

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ

Кафедра металургії

(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота (проект)

другий магістерський

(рівень вищої освіти)

на тему "Аналіз технології отримання
магнетитових руд металургією
основі аналитичних стадій"

Виконав: студент И курсу, групи 8.1369-МКМ-2
спеціальності 136-металургія

(код і назва спеціальності)

спеціалізації Металургія

(код і назва спеціалізації)

освітньої програми МКМ

(назва освітньої програми)

Гашко М. ІО

(ініціали та прізвище)

Керівник д.т.н. проф. Скачков В.О.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент д.т.н. проф. Прутичків

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя
20 20

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерний навчально-науковий інститут _____
Кафедра металургії
Рівень вищої освіти другий магістерський
Спеціальність 136-металургія
(код та назва)
Спеціалізація _____
(код та назва)
Освітня програма металургія кольорових металів

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри [підпис]
« 01 » 09 2020 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЄКТ) СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Ташкоф Дмитро Дмитрович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проєкту) Аналіз технології отримання
магнетитових порцанних заливочок
на основі алюмінієвих сплавів

керівник роботи Д.В.Е. доц. Скаков В.О.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від « 9 » 10 2020 року № 1568-С

2 Строк подання студентом роботи 30.11.2020 г.

3 Вихідні дані до роботи Алюмінієві високолегкі сплави,
технологія виробництва, контролювання, Аналізування процесу
виробництва порцанних заливочок

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) характеристики алюмінієвих сплавів, методи та технологія
виробництва порцанних заливочок алюмінієвих сплавів

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) властивості алюмінієвих сплавів, технологія виробництва
сплавки, розрахункова схема кристалізації, розрахункова
схема кристалізації, основні параметри металургійного процесу,
закономірності добування кристалізаторів з алюмінієвої шихти
методів розливу, схема модуля безперервного розливання металу

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	проф. Скажков В.О		
2	проф. Скажков В.О		
3	проф. Скажков В.О		

7 Дата видачі завдання 01.09.2020

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Функціональні характеристики автоматичних стабілізаторів	01.09.2020	
2.	Методи та механізми виробництва міді	22.10.2020	
3.	Виробництво алюмінієвих трубчатих прецизійних технологій	21.11.2020	
4.	В оформлення графічного матеріалу	1.12.2020	

Студент (підпис) К.С. Пашкова (ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проєкту) (підпис) В.О. Скажков (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер (підпис) Р.М. Волер (ініціали) та _____ прізвище

РЕФЕРАТ

Розрахунково-пояснювальна записка: 70 сторінок, 15 рисунків, 4 таблиці, 51 джерел літератури.

МАЛОГАБАРИТНІ ТРУБКИ, ВОЛОЧІННЯ, АЛЮМІНІЄВІ СПЛАВИ, ПОЛУ БЕЗПЕРЕРВНЕ РОЗЛИВАННЯ, ПРИЦЕЗІЙНА ТОЧНІСТЬ, ХАРАКТЕРИСТИКИ МІЦНОСТІ, ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРУЖНОСТІ.

Тема магістерської роботи: «Аналіз технології отримання малогабаритних трубчатих заготовок на основі алюмінієвих сплавів».

У першій частині представлено характеристики алюмінієвих сплавів легованих рідкоземельними металами. Достатньо повно розглянуто вплив хімічних елементів на властивості алюмінію.

У другій частині представлено способи волочіння трубок та технологіях виробництва труб. Досліджено точність геометричних параметрів труб.

В третій частині розглянуто виробництво алюмінієвих трубок прецизійної точності. Проведено розрахунок технологічних параметрів для забезпечення прицезійної точності трубок.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 ФУНКЦІОНАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ.....	9
1.1 Ливарні алюмінієві сплави.....	9
1.2 Високоміцні алюмінієві сплави, що деформуються.....	11
1.3 Алюмінієві сплави леговані рідкоземельними металами.....	14
1.4 Вплив хімічних елементів на властивості алюмінію.....	16
1.5 Аналіз способів отримання труб.....	18
2 МЕТОДИ ТА ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА ТРУБ.....	21
2.1 Способи волочіння трубок.....	21
2.2 Гвинтова прокатка.....	25
2.3 Точність геометричних параметрів труб.....	37
2.4 Структура трубопрокатних цехів.....	40
3 ВИРОБНИЦТВО АЛЮМІНІЄВИХ ТРУБОК ПРЕЦИЗІЙНОЇ ТОЧНОСТІ.....	47
3.1 Напівбезперервне лиття малогабаритних трубок.....	47
3.2 Розрахунок технологічних параметрів.....	49
3.3 Забезпечення прицевійної точності трубок.....	56
3.4 Прицевійна точність трубок малого діаметру.....	58
ВИСНОВКИ.....	65
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	66

ВСТУП

У сучасній техніці широко застосовують сплави на алюмінієвій основі, які за технологічними властивостями поділяють на три групи: ливарні сплави, з яких виготовляють деталі ливарним способом; сплави, що деформуються, з яких виготовляють різні напівфабрикати прокатуванням, пресуванням, волочінням, куванням і штампуванням; сплави, що одержують способом порошкової металургії.

Високоміцні алюмінієві сплави характеризуються високою міцністю (600...700 МПа), але меншою пластичністю, ніж дуралюмін, і містять, крім міді, мангану і магнію, цинк та хром. Таки сплави застосовують для безперервного лиття круглих та плоских заготовок, які в подальшому піддають гарячій або холодній обробці тиском. Для підвищення міцності та спеціальних характеристик такі сплави термічно обробляють [1].

Алюмінієві сплави плавлять в електричних тигельних печах або у відбивних полум'яневих та індукційних агрегатах. Як шихтові (вихідні) матеріали використовують чушки та злитки алюмінію різних марок, відходи власного виробництва та легувальні метали. Широко застосовують також лігатури (сплави основного металу з легувальними елементами). Лігатури одержують заздалегідь такого хімічного складу, щоб температура їхнього плавлення була нижчою за температуру рідкого сплаву [2, 3].

Розливання трубок малого діаметру з алюмінієвих сплавів може бути реалізоване в металевому трубчастому кристалізаторі (усередині кристалізатора знаходиться стержень) із зовнішнім охолодженням в середовищі рідини або газу.

Мета роботи: надати аналіз методів отримання трубок малого діаметру, вибрати раціональну марку алюмінієвих сплавів та розробити технологію отримання трубок.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно вирішити такі завдання:

1. Провести всебічний аналіз методів отримання цельносформованих труб.
2. Надати аналіз алюмінієвих сплавів по їх функційним характеристикам.
3. Розробити методики розрахунків полубезперервного розливання малогабаритних трубок з алюмінієвих сплавів.
4. Розробити технологію та провести її експериментальну перевірку по виробництву малогабаритних трубок прицезійної точності.

Об'єкт дослідження: фізико – механічні закономірності в процесах формування трубок прицезійної точності.

Предмет дослідження: технологія отримання заготовок малогабаритних трубок та їх доведення до прицезійної точності.

Методи дослідження: математичне моделювання процесів витягування малогабаритних трубок з розплаву, оцінка впливу методів волочіння на характеристики пружності та міцності, розрахунково – експериментальне забезпечення прицезійної точності.

Наукова новизна:

1. Запропонована можливість підвищення функційних характеристик високоміцних алюмінієвих сплавів шляхом мікролегування рідкоземельними металами.
2. Розроблена методика розрахунку технологічних параметрів полубезперервного розливання малогабаритних трубок з алюмінієвих сплавів.

3. Встановлено механізми підвищення упругих та міцностних характеристик трубок в процесі волочіння.

4. Встановлено механізми формування прицевійної точності малогабаритних трубок та надано їх математичне описання.

Практичне значення:

1. Відпрацьована технологія отримання алюмінієвих трубок прицевійної точності.

2. Запропонована схема модуля безперервного розливання – волочіння трубок малого діаметру.

3. Визначено вплив анодного зміцнення на пружні характеристики малогабаритних трубок.

4. Встановлено механізми формування анізотропії трубок в процесі різних видів волочіння.

Апробація результатів роботи: результати досліджень, які включено до кваліфікаційної магістерської роботи, доповіли на конференції кафедри металургії.

Відомості про публікації:

Танцюра М.Ю. Аналіз технології отримання малогабаритних трубчатих заготовок на основі алюмінієвих сплавів / М.Ю. Танцюра, О.Р. Бережна, В.О. Скачков / Матеріали XXV науково-технічної конференції студентів, магістрантів, аспірантів, молодих вчених та викладачів. ІННІ ЗНУ. – Запоріжжя:ЗНУ. – 2020 р. С.29 – 30.

Структура і об'єм роботи. Кваліфікаційна робота магістра складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 51 найменувань, викладена на 70 сторінках машинописного тексту, включаючи 15 рисунків, 4 таблиці.

1 ФУНКЦІОНАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ

1.1 Ливарні алюмінієві сплави

Ливарні алюмінієві сплави використовують для отримання фасонних відливань. Завдяки своїм високим ливарним властивостям можна отримувати деталі різних форм.

До ливарних алюмінієвих сплавів відносяться: АЛ4М, В124(Al-Si-Cu-Mg); АЛ7 (Al-Cu); АЛ19 (Al-Cu-Mn). Основні механічні властивості цих сплавів показані на рис.1.1. [1].

Ливарні сплави мають хороші ливарні властивості, але низькі прочностные властивості (твердість, міцність, пластичність). Що також не може бути використане для вирішення поставленого завдання в дисертаційній роботі. Оскільки вже готова продукція не задовольнятиме необхідним вимогам. Потрібний абсолютно новий алюмінієвий сплав, в якому б поєднувалися як високі прочностные, так і високі пластичні, ливарні властивості.

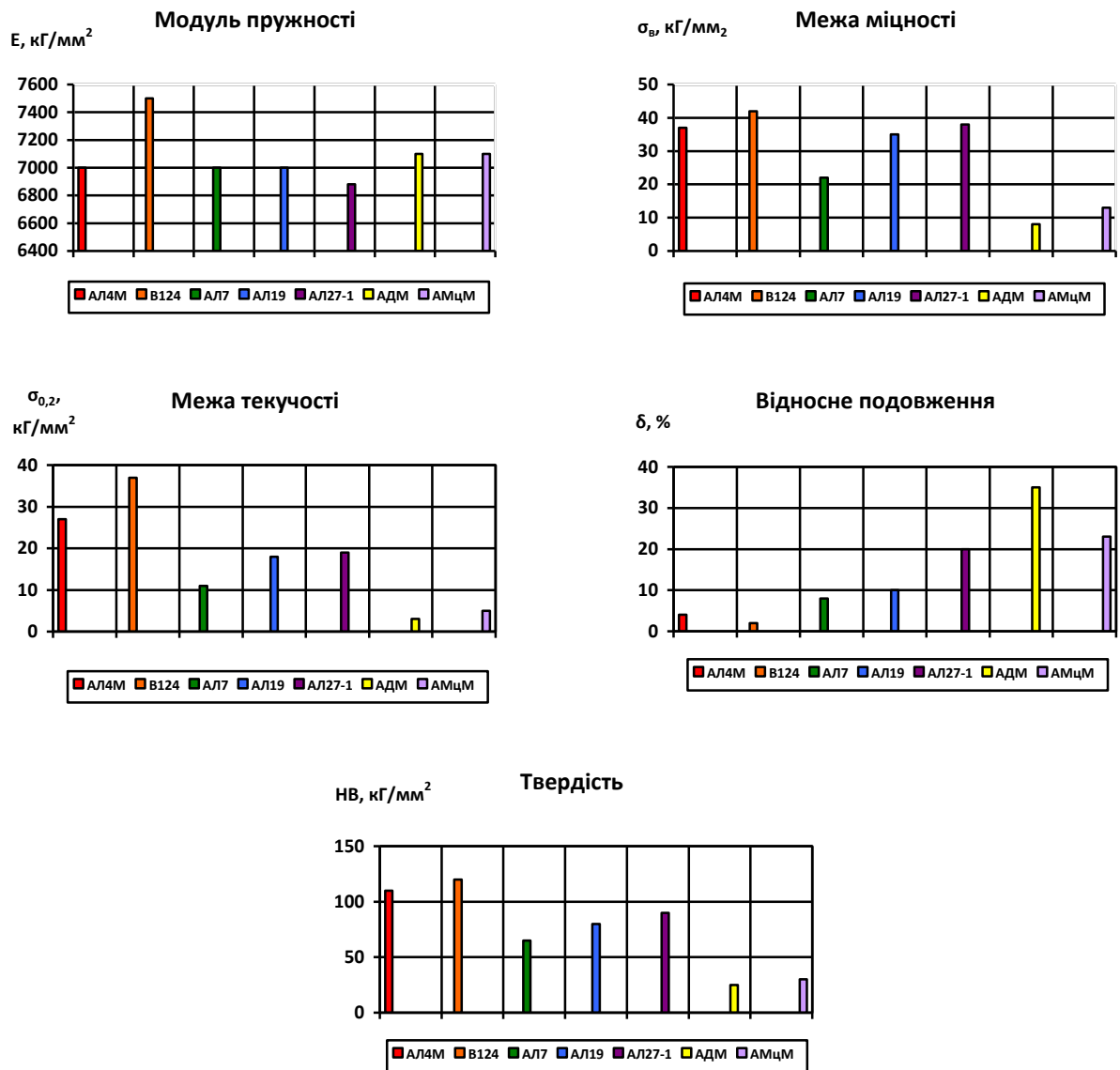


Рисунок 1.1 - Діаграми основних механічних властивостей ливарних алюмінієвих сплавів

1.2 Високоміцні алюмінієві сплави, що деформуються

Завдання роботи - отримання трубок малого діаметру прецизійної точності з алюмінієвих сплавів. Трубки мають бути досить міцними. Метод отримання їх включає обробку тиском.

Високоміцні алюмінієві сплави, що деформуються, використовують в промисловості для отримання різних металевих конструкцій, болтів, лопатей літаків, бурових труб для нафтових свердловин та ін.

Розглянемо основні відомі високоміцні алюмінієві сплави, що деформуються. До високоміцних сплавів, що деформуються, відносяться Д16 (Al-Cu-Mg), В95 (Al-Zn-Mg), В95 (Al-Zn-Mg-Cu), ВАД23 (Al-Cu-Li). Основні механічні властивості цих сплавів показані на рис. 1.2. [1].

До високоміцних сплавів також відносяться силуміни. Белов Н.А., Белов В.Д. що вивчали підвищення міцності силумінів, дійшли висновку, що підвищити більше ці прочностные характеристики вже не можна.

Для поліпшення властивостей алюмінієвих сплавів застосовують різні технології. Так в статті Болотова Е.М. описується новий вертикальний гартівний агрегат у виробництві авіаційних штампувань із сплавів 7050 із застосуванням водополімерного середовища АQ-260. Горизонтальне загартування плит з алюмінієвих сплавів також значно покращує якість продукції.

