжини калібрувальної зони волоки, які забезпечують високу стійкість волок на знос при низьких витратах енергії.

Теоретичним та експериментальним шляхами виконано дослідження волочіння прямокутного дроту з міді крізь здвоєні волоки, які встановлені в різних волокоутримувачах. Визначено параметри раціонального розподілу обтисків металу між здвоєними волоками, при яких забезпечується підвищення стійкості передчистових волок в середньому в 1,95 разів і чистових волок маршруту в середньому в 1,65 разів, що дозволяє поліпшити якість готової продукції, підвищити продуктивність волочильних станів, створити енерго- і ресурсозберігаючу технологію.

### 3. УДОСКОНАЛЕННЯ УМОВ КОНТАКТНОГО ТЕРТЯ ПІД ЧАС ВОЛОЧІННЯ

Якість готової продукції і продуктивність волочильного стану значно залежать від умов контактного тертя між деформуючим металом і волокою, котрі знаходяться у прямій залежності від співвідношення між товщиною шару мастила, розділяючого метал і інструмент, та висотою мікрошорсткості на поверхнях деформуючої штаби і волоки.

Тому, проблема визначення товщини шару технологічного мастила

в осередку деформації є одним з найголовніших завдань сучасної теорії мастила під час волочіння.

Товщину шару мастила  $h_0$  на вході в зону деформації визначили з принципу мінімуму потужності контактної тертя в передосередковому масляному клині. Використовуючи рівняння Рейнольдса та Баруса для в'язкого нестискуваного мастила, одержали

$$h_0 = \frac{\rho \theta \eta_a V_0}{4[1 - \exp(-\theta \rho_0)] \operatorname{tg} \alpha}, \quad (3.1)$$

де  $\theta, \eta_a$  - п'єзокоєфіцієнт в'язкості мастила і в'язкість мастила при атмосферному тиску;

$V_0$  - швидкість входу металу в волоку;

$\rho_0$  - тиск мастила в площині входу металу в зону деформації.

Вирішена задача по визначенню напруження волочіння штаби в режимі змішаного тертя, коли напруження тертя  $\tau$  в перерізі контактної площі запишемо рівнянням

$$\tau = (1 - C) \tau_{\text{гр}} + C \tau_{\text{ж}}, \quad (3.2)$$

де  $\tau_{\text{гр}}$ ;  $\tau_{\text{ж}}$  - напруження граничного і рідинного тертя;

$C$  - показник режиму контактної тертя.

Перший і другий доданки рівняння (3.2) враховують відповідні частини механізмів граничного та рідинного тертя. В залежності від величини показника  $C$  режим контактної тертя змінюється від граничного (при  $C = 0$ ) до рідинного (при  $C = 1$ ). При  $0 < C < 1$  має місце змішане тертя.

Використовуючи рівняння (3.2) і метод тонких перерізів, одержали формулу для визначення напруження волочіння при змішаному терті

$$\sigma_{\text{вол}} = 1,15 \sigma_T (1 + \delta_c) \ln \mu + \frac{1}{\theta} \ln \left[ 1 + \frac{C^2}{3\pi} (e^{\theta \rho_0} - 1) (1 - \mu^{-\pi}) \right] + \sigma_0, \quad (3.3)$$

де  $\Pi = 1,15 \sigma_T \theta (1 + \delta_c) - 2$ ;  $\delta_c = (1 - C) f_T \operatorname{ctg} \alpha$ .

Зі збільшенням швидкості волочіння температура мастила в передосередковому масляному клині зростає, що призводить до зменшення його в'язкості. Вирази для середньої температури  $t$  мастила в передосередковому об'ємі одержали з рівняння балансу енергії

$$t = t_n + \frac{V_0^2}{8 \lambda} \left( \eta_0 + \frac{28}{15} \eta \right), \quad (3.4)$$

де  $t_n$  - температура поверхні штаби;

$\lambda$  - теплопровідність мастила;

$\eta_0, \eta$  - в'язкість мастила в перерізі входу в осередок деформації і середня в'язкість мастила у масляному клині.

Аналіз формул (3.1) - (3.4) показав, що із збільшенням швидкості волочіння середня температура мастила підвищується, а в'язкість його зменшується. Останнє є причиною зниження гідродинамічного ефекту. Тому залежність  $h_0 - v_0$  не буде лінійною, а характеризується наявністю екстримальних значень  $h_0$ , що відповідно викликає з'явлення мінімальних значень функції  $\sigma_{\text{вол}} - V_1$ . Зменшення в'язкості використовуваного технологічного мастила, а також збільшення температури металу, що входить у волоку, зміщують положення екстримальних значень для  $h_0$  і  $\sigma_{\text{вол}}$  в напрямку збільшення швидкості волочіння. Використання більш в'язкого технологічного мастила в цілому забезпечує більш високий рівень товщин технологічного мастила в зоні деформації і більше зниження напруження волочіння. Однак, з підвищенням швидкості волочіння та температури протягнутого металу цей ефект знижується. При високих швидкостях і температурах металу (більше 60...80°C) залежність товщини  $h_0$  і приведенного напруження волочіння від швидкості волочіння проявляється слабо.

