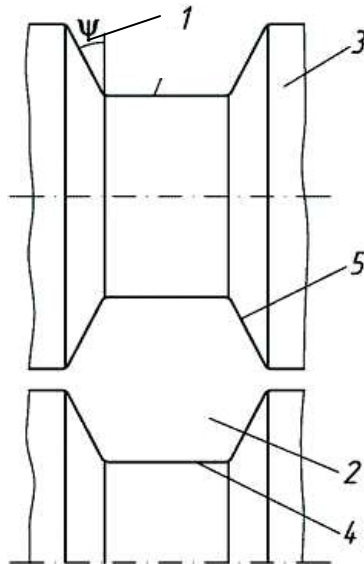


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Дніпровський державний технічний університет
(ДДТУ)

О. П. Максименко
М. М. Штода
О. В. Нікулін

ОСНОВИ КАЛІБРОВКИ ПРОКАТНИХ ВАЛКІВ

Навчальний посібник



1 – chamfer of a groove; 2 – pass;
3 – roll collar; 4 – bottom; 5 – side wall

Кам'янське
«ДДТУ»
2023

УДК 621.771.07
М17

Рецензенти:

- В. Ф. Балакін** – проф., д-р техн. наук (Український державний університет науки і технологій)
Л. В. Чухліб – зав. каф. ОМТ, д-р техн. наук (Національний технічний університет «ХП»)»
В. С. Медведєв – г. н. с., д-р техн. наук (УкрНТЦ «Енергосталь»)

*Рекомендовано до друку вченою радою
Дніпровського державного технічного університету (протокол № 2 від 28.02.2023 р.)*

Максименко О. П.

М17 Основи калібровки прокатних валків : Навчальний посібник /
О. П. Максименко, М. М. Штода, О. В. Нікулін. – Кам'янське :
ДДТУ, 2023. – 156 с.

ISBN 978-966-175-231-2

Посібник призначено для здобувачів вищої освіти, які вивчають «Технологію процесів обробки металів тиском», зокрема процеси і технологію прокатки. Відповідно до робочої програми він містить основні положення калібровки валків для поздовжньої прокатки профілів. Наведена класифікація калібрів, надані формули та значення коефіцієнтів, які необхідні для розрахунку основних розмірів калібрів простої форми. Описані системи витяжних калібрів, надані приклади використання методик розрахунків калібровок валків і технологічних параметрів прокатки, завдання для практичних занять і самостійної роботи, відомості з вальцетокарного виробництва та оснащення прокатних клітей сортових станів.

УДК 621.771.07

ISBN 978-966-175-231-2

© О. П. Максименко,
М. М. Штода,
О. В. Нікулін, 2023
© ДДТУ, 2023

ЗМІСТ

Передмова	5
1. Сортамент продукції прокатних станів	7
2. Стандартизація прокатної продукції	11
3. Вплив вимог до готового прокату на технологічний процес і технологічні схеми виробництва прокату	14
4. Контроль технологічного процесу	15
5. Класифікація прокатних станів за призначенням	18
6. Основні положення калібровки валків	19
6.1. Елементи калібру	21
6.2. Класифікація калібрів	28
7. Елементи калібровки валків	32
7.1. Вибір діаметру валків для прокатки заданого профілю	33
7.2. Верхній і нижній тиск валків	35
7.3. Середній діаметр пари валків. Середня лінія валків і лінія прокатки	37
7.4. Нейтральна лінія калібру	38
Практичне заняття № 1. <i>Визначення нейтральної лінії калібру</i>	41
7.5. Визначення ширини буртів і способи розташування калібрів на валках	48
7.6. Побудова креслення валків	49
Практичне заняття № 2. <i>Побудова креслення калібровки валків</i>	55
7.7. Катаючий діаметр валків	61
7.8. Коефіцієнти деформації	63
7.9. Обтиснення в калібрах	66
7.10. Розширення при прокатуванні в калібрах	70
7.11. Максимальне обтиснення при прокатуванні профілів	79
7.12. Визначення максимальних обтиснень при розрахунках режимів обтиснень	87
7.13. Обмеження мінімального обтиснення при розрахунках калібровки	90

Практичне заняття № 3. Побудова ящичного калібру	92
7.14. Системи витяжних калібрів	101
7.15. Швидкісний режим неперервних станів	114
7.16. Схема розрахунку калібровки	116
7.17. Загальна схема калібровки	116
7.18. Вибір матеріалу валків	117
Практичне заняття № 4. Розрахунок енергосилових параметрів процесу прокатки в калібрах	119
8. Вальцетокарне виробництво	130
9. Валкова арматура. Призначення і класифікація арматури	136
Післямова	147
Література	149
Додаток	151
Предметний покажчик.....	152

ПЕРЕДМОВА

Ефективне функціонування економіки неможливе без експлуатації надійних і довговічних машин і споруд. Їх створення та робота засновані на використанні різних видів сталевих металопродукції, які отримують обробкою тиском. Споживачами прокатної продукції, яка виробляється з лівовій долі виплавленої сталі, є багато галузей економіки: машинобудування, будівництво, транспорт, енергетика і т. ін. Тому актуальне підвищення ефективності прокатування на науковій основі.

В окрему науку обробка металів тиском (ОМТ) виділилася наприкінці ХІХ століття, коли почався бурхливий розвиток металургійної промисловості у світі, зокрема в Англії, Франції, Німеччині, США. Важливий внесок до науки про рівновагу, рух і деформації тіл західних учених Кулона, Коші, Мора, Мізеса, Фінка визначається результатами досліджень і формулами, які складають теоретичні основи ОМТ.

Слід згадати внесок учених і практиків-прокатників В.Є. Грум-Гржимайло, Т. Кармана, С. Екелунда, Д. Дрездена, О.І. Целікова та інших. Важливим є вклад дослідників і фахівців П.І. Полухіна, О.П. Чекмарьова, Й.Я. Тарновського, В.М. Видріна, В.М. Клименко, В.К. Смірнова та інших в науку та практику прокатного виробництва, яким постійно користуються.

Калібрування валків станів є основою технологічного проектування і вдосконалення сортопрокатного виробництва. Його роль в досягненні високої продуктивності прокатних станів, високої якості готової продукції і економії металу дуже велика. Роль калібрування особливо важлива і тому, що в прокат переробляють понад 90 % сталі, яка виплавляється. Постійне збільшення сортаменту і особливо виробництво ефективних профілів вимагають неперервного вдосконалення способів і методів калібрування, поліпшення якості прокатних валків. Значення курсу калібровки валків для підготовки інженерів, що

проектують нові технології і обладнання в металургії, в тому, що загальні методи розрахунків, які викладаються, дають можливість знаходити параметри процесів при змінах кінематичних та інших умов для контролю виробництва і прийняття обґрунтованих оперативних рішень.

Важливе значення курс технології процесів ОМТ має для *технологічних і експлуатаційних спеціальностей*. Інженери, що проектують та організують виготовлення прокатної продукції, повинні добре знати основи калібровки валків. До змісту дисципліни «Технологія процесів ОМТ» відноситься вивчення процесів формозміни та обробки металу в клітях прокатних станів, освоєння методів розрахунку калібрування валків і вибору раціональних режимів деформації, визначення умов отримання продукції необхідної якості.

Обсяг і зміст посібнику визначалися наступними обставинами:

- перша з них пов'язана з підготовкою інженерів-металургів переважно технологічного напрямку, для яких знання інженерних основ пластичного формоутворення профілів є визначальним;

- друга обставина пов'язана зі зменшенням кількості аудиторних годин, що відводяться в програмах підготовки здобувачів вищої освіти на вивчення даної дисципліни. Унаслідок цього, вивчення деяких розділів курсу перенесено на самостійну роботу студентів, яку треба методично забезпечити.

Як показує виробничий досвід, правильно обране і розраховане калібрування валків дозволяє значно підвищити точність розмірів профілю, якість поверхні, знизити енерговитрати і забезпечити ефективність процесу формозміни.