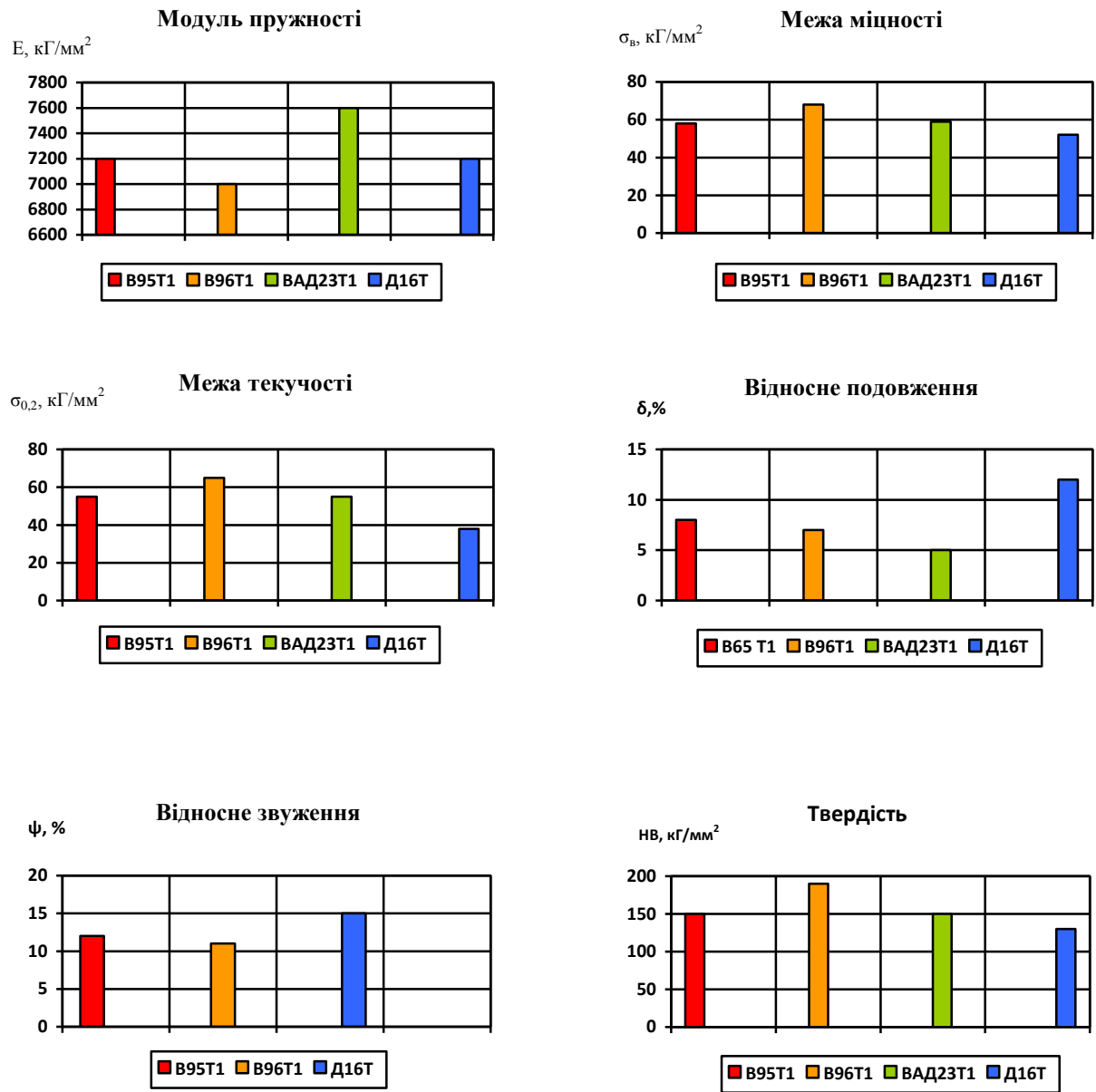


Рисунок 1.2 - Діаграми основних механічних властивостей високоміцних сплавів, що деформуються

По рис. 1.2 порівнюючи представлені сплави, можна сказати, що сплав В96Т1 в порівнянні з іншими сплавами має найбільш високі прочностні характеристики і твердість. Але з найменшими пластичними властивостями. Сплав Д16Т найменш готується, але пластичніший, а модуль пружності у нього вищий, ніж у міцніших сплавів В96Т1 і В95Т1.

Температура є одним з визначальних чинників що міняє властивості металів і сплавів. Так в статті Леонова В. В. наводяться експериментальні і розрахункові ці зміни мікротвердості металів залежно від температури.

Для отримання вищої міцності сплави термічно обробляють. Сплав Д16Т - загартування і природне старіння, а для сплавів В95Т1, В96Т1 і ВАД23Т1 - загартування і штучне старіння.

Відпал так само один з видів термічної обробки металів і сплавів. Мета цієї обробки, зміцнення металу або сплаву. Наприклад, в статті Чуфистова О. Е. описується відпал холоднодеформованого сплаву Al - 06 % (мас.) Zr і А7Е без цирконію. Після відпалу покращувалися механічні властивості цих сплавів, але міцність легованого цирконієм алюмінію була значно більше в порівнянні з нелегованим. Можна зробити висновок, що зміна механічних властивостей залежить не лише від виду термічної обробки, але і хімічного складу сплаву.

Від того наскільки правильно підібрана і розроблена технологія виробництва, багато в чому залежить якість отримуваної продукції. Це підтверджує стаття Єфремова В. П... Технологія по оптимізації хімічного складу сплаву, параметрів приготування і литва дозволила отримувати якісніші зливки високоміцного конструкційного алюмінієвого сплаву В96ц-Зпч використовуваного в авіабудуванні.

У іншій статті Семенихин А.И. також приділяється особлива увага технології виробництва. Завдяки впровадженню у виробництва нових технологій литва злиwkів, а також освоєнню нового устаткування для гомогенізації покращала конкурентоспроможність продукції.

Розглянуті сплави можна використовувати для отримання трубок малого діаметру прецизійної точності. Вирішуючи поставлену задачу дисертаційної роботи. Трубки мають бути високоміцні і їх можна отримувати методом холодної деформації.

Але за пластичними і пружними властивостями ці сплави не задовольняють необхідним вимогам. Оскільки трубки ще мають бути досить пружними. Методика отримання початкової трубної заготовки так само передбачає напівбезперервне розливання в кристалізатор з повітряним охолодженням. А ливарні властивості високоміцних сплавів дуже низькі. Для отримання трубок малого діаметру методом литва потрібний сплав з високими ливарними і пластичними властивостями.

1.3 Алюмінієві сплави леговані рідкоземельними металами

З літературних даних відомо про легування алюмінію і алюмінієвих сплавів рідкоземельними металами (РЗМ). Розчинність РЗМ в алюмінії знаходиться в інтервалі [2] від 0,001-0,5 % до 8-10 %. Розчинність залежить від типу РЗМ, температури розчинення, електронегативністю і особливостями кристалографічної структури алюмінію і РЗМ. Наводяться досвідчені дані про вплив РЗМ на магнієві, алюмінієві і мідні сплави [2]. Так досягається модифікування структури (подрібнення зерна), підвищення механічних властивостей, до збільшення рідкотекучості, зменшення мікропористості.

У статті Савицького Е.М. і Грибуля В. Би. розглядається питання про прогнозування зв'язку хімічних елементів з рідкоземельними металами за допомогою ЕОМ [3]. Методика прогнозування полягає внесенням в ЕОМ даних про елементарну будову атомів відомих елементів періодичної системи. Ця вказівка розподілу електронів по енергетичних станах кожного хімічного елементу. В результаті отримані ці прогнозування про з'єднання трьох типів АВ, А₂В, А₃В - за участю РЗМ, де А і В - РЗМ або один з

елементів періодичної системи. Деякі з отриманих даних підтверджені експериментальним шляхом. Що підтверджує існування зв'язку між утворюваними хімічними зв'язками елементів періодичної системи і РЗМ від будови атомів, тобто розташуванням електронів по енергетичних рівнях.

Іншою статтею [4], що підтверджує вплив РЗМ на властивості алюмінієвих сплавів, мікроструктуру, що змінює його. Розглядається питання про модифікування алюмінію і алюмінієвого сплаву АЛ7 перехідними металами. При модифікуванні перехідними металами подрібнюється зерно алюмінію і його сплавів. Існують ефективніші модифікатори і менш ефективні. Це залежить, як відзначалося і в інших статтях від електронної будови модифікатора і металу, що модифікувався. Модифікуючий метал сприяє утворенню зародків у формі карбідів або алюмидов в металі, що модифікується. Механізм подрібнення зерна представлений таким чином. При охолодженні металу утворювані угруповання атомів алюмінію і перехідного металу більше стійкі і міцні, чим у однорідних угруповань атомів алюмінію. Такі угруповання можуть бути зародками, що викликають кристалізацію алюмінієвого сплаву. У статті наводяться досвідчені дані, що підтверджують запропонований механізм зміни мікроструктури (подрібнення зерна).

Найбільшу модифікуючу здатність мають елементи, початкуючі періоди в періодичній системі і такі, що мають найбільшу дефективність d - рівня. З вище изложеного слідує, що скандій є найкращим модифікатором. Модифікуюча здатність знижується від скандію до нікелю. Показником модифікуючої здатності, являється число зерен що доводяться на 1 см^2 . Так у скандію воно максимальне, при легуванні АВ000 воно дорівнює 1090 на 1 см^2 , а АЛ7 - 900; для титану, АВ000 і АЛ7 - 900; V, АВ000 - 400, АЛ7 - 625 і т. д. Дані дослідів підтверджують передбачуваний механізм подрібнення зерна у алюмінію і алюмінієвих сплавів при легуванні РЗМ.

Про позитивний вплив РЗМ на алюмінієві сплави відомо вже давно. В основному в літературних джерелах наводяться дані про деякі РЗМ

алюмінієвих сплавів, що впливають на механічні властивості, покращуючи їх. Також наводяться дані, про можливу сферу їх застосування. Але, на жаль, немає дані про технологію легування, обробки і кінцеве застосування отриманого сплаву в готовій продукції.

1.4 Вплив хімічних елементів на властивості алюмінію

Для легування алюмінієвих сплавів застосовують всього 5 елементів – 4 метали (Mg, Cu, Zn, Li) і напівпровідник - кремній. Зміцнення сплавів при легуванні досягається за рахунок утворення в розплаві твердого розчину та виділення зміцнюючих фаз в його матриці.

Частинки, які не розчиняються при цьому, утворюють в сплаві інтерметаліди: Mg_2Si , $CuAl_2$, Al_2CuMg , $Al_2Mg_3Zn_3$, Al_3Mg_2 тощо – або знаходяться в структурі металу у вигляді чистих елементів (Si, Bi, Cd, Pb, Sn).

Магній підвищує корозійну стійкість алюмінієвих сплавів. При цьому незначно знижується пластичність литого металу. Сплави алюмінію з магнієм мають широке застосування і належать до системи Al-Mg (магналії), які термічно не зміцнюються.

Мідь суттєво знижує корозійну стійкість алюмінію та його сплавів. Тому кількість міді в сплавах обмежують. Алюмінієві сплави, що леговані міддю (дюралі), зміцнюються при термічній обробці і належать до жароміцних.

Цинк при введенні з іншими добавками, особливо з магнієм та міддю, суттєво впливає на властивості сплавів.

Сплави систем Al-Zn-Mg і Al-Zn-Mg-Cu після термічної обробки мають найбільш високу міцність серед усіх, що існують.

Кремній забезпечує високі ливарні властивості сплавів, що пов'язано з утворенням у сплавах системи Al-Si (силуміни) евтектичної складової.

Силуміни – це широко розповсюджені ливарні сплави на основі алюмінію. Подвійні силуміни термічно не зміцнюються. Уведення в силуміни магнію та міді дозволяє підвищувати їх механічні властивості шляхом гартування з наступним старінням сплавів. Тому на практиці використовуються здебільшого багатокомпонентні силуміни на основі систем Al-Si-Mg і Al-Si-Cu-Mg.

Літій як легувальний елемент силумінів почали використовувати в останні роки. Основні характеристики, які забезпечує введення літію у сплав, це підвищення модуля пружності та питомої міцності литого металу. Окрім основних легувальних елементів у промислові алюмінієві сплави вводять невеликі добавки інших металів.

Малими добавками називають легувальні компоненти, вміст яких у сплавах не перевищує 1% по масі. У якості таких добавок використовують Mn, Ti, Zr, Cr, V, Ni, Be, Cd, B, Sc тощо.

При введенні в розплав цих елементів у невеликій кількості (до десятих часток відсотка) подрібнюються та рівномірно розподіляються зерна в сплавах.

Найбільш ефективно диспергують алюмінієві сплави скандій, титан та цирконій, особливо при введенні їх разом із бором. Підвищену жароміцність ливарним сплавам надають добавки марганцю, цирконію та хрому. Включення цих елементів або їх інтерметалідів на 30-50% збільшують жароміцність сплавів.

Сплави на основі алюмінію поділяють на дві підгрупи: ливарні та ті, що деформуються. Найкращі ливарні властивості мають сплави, склад яких близький до евтектичного (11-12% кремнію). Основною структурною складовою сплавів, що деформуються, є α -твердий розчин на основі алюмінію з невеликою об'ємною часткою інтерметалідів.

1.5 Аналіз способів отримання труб

Труби виготовляють із заготівель або гільз різними способами (плющенням, волочінням, пресуванням і зварюванням). Заготівлі і гільзи отримують із злиwkів прошивкою (на прошивних косовалкових або на пресувальних станах). По цих методах труби отримують безшовними. Окрім зварних труб, у яких є шов по усій довжині. [6].

Для прошивки заготівлі або зливка застосовують прошивні стани (гвинтове плющення). Також на цих станах проводять подовження прошитих гільз, зменшення або збільшення діаметру готової труби. Валяння таких станів мають бочкоподібну, дискову або грибоподібну форму.

При гвинтовому плющенні розкриваються зовнішні дефекти і утворюються плени, це відбувається із-за скручування заготівлі.

Іншим способом отримання труб із заготівлі (гільзи) являється подовжнє плющення. Такий метод застосовується з використанням оправляння або без оправляння в круглому калібрі.

При плющенні труб без оправляння відбувається сплющення труби. При плющенні з оправлянням сплющення обмежується.

Подовжнє плющення із застосуванням різних оправлянь так і без оправлянь відрізняється нерівномірністю деформації по ширині калібру. Що негативно впливає на точність отримуваних труб.

Безперервне плющення і редукування, ще один з видів виготовлення труб. Полягає в послідовному розташуванні прокатних станів. Стани необхідно розташовувати на невеликій відстані один від одного, для запобігання розриву труб. Плющення проводиться як із застосуванням оправляння, так і без неї. При такому виді плющення має бути добре відрегульований увесь технологічний процес, оскільки метал, що деформується, в кожному подальшому стані може проходити як з підпором (переднім або заднім) так і з натягненням. Що негативно позначається як на самому процесі, так і на якості отримуваної продукції.

Пресування дозволяє проводити деформацію металу з великими мірами обтискання. Відрізняються труби високою якістю і точністю в порівнянні з іншими способами обробки тиском. За допомогою пресування отримують гільзи із заготівель, так само прошивають зливки. Для труб відповідального призначення застосовують свердління, замість прошивки. Оскільки при прошивці виникає значна нерівномірність деформації, це негативним чином впливає на якість отримуваних труб. Ще одним негативним моментом є те, що готові труби отримувані пресуванням мають обмежену довжину.

Для отримання труб малого діаметру в основному застосовують волочіння. Волочіння дозволяє отримувати труби високої геометричної точності і чистотою поверхні. Такий спосіб деформації металу дає широкий діапазон сортаменту труб по діаметру і товщині стінки : від десятих доль міліметрів до 400-500, діаметр і від сотих доль міліметрів до 30-40 мм товщина стінки труби.

Відрізняють такі види волочіння труб : без оправляння, на нерухомому (короткою) оправлянні, на рухливому (довгою) оправлянні, на плаваючому (що самоустанавлюючоїся) оправлянні і волочіння труб роздачею. Частенько технологічний процес отримання труб включає декілька видів волочіння, на різних етапах. Це дозволяє поліпшити якість готової продукції.

Існує ще один спосіб отримання труб - це зварювання. Порівняно з плющенням, зварюванням економічніше вигідно отримувати труби. Яким би способом зварювання не отримували трубу, властивості зварного шва труби, відрізняються від властивостей труби в цілому. Оскільки шов більше рихлий (пористий), тому менш пластичний, крихкий, менш надійний за прочностним характеристиками. Це пов'язано із-за перепадів температур на різних ділянках труби, в зоні шва і віддаленіших зонах від шва. Усі ці моменти негативно позначаються на якість і властивості зварних труб.

У зварному шві також накопичується велика кількість шкідливих домішок в порівнянні з основним металом, наприклад кисень.

Структура зварного шва відрізняється від основного металу, голчастою структурою і крупнозерниста будова.

2 МЕТОДИ ТА ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА ТРУБ

2.1 Способи волочіння труб

Труби з алюмінію і його сплавів виготовляють переважно за схемою пресування-волочіння.