Розроблена модель процесу волочіння в режимі змішаного тертя дозволила вибрати раціональні температурно-швидкісні умови волочіння прямокутного дроту з алюмінію на багатократних волочильних станах, працюючих з ковзанням, та визначитися з вибором ефективного складу технологічного мастила для його волочіння.

На основі використання пристрою для волочіння, включаючого два поворотних деформуючих елемента, розроблено новий метод визначення коефіцієнту тертя  $f$  під час волочіння штаби, чисельні значення якого розраховуються за наступною формулою

$$f = (\psi/m)(1-m)^2 \operatorname{tg} \alpha_0 + f_n (d/2r) \cos \alpha_0, \quad (3.5)$$

де  $\alpha_0$  - кут волочіння в режимі сталого процесу;

$\psi$  - коефіцієнт плеча моменту нормальних сил в клиновій зоні;

$f_n, d$  - коефіцієнт тертя і діаметр тертя в підшипникових опорах деформуючих елементів.

Метод використано для визначення коефіцієнту тертя під час волочіння штаб з міді і алюмінію зі швидкістю 0,1 м/хв. З аналізу дослідних даних випливає, що під час волочіння м'якої міді (при

$r = H_1$ ) із збільшенням витягу за перехід, а також із збільшенням ступеню попереднього зміцнення металу (при  $\mu = 1,3$ ) величина коефіцієнту тертя зростає. Вплив відношення  $r/H_1$  на величину коефіцієнту тертя істотний лише при його значеннях менше 1. Чисельні значення коефіцієнту тертя під час волочіння міді складають 0,071...0,132, а під час волочіння алюмінію – 0,087...0,15, що добре узгоджується з результатами, одержаними іншими способами.

Виконані теоретичні і експериментальні дослідження дозволили підібрати ефективний склад технологічного мастила для волочіння прямокутного дроту з алюмінію на волочильних станах кабельного заводу. Розроблений склад мастила на основі масла вапор з додатком 2,5...5 % сірки і 10...20 % алюмінієвої пудри дозволив виключити налипання металу на стінки волочильного каналу, поліпшити якість протягнутого дроту і збільшити продуктивність волочильних станів.

Розроблено також ефективне мастильне покриття для калібрування сталевих прутків і дроту на основі використання відходів Запорізького масложиркомбінату – мильнолугових розчинів, розведених у воді до вмісту (по милу) 3...3,5 %. Мастильна плівка наносилася на поверхню заготовку шляхом її занурення на 3...4 хвилини у мильний розчин, підігрітий до температури 60...80°C з наступним сушінням на повітрі не менше 10...15 хвилин.

При калібруванні металу з розробленим мильним покриттям зусилля волочіння знижується на 20...30 % і більше, а якість поверхні протягнутих виробів поліпшується. Так під час калібрування на веретенному маслі заводське мастило чистота поверхні протягнутих прутків відповідала 7...8 класам, а під час калібрування з мильним покриттям – 10 класу. Використання мильного покриття дозволяє також на 25...37 % знизити глибину знеуглецьованого шару металу і одержати економію металу. Вилучення веретенного масла як технологічного мастила під час волочіння дозволяє поліпшити санітарно-гігієнічні умови у калібрувальному цеху.

#### 4. ПРОКАТУВАННЯ ЗАГОТОВКИ ДЛЯ ВОЛОЧІННЯ ПРЯМОКУТНИХ ПРОФІЛІВ І ПРОКАТУВАННЯ ГВИНТОВИХ ВИРОБІВ

В технологічних процесах виробництва прямокутних та інших плоских профілів широко використовується катанка або пресований

профіль круглого перерізу. Тому, першою операцією є плющення, яке виконується шляхом прокатування у гладких валках круглого профілю. Для волочіння прямокутних профілів важливо плющину заготовку одержувати за розмірами поперечного перерізу, близьких до розмірів готового профілю, що дозволяє проводити волочіння готового профілю за мінімум переходів. Для цього бажано використовувати заготовку мінімального діаметру, а плющення провадити за максимально можливими обтисками і розширенням. Для інтенсивного плющення нами запропоновано використати процес прокатування у валковій системі валок-кільце.