Посібник створений на основі науково-технічних і навчальних джерел [1–15], зорієнтовано на студентів бакалаврату та магістратури, інженерно-технічних працівників та викладачів, які працюють в галузі поздовжнього прокатування металевих профілів і підготовки відповідних фахівців.

1. Сортамент продукції прокатних станів

Виробництво сталевий прокатної продукції в чорній металургії поділяється на дві основні стадії:

1) виплавка сталі заданого хімічного складу з її розлиттям у зливки або на машині безперервного лиття заготовок;

2) виготовлення зі злиwkів (литих заготовок) профілів прокату замовлених форми, розмірів та властивостей.

Через прокатні цехи проходить майже вся сталь, виготовлена в сталеплавильних цехах. Технологічний процес одержання готового профілю є завершальною стадією металургійного виробництва.

Прокатний профіль – форма поперечного перерізу та сам готовий виріб.

У дійсний час прокатний сортамент нараховує більш 7000 профілів.

У залежності від форми продукції прокатних цехів, її поділяють на чотири основні групи:

1) сортові профілі (загального призначення: круг, квадрат, кутові профілі, балка та інші; профілі галузевого призначення: рейка, дверна петля, трикутний профіль і таке інше);

2) листовий прокат: плити, товсто– і тонколистовий;

3) трубну продукцію (безшовні, зварні, фасонні та інші труби);

4) спеціальні профілі прокату (колеса, кулі, бандажі, шестерні тощо).

Поряд з переліченими профілями виробляються економічні види прокату, такі як: гнуті фасонні профілі, що виготовляються з листа і штаби; періодичні профілі прокату, що виготовляють на станах поздовжнього прокатування та станах поперечно-гвинтового прокатування, прецизійні фасонні профілі й інші. Перераховані профілі дають економію металу до 30–40 %

у споживача, а також скорочують верстатний парк і витрати у машинобудівників та інших виробників металопродукції.

Сортамент гарячекатаного прокату

В залежності від форми поперечного перерізу сортовий прокат підрозділяється на прості і фасонні профілі.

Прості профілі мають форму круга, квадрату, штаби та таке інше (рис. 1.1).

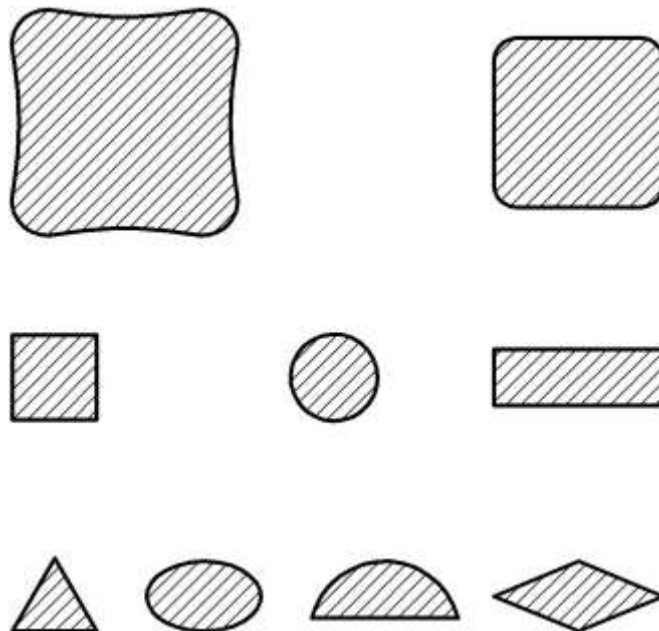


Рис.1.1. Форма простих профілів прокату

Фасонні профілі мають переріз складної форми (рис. 1.2).

Фасонні гарячекатані профілі в залежності від їх призначення підрозділяються на профілі загального та галузевого призначення.

До фасонних профілів загального призначення відносяться: шестигранні профілі, кутові рівнополичні та нерівнополичні профілі, швелери і двотаврові балки.

До фасонних профілів галузевого призначення відносять прокат, який застосовують для конкретного призначення в окремих галузях народного господарства, в їхньому числі

залізничні рейки, ресорні профілі, періодичні профілі, профілі для дверних петель автомобілів, лемішна полоса та багато інших.

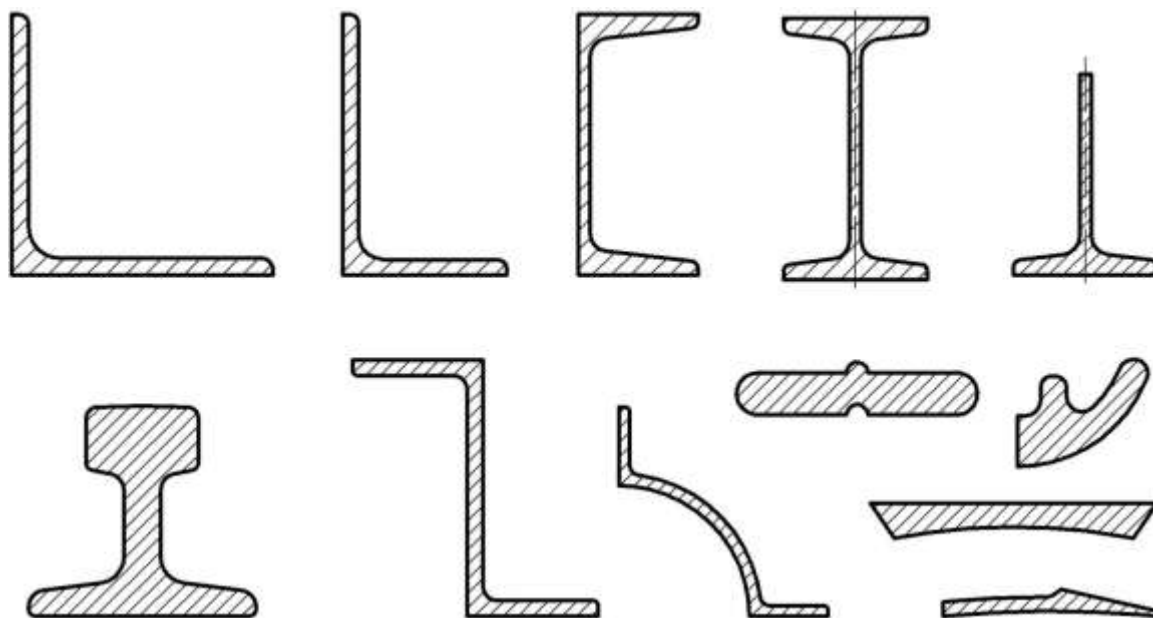


Рис. 1.2. Форма деяких фасонних профілів прокату

Умовно весь сортовий прокат за розмірами звичайно поділяють на чотири групи (табл. 1.1): кругла катанка діаметром 5–9 мм, дрібносортні, середньосортні, крупносортні профілі.

Таблиця 1.1. Класифікація деяких профілів за розмірами

Найменування профілю	Розміри прокату			
	Крупносортний	Середньосортний	Дрібносортний	Стандарт
Круглий, мм	діаметром 31 і більше	діаметром 20-30	діаметром до 19	ДСТУ 4738:2007
Кутовий рівнополичний	№5 і більше	№3,6 – 4,5	№2 – 3,5	ДСТУ 2251-93
Фасонні профілі, кг/п. м	Більше 9	3,0 – 9,0	до 3	–

Усі профілі, враховуючи їх типорозміри, поставляються у відповідності до сортаментних стандартів.

Листовий прокат підрозділяється на три основні види – гарячекатаний товстолистовий (листи товщиною 4 мм і більше), гарячекатаний тонколистовий (товщиною менше 4 мм) та холоднокатаний листовий прокат будь-якої товщини.

Листовий прокат розрізняється також і по призначенню, наприклад, для суднобудування, котлобудування, топковий, електротехнічний, трансформаторний тощо.

Марочний сортамент сталей, що прокатуються

Сталі, які обробляють прокатуванням, розділяють за якістю, хімічним складом та призначенням.

За якістю сталі підрозділяються на сталі звичайної якості, якісні та високоякісні. Останні відрізняються від сталей звичайної якості меншим вмістом шкідливих елементів, а саме сірки та фосфору (табл. 1.2).