Холодним волочінням отримують труби, що мають високу якість і чистоту зовнішньої і внутрішньої поверхонь, а також точні геометричні розміри по діаметру і товщині стінки.

Показники якості можуть бути розділені на керовані і некеровані. Відмітна особливість керованих показників якості полягає в тому, що вони можуть змінюватися в процесі виробництва. До таких показників слід віднести текстуру металу після деформації, точність геометричних розмірів труб, кривизну труб в подовжньому напрямі та ін. Необхідні зміни цих показників можна отримати, змінюючи вид і режим обробки. Некеровані показники якості в течії даного технологічного процесу не можуть бути змінені. До таких показників слід віднести, наприклад, хімічний склад оброблюваного металу.

Показники якості труб слід розрізняти за характером оцінки на вимірні і незмірні. Вимірні показники якості включають геометричні показники точності труб : внутрішнього і зовнішнього діаметру, товщини стінки, овальності, подовжньої і поперечної разностенности, подовжньої кривизни. При описі механічних властивостей металу використовують величини тимчасового подовження і звуження, ударної в'язкості і твердості. Вимірними показниками є текстура металу, величина зерна і шорсткість поверхні, глибина залягання дефектів.

До незмірних показників якості холоднодеформованих труб слід віднести: наявність на внутрішній і зовнішній поверхнях рисок, тріщин, раковин і інших дефектів, порушення сплошности металу при технологічних випробуваннях на сплющення, роздачу і бортование або вигин.

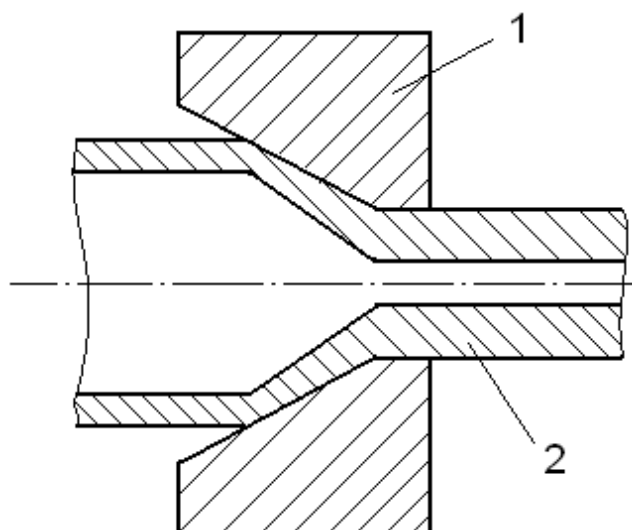
Для підвищення якості труб потрібно вдосконалення існуючих технологічних процесів, конструкції устаткування і застосування нових процесів, робочого інструменту.

1 Волочіння труб без оправки

До недоліків волочіння труб без оправляння слід віднести те, що внутрішній діаметр і товщина стінки труби піддаються змінам, непіддатливим регулюванню, внаслідок чого на них встановлені великі допуски.

Багатоповерхівне волочіння призводить до виникнення неоднорідності розподілу пластичних властивостей матеріалу по перерізу труби.

На трубах з малою початковою разностенністю всерівно спостерігається збільшення поперечної разностенності. Тому при виготовленні труб високої точності слід уникати завершення циклу виготовленням таких труб безоправочним волочінням і тим більше його значної деформації.



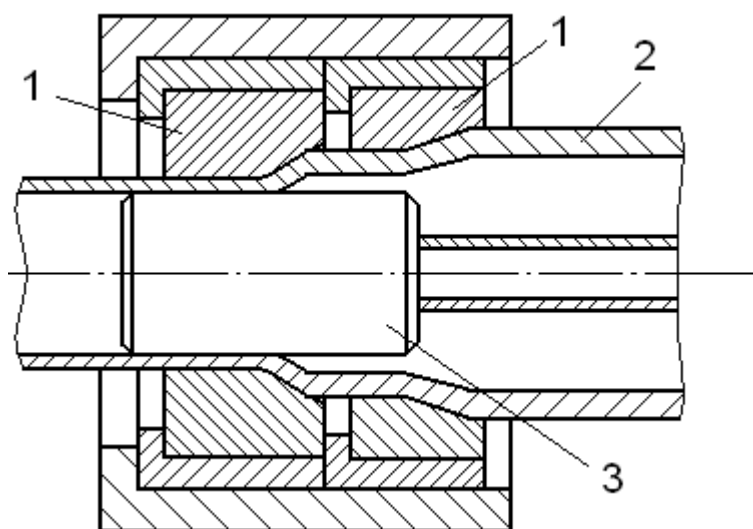
1 – волока; 2 – труба

Рисунок 2.1 - Волочіння труб без оправки

При безоправочном волочінні в трубах з'являється залишкова напруга, що призводить до викривлення труб. Найбільший вплив на кривизну труб робить неспіввісність труби з волоокою і різностенність заготівлі.

2 Волочіння труб на нерухомій оправці

Неоднорідність пластичних властивостей металу труби, наявність подовжньої і поперечної різностенности і відхилення геометричної форми поперечного перерізу, а також залежність коефіцієнта тертя від відносної швидкості контактуючих поверхонь призводить до зміни величини сили тертя в процесі волочіння. Це викликає коливання оправляння у вогнищі деформації, що призводить до появи хвилястості внутрішньою і зовнішньою поверхонь труби і подовжньої різностенности. В деяких випадках виникають обриви оправляння або труби, руйнування елементів конструкції стану. Тому необхідно знижувати швидкість волочіння, покращувати підготовку поверхні труб, застосовувати твердосплавний інструмент і так далі.



1 – волока; 2 – труба 3 – нерухома оправка

Рисунок 2.2 - Волочіння труб на нерухомій оправці

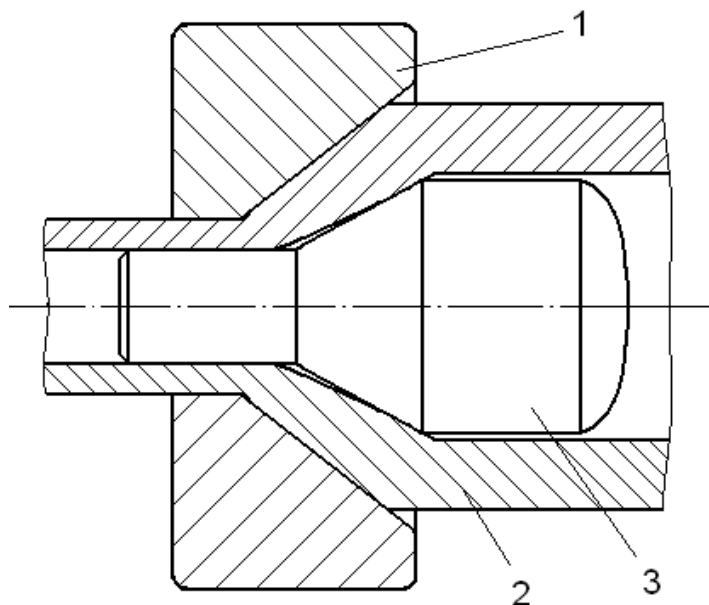
При волочінні на нерухомому оправлянні доцільно використовувати заготовлю з меншою разностенністю.

3 Волочіння труб на рухливій оправці

До недоліків процесу слід віднести наявність великою порівняно з волочінням на нерухомому оправлянні зони редукування.

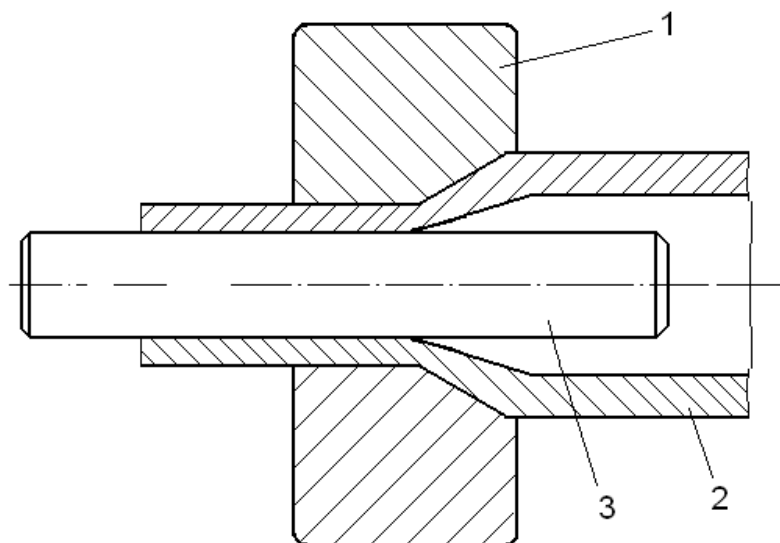
До достоїнств процесу слід віднести відсутність кривизни труб після волочіння.

Основним недоліком процесу являється необхідність застосування операції відділення і витягання оправляння з труби. Операція відділення оправляння від труби не дозволяє отримувати іноді точні розміри труби і призводить до поперечної разностенности. Внаслідок цього при виробництві труб, що мають підвищені вимоги до точності розмірів, після волочіння на рухливому оправлянні слід робити їх калібрування. Також недоліками є великі витрати часу на налаштування механізмів обкатки труб, а також високі вимоги до стабільності розмірів оправлянь по довжині. Парк оправлянь на стані дуже обмежений.



1 – волока; 2 – труба 3 – самовстановлююча оправка

Рисунок 2.3 - Волочіння труб на самовстановлюючій оправці



1 – волока; 2 – труба 3 – рухливе оправка

Рисунок 2.4 - Волочіння труб на рухливій оправці

2.2 Гвинтова прокатка

При гвинтовій прокатці [3, 29, 30], як й при поздовжній, основне формозмінення металу відбувається за рахунок сил тертя на поверхні контакту з валком в осередку деформації. Відмінність полягає в тому, що заготівка та готовий виріб, окрім поступального, здійснюють й обертальний рух довкола своєї вісі в процесі деформації.

Гвинтовий рух забезпечується розворотом вісей робочих валків на кут подачі відносно вісі заготівки та однаковим напрямом обертання валків. Деформація відбувається за рахунок того, що відстань між робочими поверхнями прокатного інструменту в напрямку гвинтового руху металу зменшується.

Гвинтову прокатку широко застосовують в процесах обробки металів тиском, та в першу чергу, при виробництві труб, для здійснення наступних операцій:

- 1) отримання полої гільзи з суцільної заготівки або зливку на прошивних станах різних типів – прошивка;
- 2) подовження прошитих гільз або отримання готової труби з полої заготівки за рахунок зміни зовнішнього діаметру та товщини стінки – розкатування;
- 3) зменшення діаметру готової труби – калібрування;
- 4) збільшення діаметру готової труби – розширення;
- 5) зменшення діаметру вихідної заготівки суцільного перетину – прокатка вісей та валів;
- б) виробництва спеціальних виробів – шарів, ребристих труб, шестерен тощо.

Валки прошивних станів мають спеціальну конфігурацію, що забезпечує наростання обтиснення по довжині осередку деформації, сприятливі умови для захоплення металу валками та розкриття порожнини.

Для прошивки суцільних заготівок та злиwkів в гільзи на станах гвинтової прокати застосовують бочкоподібні, дискові та грибовидні валки. Найбільше розповсюдження отримала схема прошивки в двохвалковому стані з бочкоподібними валками.

Бочкоподібні валки мають форму двох усічених конусів, що повернуті друг до друга великими сторонами (рис.2.5, а).

Вісь симетрії прошивного стану з валками такого типу як правило суміщена з віссю прошивки (віссю прошиваємої заготівки).

Вісь валків розташована в вертикальних площинах, що паралельні вісі симетрії стану. В вертикальній площині вісь валку складає з віссю прошивки (віссю симетрії стану) кут, що має назву кутом подачі. Величина цього кута складає 4-12°, в останній час почали застосовувати підвищені кути подачі (15-18°).

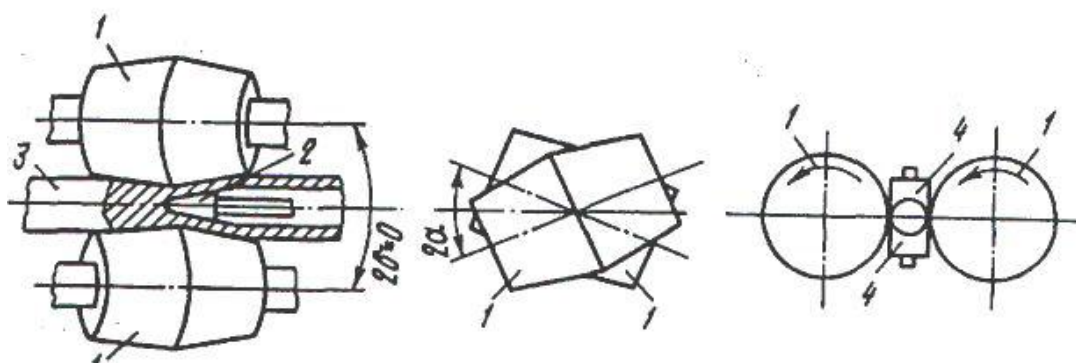
Валки обертаються в одному напрямку. Метал поступає в стан зі сторони станини та рухається вздовж валків, одночасно обертаючись відносно своєї вісі.

Для утримання прокатуємого металу в визначеному положенні відносно робочих валків, симетрично вісі прошивки встановлюються неприводні направляючі ролики та лінійки.

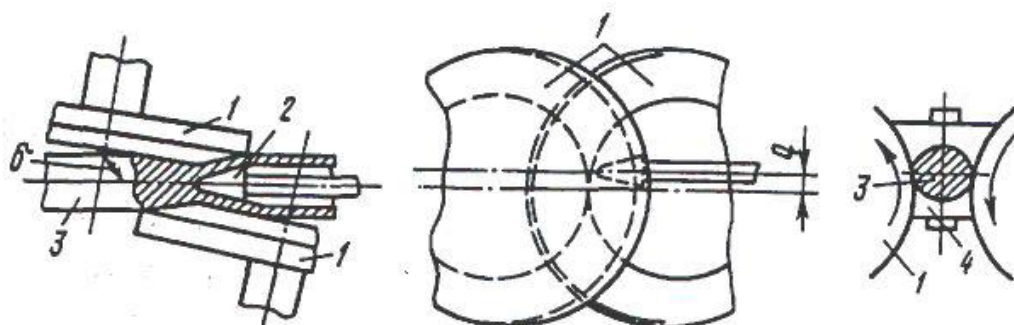
Знаходять застосування стани з бочкоподібними валками зі зміщеною віссю прошивки відносно вісі симетрії стану.

Дискові валки представляють собою сполучення конусу з циліндром (рис.2.5, б). Робоча поверхня валків утворюється меншою стороною та боковою поверхнею конусу. Наявність циліндричної частини валку підвищує його міцність.

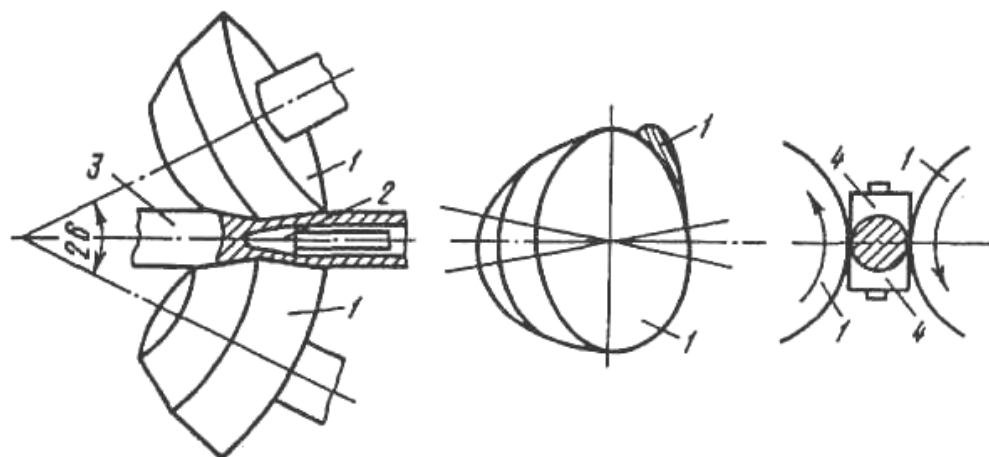
Грибовидний валок (рис.2.5, в) представляє собою два конуси, причому конус з більшим кутом нахилу утворюючої є вхідним, а конус з меншим кутом – вихідним. Діаметр валку від входження до виходу заготівки збільшується, що створює сприятливі умови для збільшення швидкості виходу гільзи з валків та зменшення скручування заготівки в валках.