Одержані теоретичні формули для визначення основних геометричних параметрів процесу прокатування між валком і охоплюючим його кільцем. Аналіз одержаних залежностей показав, що із зменшенням відношення радіуса валка  $R_1$  до внутрішнього радіуса кільця  $R_2$  кути зустрічі металу з інструментом зменшуються, а середня довжина дуги контакту може у 2...3 і більше разів перевищувати таку для простого процесу прокатування.

Теоретичним шляхом одержано більш загальні умови захоплення металу валками під час несиметричного прокатування.

$$\alpha_1 \pm \alpha_2 \leq 2\beta_3, \quad (4.1)$$

де  $\alpha_1, \alpha_2$  - кути захоплення на першому та другому валку (або кільці) ;

$\beta_3$  - всереднений кут тертя при захоплюванні.

У співвідношенні (4.1) знак "плюс" відноситься до умов захоплювання у двох циліндричних валках, а знак "мінус" - до умов захоплювання в системі валок-кільце.

Використовуючи вираження (4.1), при припущенні  $R_1 \alpha_1 = R_2 \alpha_2$ , одержали слідуюче вираження для співвідношення максимального обтиску при несиметричному прокатуванні  $\Delta H_{\text{макс.н}}$  та максимального обтиску під час простого процесу прокатування  $\Delta H_{\text{макс}}$ .

$$\frac{\Delta H_{\text{макс.н}}}{\Delta H_{\text{макс}}} = 2 \left( 1 - \frac{R_1}{R_2} + \frac{R_1}{R_H} - \frac{R_1}{R_B} \right) / \left( 1 \pm \frac{R_1}{R_2} \right)^2,$$

де  $R_B, R_H$  - радіуси кривизни внутрішньої та зовнішньої поверхень прокатуваної заготовки.

Аналіз одержаного рівняння показав, що із зменшенням відношення  $R_1/R_2$  максимальне обтискування під час прокатування у вал-

ках нерівного діаметру збільшується, що пояснюється зменшенням кутів зустрічі металу з поверхнями інструменту. Останнє особливо значне під час прокатування у системі валок-кільце, де максимальний обтиск може у 3...6 разів перевищувати такий для простого процесу прокатування.

Виконано експерименти за визначенням максимальних обтисків під час холодного прокатування зразків із сталей, міді та алюмінію у валках неоднакового діаметру. Результати експериментів добре узгоджуються з теоретичними висновками.

Одержано теоретичну формулу для розрахунку середнього контактного тиску металу на валки при прокатуванні у валковій системі валок-кільце. Аналіз формули показав, що із зменшенням відношення  $R_1/R_2$  середній контактний тиск зростає, що особливо істотно при його негативних значеннях, тобто під час прокатування в системі валок-кільце, де контактний тиск може в 1,5...3 і більше разів перевищувати таке, відповідне процесу прокатування у валках однакового діаметру. Останнє пояснюється в основному збільшенням опору течії металу в поздовжньому напрямку в зв'язку з відповідним зростанням довжини зони деформації.

Залежність розширення та зусилля прокатування від величини параметру  $R_1/R_2$  досліджували під час прокатування свинцевих штаб перерізом 3,8x3,8 мм з швидкістю 0,05 м/с. В усіх дослідях верхній валок приймали циліндричним діаметром 50 мм. Для одержання необхідних значень відношення  $R_1/R_2$  в якості верхнього валка використали циліндричні валки діаметром 50 і 75 мм, плоску плиту, а також кільця з внутрішніми діаметрами 70, 100 і 150 мм. Прокатування проводили без використання технологічних мастил. Зусилля прокатування вимірювали за допомогою тензометричних месдоз.

Аналіз одержаних даних показав, що із зменшенням  $R_1/R_2$ , а також із збільшенням відносного обтиску за прохід значення коефіцієнту розширення та зусилля прокатки зростають, що в основному пояснюється збільшенням довжини середньої дуги контакту і відповідним ростом сил опору подовжньої течії металу при прокатуванні. Для однакових відносних обтисків під час прокатування в системі валок-кільце коефіцієнт розширення у 1,2...1,5 і більше разів, а сила прокатування у 1,5...3,0 і більше разів перевищує ці значення для простого процесу прокатування.

Виконано експерименти з холодного плющення круглої катанки та дроту у валковій системі валок-кільце. Досліди показали, що цей інструмент дозволяє робити плющення металів і сплавів (без викорис-

тання зусилля заштовхування під час захоплювання)звідносними обтисками за прохід, складаючими 70...80 % і більше, що забезпечує збільшення ширини штаби при прокатуванні за один прохід у 2...3 і більше разів. Останнє при виготовленні холоднотягнутих прямокутних профілів дозволяє скоротити число проходів.