Таблиця 1.2. Вміст сірки та фосфору в сталях різної якості

Якість сталі	P, %	S, %
Сталь звичайної якості	$\leq 0,05 - 0,055$	$\leq 0,05 - 0,055$
Сталь якісна	$\leq 0,045$	$\leq 0,045$
Сталь високоякісна	$\leq 0,025$	$\leq 0,025$

За хімічним складом розрізняють вуглецеві і леговані сталі. У свою чергу вуглецеві сталі підрозділяють на низьковуглецеві, із утриманням вуглецю 0,02–0,6 % і високовуглецеві – 0,6–2,0 %, а леговані сталі підрозділяють на низько-, середньо- і високолеговані із сумарним вмістом легуючих елементів (крім вуглецю) відповідно до 2,5 % (40ХН, 30ХГТ), 2,5–10,0 % (40Х2А, 60Н5) і більше 10 % (90Х10Н15).

За призначенням сталі, що прокатують, розділяють на конструкційні, інструментальні та спеціальні.

До найбільш розповсюджених сталей, що прокатують, відносять конструкційні вуглецеві і низьколеговані сталі.

Хімічний склад і механічні властивості конкретних марок сталей наведені у Державних стандартах України (ДСТУ).

2. Стандартизація прокатної продукції

Уся прокатна продукція піддається контролю на відповідність вимогам стандартів або технічних умов (ТУ).

Існують державні і галузеві стандарти. Якщо прокат поставляється тільки підприємствам чорної металургії, тобто усередині галузі, то параметри якості цієї продукції можуть відповідати вимогам галузевого стандарту, що затверджується міністерством промисловості.

На всі нові матеріали, як тільки вони входять в область дослідно-промислового виробництва, готують необхідні стандарти, що нормують основні показники якості на першому етапі шляхом твердження технічних умов (ТУ), а потім – введенням ДСТУ.

Технічні умови розділяють на дві групи:

– технічні умови I групи – затверджуються міністерством промисловості;

– технічні умови II групи – затверджуються керівництвом двох підприємств, тобто постачальником і споживачем, звичайно на невеликі дослідні партії нової продукції або на стандартизовану продукцію, але з урахуванням додаткових вимог до якості або розмірам.

Основним видом товарної продукції чорної металургії є сталевий прокат і вироби так званого четвертого переділу (металовироби, труби, холоднокатані профілі тощо). Сталевий прокат є напівфабрикатом для більшості інших галузей промисловості та піддається подальшій переробці (куванню, обробці різанням, зварюванню, згинанню й іншим видам

обробки). Тому об'єктом нормування при стандартизації є експлуатаційні властивості (міцність, жароміцність, магнітна проникність), а також технологічні властивості (можливість штампування, зварюваність та інші).

ДСТУ на метал складені так, щоб були враховані основні вимоги споживача.

У стандартах або технічних умовах (ТУ) на марки сталей регламентується хімічний склад сталей, різні вимоги до готового прокату з указівкою механічних властивостей та інших показників якості, правила приймання й іспитів, умови маркування й оформлення документації на продукцію, що відвантажуються.

У сортаментних стандартах зазначені розміри профілю прокату й окремих елементів профілю, точність прокату, необхідна прямолінійність, характеристика розрізання на довжини.

Стандартами на методи іспитів оговорені форми і розміри зразків, застосовувані прилади й апаратура, умови проведення іспитів. Кожен вид іспитів проводиться за відповідним стандартом. Наприклад, «Матеріали металеві. Випробування на розтяг. Ч. 1. Метод випробування за кімнатної температури» ДСТУ EN 10002-1:2006; «Методи виміру твердості за Брінелем» ГОСТ 9012-59 й інші.

Існують стандарти та загальні ТУ, у яких крім хімічного складу сталі та технічних вимог, обмовляють розміри та допуски, а також методи іспитів.

Кожен стандарт має постійний номер, після перегляду окремих вимог вноситься лише зміна року.

Основними стандартами, за якими поставляється 80 % усього прокату, є ДСТУ 2651:2005 на сталь вуглецеву звичайної якості, ГОСТ 1050-88 на сталь вуглецеву якісну, ГОСТ 19282-73 на сталь низьколеговану конструкційну і ГОСТ 4543-71 на сталь леговану конструкційну.

Відмінність цих стандартів полягає в тім, що в них зазначений не тільки хімічний склад і механічні властивості, але і ряд додаткових вимог з урахуванням подальшої переробки прокату у споживача.

В свою чергу сталі звичайної якості розділяють за ступенем розкислення: СтЗкп (**кипляча**), СтЗпс (**напівспокійна**) і СтЗсп (**спокійна**), при тім для них ДСТУ 2651:2005 оговорено утримання кремнію (Si).

Наприклад, для сталей:

Ст1кп — Si не більш 0,05%;

Ст1пс — 0,05-0,15%;

Ст1сп — 0,15-0,3%.

В таблиці 1.3 наведений хімічний склад сталей СтЗ відповідно до ДСТУ 2651:2005.

Таблиця 1.3. Хімічний склад СтЗ

Найменування сталі	Хімічний склад, %				
	C	Mn	Si	P	S
СтЗкп	0,14-0,22	0,3-0,6	≤ 0,07	-	-
СтЗпс	0,14-0,22	0,04-0,65	0,05-0,19	до 0,04	до 0,05
СтЗсп	0,5-0,6	0,12-0,30	-	-	-

За ГОСТ 1050-88 прокатуються сталі 05кп, 08кп, 10кп, 15кп; 20кп, 25–85кп (через кожні 5 одиниць).

Індекс «кп» означає, що сталь по ступені розкислення кипляча; якщо цього індексу немає, це означає, що сталь спокійна. Цим стандартом передбачається виробництво прокату зі сталей з нормальним вмістом Mn (до 0,7 %) група I і з підвищеним вмістом (більш 0,7 %) група II.

За ГОСТ 1050-88 передбачається нормування твердості і показника макроструктури прокату.

За вимогою споживача здійснюється постачання прокату в травленому виді, з нормованою чистотою за неметалевими включеннями.

У прокаті, що поставляється за ГОСТ 4543-71, передбачається додаткова жорсткість вимог по показнику твердості, величині знеуглецьованого шару, значенню ударної в'язкості при мінусових температурах, якості зламу та так далі.

Видаючи замовлення, споживач металу повинний указувати ДСТУ на хімічний склад і механічні властивості профілю, а також сортаментний ДСТУ, де зазначені допуски на розміри профілю.

Наприклад: За ДСТУ 4746:2007 на гарячекатані профілі за точністю передбачено дві групи: Б – підвищеної точності, В – звичайної точності.

Проекти ДСТУ на металопродукцію розробляють організації зі стандартизації із залученням фахівців зацікавлених галузей (споживачі – постачальники) на підставі вивчення досвіду виробництва даного виду продукції на всіх заводах, а також аналітичного огляду вітчизняної і закордонної літератури по даному питанню. До проекту стандарту додається зведені пропозиції постачальників і споживачів металу до перегляду стандарту. Потім проект ДСТУ направляють усім зацікавленим організаціям (100–300 адрес), що надсилають листи-відклики. Після вивчення відкликів редагується проект ДСТУ і направляється в технічне керівництво міністерства промисловості.

3. Вплив вимог до готового прокату на технологічний процес і технологічні схеми виробництва прокату

Основні задачі при виробництві готового прокату наступні: одержання прокату заданих розмірів і форми з найменшими

витратами; одержання прокату з заданими фізико-механічними властивостями і станом поверхні.

Ці задачі можуть бути виконані тільки при точному дотриманні режиму всіх технологічних операцій виробництва прокату даного виду.

Число операцій, що входять у технологічний процес прокатки, залежить від вимог, пропонованих до точності профілю, фізико-механічним властивостям, стану поверхні, макро- і мікроструктурі. Чим вище ці вимоги, тим складніше і з більшого числа операцій складається технологічний процес.

Основні операції технологічного процесу гарячої прокатки наступні: підготовка вихідних матеріалів до прокатки; нагрів цих матеріалів перед прокатуванням; прокатка заданого профілю; оздоблювальне оброблення, включаючи різання, охолодження, виправлення, видалення поверхневих дефектів та інші.