а



б



в

а – дискові валки; б – бочкоподібні валки; в – грибовидні валки;

1 – валки; 2 – оправка; 3 – заготівка; 4 – лінійка;

Рисунок 2.5 – Схеми прошивних станів гвинтової прокатки

При прошивці в косовалкових станах гільзу зовнішнім діаметром D_2 , товщиною стінки S_2 та довжиною L_2 отримують з суцільної круглої заготовки діаметром D_3 та довжиною L_3 .

На рис.2.6 представлено осередок деформації прошивного стану, що обмежений по довжині площиною входження заготовки I-I та площиною виходу гільзи IV-IV.

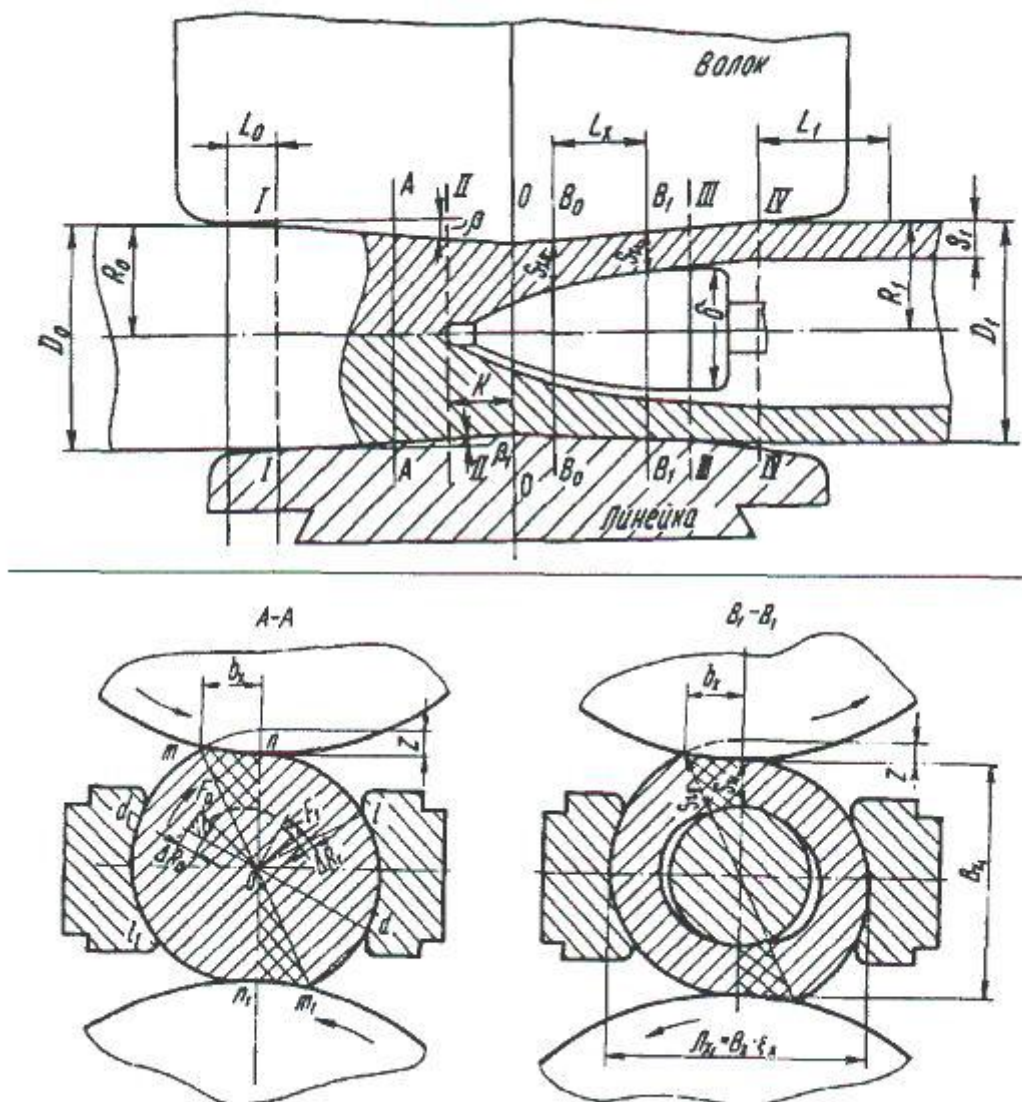


Рисунок 2.6 – Осередок деформації при гвинтовій прокатці

В поздовжньому перетині осередку деформації прошивного стану можна виділити наступні ділянки:

- 1) ділянка прошивки від площини I-I до II-II;
- 2) ділянка розкатки на оправці від площини II-II до III-III;
- 3) ділянка безоправочного редукування гільзи від площини III-III до IV-IV.

В поперечному перетині осередку деформації також можна виділити характерні зони:

- 1) зона контакту з робочим валком, де відбувається основна деформація;
- 2) зона контакту з лінійкою, де відбувається додаткова деформація;
- 3) позаконтактна зона.

На ділянці прошивки в наслідок деформації відбувається процес розпушення вісевої зони заготовки, що може призвести до руйнування металу та утворення порожнини ще до зустрічі заготовки з оправкою.

Подібний характер деформації пояснюється нерівномірністю розподілу її по перетину заготовки, що призводить до схеми напруженого стану з переважаючою дією розтягуючих напружень. В сполученні зі знакозмінною дією напружень на кожен елемент металу в наслідок обертання заготовки утворюються сприятливі умови для руйнування вісевої зони.

Експериментально встановлено, що на руйнування металу в конусі прошивки має вплив обтиснення по діаметру та кількість циклів часткових деформацій. Необхідно вести процес з мінімально можливим сумарним обтисненням перед носком оправки при максимально можливих часткових деформаціях.

На ділянці розкатки деформація подібна процесу поздовжньої прокатки на станах тріо, де роль третього неприводного валку грає оправка, а процес деформації йде в двох горизонтах.

В наслідок обтиснення по стінці від Sx_0 до Sx_1 метал отримує подовження в напрямі обертання та поширення в напрямі вічевого переміщення.

При цьому відбувається процес округлення (овалізації) заготовки, який полягає в тому, що внаслідок поперечної розкатки метал відходить від оправки в позаконтактній зоні та зоні дії направляючої лінійки.

На ділянці розкатки в зоні контакту з лінійкою відбувається деформація редукуванням стінки, яка тим більша, чим менша відстань між лінійками.

На ділянці безоправочного редукування деформація йде в зоні контакту металу з валком. На цій ділянці овальний перетин перетворюється в круглу гільзу.

Потрібно відмітити, що в процесі прошивки можлива деформація в позаконтактних зонах та також відбувається значна деформація скручування металу за рахунок невідповідностей швидкостей металу та робочого валку в кожному перетині.

Положення вісі валку визначають технологічні кути: кут подачі та кут розкатки .

Робочі валки мають, як правило, декілька конусних ділянок, причому кут нахилу утворюючої вхідного конусу також відноситься до технологічних кутів.

На рис.2.7 приведена схема осередку деформації в площині, що проходить крізь вісь заготовки та точку контакту (меридіональна площина).

В процесі гвинтової прокатки заготовки підлягає скручуванню, що виникає внаслідок різної швидкості обертання в суміжних перетинах. На станах з бочкоподібними валками зі збільшенням діаметру валку зменшується діаметр заготовки та збільшується скручування, а від перетиску діаметр валку зменшується та збільшується діаметр заготовки, що призводить до скручування її в іншу сторону.

Скручування металу при прошивці – негативний фактор, тому що воно визиває появу додаткових напружень в металі, особливо в його крайніх шарах, що сприяє розкриттю дефектів та утворенню зовнішніх плівок, а також збільшує витрату енергії на прошивку.

В основному величина та напрям скручування залежать від різності величин відношення радіусу валку R до радіусу заготовки r впродовж довжини розглядаємої ділянки.

Величина скручування заготовки може бути охарактеризована кутом повороту розглядаємого перетину відносно його початкового положення.

Умова захоплення металу валками на станах гвинтової прокатки має велике теоретичне й практичне значення для розробки та вдосконалення технологічного процесу прокатки труб, а також розрахунку таблиці прокатки й калібрування валків [29].

При прошивці на косовалкових станах розрізняють дві стадії захоплення: первинне захоплення, тобто момент первісного контакту заготовки з валками, коли заготовка отримує обертальний та поступальний (осьовий) рух, та вторинне захоплення – момент зустрічі заготовки з оправкою, коли заготовки зазнає опір осьовому переміщенню.

Первинне захоплення визначається умовами, що забезпечують обертання та осьове втягування заготовки.

В перший момент задавання заготовки в стан гвинтової прокатки зминаються кромки торця заготовки, утворюючи ділянки дії сил.

Сила тиску валків на метал визиває сили тертя, що направлені в сторону виходу заготовки, тобто будуть втягувати її в осередок деформації (рис. 2.7).

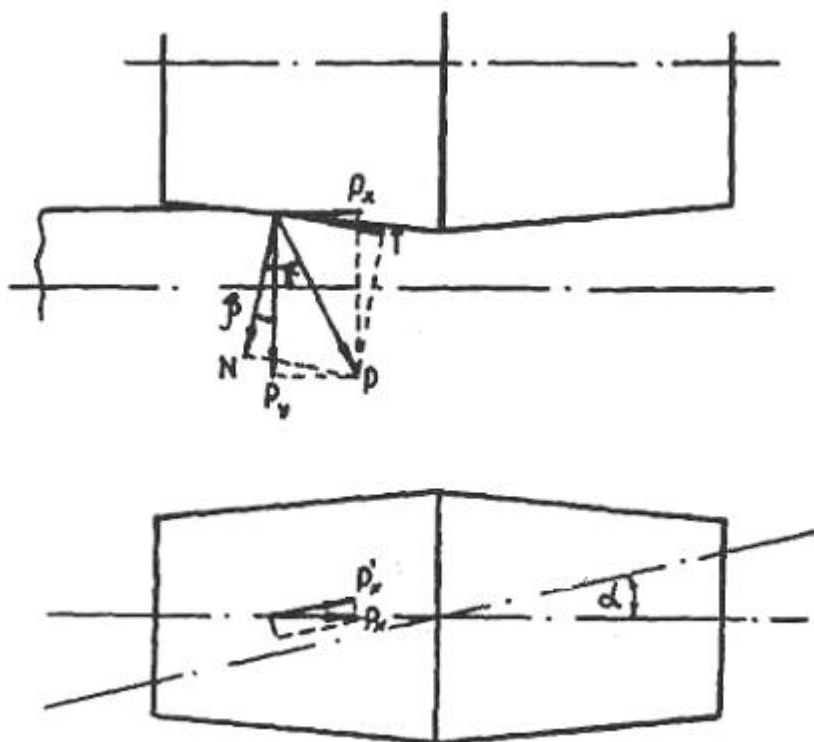


Рисунок 2.7 – Схема сил, що діють в осередку деформації в момент захоплення заготовки валками вісь валку

Проведені теоретичні та експериментальні дослідження показують, що на початкове захоплення заготовки додатково впливають значення осевого зусилля, що приложене до заднього кінцю заготовки та тривалість його дії з тим, щоб окружна швидкість досягла свого критичного значення. Крім цього, швидкість та зусилля вштовхування заготовки в валки по можливості повинна бути мінімальною.

Вторинне захоплення починається в момент контакту заготовки з оправкою, що створює осевий опір поздовжньому просуванню заготовки. Вторинне захоплення здійснюється, якщо втягуюче зусилля в осередку деформації перевищує опір оправки.

Величина втягуючих зусиль визначається величиною сумарного обтиснення заготовки перед оправкою. Мала величина обтиснення може привести до того, що втягуючі сили не зможуть подолати осевий опір

оправки, а велика величина обтиснення може визвати передчасне розкриття порожнини та появу дефектів на внутрішній поверхні гільз.

З технологічної точки зору, оптимальним є ведення процесу прошивки з мінімальними обтисненнями перед носком оправки.

Однак це можливе лише в випадку, якщо не будуть порушені умови вторинного захоплення заготовки на оправці. Порушення цих умов в випадку, якщо опір оправки перевищує зусилля подачі в осьовому напрямку, призводить до припинення осьового просування заготовки при впровадженні в неї носку оправки, або по мірі заповнення ділянки робочого профілю оправки. Триваюче обертання заготовки призводить до закату оправки.

Для здійснення вторинного захоплення обтиснення перед носком оправки, що встановлюється при настроюванні стану, повинно перевищувати деяку його мінімальну величину, яка повинна забезпечити створення сил подачі, що перевищують силу опору оправки або рівною їй. Експериментальні дані показують, що найбільш небезпечний момент вторинного захоплення – впровадження носку оправки в метал, причому граничні умови захоплення спостерігаються при прошивці нецентрованих заготовок. Схема сил, що приложені до заготовки у вказаний момент, приведена на рис.2.8.

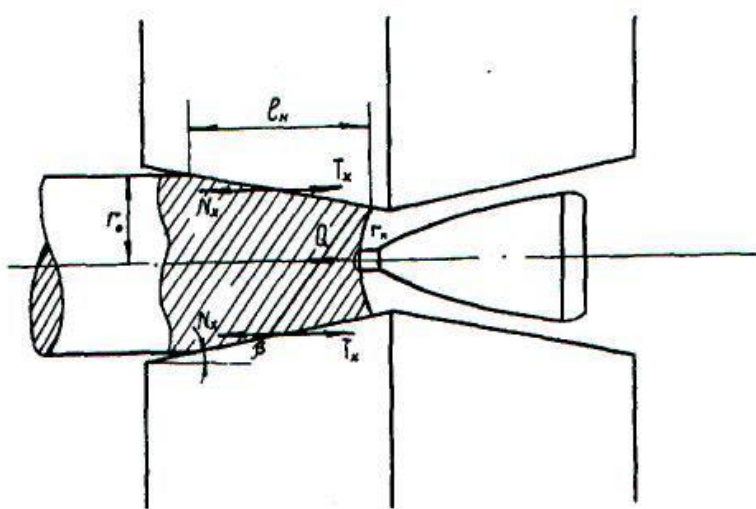


Рисунок 2.8 – Схема сил, що діють на заготовку у момент входження в метал носку оправки

П.Т. Ємельяненко [4] висловив припущення про утворення порожнини внаслідок виникнення в осьовій зоні заготівки напружень різного знаку та механічних зрушень. Суміжні частки осьової зони за кожен повний оберт заготівки двічі наближуються та двічі віддаляються одна від одної при потраплянні на велику вісь.

Внаслідок цього відбувається розривання зв'язку між окремими частками матеріалу, спостерігається утворення тріщин.

На рис.2.9 показані епюри напружень та схеми напруженого стану при поперечно-гвинтовій прокатці за даними В.С. Смірнова та І.А. Фомічева [3].

Аналізуючи результати багаточисельних теоретичних та експериментальних досліджень, можна прийти до висновку, що в теперішній час існують різні точки зору відносно причин та механізму розкриття порожнини при поперечній та гвинтовій прокатці.