Дослідні значення розширення при плющенні порівняли з розрахунковими за формулою автора, одержаної для простого процесу прокатування. Аналіз показав, що при внесенні поправок, враховуючих реальну форму контактної поверхні, вона може бути використана і для розрахунку розширення при плющенні у системі валок-кільце.

Ефективніше використання плющення у системі валок-кільце при виробництві холоднотягнутих профілів. При цьому, за рахунок інтенсивного обтиску і підвищеного розширення необхідна заготовка для волочіння може бути одержана з круглого профілю меншого діаметру. Так, при виготовленні прямокутного дроту з міді марки МІ перерізом  $I \times I3,5$  мм плющення заготовки у системі валок-кільце дозволяє готовий холоднотягнутий профіль одержати за 3-4 переходи (замість 10 переходів)з скороченням одного проміжного відпау.

Висока захоплювальна здатність, інтенсивне розширення та підвищений гідростатичний тиск дозволяють ефективно використовувати систему валок-кільце і для прокатування фасоних профілів з металів та сплавів.

Виконано експерименти з холодного прокатування кутових, таврових і плоских профілів з алюмінію, сталі та свинцю в системі валок-кільце, де катаючий діаметр валка складав 200 мм, а кільця 280...300 мм. Прокатування проводилося з швидкістю 0,2 м/с.

Аналіз дослідних даних показав, що в системі валок-кільце за один прохід можна прокатати кутовий профіль, ширина полиці якого в 1,6...2 разів перевищує діаметр початкової заготовки. При аналогічному прокатуванні таврового профілю ширина підшви останнього в 2...2,6 разів перевищили діаметр заготовки. Тому, систему валок-кільце перспективно використовувати на міні-прокатувальних станах для прокатування в один або два проходи широкого сортаменту фасоних профілів.

Якщо під час прокатки в системі валок-кільце на виході з інструменту штабу не розгинати і безперервно змішувати вздовж осі валка, то одержуємо гвинтовий виріб (подібний гвинтовій циліндричній пружині). Такий процес розроблено для прокатування каркасів оболонки гнучких тросів управління агрегатами легкового автомобілю "Таврія", який дозволяє плющення круглого сталюого дроту та нави-

вання пружини об'єднати в один процес формозмінювання.

Розроблено також процес виготовлення гвинтових каркасів оболонок гнучких тросів з використанням двоступеневого безперервного плющення круглого сталюого пружинного дроту у двоклітьєвому прокатному стані з наступним згортанням плющеної стрічки в циліндричну гвинтову оболонку за допомогою формуючого пристрою.

Розв'язана задача по визначенню раціонального розподілу обтисків поміж клітьями плющильного стану, при цьому теоретичним шляхом визначено мінімальні обтиски у другій робочій клітьї стану, які забезпечують стійку роботу агрегату і високу якість виготовлених гвинтових виробів.

## 6. УПРОВАДЖЕННЯ РОЗРОБОК І ОСНОВНІ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ

На Запорізькому заводі "Дніпроспецсталь" упроваджені у виробництво оптимальні кути волочиння та волокошліфувальні (полірувальні) станки для обробки волок гнучкою ниткою, що дозволяє при волочинні прутків та дроту з спеціальних марок сталей і сплавів на 10 ... 15 % зменшити зусилля волочиння та витрату електроенергії, поліпшити якість продукції, скоротити витрату твердого сплаву і матеріалів.

На Запорізькому метизному заводі упроваджена технологія доведення твердосплавних волок на станах з гнучкою ниткою, що дозволяє підвищити стійкість волок в середньому у 2 рази, поліпшити якість дроту, одержати економію до 1 % металу, підвищити продуктивність волочильних станів. Ця технологія обробки волок упроваджена також на Дніпропетровському метизному виробничому об'єднанні.

Для волочиння круглих профілів розроблено три нові конструкції волок, які дозволяють зменшити трудомісткість вироблення волочильного інструменту. Одна з них - радіальна волока з оптимальною геометрією робочої зони упроваджена у ВО "Іжсталь" (м. Іжевськ).

На Запорізькому кабельному заводі (ЗКЗ) розроблено і упроваджено в виробництво технологію волочиння алюмінієвого прямокутного дроту з заготовки, одержаної методом лиття-прокатка. В результаті упровадження трудомісткість виготовлення дроту знижено у 2 рази, масу відходів металу знижено на 0,45 %, поліпшено якість продукції, зросла продуктивність волочильних станів.

На тому ж заводі розроблено і упроваджено у виробництво оптимальні параметри геометрії каналів волок для виготовлення прямо-

кутного дроту. В результаті, витрати на виготовлення волок знижено на 10,5 %, трудомісткість волочиння зменшено на 3,35 %, на 2 кг/т знижено витрату металу. Розроблена конструкція волоки для волочиння прямокутних профілів упроваджена також на 4-х заводах Російської Федерації.