4. Контроль технологічного процесу

З метою запобігання браку і забезпечення стабільних властивостей прокату проводиться систематичний контроль технологічного процесу, відповідно до затвердженої технологічної інструкції, починаючи зі сталеплавильного цеху.

У прокатних цехах перевіряють маркірування вихідних матеріалів на складі перед посадкою їх у нагрівальні печі, з метою запобігання переплутування марок сталей.

Маркірування сталей

Вуглецеві сталі, за винятком сталей звичайної якості (Ст 0 – 7), маркуються відповідно до вмісту вуглецю та інших хімічних елементів, що входять до складу сталі.

Марка легованої сталі складається зі сполучення букв і цифр, що позначають її хімічний склад. За ГОСТ 4543-71 прийнято позначати хімічний склад наступними літерами

кириличної абетки [1], цифра, що стоїть після букви, указує на приближений вміст легуючого елементу у відсотках:

<i>Азот</i> – А*	<i>Мідь</i> – Д
<i>Алюміній</i> – Ю	<i>Молибден</i> – М
<i>Бор</i> – Р	<i>Нікель</i> – Н
<i>Ванадій</i> – Ф	<i>Ніобій</i> – Б
<i>Вольфрам</i> – В	<i>Титан</i> – Т
<i>Кобальт</i> – К	<i>Фосфор</i> – П
<i>Кремній</i> – С	<i>Хром</i> – Х
<i>Марганець</i> – Г	<i>Цирконій</i> – Ц

* Не в кінці марки

Якщо цифри відсутні, то легуючого елемента менше або біля одного відсотка.

У конструкційних легованих сталях дві цифри на початку марки показують вміст вуглецю в сотих долях відсотка. Наприклад, сталь 20ХН3А в середньому містить 0,20 % С, по 1 % Cr та 3 % Ni. Буква А в кінці марки означає, що сталь високоякісна. Особо високоякісні сталі мають наприкінці марки букву Ш (наприклад, 30ХГС-Ш).

В інструментальних сталях одна цифра на початку марки вказує на вміст вуглецю в десятих частках відсотка. При вмісті в них 1 % С або більш початкову цифру опускають. Наприклад, у сталі ХВ4 міститься більш 1 % С, ~1 % Cr і 4 % W.

Для скорочення знаків допускається також опускання ряду цифр у марках складнолегованих сталей. Наприклад, сталь 36Х2МЮА позначають 38ХМЮА.

Деякі групи сталей містять додаткові позначення: марки шарикопідшипникових сталей починаються з букви Ш,

швидкорізальних – з букви Р, електротехнічних – з букви Э, магнітотвердих – з букви Е, автоматних – з букви А.

Нестандартні леговані сталі можуть бути промаркіровані сполученням букв ЭИ («электросталь исследовательская») або ЭП («пробная») і порядковим номером (наприклад, ЭИ415, ЭП176 і так далі). Після промислового освоєння умовну позначку заміняють на марку, що відбиває змістовий склад сталі. Контролюється стан поверхні вихідних заготовок.

При нагріванні зливків у нагрівальних колодязях суворо регламентується температура, швидкість і тривалість нагрівання в залежності від марки сталі, маси і форми зливка. При прокатці контролюється температура початку і кінця прокатування, режим обтиснень, постійно перевіряється стан калібрів і валкової арматури.

Постійна увага приділяється контролю розмірів і форми профілю, а також якості поверхні, для чого вальцювальниками регулярно відбираються проби. Фактично технологічний процес виробництва прокату контролюється на всіх стадіях, починаючи з підготовки заготовок і закінчуючи відвантаженням продукції.

Так, при різанні блюмів контролюють видалення усадочної раковини та рихлості, при різанні готового прокату – правильність різання на мірні довжини і якість різання, при уповільненому охолодженні металу – режим охолодження.

До задачі кінцевого контролю в прокатних цехах входить визначення якості готового прокату, відповідність його діючим стандартам або ТУ. Обсяг кінцевого контролю залежить від призначення та вимог, які висувають до профілю.

До кінцевого контролю можна віднести визначення механічних властивостей та якості сталі за макро- і мікроструктурою, магнітні іспити й інше.

Для визначення механічних властивостей застосовують іспити на розрив, вигин, крутіння, ударну в'язкість тощо.

Велике значення для перевірки якості готового прокату мають технологічні проби на загин у холодному і нагрітому стані,

осаджування в холодному або гарячому стані, скручування дроту, перегин і таке інше.

5. Класифікація прокатних станів за призначенням

Вихідним матеріалом для прокатного виробництва є зливки або литі заготовки квадратного, прямокутного чи круглого перерізів.

Технологічний процес прокатки на металургійному заводі складався з 2-х основних стадій: прокатка злиwkів у напівпродукт (блюми, сляби і заготовки); прокатка напівпродукту в готовий прокат. В сучасних умовах поширюється використання агрегатів і схем виробництва прокату безпосередньо після МБЛЗ.

Розміри блюму – $h \times b = 200 \times 200 \div 400 \times 400$ мм;

слябу – $h \times b = (90 \div 300) \times (500 \div 1300)$ мм;

заготовки – $h \times b = 60 \times 60 \div 180 \times 180$ мм;

сутунки – $h \times b = (10 \div 30) \times (150 \div 400)$ мм.

У залежності від призначення прокатні стани можна розділити на дві групи: стани для прокатки напівпродукту; стани для виробництва готового прокату.

До першої групи відносять блюмінги, заготовочні стани, що поставляють напівпродукт для виробництва сортових профілів, а також слябінги і блюмінги-слябінги, що поставляють сляби для виробництва листової продукції.

У залежності від складу сортових станів на заводі обтискний цех може складатися з блюмінга або блюмінга і заготовочного стану, останній дозволяє прокатувати зливки в блюми і заготовки з одного нагрівання. На сучасних підприємствах обтискні цехи часто замінюють машинами безперервного лиття заготовок.

До станів для виробництва готового прокату відносять сортові, листові, трубні та спеціальні прокатні стани (колесобандажні, універсальні, кулькопрокатні й інші).

Металургійні підприємства з метою підвищення ефективності виробництва спеціалізувалися на окремих видах сортаменту.

Наприклад, існують заводи, сортамент яких складається із сортових профілів («Криворіжсталь» і Дніпровський металургійний комбінат), заводи з виробництва листової продукції («Запоріжсталь», Маріупольський металургійний комбінат), заводи з виробництва трубної продукції (Нікопольський трубний завод, Новомосковський трубний завод). Деякі заводи з великим виробництвом металу мають в своєму сортаменті і листову, і сортову продукцію («Азовсталь», ЧерМЗ), існують заводи, що спеціалізуються у виробництві складних легованих сталей («Дніпроспецсталь», ЧМЗ).

6. Основні положення калібровки валків

Вихідний матеріал для прокатки готових профілів – заготовки звичайно квадратного чи прямокутного перерізу. Розміри цього перерізу приймаються значно більше розмірів готового профілю, щоб забезпечити опрацювання (обтиснення) металу розкату як по перерізу, так і по всій довжині штаби. Звичайно прокатка як сортового металу, так і листів здійснюється за кілька проходів, число яких встановлюється в залежності від співвідношення розмірів вихідного і кінцевого профілів. У кожному проході площа перерізу металу, який прокатується, зменшується, при цьому форма і розміри перерізу поступово наближаються до заданого профілю.

Основним інструментом прокатних станів є робочі валки.

Прокатування листів виконується в так званих гладких валках, що мають циліндричну робочу поверхню, зменшення товщини профілю досягається відповідним зближенням валків.

При прокатці сортових профілів, наприклад, кругу, квадрату, рейки й інших, щоб додати металу, що прокатується, необхідну форму, на робочій поверхні валків роблять поглиблення, які називають **струмками**. Після їх використання при прокатуванні перерізу розкату надається необхідна форма.