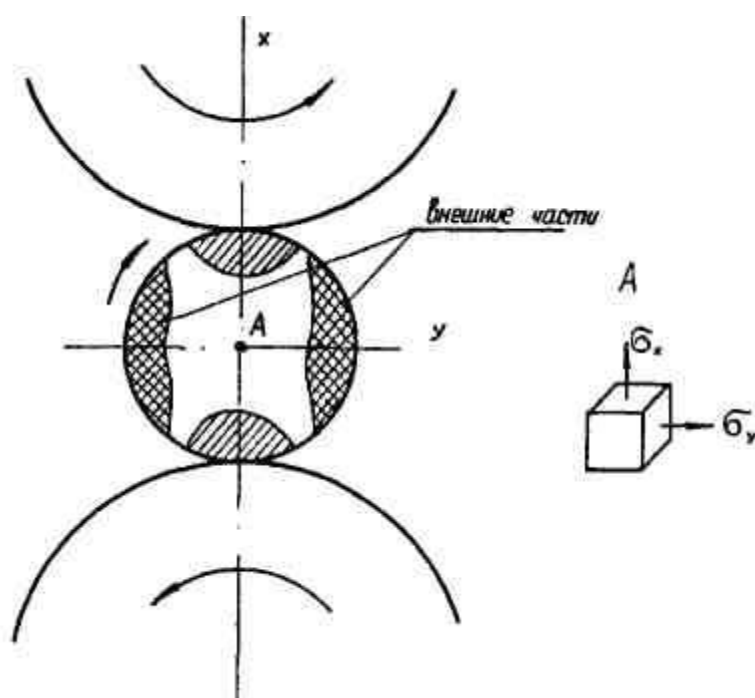


Рисунок 2.9 – Схема напруженого стану при поперечній прокатці

Відмінності зводяться до розглядання схеми напруженого стану та до механізму руйнування.

Відмінності зводяться до розглядання схеми напруженого стану та до механізму руйнування.

Згідно однієї точки зору, порожнина розкривається внаслідок в'язкого руйнування або руйнування зрізу від дії сколюючих напружень, що виникають внаслідок прикладення до заготовки основних зовнішніх навантажень.

За іншою точкою зору, порожнина утворюється внаслідок крихкого руйнування або руйнування шляхом відриву під дією нормальних розтягуючих напружень, що виникають під впливом нерівномірності деформації заготовки в поперечному перетині.

Основна умова правильного ведення процесу прошивки – деформування заготовки з обтисненнями меншими за критичні, тобто без розкриття порожнини перед носком оправки.

Збільшення критичного обтиснення призводить до запобігання передчасного розкриття порожнини та поліпшення якісних показників процесу прошивки.

На величину критичного обтиснення та схильність металу до утворення порожнини оказують вплив різні фактори процесу, основні з яких наступні:

- нерівномірність деформації та окреме співвідношення між поперечною та поздовжньою деформаціями;
- кількість часткових обтиснень (циклів деформації) та температурно-швидкісні умови;
- пластичні властивості металу, що характеризуються хімічним составом, структурою та температурним режимом деформації;
- вплив оправки та умов деформації металу в осередку, що створений оправкою та валками

2.3 Точність геометричних параметрів труб

Одним з показників точності труб, являється точність зовнішнього і внутрішнього діаметру труб. Залежить вона від різних чинників: технологічний процес, налаштування стану, температурний режим, вид металу, знос інструментів. Якщо ще змінивши налаштування стану, температуру і так далі можливо вплинути на точність в тій чи іншій мірі. Те технологічний процес забезпечує тільки ту точність, на яку розрахований при усіх правильно налагоджених чинників налаштування стану, температурний режим і так далі.

Для визначення точності зовнішнього діаметру труб проводять виміри: зовнішнього діаметру поперечного перерізу труби, визначають середні значення діаметру уздовж труби і відхилення середніх діаметрів труб.

В деяких випадках на певний вид труб обмовляються вимоги по точності зовнішнього діаметру в перерізі (овальність). Дається ГОСТ на допуски по овальності труб. Тому завершальною операцією при виготовленні труб є правка, здійснювана на правильному стані.

Значення діаметру по довжині труби може мінятися, наприклад, при битті валків редуційного стану або калібрувального станів, що входять до складу установок для гарячого плющення труб, при цьому висота калібру змінюється.

Для холоднодеформованих труб в правці немає необхідності, оскільки вона погіршує показники точності зовнішнього діаметру труб.

Для гарячекатаних труб підвищеної точності по Госту допускається зовнішній діаметр труб до 50 мм $\pm 0,35$ мм.

Для труб, виготовлених на агрегатах з тривалковим станом гуркоту - $\pm 0,5\%$.

Можна зробити висновок, що за цією технологією неможливо отримати труби необхідної нам високої точності.

Для виміру товщини стінки використовують частіше мікрометр.

Якщо на початковій гільзі або заготівлі труби існує погрішність по товщині труби, то надалі ця погрішність (разнотолщинність) росте. Навіть якщо разнотолщинність нульова із-за недосконалості технологічного процесу отримання труб виникає погрішність по товщині труби.

Для гарячекатаних труб допуски по ГОСТу по товщині стінки труб до 15 мм $\pm 10\%$ і від 15 до 30 мм $\pm 8\%$.

Для труб, отриманих на агрегатах з тривалковим розкатним станом $\pm 6\%$.

При аналізі отримання труб на існуючих агрегатах, розглянувши кожного з етапів отримання і впливу технології на точність труб можна простежити зміни точності товщини стінки труб.

Перший етап отримання труб, це прошивка заготівлі на прошивному стані і отримання порожнистої гільзи і суцільної заготівлі. Разностенність гільзи на кінцях найбільша (20-25%) далі по довжині вона зменшується (10-12%). Це пов'язано з нерівномірністю нагріву, яку повністю усунути не можна. А також від технологічних чинників, пов'язаних з налаштуванням стану і калібруванням інструменту.

Наступним етапом отримання труб, являється розкочування гільз. Навіть при геометрично правильній гільзі, труби виходять з разностенністю. На автоматичному стані разностенність 18-22%. На семиклітьовому безперервному стані - 18-20%. При гвинтовому плющенні, якщо разностенність заготівлі дорівнює нулю, після плющення разностенність рівна 3-5%.

Калібрування і редукування це завершуюча операція отримання труб гарячим плющенням. Разностенність росте при початковій разностенности менше 13% і при більшій - знижується.

На агрегатах з автоматичним станом отримують труби діаметром 57-530 мм з товщиною стінки від 3,5 до 75 мм. Іноді більшого або меншого діаметру. На цих станах отримують труби з разностенністю 18-22% з гільз що не мали практично разностенности.

Діаметр труб отримуваних на агрегатах з пилигримовим станом дорівнює від 114 до 665 мм з товщиною стінки від 2,5 до 8 мм. Навіть при нульовій разностенности ділянки гільзи, після плющення з'явилася разностенность 6-10%.

На агрегатах з тривалковим станом гуркоту роблять труби діаметром 63-200 мм з товщиною стінки 7-50 мм. Труби вироблювані на цьому стані використовують для виготовлення кілець підшипників. Допуск точності труб по діаметру дорівнює +0,2 мм. Досягається ця точність завдяки обточуванню. При обточуванні знімається 1,5-3 мм шару металу, а труби більшого діаметру - до 5 мм.

На агрегатах з безперервним станом прокатують труби діаметром 16-170 мм і завтовшки стінки 2-25 мм. Поперечна разностенность труб складає від 3 до 18%. Подовжня разностенность лежить в межах +0,66 до - 0,32%. [5]

Гарячим плющенням не може бути забезпечена висока точність труб, тому застосовують деформацію в холодному стані.

Діаметр труб отримуваних холодною деформацією складає 0,3 мм до 450 мм і завтовшки стінки від 0,1 до 40 мм.

Діаметр труб прокатаних на станах ХПТ 16-450 мм, з товщиною стінки від 0,75 до 30 мм. Разностенность труб в основному з'являється із-за існування разностенности заготівлі і особливостями витягу. Навіть якщо початкова разностенность була до 0,7-1,2% отримані труби з разностенностью до 3-6,5 %.

На станах ХПТР (роликові стани холодного плющення) отримують труби діаметром 4-120 мм і завтовшки стінки менше 3 мм. В овальному калібрі разностенность не перевищує 6-8%. При коливанні товщини стінки заготівлі $\pm(5,15-11,9)\%$ поперечна разностенность 4-8%; для готових труб $\pm(11,4-16,8)\%$, 8,7-11,8%.

Отримання труб безоправочним волочінням в основному діаметром до 20 мм. Якщо поперечна разностенность заготівлі рівна 2,15% після волочіння готової труби вона буде 4,88%.

При волочінні на короткому оправлянні при подовжньої разностенности заготівлі рівної 1,13 мм, разностенность готової труби дорівнює 0,07 мм.

Існуючі технології отримання труб прецизійної точності, мають великі допуски по товщині стінки в порівнянні з поставленим завданням дисертаційної роботи. Тому потрібний абсолютно новий підхід і технологія отримання труб малого діаметру з алюмінієвих сплавів прецизійної точності.

2.4 Структура трубопрокатних цехів

Залежно від способу виробництва трубні цехи поділяються на: трубопрокатні (гаряча прокатка безшовних труб), трубосварочні (грубна, електричних машин, газова і газоелектросварка труб), трубоволоочильні (холоднотягнуті труби). Виробничий процес припускає подовжню і поперечну (з прольоту на проліт) передачу труб в процесі обробки, що дозволяє розташовувати технологіч. обладнання в будівлях прямокутної форми в плані з паралельним розташуванням прольотів, переважно однієї висоти.

Важке і громіздке обладнання трубних цехів встановлюється на фундаментах, не пов'язаних з конструкцією каркаса. Будівлі вирішуються одноповерховими, багатопроектними з опорними мостовими кранами, забезпечують потреби експлуатації, ремонт та заміну обладнання. Розстановка обладнання підпорядкована послідовності технологіч. операцій. Отд. агрегати об'єднуються з допомогою передавальних пристроїв (рольганги, шлепиери тощо) виробництв, лінії.

У відокремлено стоять агрегатів і верстатів розміщуються проміжні міжопераційні склади пакетів або партії труб до їх обробки.

Велика різноманітність видів сталевих труб і способів їх вироб-ва обумовлює різноманіття будівельних рішень трубних цехів, к-рие поділяються на неск. осн. груп

Трубопрокатні цехи з гарячою прокаткою безшовних труб включають неск. послідовно розташованих станів, що виконують певний цикл операцій.

При виробництві безшовних гарячекатаних труб широке поширення отримали трубопрокатні установки з автоматич. табором, у тому числі: малі установки (типу 140) для труб діаметром 60-140 мм, з товщиною стінки 3-20 мм середні установки (типу 250) для труб діаметром 102-250 мм з товщиною стінки 3,5-45 мм; великі установки (типу 400) для труб діаметром 127-426 мм з товщиною стінки 4-60 мм.

Для безшовних труб застосовуються катані і литі заготовки. Виробництво безшовних труб складається з послідовних операцій: підготовка металу до прокатці (перевірка з метою виключення дефектів, розкрій для отримання певної довжини і центрування для прошивки шляхом висвердлювання або вдавлення бойка в торець заготовки); нагрів металу в печах (залежно від марки сталі тими-ра нагріву 1150-1280°C); прошивання заготовки в гільзу (на прошивном стані); прокатка труб (на ряді послідовно розташованих установок), обробка (розрізання, правка, нарізка, випробування і т. д.), приймання і здача труб на склад готової продукції.

Сучасний цех безперервної прокатки труб складається з двох паралельно розташованих блоків, з'єднаних в одному кінці поперечним прольотом. У першому блоці розміщується склад заготовок, награват. печі та лінія станів: прошивного, безперервного, калібрувального і редуційного. У другому блок розміщується обладнання безперервної лінії обробки труб, установки для термич. обробки, травлення і склад готової продукції. Зв'язуючою ланкою між блоками є охолоджувальний стіл, розташований в поперечному прольоті.

Планування цеху у вигляді літери «П» забезпечує гарну аерацію гарячих прольотів, допускає перепад висот приміщень в отд. блоках але технологич. вимогам, але ускладнює стронтельноз рішення. Всі поздовжні прольоти маю г ширину по 30 м. Позначки підкранових: шляхів: у гарячому блоці 10 м, в холодному (опоряджувальному) блоці 8 м. Поперечний проліт

холодильника має ширину 36 м і висоту (до підкранової колії) 8 м. Розміри прольотів і висот, кранові навантаження та інтенсивність тепловиділень допускають влаштування несучих та огорожувальних конструкцій поздовжніх прольотів з уніфікованих збірних залізобетонних елементів, за винятком ділянки холодильника, де застосовують сталеві несучі конструкції.

Будівля цеху опалюється. Для аерації гарячих ділянок передбачаються аэра - таційні ліхтарі на покрівлі і новоротные щити в стінах.

Більш вдале рішення трубопрокатного цеху. Цех складається з п'яти суміжних прольотів (4 прольоти по 30 м і один проліт 36 ж), довжина цеху 270 м. Підкранові шляхи розташовані на позначці 8 і 10 м. Крок колон (зовнішніх рядів - 6 м, внутрішніх - 12, 18, 24 м) обумовлений розташуванням і габаритами технологич. обладнання. До одного з торців цеху примикає адміністративно-побутовий корпус.

Технологічний процес цехів безперервного пічного зварювання заснований на формуванні та зварювання труб з попередньо нагрітій смугової сталі (штрипса). Безперервні стани пічного зварювання труб у стик відрізняються високою продуктивністю і економічністю. В осн. їх використовують для виробництва водо- і газопровідних труб діаметром від 12 до 100 мм. Сталева смуга нагрівається в печі, потім формується і зварюється. Труба зварена на різеться частини необхідної довжини, к-рие охолоджуються в холодильнику п спрямовуються на оздоблювальні операції.

Будівля цеху складається з 4 паралельних прольотів шириною по 30 ж з опорними мостовими двухбарабанными кранами вантажопідйомністю 5+5 т, призначені для помірних і ря. для транспортування довгих труб. Крок колон - 12 т, відмітка підкранових шляхів - 8 т. В прольоті осн. стану вантажопідйомність кранів - 10 т. Несучі та огорожувальні конструкції будівлі виконуються з уніфікованих збірних залізобетонних елементів. Будівля опалювальне. Витяжні ліхтарі передбачаються тільки над відділенням оцинковки.

На цих установках прокочують труби діаметром 38-529 мм зі стінками товщиною більше 3 мм Технологічний процес прокатки складається з двох основних операцій: прошивки круглої катаної заготовки в гільзу і прокатки гільзи в готову трубу. Діаметр заготовки для більшості труб близький до зовнішнього діаметру готової труби.

В даний час заготовку для виробництва безшовних труб прокочують зі зливків спокійної високоякісної сталі масою 9,0-10,0 т. Злитки піддають обтиснення на блюмінгах і без проміжного нагрівання подають на трубозаготовочні стани, де і проходять в заготовку круглої форми. Потім таку заготовку розрізають пил гарячого різання на мірні довжини і після охолодження ретельно обробляють її поверхню.

Тільки після видалення поверхневих дефектів круга заготівля знову нагрівається до температури 1180-1200° С в печах (кільцевих або з похилим подом) і видається до приймального жолобу перед прошивним табором. У валки прошивного стана заготівля подається штовхачем.

Прошивку (в грибоподібних валках) здійснюють на водоохладжуваною оправці. Отримана гільза передаються по похилому стелажу до автоматичного двухвалкового стану, з діаметром валків 630-1000 мм і постійним напрямком обертання; перед табором можливий підігрів гільзи. На бочці валків автоматичного стану є ряд круглих калібрів. При роботі стану верхній валок переміщається двигуном у вертикальному напрямку.

Перед автоматичним станом є приймальний жолоб і вталкиватель. Прошита гільза потрапляє в приймальний жолоб і заштовхується в певний калібр валків, в який вставляється оправлення на довгому стрижні, відповідному довжині розкату готової труби.

Плющення труб на автоматичному стані, як правило, здійснюють за два проходи. Після кожного проходу труба передається на передню сторону роликів зворотної подачі, які знаходяться на задній стороні стану.