На ЗКЗ також розроблено і упроваджено раціональні маршрути волочиння прямокутного дроту з міді та алюмінію. В результаті трудомісткість виготовлення 1 т дроту знижено: для міді - на 7,5 %, а для алюмінію - на 7,75 %. Витрату металу на виробництво 1 т дроту знижено: на міді - на 5 кг, на алюмінії - на 6 кг.

Розроблено спеціальну конструкцію складової волоки, дозволяючої знизити трудомісткість експериментального визначення оптимального співвідношення обтисків по сторонах протягнуваного прямокутного профілю. Розроблено також спеціальні конструкції пристроїв для експериментального визначення оптимальних кутів волочиння штаби.

Розроблено і упроваджено на Запорізькому кабельному заводі технологію волочиння прямокутного дроту з міді крізь здвоєні волоки, встановлені у різних волокоутримувачах. Упровадження технології дозволило підвищити стійкість чистових волок у середньому в 1,65 разів, а передчистових волок - в 1,9 разів, поліпшити якість готової продукції, одержати економію до 1 % міді, підвищити продуктивність волочильних станів.

На Запорізькому автомобільному заводі "Комунар" ВО "АвтоЗАЗ" розроблено і упроваджено в виробництво технологію прокатки каркасів оболонки гнучких тросів управління агрегатами легкового автомобіля "Таврія", що дозволило організувати виробництво гнучких тросів і з 1991 року відмовитися від імпорту цих виробів.

## В И С Н О В К И

1. Теоретичним та експериментальним шляхами вперше встановлено, що під час волочиння круглих профілів у волоку з прямолінійною твірною її робочої зони мінімальне напруження волочиння досягається при використанні не тільки оптимальних кутів волочиння, але й при наявності у волочильному каналі перехідної зони оптимальної протяжності, а при волочинні прямокутного профілю ще й при умові використання оптимальних співвідношень обтисків по протилежних сторонах перерізу протягнуваного виробу.

2. Для умов волочиння круглих та прямокутних профілів, час-

тіше маючих місце у практиці, оптимальні значення радіусу закруглення перехідної зони складають 80...150 % від діаметру товщини протягуваного профілю. Під час волочіння штаби з протинатягом, а також при низьких значеннях коефіцієнту тертя, оптимальна форма волочильного каналу близька до радіальної.

3. Наявність у волочильному каналі перехідної зони за рахунок виключення різких перегинань волокон металу, зменшення нерівномірності деформації і зниження контактного тиску дозволяє підвищити стійкість волок на знос, знизити витрату електроенергії, металу та матеріалів, зменшити рівень залишкових напружень у протягнутих виробках і поліпшити їх якість.

4. Одержано теоретичні формули для розрахунку напруження волочіння круглих та прямокутних профілів з урахуванням наявності у волочильному каналі перехідної зони, які перевірені за дослідними даними. Одержано також теоретичні значення оптимальних кутів волочіння, приведених радіусів закруглення перехідних зон, оптимальних обтисків ширини прямокутної штаби під час волочіння.

5. У виробничих умовах визначено оптимальні кути волочіння круглих та прямокутних профілів, оптимальних значень приведенного радіусу перехідної зони і оптимальних співвідношень обтисків по сторонах перерізу протягуваного профілю, які задовільно узгоджуються з теоретичними даними.

6. Розроблено способи абразивної обробки робочих каналів твердосплавних волок, котрі поряд з виготовленням перехідної зони дозволяють оптимізувати характер мікрогеометрії робочої поверхні волочильного каналу, що при волочінні низьковуглецевого сталюго дроту забезпечує підвищення стійкості волок в середньому у 2 рази.

7. Експериментальним шляхом визначено раціональні значення довжини калібруючої зони волоки, які упроваджені у виробництво на кабельному заводі.

8. Досліджено процес волочіння прямокутного дроту крізь здвоєні волокни, встановлені в різних волокоутримувачах. Знайдено значення раціонального розподілу обтисків між здвоєними волокнами, які забезпечують підвищення стійкості волок в середньому у 1,65...1,95 разів, дозволяють поліпшити якість продукції і збільшити продуктивність волочильних станів.

9. Одержано теоретичну формулу для визначення товщини шару

мастила на вході у зону деформації при волочінні. Розроблена теоретична модель процесу волочіння штаби в режимі змішаного тертя. Запропоновано раціональний склад технологічного мастила для волочіння прямокутного дроту з алмінію, який упроваджено у виробництво на кабельному заводі.

10. Розроблено новий метод визначення коефіцієнту тертя при волочінні штаби, який забезпечує одержання чисельних значень коефіцієнту тертя, добре узгоджується з дослідними даними інших дослідників.