*Кільцевий виріз, що виконаний на одному валку та входить до складу калібру, називається **струмком**.*

*Просвіт, що утворюється струмками валків та в процесі прокатування заповнюється металом, називається **калібром**.*

Шляхом послідовних проходів металу крізь калібри здійснюється поступова зміна вихідного перерізу заготовки до перерізу готового профілю.

Визначення форми та розмірів калібрів для прокатки заданого профілю і є основною задачею калібровки.

Метал, що прокатується, при проходженні через калібр буде приймати форму цього калібру тільки за певних умов: коли розміри калібру та розкату, що надходить в нього, відповідають фізиці пластичної деформації й основним правилам калібровки. У противному випадку метал, який прокатується, або не заповнить весь калібр, або переповнить його, тобто заданий профіль не буде мати необхідної форми та розмірів.

***Калібруванням (калібровою) профілю** називається система послідовно розташованих калібрів, що забезпечує одержання заданого профілю.*

Калібровка профілю повинна враховувати: конструкцію стану; властивості металу, який прокатується; потужність двигуна; температуру розкату по проходах; досягнення максимальної продуктивності. У поняття калібровки профілю входить також розрахунок режиму обтиснень по проходах, вибір розмірів і форми калібрів.

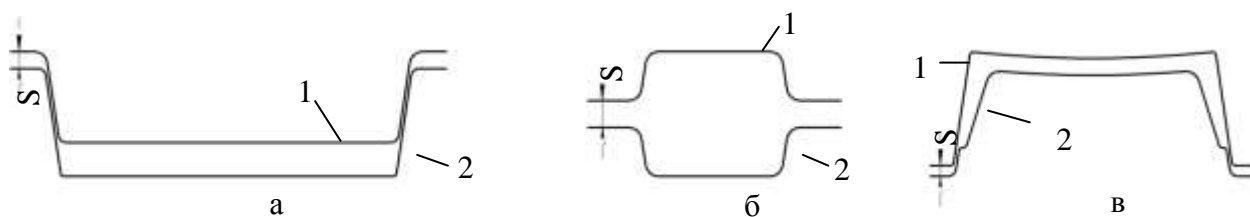
Від якості виконання калібровки профілю залежить не тільки якість прокату, але також техніко-економічні показники, такі як: продуктивність стану, витрата валків і металу, витрата енергії й інші показники.

Донедавна калібровка профілю не була науковим розділом, а скоріше відносилася до сфери мистецтва, яким володіли деякі обрані спеціалісти. Проте розвиток наукових знань та їх систематизація призвели до появи методик, які дозволяють отримати заданий профіль принаймні з третього прокатування, тобто відкрили бажаним доступ до оволодіння технологіями після навчання.

Розвиток методів калібровки профілів нерозривно зв'язаний із загальним прогресом прокатного виробництва. Це приводить до відказу від старих методів калібровки, які неприйнятні в сучасних умовах, і виникненню нових методів, що враховують останні досягнення прокатної техніки та науки.

6.1. Елементи калібру

З аналізу конструкцій типових калібрів встановлено, що майже всі калібри мають наступні елементи: струмки, бурти, зазори, випуски, рознімання калібрів, заокруглення (рис. 6.1).



*а – штабовий калібр; б – ящичний калібр; в – швелерний калібр
1 – верхній струмок; 2 – нижній струмок*

*Рис. 6.1. Калібри різної форми
Зазор*

Вільні ділянки бочки валка між нарізаними струмками називають **буртами**.

Бурти поділяють на **крайні** і **середні**.

Просвіт (відстань) між буртами двох валків називається **зазором** (на рис. 6.1 позначено *S*).

Товщина штаби, що виходить з валків, складається з глибини струмків на верхньому та нижньому валках і величини зазору між валками.

Наявність зазору необхідна, виходячи з наступних міркувань:

1. Валки не повинні стикатися один з іншим у процесі прокатування, тому що у місцях стикання вони гріються, виникає знос буртів, а також створюються додатковий тиск на підшипники валків і зайва витрата енергії.

2. При прокатці між валками виникають великі сили прокатування, що прагнуть розсунути їх один від іншого. Під дією цих сил відбувається пружна деформація деталей кліті: вигин валків, стискання подушок, натискних гвинтів, а також вигин і розтягання станин, тобто потрібний контроль їх взаємодій.

Суму всіх пружних деформацій деталей кліті називають **«пружиною» кліті** чи **пружною деформацією кліті**.

Унаслідок наявності пружини кліті при прокатці розмір калібру збільшується по висоті, а, отже, збільшується і товщина вихідної штаби. При існуванні зазору валки при настроюванні стану можуть бути зближені на величину «пружини кліті». Практично в залежності від типу і розмірів деталей «пружина» кліті знаходиться в межах від 1 до 10 мм.

У процесі прокатки калібр зношується, збільшується його висота, а, отже, і товщина профілю. При наявності зазору валки можуть бути зближені на величину зносу калібрів.

Тому величина зазору повинна бути не меншою суми пружних деформацій деталей кліті, а також зносу калібрів, що допускається, та підшипників валків, тобто:

$$S \geq f_c + f_{н.в} + f_{г} + f_{в} + I_{к} + I_{п}, \quad (6.1)$$

де f_c – пружна деформація станини;

$f_{н.в}$ – пружна деформація натискних гвинтів;

$f_{г}$ – пружна деформація гайки;

$f_{в}$ – пружна деформація валків;

$I_{к}$ – знос калібру;

$I_{п}$ – знос підшипника.

Зазор необхідний також для запобігання зіткнення валків, що може відбутися в результаті віддачі валків і призвести до руйнування валків.

Величина зазору в чистових калібрах приймається меншої в порівнянні з чорновими і проміжними калібрами.

На практиці приймаються наступні величини зазорів:

для чистових калібрів

$$S \leq 0,01D_{г};$$

де $D_{г}$ — діаметр валків.

Для передчистових калібрів

$$S \leq 0,02D_{г};$$

Для чорнових калібрів

$$S \leq 0,03D_{г}.$$

Очевидно, чим менше зазор, тим точніше може бути прокатаний профіль.

Сучасні попередньо напружені кліті мають невелику довжину бочки валків, обладнані підшипниками кочення або рідкого тертя, що дозволяє приймати зазори у 0,5 – 1,5 мм.

Випуск калібру

Бічні поверхні калібрів майже ніколи не розташовуються перпендикулярно осі валків. Як правило, бічні стінки калібрів мають ухил (рис. 6.2).

Нахил бічних граней калібру до площини, перпендикулярної осі валків, називається **випуском** або **ухилом** калібру.

Величина випуску ψ буває різна для різних типів калібрів, і звичайно вона виражається у відсотках від глибини струмка, іноді в градусах, іноді величиною тангенсу кута ухилу бічної грані до вертикалі.

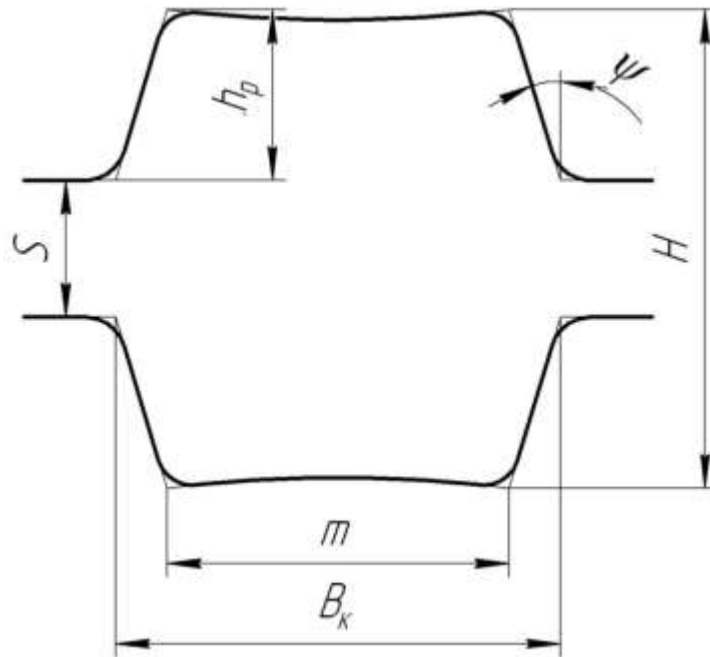


Рис.6.2. Ящичний калібр

Наприклад, на практиці для обтискних ящичних калібрів вона складає 20–35%, для чистових ящичних калібрів 3–8%. Для рейкових, швелерних і балкових чорнових калібрів величина ухилу бічних стінок дорівнює 5–10%, а в чистових балкових калібрах — 0,5–1,0%.