Після автоматичного стану прокатана труба подається в раскатные машини (раскатные стани), на яких:

- поліпшуються її внутрішня і зовнішня поверхні;
- усувається разностенність; збільшується діаметр на 5-7 мм;
- усувається овальність.

Для додання трубі хорошою поверхні валки раскатного стану робляться із загартованого чавуну. Зазвичай з одним автоматичним станом працюють два розкатних.

Після раскатного гільза подається на остаточну обробку в калібрувальний стан, що складається з клітей, розташованих під кутом 45° послідовно. Валки калібруються таким чином, що перші кліті мають коло з розвалом, а остання-точний коло. Представляється можливим зменшити діаметр кола на 3-7 мм; відповідно збільшиться довжина труби.

В даний час для установок з автоматичним станом прийнята наступна єдина технологічна схема:

- 1) нагрів круглої катаної заготовки в кільцевій печі з обертовим подом;
- 2) прошивка круглої заготовки на прошивном стані і отримання товстостінної гільзи;
- 3) прокатка гільзи в трубу на автоматичному стані;
- 4) розкочування труби на раскатном стані з метою усунення різнотовщинності стінки по її довжині;
- 5) гаряча калібрування труби по діаметру в калібрувальному стані;
- 6) охолодження труби;
- 7) холодна правка труби в правильному косовалковом стані.

За цією схемою розроблені три типових трубопрокатних агрегату з автоматичними станами 140, 250 і 400.

Технологічний процес виробництва безшовних труб стосовно до розробленим вище агрегатів здійснюється наступним чином.

Трубна кругла катана заготівля надходить на склад трубопрокатного цеху. Після попередньої підготовки поверхні (огляд, видалення дефектів і т. д.) кожна заготовка зважується на вагах і далі по похилій решітці з шлепперами подається до завантажувальної машини кільцевої печі. В

кільцевій печі заготівля нагрівається до температури 1230-1280° С. Кільцева нагрівальна піч являє собою форму замкнутого пустотілої кільця, утвореного внутрішньою і зовнішньою стінками, склепінням і подом. Пальники розташовані на зовнішній і внутрішній стінках печі. Піч розділена на чотири зони: подогревательную, нагрівальну, зварювальну та томильную. Підвісний звід, зовнішні і внутрішні стіни печі - стаціонарні, а під обертається навколо геометричного центру печі зі швидкістю 1,5 м/хв.

Внаслідок обертання поду печі заготовка переміщується від вікна завантаження до вікна видачі, проробляючи шлях, приблизно рівний довжині кола печі, так як ці вікна розташовані поруч. Продуктивність печі складає 40 т/ч. Заготовки видаються з печі по одній.

На ділянці рольганга від кільцевої печі до прошивному стану встановлено пневматичний центровщик, центруючий заготовку в торець. Центрированную заготівлю передають за допомогою выбрасывателей з рольганга на похилу решітку, за якою вона скочується у вступній жолоб переднього столу прошивного стану. Щоб уникнути сильної вібрації заднього кінця заготовки при прошивці кромка жолоби після прийому заготовки закривається.

Прошивка круглої заготовки з вуглецевої сталі порожнисту гільзу здійснюється в косовалковом прошивном стані при температурі 1220-1250° С. Коефіцієнт витяжки на прошивних станах досягає 4,2.

Прошиті гільзи по похилій решітці передаються в прийомний жолоб автоматичного стану, де проводиться їх прокатка в труби на короткій оправці. Температура прокатки гільз в трубу 1080-1180° С. Коефіцієнт витяжки на автоматичних станах 1,6-2,2. Довжина заднього столу автоматичного стану визначає найбільшу можливу довжину прокатуваних труб і становить 12-16 м.

Від автоматичного стану отримання труба подається на похилу решітку, за якою перекочується до раскатним станів. Сучасні агрегати з автоматичними, станами мають у своєму складі два розкатних стану у зв'язку

з відносно низькою продуктивністю. Завдання труб в кожен гуркотом стан проводиться по чергово. Раскатні стани усувають різнотолщинність труби, здійснюють гуркіт зовнішніх і внутрішніх рисок, що виходять при прокатці на автоматичному стані. Процес прокатки на цьому стані здійснюється при температурі приблизно 900-1080° С. Конструкція розкатних станів аналогічна конструкції прошивних станів.

Подальші технологічні операції зводяться до гарячої калібрування труб по зовнішньому діаметру, охолодження на холодильнику, виправленні на станах з геликоидальними валками; у спеціальному відділенні здійснюється обточування торців, нарізання різьби, гідравлічне випробування, нанесення покриттів та інші оздоблювальні операції в залежності від призначення труби.

Продуктивність агрегатів з автоматичними станами вище, ніж установок з пилигримовими станами. Крім того, на установках з автоматичними станами можна прокатувати труби з різних легованих сталей, що є великою перевагою цього способу виробництва. Швидкість прокатки на прошивном стані становить 7-8, на автоматичному 5,1-5,3 м/с.

На розроблених агрегатах при високому рівні конструкторського виконання обладнання забезпечується прокатка труб високої точності з зменшеною різнотолщиною стінок.

3 ВИРОБНИЦТВО АЛЮМІНІЄВИХ ТРУБОК ПРЕЦИЗІЙНОЇ ТОЧНОСТІ

3.1 Напівбезперервне лиття малогабаритних трубок

Безперервне розливання металів і сплавів реалізовано процесом литва металу в кристалізатор, з отриманням великогабаритних заготівель. При литві у високий кристалізатор метал охолоджується тільки через стінку і в цьому мало відрізняється від литва у виливницю. При литві в короткий кристалізатор в нім утворюється тільки зовнішня кірочка, що утримує метал від розтікання, а основне охолодження здійснюється водою, що подається на зливки, чим досягається різке збільшення інтенсивності охолодження [1, 2]. Кристалізатори для отримання малогабаритних трубок безперервного або напівбезперервного литва не використовуються.

В якості заготівлі для виробництва тонкостінних труб для сучасних енергетичних установок застосовують гарячекатані або гарячепресовані труби відносно малих розмірів [1, с. 224].

У більшості випадків труби діаметром до 12 мм отримують тільки холодним плющенням на довгоходових швидкохідних станах при подачі на робочий конус мастильно-охолоджувальної рідини [2, с. 18].

Усі відомі виробники цього виду труб процес виготовлення будують по одно- і багатопрохідній схемі. Кожен цикл передбачає термічну обробку труб (готових або проміжних) і пов'язані з нею операції травлення (видалення окалини) і правки [1, с. 243, 3, с. 54].

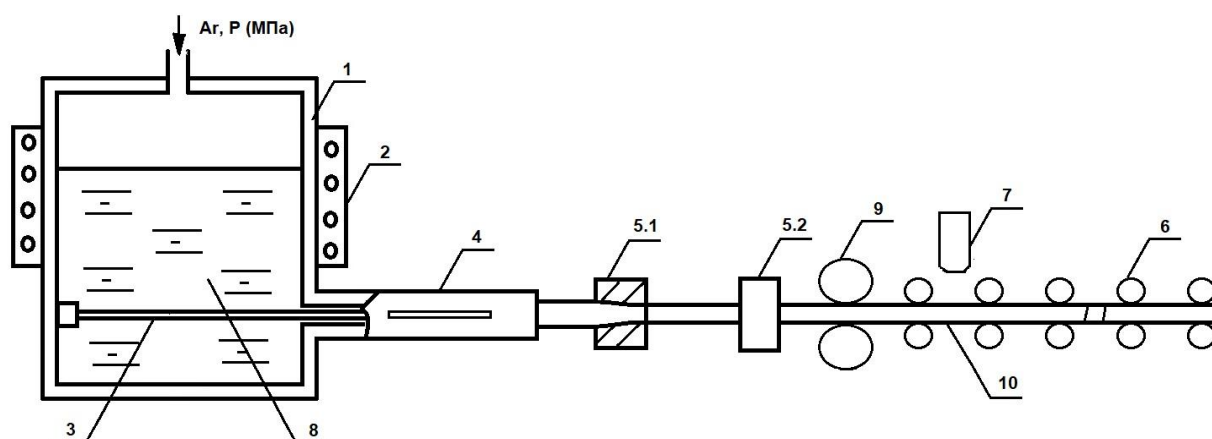
Перспективним напрямом в сучасних умовах при виробництві прецизійних труб являється впровадження наскрізних технологій. Структурно наскрізні технології складаються з окремих самостійних в технологічному ланцюжку блоків: блок 1 - виплавка металу; блок 2 - отримання початкових заготівель; блок 3 - виготовлення передільної заготівлі; блок 4 - виготовлення готових труб; блок 5 - забезпечення спеціальних властивостей товарних труб [4, с. 49, 5, с. 46].

Об'єднання в єдиний комплекс блоків 1...4 дозволить отримати комплексний модуль безперервною розливання-волочіння труб прецизійної точності. Технологічні питання розливання-плющення і комплексний модуль безперервного розливання-плющення запропоновані в роботах [6, с. 91,7, с. 3].

У міру розробки і впровадження науково-методологічних основ створення комплексних модулів виникає реальна можливість організації міні-виробництв для виробництва труб широкого сортаменту прецизійної якості.

Науково-методологічні основи створення комплексних технологій виробництва труб припускають використання моделей за розрахунком температурно-тимчасових і деформаційних процесів при розливанні і волочінням труб [8 - 13].

У роботі пропонується методична оцінка процесів розливання і оцінки точності малогабаритних трубок на основі алюмінієвих сплавів в умовах комплексного модуля безперервної розливання-волочіння. Схема модуля безперервного розливання- волочіння представлена на рис.3.1.



1 - розливний ківш, 2 - система підігрівання, 3 - коливрочне управління, 4 - мідний кристалізатор, 5.1 і 5.2 - система фільтр, 6 - направляючі ролики, 7 - система обрізання трубок, 8 - розплав, 9 - система протягання трубок, 10 - трубка.

Рисунок 3.1 - Схема модуля безперервної розливання-волочіння:

До складу модуля входять (рис. 3.1) проміжний розливний ківш (1) з системою підігрівання (2), колибровочне оправляння (3), мідний кристалізатор (4), система фільтр (5.1, 5.2), облаштування протягання формованої трубки, направляючих роликів (6) і обрізання трубок заданої довжини (7).

Найбільш важливим в даному модулі є процес кристалізації і формування точності трубок.

3.2 Розрахунок технологічних параметрів

Безперервне розливання малогабаритних трубок з алюмінієвих сплавів може бути реалізоване в металевому трубчастому кристалізаторі із зовнішнім охолодженням в середовищі рідини або газу. Розрахункова схема представлена на рис. 3.2.

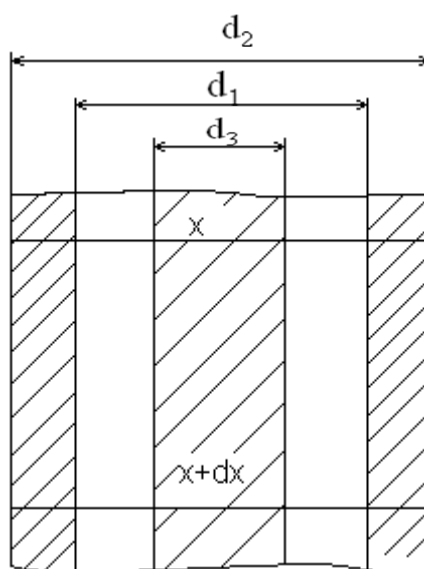


Рисунок 3.2 - Розрахункова схема кристалізації

На установці напівбезперервного розливання алюмінієвих сплавів, можна виготовлялися трубки малого діаметру (10-12 мм, з товщиною стінки 0,4 мм).

Установка, як і установки подібного типу, складається з наступних основних вузлів: розливний пристрій, кристалізатор, кліть з приманкою, контролююче облаштування точності отримуваної трубки, що тягне, пристрій забиває кінець труби, що направляють ролики, волочильний стан, вирівнюючий пристрій, різальний пристрій на мірні довжини, устаткування для прибирання трубок. Ця установка забезпечує повний цикл отримання трубок малого діаметру з алюмінієвих сплавів. Від розливання металу до отримання готової продукції.

Одним з головних вузлів облаштування отримання трубок малого діаметру є кристалізатор. Розглянемо розрахунок кристалізатора для безперервного розливання трубок малого діаметру з алюмінієвих сплавів.

Нині трубки малого діаметру отримують, з великогабаритних трубних заготівель або гільз з подальшою їх обробкою (пресуванням, плющенням і витягом). Литво труб роблять двома способами - відцентровим і напівбезперервним. Відцентровим способом отримують труби діаметром до 350 мм, а напівбезперервним - діаметром від 400 мм і більше.

Одним з основних параметром, що визначає процес литва трубок, являється геометричні розміри кристалізатора і умови його охолодження.

У зоні розплаву температурі алюмінієвого сплаву складає T_p , яка перевищує температуру плавлення $T_{пл}$ на величину перегрівання $T_{пр}$.

Розглядаючи тепловий баланс в межах $[x, x + dx]$ (см. рис. 3.2), можна записати:

$$Q_x - Q_{x+dx} = dQ,$$

де Q_x, Q_{x+dx} – вступ і віддача тепла в перерізі x і $x + dx$;

dQ – відведення тепла через бічну поверхню кристалізатора.

Величина dQ визначається передачею тепла від поточного розплаву до стержня $dQ_{ст}$ і до внутрішньої поверхні кристалізатора dQ_p , по товщині стінки кристалізатора dQ_t і від зовнішньої поверхні трубки в довкілля dQ_B :

$$dQ = dQ_p = dQ_T = dQ_B, \quad (3.1)$$

У співвідношенні (3.1) компоненти визначаються [3]:

$$dQ_{CT} = \alpha_{CT} \cdot \pi d_{CT} (t_{CT} - t_p) dx; \quad (3.2)$$

$$dQ_p = \alpha_p \cdot \pi d_1 (t_p - t_{c1}) dx; \quad (3.3)$$

$$dQ_T = \frac{2\pi(t_{c1} - t_{c2})\lambda}{\ln \frac{d_2}{d_1}} dx; \quad (3.4)$$

$$dQ_B = \alpha_{TB} \cdot \pi d_2 (t_{c2} - t_B) dx; \quad (3.5)$$

де α_{CT} , α_p , α_{TB} – коефіцієнти тепловіддачі від розплаву до стержня і до кристалізатора, і від кристалізатора до зовнішнього середовища;

λ – коефіцієнт теплопровідності матеріалу кристалізатора;

t_p , t_{CT} , t_{c1} , t_{c2} , t_B – температура розплаву, стержня, внутрішній, зовнішній поверхні кристалізатора і довкілля відповідно;

d_1 , d_2 , d_3 – відповідно внутрішній і зовнішній діаметр кристалізатора, а також діаметр стержня.

d_1 , d_2 , d_3 – внутрішній і зовнішній діаметр кристалізатора, діаметр стержня.

При виведенні рівняння (3.2) і (3.3) прийняті граничні рівняння, засновані на законі Ньютона-Рихмана [3].

Виключаючи з (3.4) температури t_{c1} і t_{c2} , після перетворень отримаємо:

$$dQ = \frac{\pi(t_p - t_b)dx}{\frac{1}{\alpha_{жт} d_1} + \frac{1}{2\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\alpha_{тв} d_2}}. \quad (3.6)$$

У рівнянні балансу (3.1) різниця теплових потоків визначається

$$Q_x - Q_{x+dx} = \frac{\pi d_1^2}{4} \cdot C \cdot \rho \cdot W \frac{dt}{dx} + \alpha_{cr} \pi d_{cr} (t_{cr} - t_{ж}) dx. \quad (3.7)$$

де C – теплоємність поточного розплаву;
 ρ – щільність розплаву;
 W – лінійна швидкість течії розплаву (швидкість витягу трубки).