11. Заготовку для волочіння прямокутних профілів з великим відношенням сторін поперечного перерізу доцільно виготовляти шляхом плющення круглого профілю в інструменті типу валок-кільце. При цьому за рахунок використання заготовки меншого діаметру при наступному волочінні є можливість скоротити до 7 переходів, значно знизити трудові, енергетичні та матеріальні витрати.

12. Виконано аналіз основних питань теорії прокатки у валковій системі валок-кільце. Встановлено, що за рахунок низьких кутів зустрічі металу з поверхнями інструменту максимальне обтискування при прокатуванні між валком і кільцем може в 2...6 і більше разів перевищувати таку для простого процесу прокатки, що обумовлює відповідне збільшення розширення металу і енергосилових параметрів процесу деформації.

13. Розроблено і упроваджено в виробництво на Запорізькому автомобільному заводі "Комунар" процеси прокатки гвинтових циліндричних каркасів оболонок гнучких тросів управління агрегатами легкового автомобілю "Таврія", що дозволило заводу відмовитися від імпорту цих виробів з-за кордону і у 1991 році одержати економію валюти на суму 268 тисяч доларів США.

14. Результати роботи з волочіння упроваджені у виробництво на Запорізькому метизному заводі, на Запорізьких кабельному заводі та заводі "Дніпроспецсталь", на Дніпропетровському метизному виробничому об'єднанні, а також на п'ятьох підприємствах: ВО "Іжсталь" (м. Іжевськ); організація п/с Г-4184; підприємство Мінважмашу; підприємство п/с А-1668; підприємство п/с М-5647 (м. Москва). При цьому за рахунок оптимізації геометрії та способів абразивної обробки волоочильних каналів, удосконалювання режимів деформації і маршрутів волочіння, а також за рахунок використання ефективних технологічних мастил поліпшено

якість холодноотягнутих профілів, одержано економію до 1 % чорних і до 2...3 % кольорових металів, збільшено продуктивність волоочильних станів.

Загальний річний економічний ефект за упровадженнями розробками (у цінах 1991 року) склав 1 млн. 325 тисяч карбованців.

Таким чином, у дисертаційній роботі вирішена велика народно-господарська проблема, забезпечуюча значне підвищення техніко-економічних показників технологічних процесів виробництва холодноотягнутих профілів та виробів з них.

Основний зміст дисертації опубліковано у наступних роботах:

1. Зыков Ю.С. Влияние уширения на среднее удельное давление металла на валки при горячей прокатке // Обработка металлов давлением: Сб. науч.тр. ДМетИ. - М.: Металлургия, 1967. - Вып.52. - С.190-198.

2. Оптимальный рабочий угол волоки при мокром волочении тончайшей стальной проволоки / Ю.С.Зыков, В.А.Николаев, В.К.Шиленко и др. // Бюл.ин-та "Черметинформация". - М., 1969. - № 23.- С.47.

3. Зыков Ю.С. Упрощенные формулы для расчета уширения при горячей прокатке // Металлургия и коксохимия: Обработка металлов давлением. - К.: Техника, 1970. - Вып.28. - С.32-36.

4. Зыков Ю.С. Некоторые вопросы теории волочения с жидкой технологической смазкой // Металлургия и коксохимия: Обработка металлов давлением. - К.: Техника, 1974. - Вып.40. - С.97-100.

5. Зыков Ю.С. Определение оптимальной скорости волочения // Металлургия и коксохимия: Обработка металлов давлением. - К.: Техника, 1974. - Вып.41. - С.103-105.

6. Зыков Ю.С. Исследование волочения прямоугольного профиля // Обработка металлов давлением: Сб. науч. тр. ДМетИ. - М.: Металлургия, 1976. - Вып.59. - С.372-378.

7. Зыков Ю.С. Оптимальная форма очага деформации при волочении прямоугольной полосы // Обработка металлов давлением: Сб.науч. тр. ДМетИ. - М.: Металлургия, 1967. - Вып.59. - С.379-383.

8. Зыков Ю.С., Кочетков А.А. Промышленные испытания технологических смазок при волочении прямоугольной проволоки из алюминия // Цветная металлургия: Бюл.ин-та "Цветметинформация". - М., 1976. - № 6. - С.31-33.

9. Зыков Ю.С. Волочение в режиме смешанного трения // Изв. вузов: Черная металлургия. - 1976. - № 4. - С.98-101.

10. Зыков Ю.С., Горовая Т.А. Взаимосвязь параметров процесса волочения прямоугольной полосы // Изв.вузов: Черная металлургия. - 1976. - № 10. - С.78-81.