Випуск калібру визначається наступним чином [2]:

$$\psi = \frac{B_k - m}{2h_p} \cdot 100\% \quad (6.2)$$

або

$$\operatorname{tg}\psi = \frac{B_k - m}{2h_p} \quad (6.3)$$

де B_k – ширина калібру біля розділу;

m – ширина калібру біля дна;

h_p – глибина струмка.

Завдяки нахилу бічних стінок калібру забезпечується: зручне та правильне входження штаби в калібр; легкий вихід штаби з калібру; відновлення розмірів калібру по ширині при переточуваннях валків; деякий простір для розширення металу при прокатці.

Похилі стінки калібру служать свого роду направляючим жолобом при вході штаби в калібр, направляють і центрують розкат в калібрі при його прокатуванні.

Якби стінки калібру були перпендикулярними осі валків, то штаба внаслідок розширення сильно затискалася між ними та це ускладнювало би вихід штаби з валків. Відсутність випуску може також привести до оковування одного з валків, тобто штаба може обкрутити той чи інший валок, а це в свою чергу призведе до зламування валків.

При відсутності випуску неможливо відновити колишню ширину калібру при переточуванні валків. Наявність випуску дозволяє ремонтувати зношені калібри з відновленням первісної ширини калібру.

Чим більше ухил стінок калібру, тим менше доводиться знімати металу з чавунних валків при відновленні первісної ширини калібру, що має велике значення з точки зору збільшення терміну їхньої служби.

Зменшення діаметра бочки валка при переточуванні (рис. 6.3), що являє собою різницю:

$$\Delta D = D - D_n,$$

у залежності від зносу бічних стінок калібру визначиться з рівності:

$$a = \frac{\Delta D}{2} \cdot \sin \psi; \quad (6.4)$$

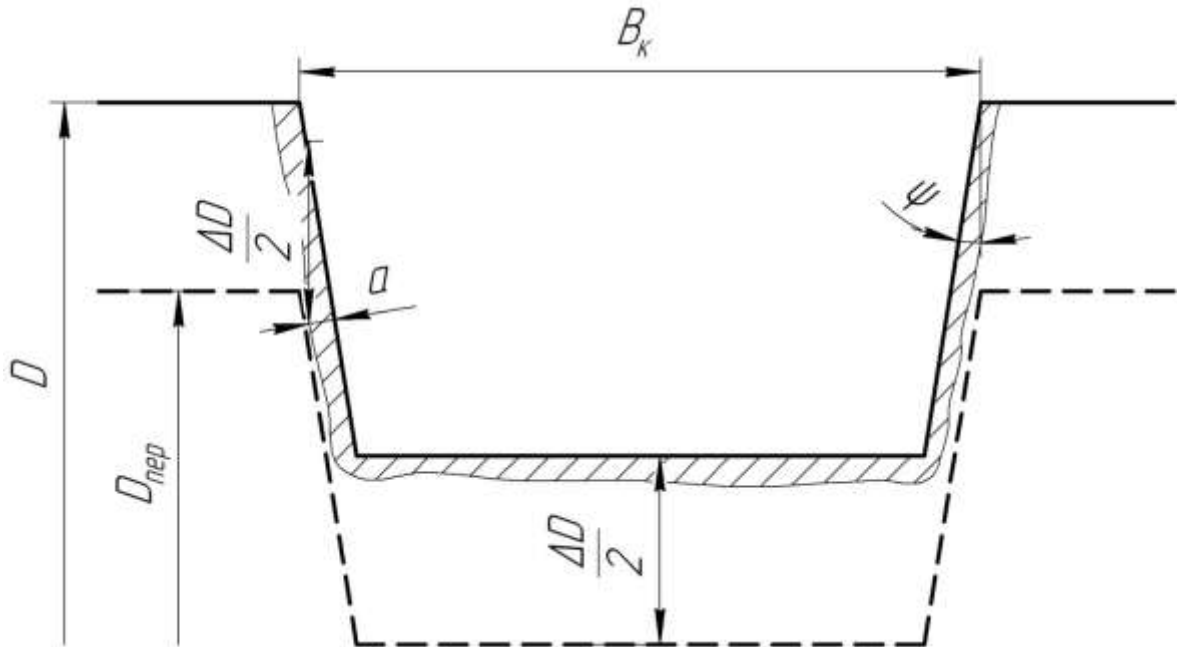


Рис. 6.3. До визначення величини переточування

$$\Delta D = D - D_n = \frac{2a}{\sin \psi}, \quad (6.5)$$

де a – величина зносу калібру, мм;

ψ – кут ухилу стінок калібру, град.;

ΔD – зменшення діаметру внаслідок переточування, мм.

Чим більше випуск калібру, тим менше величина переточування валків.

Наприклад, при одному і тому ж виробленні калібру a , що дорівнює 3 мм, величина переточування валків для випуску $\psi_1 = 5^\circ$ складе 60 мм, а для $\psi_2 = 30^\circ$ — 12 мм, тобто в п'ять разів менше.

$$a = 3 \text{ мм}; \quad \psi_1 = 5^\circ;$$

$$\sin \psi_1 \approx 0,1;$$

$$\Delta D_1 = \frac{2 \cdot 3}{0,1} = 60 \text{ мм};$$

$$\psi_2 = 30^\circ;$$

$$\sin \psi_2 \approx 0,5;$$

$$\Delta D_2 = \frac{2 \cdot 3}{0,5} = 12 \text{ мм}.$$

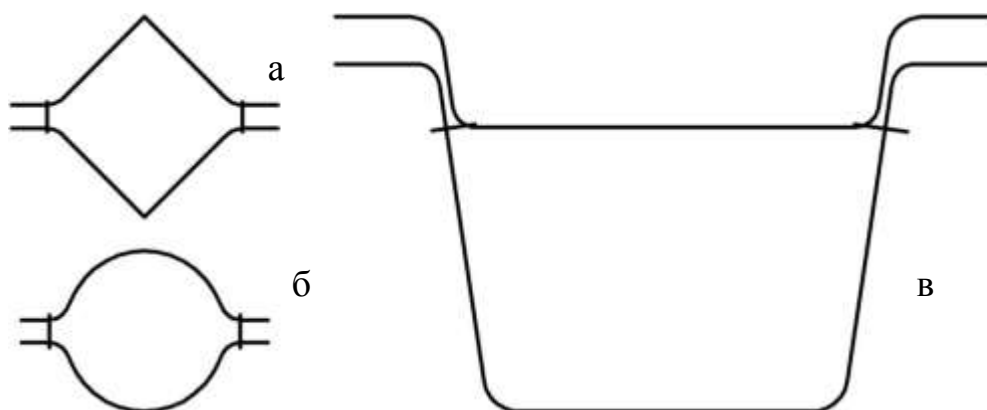
Роз'їм або розділ калібру

Оскільки калібр складений щонайменше двома валками, то він має границю переходу з одного струмка на інший, котру називають **лінією роз'їму** або **лінією розділу калібрів** (**роз'їм** або **розділ**).

Роз'їм показаний на рис. 6.4. Роз'їм калібру є слабким місцем калібру, оскільки в нього спрямовується метал у випадку переповнення калібру, утворюючи при цьому «лампаси», що при наступній прокатці можуть привести до утворення закатувань.

Величина роз'їму (розділу) у відкритих калібрах (наприклад, у круглих і квадратних рис. 6.4, а та б) дорівнює значенню зазору.

У калібрах закритого типу по розділу калібру передбачається деякий зазор (рис. 6.4, в), що необхідний для того, щоб перед прокатуванням можна було установити валки набагато ближче один до іншого для усунення впливу пружної деформації валків і зносу калібрів на висоту профілю, що прокатують.