Підставляючи (3.6) і (3.7) в рівняння балансу (3.1), отримаємо

$$\frac{dt_p}{dx} = \frac{4}{C \cdot \rho \cdot W (d_1^2 - d_3^2)} \left(\frac{\pi (t_b - t_p)}{\frac{1}{\alpha_p d_1} + \frac{1}{2\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\alpha_{тв} d_2}} - \alpha_{cr} d_3 (t_{cr} - t_p) \right). \quad (3.8)$$

$$\frac{d^2 t_{cr}}{dx^2} = \frac{4\alpha_{cr}}{\lambda} (t_{cr} - t_p). \quad (3.9)$$

Рівняння (3.8) отримане для умов:

- теплоємність розплаву Z - не залежить від температури;
- швидкість течії розплаву W - постійна по довжині кристалізатора;
- температура розплаву розподілена по діаметру рівномірно.

Гранична умова для рівняння (3.9) представляє рівність температури на початку кристалізатора і температури зони розплаву

$$t_{x=0} = T_p \quad (3.10)$$

Рішення рівняння (3.9) з обліком (3.10), запишеться у виді

$$t_p = T_{np}^p e^{-\left[\frac{D}{K} \left(\frac{t_b - 1}{T_{np}^p} \right) + D \alpha_{cr} d_{cr} \left(\frac{T_{np}^{cr}}{T_{np}^p} - 1 \right) \right] x} \quad (3.11)$$

$$t_{cr} = T_{np}^{cr} e^{-\sqrt{\left(\frac{4\alpha_{cr}}{\lambda_{cr}} - 1 \right) x}}$$

$$\text{де } D = \frac{4}{c \cdot \rho \cdot W \left(d_1^2 - d_{cr}^2 \right)}, \quad K = \frac{1}{\alpha_p d_1} + \frac{1}{2\lambda_k} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\alpha_{tb} d_2}.$$

У зоні кристалізації температура рівна $t = t_{кр}$. В цьому випадку мінімальна довжина кристалізатора визначається:

$$X_{кр} = - \frac{C \cdot \rho \cdot W}{4} \ln \frac{t_{кр} - t_b}{T_k - t_b}. \quad (3.12)$$

Довжина кристалізатора залежить від умов тепловідводу в довкілля, умов тепловідводу від розплаву до кристалізатора і матеріалу кристалізатора. Початкові дані для розрахунку представлені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 - Основні параметри системи розплав-кристалізатор

d_1 , мм	d_2 , мм	ρ , г/см ³	c , кДж/(кг·К)	T_p , К	$T_{кр}$, К	t_b , К	W , м/с
10,0	12,0	2,35	1,09 [1]	1073	936 [3]	303	0,3

У таблиці 3.1 представлені дані для кристалізації трубки з алюмінієвих сплавів в мідному кристалізаторі

Найбільш важливими технологічним параметром процесу витягу трубок являються умови зовнішнього охолодження. Умови зовнішнього охолодження визначаються коефіцієнтом тепловіддачі від кристалізатора до

зовнішнього середовища $\alpha_{\text{ТВ}}$. Коефіцієнт тепловіддачі змінюється в широких межах залежно від зовнішнього теплоносія.

Для розрахунків прийнято зміни $\alpha_{\text{ТВ}}$ від 1,163 до 465,2 $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$ [1,3].

Іншим параметром, що визначає умови передачі тепла, являється коефіцієнт теплопровідності матеріалу кристалізатора λ . Для розрахунків прийняті діапазон зміни λ від 34,89 до 348,9 $\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$. Значення $\lambda = 30 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$ приблизно відповідає коефіцієнту теплопровідності сталі, 300 - коефіцієнту теплопровідності міді [3].

У таблиці 3.2 представлені розрахункові значення мінімальної довжини кристалізатора залежно від зміни коефіцієнтів тепловіддачі $\alpha_{\text{ТВ}}$ і теплопровідності матеріалів кристалізатора.

Таблиця 3.2 - Залежність мінімальної довжини кристалізатора від коефіцієнтів тепловіддачі $\alpha_{\text{ТВ}}$ і теплопровідності матеріалу кристалізатора λ

Коефіцієнт теповіддачі $\alpha_{\text{ТВ}}, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$	Довжина кристалізатора, x (мм)				
	$\lambda = 35$	$\lambda = 116$	$\lambda = 198$	$\lambda = 280$	$\lambda = 360$
1	314,6	314,6	313,6	313,1	312,5
23	175,7	175,7	174,7	173,7	173,5
46	172,4	172,3	171,3	170,5	170,3
93	170,6	170,6	169,6	169,2	169,0
186	169,7	169,7	169,3	169,0	168,8
302	169,4	169,3	169,0	168,8	168,2
349	169,3	169,3	169,0	168,2	167,9

З аналізу розрахункових даних виходить, що збільшення коефіцієнта тепловіддачі від кристалізатора до зовнішнього середовища обумовлює

зменшення мінімальної довжини кристалізатора. Значне зменшення довжини кристалізатора спостерігається до значення $\alpha_{\text{ТВ}} = 116,3 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$. Великі значення $\alpha_{\text{ТВ}}$ практично не впливають на зменшення довжини.

Збільшення коефіцієнта теплопровідності λ матеріалу кристалізатора покращує умови передачі тепла від розплаву до зовнішньої поверхні кристалізатора, проте його вплив значно слабкіше впливає на довжину кристалізатора, ніж зміна $\alpha_{\text{ТВ}}$.

З цих таблиці 3.3 слідує що прийнятна довжина кристалізатора складає 170 мм для значень коефіцієнта тепловіддачі в межах $104,67 \div 232,6 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$. Матеріал кристалізатора для геометричних розмірів, вказаних в таблиці. 3.1, істотного значення не має. Проте найтехнологічніше виконати кристалізатор на основі міді або її сплавів.

На рис. 3.4 представлена залежність довжини кристалізатора від швидкості розливання металу. Для розрахунків прийнятий діапазон виміру W від 0,08 до 0,78 м/с, при $W=0,36$ м/с, $x=20$ см з графіку видно, що при збільшенні швидкості розливання, необхідно збільшувати довжину кристалізатора.

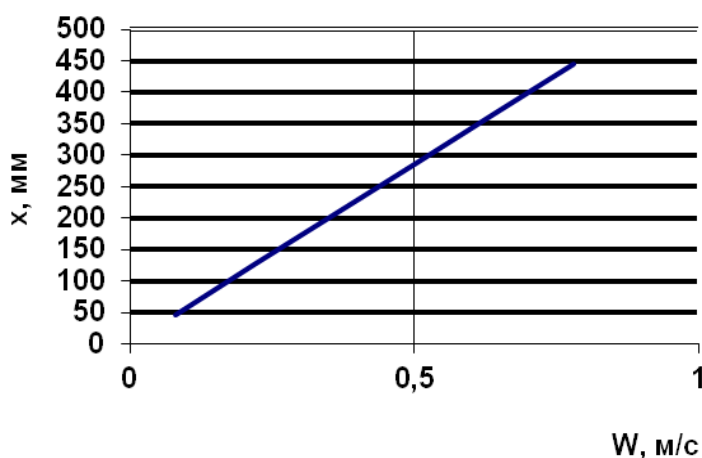


Рисунок 3.3 - Залежність довжини кристалізатора від лінійної швидкості течії розплаву

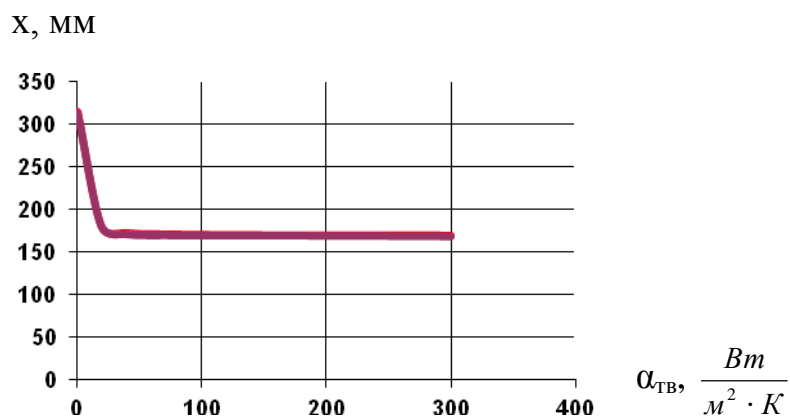


Рисунок 3.4 - Залежність мінімальної довжини кристалізатора від коефіцієнтів тепловіддачі $\alpha_{ТВ}$ і теплопровідності матеріалу

Розроблена методика розрахунку кристалізатора, визначений вплив конструктивно-технологічних, параметрів на мінімальну довжину кристалізатора для безперервного розливання тонких прутків з алюмінієвих сплавів.

3.3 Забезпечення прицезійної точності трубок

Однією з основних характеристик заготівель алюмінієвих трубок є стабільність товщини стінки, яка визначає однорідність жорсткості трубок і їх деформаційну поведінку в процесі експлуатації.

Для оцінки статистичних характеристик товщини стінки заготівель досліджували представницькі вибірки, як по довжині трубок, так і по їх периметру. Товщину стінок вимірювали з точністю до 0,001 мм по окружній координаті на кожній фіксованій довжині ℓ_k . Проведені виміри дозволили встановити, що зміна товщини трубок h можна представити у вигляді співвідношення:

$$h(\ell) = h_{\beta}(\ell) + h_j(\ell) \quad (3.13)$$

де ℓ - поточна координата по довжині трубки;

$h_{\beta}(\ell)$ – періодична функція;

$h_j(\ell)$ – випадкова функція з нульовим середнім, що задовольняє умовам ергодичності.

Періодична компонента $h_{\beta}(\ell)$ є гармонійною і, у свою чергу, може бути представлена у виді

$$h_{\beta}(\ell) = h_0 + A \cdot \cos(\omega \cdot \ell + \psi), \quad (3.14)$$

де h_0 – середньостатистична товщина стінки, враховується тільки по час розрахунків кількості проходів і не впливає на стабільність товщини трубок;

A , ω , ψ – детермінована амплітуда, кругова частота і фаза коливань відповідно.

Кругова частота ω у рівнянні (3.14) задається співвідношенням:

$$\omega = \frac{2\pi}{O} \quad (3.15)$$

де O – період коливань.

Випадкова компонента $h_j(\ell)$ характеризується кореляційною функцією

$$h_j(\ell_i) = D_h \cdot \exp -j^2 \cdot \ell_i, \quad (3.16)$$

де D_h – дисперсія товщини стінки; ℓ_i – відстань від даної точки i ; j – позитивна константа.

Статистична обробка результатів отриманих вимірів для заготівель алюмінієвих трубок діаметром 8,0 мм і завтовшки 0,5 мм із сплаву Д16Т

дозволила встановити наступні значення параметрів функцій (3.14) - (3.16) при волочінні на циліндричному закріпленому оправлянні з витягом 1,05.

$$A = 0,012 \text{ мм}; T = 104 \text{ мм}; D_h = 0,0066 \cdot 10^{-3}; j = 0,798; \psi = 0. \quad (3.17)$$

З даних (3.17) виходить, що волочіння на запресованому оправлянні знижує разнотолщинність трубок. Проте фактична стабілізація товщини стінки трубок призводить до викривлення осьової лінії, що обумовлено несиметричною зоною деформації у волоці.

Для відновлення прямолінійності осі трубки необхідно її зворотна пластична деформація, при цьому база зворотної деформації повинна відповідати періоду $T = 104$ мм, а рівень деформації - співвідношенню:

$$\varepsilon_{\text{іад}} = \frac{1,05 D_h^{0,5}}{A} \quad (3.18)$$

В процесі волочіння заготовель трубок формується деформаційна анізотропія структури матеріалу трубки. Деформаційна анізотропія реалізується за рахунок орієнтації і витягу кристалітів уздовж осі волочіння [14, с. 182]. Міра таких процесів залежить від значення потоншення стінки трубок і опади їх діаметру.

3.4 Прецизійна точність трубок малого діаметру

Конструктивно-технологічні рішення теплообмінних і газодинамічних установок припускаю використання алюмінієвих трубок прецизійної по товщині стінок і викривленню осьової лінії з високими характеристиками міцності і пружності. Забезпечення заданих вимог базуються на науково обґрунтованих технологічних методах. У роботах [1-3] розглянуті процеси

волочіння трубчастих заготівель, проте в них не ставиться і не вирішується завдання забезпечення геометричної точності готової продукції.

Технологічні методи забезпечення пружних, прочностних і геометричних характеристик алюмінієвих трубок припускають побудову статистичних характеристик чорнових заготівель після їх розливання і волочіння у безоправочном режимі, на циліндричних закріпленю і рухливою оправляннях, а також проведення подальшої поверхневої обробки з оцінкою міри деформаційної анізотропії пружних і прочностних характеристик.

Однією з основних характеристик заготівель алюмінієвих трубок є стабільність товщини стінки, яка визначає однорідність жорсткості трубок і їх деформаційну поведінку в процесі волочіння.

Для оцінки статистичних характеристик товщини заготівель проводили дослідження представницьких вибірок, як по довжині трубок, так і по їх кількості. Товщину стінок вимірювали з точністю до 0,001 мм по окружній координаті на кожній фіксованій довжині. Виконані виміри дозволили встановити, що зміна товщини трубок в можна представити у вигляді співвідношення

$$b(l) = b_{\beta}(l) + b_j(l), \quad (3.19)$$

де l - поточна координата по довжині трубки;

$b_{\beta}(l)$ - періодична функція;

$b_j(l)$ - випадкова функція з нульовим середнім, яка задовольняє умовам ергодичності.

Періодична компонента $b_{\beta}(l)$ є гармонійною і може бути представлена у виді

$$b_{\beta}(l) = b_0 + A \cdot \cos(\omega \cdot l + \varphi), \quad (3.20)$$

де b_o - статистична середня товщина стінки, враховується тільки для розрахунку кількості переходів і не впливає на стабільність товщини трубок;

A , ω , φ - відповідно детермінована амплітуда, кругова частота і фаза повторюваності, $\omega = 2\pi/T$, T - період коливань.

Випадкова компонента $b_j(l)$ характеризується кореляційною функцією

$$b_j(l) = D_h \cdot \exp(-k^2 \cdot l_i), \quad (3.21)$$

де D_h - дисперсія товщини стінки;

l_i - відстань від даної точки i ;

k - позитивна константа.

Подальша статистична обробка результатів отриманих вимірів для заготовель алюмінієвих трубок діаметром 8,0 мм і завтовшки стінки 0,5 мм із сплаву Д16Т дозволила встановити наступні значення параметрів функцій (3.19)-(3.21):

$$A = 0,041\text{мм}; T = 80\text{мм}; D_h = 0,2676 \cdot 10^{-3}; k = 2,839; \varphi = 0.$$

При безоправочном волочінні з витягом 1,1 на першому переході спостерігається зміна параметрів функцій (3.18) -(3.20) до значень:

$$A = 0,121\text{мм}; T = 96\text{мм}; D_h = 0,5876 \cdot 10^{-3}; k = 1,193; \varphi = 0.$$

Волочіння на циліндричному закріпленому оправлянні з витягом 1,05 на другому переході забезпечує виконання параметрів функцій (3.19) -(3.21) у виді:

$$A = 0,012\text{мм}; T = 104\text{мм}; D_h = 0,0066 \cdot 10^{-3}; k = 0,798; \varphi = 0.$$

Розгляд отриманих результатів свідчить про те, що при безоправочном волочінні міра коливання товщини алюмінієвих трубок зростає, а при оправному волочінні на закріпленому оправлянні - знижується. Проте фактична стабілізація товщини стінки трубок призводить до викривлення осьової лінії, що обумовлено несиметричною зоною деформації у волоці [1, 3].

Для відновлення прямолінійності осі трубки необхідно її піддати зворотній пластичній деформації, при цьому база зворотної деформації повинна відповідати періоду $T = 104\text{мм}$, а рівень деформації $\varepsilon_{\text{обр}}$ - нижчеприведеному співвідношенню:

$$\varepsilon_{\text{обр}} = \frac{1,05 \cdot D_h^{0,5}}{A}. \quad (3.22)$$

В процесі волочіння заготовель трубок формується деформаційна анізотропія структури їх матеріалу, міра якої визначається методами, викладеними в роботі [6].