11. *Zykov J.S. Fundamentals of the Theory of Rolling.*  
/Конспект лекций на англ.яз. - М.: Внешторгиздат, 1977. - 105 с.

12. Зыков Ю.С., Васильев А.Г., Кочетков А.А. Прогрессивная технология волочения прямоугольных профилей // Цветная металлургия: Бюл. ин-та "Цветметинформация". - М., 1978. - № 1. - С.28-31.

13. Зыков Ю.С. Исследование волочения прямоугольного профиля // Металлургия и коксохимия: Обработка металлов давлением. - К.: Техника, 1979. - Вып. II. - С.101-104.

14. Калибровка сортовой стали со смазкой в виде натриевого мыла / Ю.С. Зыков, А.Г. Васильев, И.А. Волков и др. // Черная металлургия: Бюл. ин-та "Черметинформация". - М., 1981. - Вып.16. - С.62-63.

15. Зыков Ю.С., Васильев А.Г., Кочетков А.А. Оптимальное соотношение деформаций при волочении прямоугольных профилей // Цветные металлы. - 1981. - № II. - С.46-47.

16. Зыков Ю.С., Васильев А.Г., Кочетков А.А. Влияние длины калибрующей зоны волокни при волочении полосы // Цветные металлы. - 1982. - № 4. - С.79-81.

17. Зыков Ю.С. Исследование комбинированной формы продольного профиля рабочей зоны волокни // Металлургия и коксохимия: Обработка металлов давлением. - К.: Техника, 1982. - Вып.78. - С. 107-115.

18. Зыков Ю.С. Условия захвата и уширение при деформации в валковой системе валок-кольцо // Цветные металлы. - 1983. - № 9. - С.83-85.

19. Оптимальные углы волок при калибровке стали / Ю.С.Зыков, А.Г.Васильев, И.А.Волков и др. // Металлург. - 1983. - № 2. - С.30-31.

20. Исследование волочения медной проволоки через сдвоенные волокни / Ю.С.Зыков, В.А.Николаев, С.П.Мезенцева и др. // Цветные металлы. - 1984. - № 1. - С.80-82.

21. Зыков Ю.С. Метод определения коэффициента трения при волочении // Изв.вузов: Черная металлургия. - 1984. - № 6. - С. 63-66.

22. Зыков Ю.С. Волока с оптимальным продольным профилем рабочей зоны // Цветные металлы. - 1985. - № 9. - С.74-76.
23. Зыков Ю.С. Оптимальные параметры процесса волочения прямоугольного профиля // Цветные металлы. - 1986. - № 2. - С. 71-74.
24. Зыков Ю.С., Коротя Л.С. Исследование коэффициента трения при волочении // Изв.вузов: Черная металлургия. - 1986. - № 8. - С.62-64.
25. Зыков Ю.С. Определение толщины слоя смазки при волочении // Изв.вузов: Черная металлургия. - 1987. - № 4. - С.52-53.
26. Резерв повышения производительности волочильных станов / Ю.С.Зыков, В.Г.Мицанин, В.Б.Гаврилов и др. // Сталь. - 1989. - № 4. - С.70-72.
27. Зыков Ю.С. Снижение трудоемкости при изготовлении тонких профилей проката // Цветные металлы. - 1989. - № 5. - С.106-108.
28. Зыков Ю.С. Определение оптимальных углов волочения полосы // Цветные металлы. - 1989. - № 8. - С.91-93.
29. Зыков Ю.С. Основы современной теории волочения простых профилей / Запорожский индустр.ин-т. - Запорожье, 1987. - 257 с. Библ. 42 назв. / Рус.деп. в УкрНИИТИ 27.09.89. - № 2110 - Ук 89.
30. Зыков Ю.С. Оптимальные углы волочения упрочняющегося металла // Изв.вузов: Черная металлургия. - 1990. - № 4. - С. 27-29.
31. Зыков Ю.С. Деформация металла при прокатке в системе валок-кольцо // Цветные металлы. - 1990. - № 8. - С.96-98.
32. Зыков Ю.С. Оптимальные параметры геометрии инструмента для волочения круглого профиля // Изв.вузов: Черная металлургия. - 1990. - № 10. - С.25-27.
33. Зыков Ю.С. Параметры очага деформации при прокатке в системе валок-кольцо // Изв.вузов: Черная металлургия. - 1990. - № 11. - С.34-35.
34. Зыков Ю.С. Контактное давление при прокатке в системе валок-кольцо // Проблемы металлургического производства. - К.: Техника, 1990. - Вып.103. - С.98-101.
35. Зыков Ю.С. Теория волочения сплошных профилей: Учеб. пособие. - К.: УМК ВО, 1991, - 116 с.
36. Зыков Ю.С. Интенсивная прокатка тонкостенных профилей // Цветные металлы. - 1991. - № 3. - С.62-63.