а – квадратний калібр; б – круглий калібр; в – закритий калібр

Рис. 6.4. Схема, що пояснює розташування розділу в калібрах різної форми

Величина розділу в закритих калібрах значно менше зазору калібру. При використанні закритих калібрів для запобігання

утворення задирок, положення розділу змінюють у кожному наступному калібрі, а при використанні відкритих калібрів для досягнення тієї ж мети розкат кантують на 90° (в деяких випадках 45°) перед кожним наступним калібром.

Закруглення в калібрі

Закруглення призначені для попередження різкого охолодження кутів профілю, створення додаткового місця при розширенні металу в наступному калібрі. Закруглення бортів валків призначені для попередження «зрізів» при неточному задаванні розкату в калібр, а також одержання тупих задирок у випадку переповнення калібрів. Крім того, незаокруглені кути калібрів є концентраторами напружень у валках. Тому гострі кути заокруглюють визначеними радіусами, якщо ці кути не відносяться до форми майбутнього профілю. Величини радіусів закруглень приймають у залежності від розмірів і форми калібру (1-40 мм). Чим більші розміри калібрів, тим більші радіуси.

6.2. Класифікація калібрів

Калібри класифікуються за призначенням, формою, конструкцією та наявністю осей симетрії.

За призначенням калібри розбиваються на чотири групи:

1. **Обтискні** або **витяжні**, котрі призначаються для зменшення поперечного перерізу металу, який прокатують.

2. **Чорнові** або **підготовчі** калібри, у яких поряд зі зменшенням площі перерізу штаби виконується поступове наближення його розмірів і форми до кінцевого профілю.

3. **Передобробні** або **передчистові** калібри, що передують чистовим.

4. **Обробні** або **чистові** калібри, що формують остаточний вид профілю.

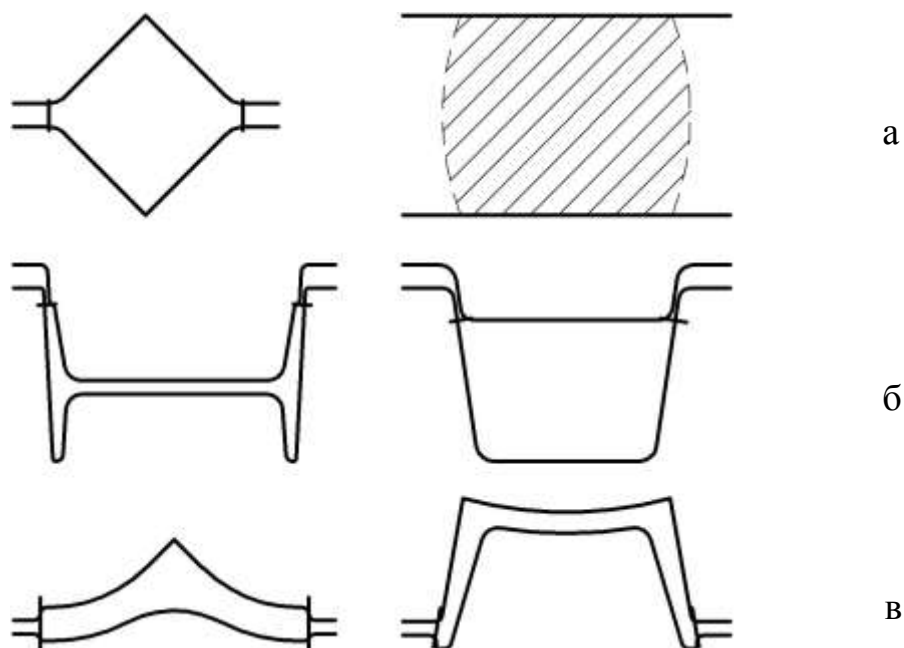
За формою калібрів розрізняють: ящичні або прямокутні, ромбічні, квадратні, овальні, круглі, штабові, балкові, кутові й інших форм.

За конструкцією калібри поділяються на відкриті, закриті і напівзакриті (рис. 6.5).

Відкриті калібри – це калібри, лінія розділу яких знаходиться в межах середньої частини по висоті калібру (рис. 6.5, а).

Закриті калібри – це калібри, лінія розділу яких перебуває за межами висоти калібру (рис. 6.5, б).

Якщо лінія розділу калібру зміщена до верхньої чи нижньої основи калібру, такі калібри називаються **напівзакритими** (або **напіввідкритими**, рис. 6.5, в).



а – відкриті калібри; б – закриті калібри; в – напівзакриті калібри

Рис. 6.5. Класифікація калібрів за конструкцією

За наявності осей симетрії калібри поділяються на:

1. **Калібри з повною симетрією** – це калібри, що мають дві осі симетрії (вертикальну та горизонтальну), наприклад: круглі, квадратні, ромбічні, овальні.

2. **Калібри з неповною** або **однією віссю симетрії**, наприклад: швелерні, таврові, кутові та іншої форми (рис. 6.6).

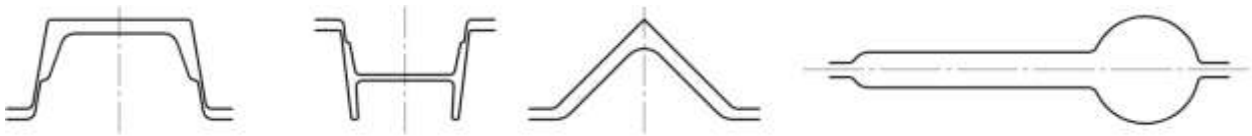


Рис. 6.6. Калібри з однією віссю симетрії

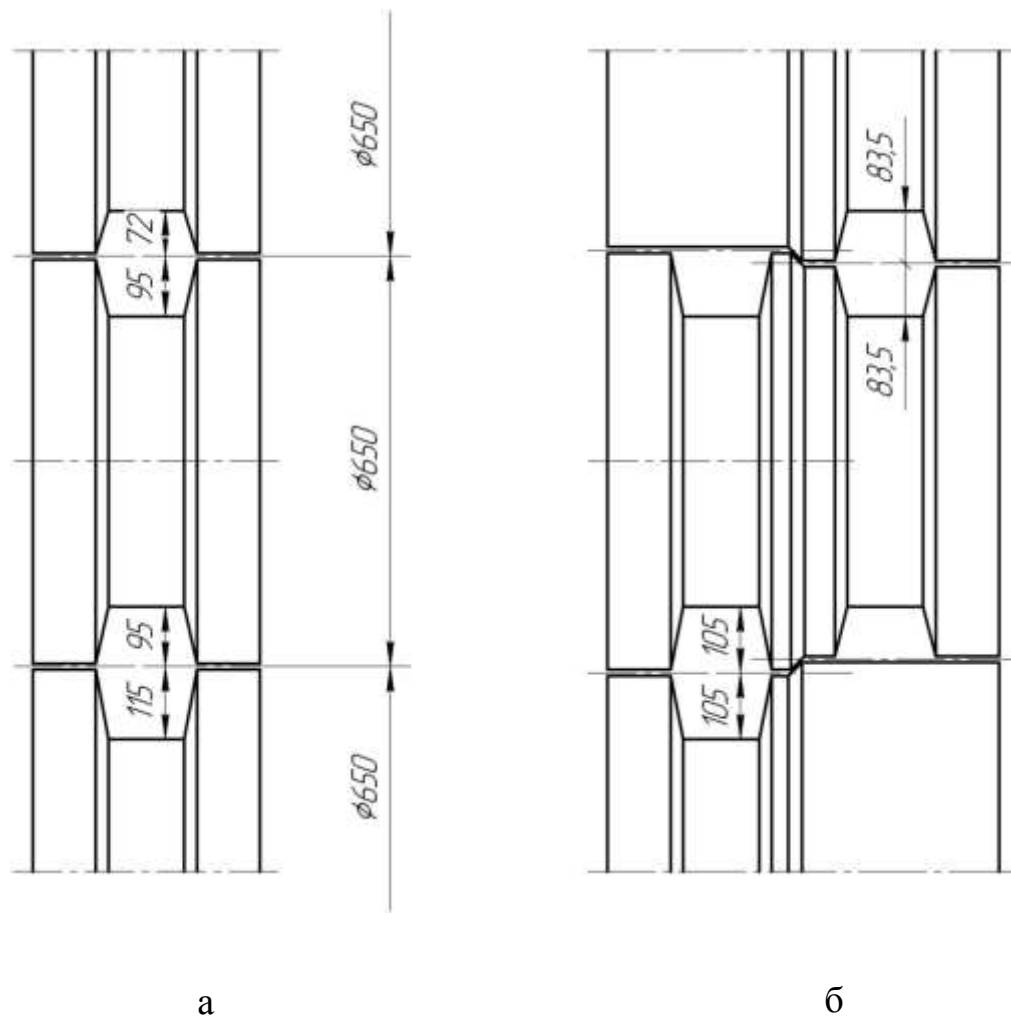
3. **Калібри асиметричні**, які не мають осей симетрії. Використовуються при прокатці автомобільного ободу, бортових і замкових кілець і інших профілів (рис. 6.7).