Прогнозування пружних і прочностних характеристик алюмінієвих трубок в умовах утворення структурної анізотропії можливо із застосуванням методів, представлених в роботах [6, 7].

Підвищення жорсткості трубок і забезпечення їх геометричної точності досягається методом електрохімічного оксидування, при якому товщина оксидованого шару знаходиться в межах 10...50мкм. Модуль пружності оксидованого шару досягає 4...5 ГПа, а мікротвердість складає 50...90 МПа. Високі показники механічних характеристик оксидних покриттів при їх товщині, складової 10...15% товщини стінки, значно підвищують жорсткісні параметри вказаних алюмінієвих трубок.

В процесі волочіння заготовель трубок формується деформаційна анізотропія структури матеріалу трубки, міра якої визначається методами,

викладеними в роботі [4]. Деформаційна анізотропія реалізується за рахунок орієнтації і витягу кристалітів уздовж осі волочіння. Міра таких процесів залежить від значення потоншення стінки трубок і опади їх діаметру.

Дослідження пружних і прочностних характеристик алюмінієвих трубок в умовах утворення структурної анізотропії можливо із застосуванням методів, представлених в роботах [5, 6].

Кількісна характеристика кристалографічних текстур базується на аналітичній подачі орієнтації кристалографічних осей кристалів відносно лабораторних осей, пов'язаних певним чином з анізотропним текстурним зразком. Найбільш поширеним є використання опису таких орієнтацій за допомогою кутів Ейлера φ_1 , Φ , φ_2 , що задають поворот рухливих осей x_1 , x_2 , x_3 відносно нерухомих осей.

У кожному зерні текстурного зразка положення кристалографічних осей випадкове. Тому кути Ейлера також випадкові і характеризуються спільно щільністю вірогідності $f(\varphi_1, \Phi, \varphi_2)$, яку визначили в області зміни кутів $0 \leq \varphi_1 \leq 2\pi$, $0 \leq \Phi \leq \pi$, $0 \leq \varphi_2 \leq 2\pi$.

Якщо матеріал не текстурний, то спільна щільність розподілу кутів Ейлера визначається по формулі

$$f(\varphi_1, \hat{\Omega}, \varphi_2) = \left(\frac{1}{8\pi^2} \right) \cdot \sin \hat{\Omega}. \quad (3.23)$$

Текстура приводить до змінюваності щільності розподілу кутів Ейлера, яку можна розрахувати за формулою:

$$f(\varphi_1, \hat{\Omega}, \varphi_2) = \hat{\Omega}(\varphi_1, \hat{\Omega}, \varphi_2) \left(\frac{1}{8\pi^2} \right) \cdot \sin \hat{\Omega}. \quad (3.24)$$

Текстурна функція $T(\varphi_1, \Phi, \varphi_2)$ характеризує кристалічну структуру полікристалічного зразка і показує на скільки разів спільна щільність

розподілу кутів Ейлера текстурованого матеріалу зміцнюється в порівнянні з не текстурованим матеріалом.

Практична оцінка впливу процесу волочіння на пружність трубок реалізується виміром модуля пружності. У таблиці 3.3 представлені значення модуля пружності після закінчення окремих переходів волочіння трубок із сплаву Д16Т.

Таблиця 3.3 - Модулі пружності E алюмінієвих трубок по переходах волочіння

Вид обробки трубки	Середнє значення E , ГПа	Коефіцієнт варіації, I , %
Початкова заготівля	9,44	6,10
Волочіння на оправлянні, що рухається, з витягом $v=1,27$	10,51	3,90
Волочіння на оправлянні, що рухається, з витягом $v=1,34$	11,19	2,30

Підвищення пружності трубок і забезпечення їх геометричної точності досягається методом електрохімічного окислення, коли значення товщини окисдованого шару знаходимося в межах 10...50 мкм.

Модуль пружності окислювального шару досягає 4...5 ГПа, а мікротвердість складає 50...90 МПа [7]. Високі показники механічних характеристик оксидних покриттів відносно їх товщини, що складає 10...15% товщина стінки, значно підвищують параметри жорсткості. У таблиці 3.4 приведені значення вигину трубок, отриманих з використанням триточковою схемою навантаження на базі лінійної 560 мм під дією докладеного зусилля, яке рівне 8,8 Н.

Таблиця 3.4 - Вигин трубок за триточковою схемою навантаження

Зовнішній діаметр, мм	Середня товщина стінки, мм	Товщина анодного покриття, мм	Вигин, мм
5,950	0,360	0	12,61
5,970	0,383	0,025	11,06
6,840	0,420	0	10,50
6,850	0,441	0,030	9,60

З аналізу таблиці 3.4 витікає, що анодне покриття знижує значення вигину трубок : при діаметрі трубки менше ніж 6,0 мм - на 3,4 %, і при діаметрі трубки більше ніж 6,8 мм – на 8,5 %.

ВИСНОВКИ

1. Проведено всебічний аналіз виробництва малогабаритних трубчатих заготовок та їх використання. Розглянуто технологічні особливості виробництва труб цільноформованих та зварних. Представлено аналіз прогресивного методу формування цільноформованих труб методом гвинтової прокатки. Розглянуто силові та деформаційні особливості реалізації цього методу прокатки.

2. Дана оцінка впливу основних легуючих елементів на функціональні характеристики алюмінієвих сплавів. Проведено аналіз основних марок високоміцних алюмінієвих сплавів. Визначено їх механічні фізичні та функціональні характеристики сплавів та ефективність їх використання. Розглянуто варіанти значного збільшення функціональних та корозійних властивостей алюмінієвих сплавів за рахунок мікролегування рідкоземельними металами.

3. Запропоновано варіант полубезперервного методу розливання малогабаритних трубок з алюмінієвих сплавів. Розроблена методика розрахунку процесів кристалізації трубок які витягують в мідному кристалізаторі. Проведено розрахунки по визначенню мінімальної довжини кристалізатора для різних швидкостей витяжки та швидкості охолодження кристалізатора навколишнім середовищем.

4. Проведено оцінка точності тонкостінних малогабаритних трубок. Експериментальним шляхом встановлено, що різнотолщинність може бути описана випадковою функцією з періодичною детермінованою функцією та ергодичною випадковою змінною з нульовим середнім значенням.

5. Встановлено вплив анодного окислення трубок на їх пружність при трьохточковій схемі напруження. Поверхневе окисне ущільнення збільшує пружні характеристики трубок на 5 – 8%.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Елагин В.И. Легирование деформируемых алюминиевых сплавов переходными металлами [текст] / В.И. Елагин // М.: Metallurgy, 1975, 247 с.
2. Колачев Б.А. Metallovedenie i termicheskaya obrabotka tsvetnykh metalliv i splovo / Б.А. Колачев, В.А. Ливанов, В.И. Елагин // М.: Metallurgy, 1981, 416 с.
3. Елагин В.И. Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metalliv / В.И. Елагин, В.М. Федоров // 1972, №1, с. 59-60
4. Обработка легких и жаропрочных сплавов. Сборник Наука, М. 1976, 340с.
5. Федоров В.М. Некоторые особенности легирования алюминиевых сплавов переходными металлами в условиях метастабильной кристаллизации / В.М. Федоров // Aviaционная промышленность, 1990, №12, с.42-45
6. Мальцев М.В. Модифицирование структуры металлов и сплавов / М.В. Мальцев // М.: Metallurgy, 1964, 214 с.
7. Metallovedenie алюминия и его сплавов. Справ, изд. / А.И. Беляев, О.С. Бочвар, Н.Н. Буйнов // М.: Metallurgy, 1983, 280 с.
8. Хахалин В.Д. Труболитейной производство / В.Д. Хахалин, В.И. Семко, А.Н. Смоляков, А.С. Черезов, Н.М. Боковой // – М.: Metallurgy, 1977. – 224 с.
9. Гецелев З.Н. Непрерывное литье в электромагнитный кристаллизатор / З.Н. Гецелев, Г.А. Балахонцев, Ф.И. Квасов, Г.В. Черепок, И.И. Варга, Г.И. Мартынов // - М.: Metallurgy, 1983. – 152 с.
10. Исаченко В.П. Теплоотдача / В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел / - М.: Энергия, 1981. – 416 с.
11. Троицкий В.А. Metallurgy алюминия / В.А. Троицкий, В.А. Железнов // – М.: Metallurgy, 1984. – 400 с.
12. Смирнов В.С. Теория прокатки. – М.: Metallurgy, 1967. – 460 с.

13. Грудев А.П. Захватывающая способность прокатных валков / А.П. Грудев // – М.: "СП Интермет Инжиниринг", 1998. – 283 с.
14. Друян В.М. Теория и технология трубного производства / В.М. Друян, Ю.Г. Гуляев, С.А. Чукмасов // Учебник. – Днепропетровск, РИА "Днепр - ВАЛ", 2001. – 544 с.
15. Данченко В.М. Теорія процесів обробки металів тиском / В.М. Данченко, В.О. Гришкович, О.М. Головка // Підручник. – Дніпропетровськ: "Пороги", 2008. – 370 с.
16. Белов Н.А. Оптимизация состава и структуры высокопрочных силуминов / Н.А. Белов, В.Д. Белов // Цветные металлы. № 2. 2009 г.
17. Болотова Е.М. Закалка штамповок из сплава 7050 с охлаждением в водополимерной бреде / Е.М. Болотова, С.Л. Цекров, К.Т. Исякаев // Цветные металлы. № 4. 2009.
18. Ершов А.С. Горизонтальная закалка плит из алюминиевых сплавов на новом агрегате / А.С. Ершов, В.В. Соколов // Цветные металлы. №4. 2009.
19. Леонов В.В., Беляев С.В. Влияние температуры на микротвердость металлов / В.В. Леонов, С.В. Беляев // Цветные металлы. №3. 2010 г.
20. Чуфистов О.Е. Технология, строение и свойства покрытий, формируемых методами анодного оксидирования на алюминии и его сплавах / О.Е. Чуфистов, Е.А. Чуфистов, В.П. Артемьев // Цветные металлы. № 10, 2009
21. Ефремов В.П. Влияние технологических факторов на структуру и свойства слитков и полуфабрикатов из алюминиевого сплава В96ц-3пч / В.П. Ефремов, А.Ю. Сухих, В.М. Замятин, Г.А. Суслов, В.В. Иванов // Цветные металлы. №7. 2009г.
22. Семенихин А.И. Внедрение технологии производства слитков для полуфабрикатов авиакосмического назначения / А.И. Семенихин, Б.В. Овсянников, Е.К. Никитчук, Е.А. Лозин // Цветные металлы. №4. 2009 г.

23. Алюминиевые сплавы. Промышленные деформируемые, спеченные и литейные алюминиевые сплавы. Справочное руководство. М., «Металлургия», 1972, с. 552.
24. Савицкий Е.М. Сплавы редкоземельных металлов / Е.М. Савицкий, В.Ф. Терехова, И.В. Буров, И.А. Маркова, О.П. Наумкин // Изд-во Академии наук СССР, М. 1962.
25. Академия наук СССР Институт металлургии им. А.А. Байкова. Редкоземельные металлы, сплавы и соединения. Изд-во «Наука», М. 1973.
26. Лахимов Л.К. О модифицировании алюминия и сплава АЛ7 переходными металлами / Л.К. Лахимов, Г.В. Самсонов. // Цветные металлы №8. Изд-во Metallurgy, 1964.
27. Точность труб / Столетний М.Ф., Клемперт Е.Д. // М., «Металлургия», 1975. 240 с.
28. Чекмарев А.П. Теория трубного производства / А.П. Чекмарев, В.М. Друян. // Изд-во «Металлургия», 1976. 304 с.
29. Хахалин В.Д. Труболитейной производство / В.Д. Хахалин, В.И. Семко, А.Н. Смоляков, А.С. Черезов, Н.М. Боковой // – М.: Metallurgy, 1977. – 224 с.
30. Гецелев З.Н. Непрерывное литье в электромагнитный кристаллизатор / З.Н. Гецелев, Г.А. Балахонцев, Ф.И. Квасов, Г.В. Черепок, И.И. Варга, Г.И. Мартынов // - М.: Metallurgy, 1983. – 152 с.
31. Исаченко В.П. Теплоотдача / В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел // - М.: Энергия, 1981. – 416 с.
32. Троицкий В.А. Metallurgy алюминия / В.А. Троицкий, В.А. Железнов // – М.: Metallurgy, 1984. – 400 с.
33. Перлин И.Л. Теория волочения / И.Л. Перлин, М.З. Ерманок // – М.: Metallurgy, 1971. – 449 с.
34. Тарновский И.Я. Теория обработки металлов давлением / И.Я. Тарновский, А.А. Поздеев // – М.: Metallurgy, 1963. – 431 с.

35. Гун Г.Я. Пластическое формоизменение металлов / Г.Я. Гун // – М.: Metallurgy, 1968. – 521 с.
36. Адамеску Р.А. Анизотропия физических свойств металлов / Р.А. Адамеску, П.В. Гельд, Е.А. Митюшов // – М.: Metallurgy, 1985. – 235 с.
37. Соколкин Ю.В. Исследование процессов деформирования и разрушения композитных материалов и конструкций при сложном напряженном состоянии / Ю.В. Соколкин, В.А. Скачков, М.Г. Танкеева, В.В. Леонтьев // Механика конструкций из композиционных материалов. – Новосибирск, Наука, 1984. – С. 97-101.
38. Скачков В.А. Деформационная анизотропия и накопление повреждений в композитах при сложном нагружении / В.А. Скачков // Механика неоднородных структур. – Львов: ЛПИ, 1987. – С 257.
39. Грилихес С.Я. Оксидные и фосфатные покрытия металлов. – Л.: Машиностроение, 1985. – 95 с
40. Елагин В.И. Легирование деформируемых алюминиевых сплавов переходными металлами [текст] / В.И. Елагин // М.: Metallurgy, 1975, 247 с.
41. Колачев Б.А. Metallovedenie i termicheskaya obrabotka cvetnykh metallov i spлавов / Б.А. Колачев, В.А. Ливанов, В.И. Елагин // М.: Metallurgy, 1981, 416 с.
42. Елагин В.И. Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov / В.И. Елагин, В.М. Федоров // 1972, №1, с. 59-60
43. Обработка легких и жаропрочных сплавов. Сборник Наука, М. 1976, 340с.
44. Федоров В.М. Некоторые особенности легирования алюминиевых сплавов переходными металлами в условиях метастабильной кристаллизации / В.М. Федоров // Авиационная промышленность, 1990, №12, с.42-45
45. Алексеев, В. Г. Шум и вибрация на производстве [Текст] / В. Г. Алексеев — М: Энергия, 1980. – 352 с.

46. Естественное и искусственное освещение. Система нормативных документов в строительстве. Строительные нормы и правила Российской Федерации [Текст]: СНиП 23-05-95: утв. Минстроем России 02.08.95 : ввод. в действие с 01.01.96. – 40 с.

47. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень [Текст]: ДСН 3.36.042-99: – Увед.1999-12-01. – 9 с.

48. Державні будівельні норми. Будинки і споруди. Будинки адміністративного та побутового призначення [Текст]: ДБН В.2.2 – 28: 2010: затв. Мінрегіонбуд України 30.12.10: уведенні з 10.10.11.- К. : ПАТ Київ ЗНДІЕП. 2010.- 28 с.: «Укрархбудінформ». – УКНД 91.040.99

49. Державні будівельні норми. Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва [Текст]: ДБН В.1.1.7-2002: затв. Держбуд України 03.12.02 : уведенні з 01.05.03. – К. : УкрНДІПБ. 2002. – 44 с.

50. ДСТУ Б В.2.5-38:2008. Інженерне обладнання будинків і споруд. Улаштування блискавкозахисту будівель і споруд [Текст]. – Увед. 2009-01-01. К.: Мінрегіонбуд України. 2008. – 65 с. :

51. НАПБ А.01.001-2004. Правила пожежної безпеки в Україні [Текст]. – Увед. 2004-11-04. К.: М-во України з питань НС. 2004. – 143 с.