37. Зыков Ю.С., Прилуцкий О.В. Исследование прокатки винтовых заготовок // Сталь. - 1992. - № 1. - С.61-63.

38. А.с. 500846 СССР, МКИ В 21 С 1/00. Инструмент для волочения полосовых профилей / Ю.С. Зыков // Открытия. Изобретения. - 1976. - № 4. - С.18.

39. А.с. 622528 СССР, МКИ В 21 В 1/22. Инструмент для обработки давлением полосовых профилей / Ю.С. Зыков // Открытия. Изобретения - 1978. - № 33. - С.26.

40. А.с. 856605 СССР, МКИ В 21 С 3/02. Волока для волочения профилей / Ю.С. Зыков, А.Г. Васильев, А.А. Кочетков // Открытия. Изобретения. - 1981. - № 34. - С.34.

41. А.с. 1061876 СССР, МКИ В 21 С 3/08. Устройство для определения оптимального угла волочения / Ю.С.Зыков, А.Г.Васильев, А.А.Кочетков // Открытия. Изобретения. - 1983. - № 47. - С.36.

42. А.с. 1135516 СССР, МКИ В 21 С 3/08. Устройство для определения оптимального угла волочения / Ю.С.Зыков, С.П.Мезенцева, Л.Н.Коротя и др. // Открытия. Изобретения. - 1985. - № 3. - С.19.

43. А.с. 1271609 СССР, МКИ В 21 С 3/02. Волока / Ю.С.Зыков, В.А.Николаев, А.Г.Васильев и др. // Открытия. Изобретения. - 1986. - № 43. - С.50.

44. А.с. 1355310 СССР, МКИ В 21 С 3/08. Устройство для определения оптимального угла волочения / Ю.С.Зыков // Открытия. Изобретения. - 1987. - № 44. - С.32.

45. А.с. 1359040 СССР, МКИ В 21 С 3/02. Составная волока / Ю.С.Зыков // Открытия. Изобретения. - 1987. - № 46. - С.50.

46. А.с. 1454533 СССР, МКИ В 21 С 3/02. Волока / Ю.С.Зыков // Открытия. Изобретения. - 1989. - № 4. - С.52.

47. А.с. 1590724 СССР, МКИ Г 16 С 1/20. Способ изготовления троса Боудена / Ю.С.Зыков, О.В.Прилуцкий, А.Н.Седов и др. // Открытия. Изобретения. - 1990. - № 33. - С.153.

48. А.с. 1650306 СССР, МКИ В 21 С 3/02. Волока / Ю.С.Зыков // Открытия. Изобретения. - 1991. - № 19. - С.44.

49. А.с. по заявке № 4842254/27 от 28.05.90. Положит.решение от 11.10.91 / Ю.С.Зыков. Способ шлифования канала волоки.

50. А.с. по заявке № 4924052/27 от 01.04.91. Положит. решение от 13.11.91 / Ю.С.Зыков, А.Г.Васильев. Способ обработки канала волоки.

# Ав 27.964

51. По заявке № 5003387/27  
30.03.91 / О.В. Прилуцкий, Н.В.  
кач, Ю.С. Зыков. / Способ изгото

ст 02.08.91  
Чечель, А.М. Николаев, В.А. дер-  
вания гибкого троса привода.

71-74  
 39 А. А. С. 135000 СССР, МН В ЗИ С 302 // Октябрьская  
 40 А. А. С. 135000 СССР, МН В ЗИ С 302 // Октябрьская  
 41 А. А. С. 135000 СССР, МН В ЗИ С 302 // Октябрьская  
 42 А. А. С. 135000 СССР, МН В ЗИ С 302 // Октябрьская  
 43 А. А. С. 135000 СССР, МН В ЗИ С 302 // Октябрьская  
 44 А. А. С. 135000 СССР, МН В ЗИ С 302 // Октябрьская  
 45 А. А. С. 135000 СССР, МН В ЗИ С 302 // Октябрьская  
 46 А. А. С. 135000 СССР, МН В ЗИ С 302 // Октябрьская  
 47 А. А. С. 135000 СССР, МН В ЗИ С 302 // Октябрьская  
 48 А. А. С. 135000 СССР, МН В ЗИ С 302 // Октябрьская

Підписано до друку 08.02.93. 06'єм 2 д. л.  
 Заказ 396. Тираж 120 прим. Безкоштовно

---

330600 м. Запоріжжя, МСП-248, пр. Леніна, 226, Запорізький інду-  
 стріальний інститут

13.11.91 / О.В. Прилуцкий, Н.В. Кач, Ю.С. Зыков.  
 1991. - 3. - 38-39 С. // Октябрьская