Рис. 6.7. Асиметричні калібри

У залежності від розташування на валках клітей тріо, прямокутні калібри поділяють на 2 типи: сполучені (зв'язані) калібри і несполучені (незв'язані) калібри (рис. 6.8).

Сполученими називають два калібри кліті тріо, розташовані на одній вертикалі таким чином, що струмок середнього валка є загальним для верхнього і нижнього калібрів. **Незв'язаними** називаються два калібри кліті тріо, врізані самостійно на різних вертикалях.



а – сполучені; б – несполучені

Рис. 6.8. Калібри кліті трію

Використання сполучених калібрів дає можливість розмістити більшу кількість калібрів по довжині бочки валків. Звичайно в цьому випадку перший калібр врізається між нижнім і середнім валками.

Штаба, що вийшла з цього калібру, потім подається без кантування у верхній калібр. Після цього штаба кантується на 90° і задається в наступний калібр, а потім знову без кантування в наступний верхній калібр. Таким чином, усі непарні калібри будуть розташовуватися на нижньому горизонті, а парні калібри

на верхньому горизонті, а кантування штаби буде проходити перед непарними проходами.

Основним недоліком сполучених калібрів є те, що при однаковому діаметрі валків виходить значна різниця діаметрів робочих валків, тобто великий верхній тиск.

7. Елементи калібровки валків

У поняття «калібровка валків» входять вибір форми і розмірів, розташування калібрів на бочках валків, визначення їх верхнього і нижнього діаметрів, визначення розмірів крайніх і середніх буртів. У кінцевому виді калібровка валків являє собою креслення валків.

Основною величиною, що визначає розмір сортового стану, прийнято вважати діаметр робочих валків чистової групи клітей, а для листових станів — довжину бочки валків. Наприклад, сортові стани 500, 650, блюмінги 1150, 1300, слябінг 1200; листові стани 2500, 3600, 4500.

В процесі експлуатації діаметри валків змінюються внаслідок їхніх переточувань, тому звичайно розмір стану визначають по відстані між осями валків шестеренної кліті, що залишається незмінним (рис. 7.1).

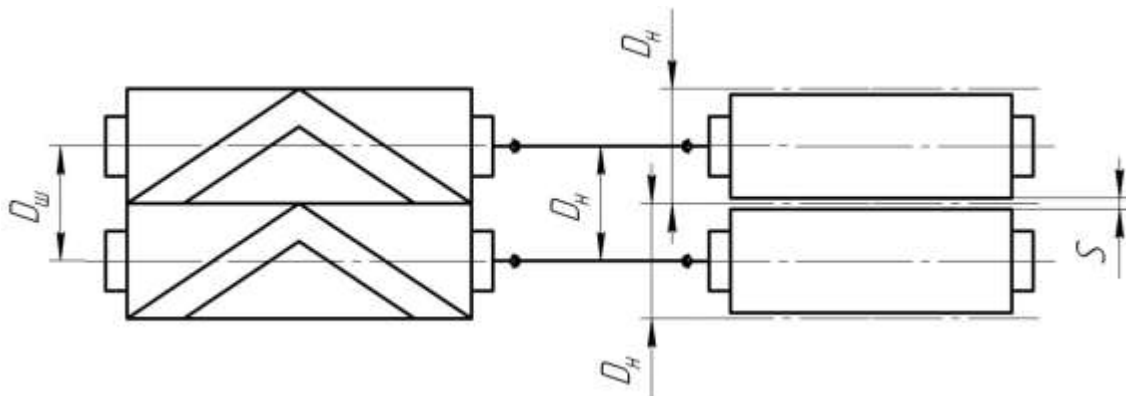


Рис. 7.1. Діаметри шестеренних і робочих валків

При проектуванні кліті в якості вихідного розміру приймають $D_{ш}$.

Відстань між осями нових робочих валків кліті з урахуванням нормального зазору називають номінальним (початковим) діаметром валків.

Номінальний діаметр D_H валків приймають на 5 % більше розміру $D_{ш}$, що необхідно для компенсації зносу валків. Мінімальний діаметр валків (після всіх переточувань) допускається на 10 % менше номінального діаметра або на 5 % менше.

$$D_H = 1,05D_{ш} = D_{max}; \quad (7.1)$$

$$D_{min} \approx 0,95D_{ш} \approx 0,9D_H (0,9D_{max}). \quad (7.2)$$

Кути перекосу шпинделів визначаються діаметрами D_H і $D_{ш}$. Якщо виходити з умови рівного перекосу шпинделів, то

$$D_{ш} = \frac{D_H + D_{min}}{2} = \frac{D_{max} + D_{min}}{2}. \quad (7.3)$$

Знос валків характеризується коефіцієнтом переточування валків, що визначає, яка частина діаметра піддається зніманню при переточуванні

$$K = \frac{D_H - D_{min}}{D_H} = \frac{D_{max} - D_{min}}{D_{max}}, \quad (7.4)$$

для сортових станів $K = 0,08 - 0,12$; для листових $K = 0,05 - 0,08$.

7.1. Вибір діаметру валків для прокатки заданого профілю

Визначення необхідного діаметру валків для прокатки того чи іншого профілю проводиться на підставі досвіду і перевірочних розрахунків умов захвату розкату і міцності валків.

Для попередньої калібровки вибір розмірів номінальних діаметрів валків для прокатки даного профілю чи, навпаки, при визначенні розмірів профілів, які можна прокатати на даному стані, виходять з максимального ослаблення валка унаслідок наявності струмків на кожному з валків.

Виходячи з практичних даних, глибина струмків звичайно складає: для чистових калібрів – 16-20 % від діаметру валків; для обтискних і чорнових калібрів – 20-25 % від діаметру валків.

Необхідно враховувати, що припустима величина ослаблення валка у великому ступені залежить від матеріалу валків і відношення діаметру до довжини бочки.

Для сортових станів відношення висоти штаби h_k до діаметру валків D , що дорівнює $1/8-1/5$ або $\frac{h_k}{D} = 0,125 \div 0,2$, вважається оптимальним, але на практиці спостерігаються і відхилення від даного співвідношення в обидва боки.

Наприклад, на блюмінгах $\frac{h_k}{D}$ змінюється від $0,7 \div 0,8$ у перших пропусках до $0,15 \div 0,3$ в останніх. Відомо, що при $\frac{h_k}{D} \approx 1$ деформація не проникає у внутрішні шари зливка, що приводить до виникнення внутрішніх напружень і нерівномірного розширення у перерізах та по довжині розкату. Тобто для одержання якісних блюмів на блюмінгах бажано враховувати діаметри робочих валків.

На існуючих дровових станах, навпаки, відношення $\frac{h_k}{D}$ невелике (дорівнює $0,05 \div 0,03$), що також дуже небажано, тому що через малий $\frac{h_k}{D}$ прокатка супроводжується сильно розвинутим розширенням і великим тиском. Така прокатка є нераціональною, тому що збільшується кількість проходів.

Для знов спроектованого стану діаметри валків при попередньому розрахунку калібровки профілів приймаються на підставі величини припустимої глибини струмків на діючих станах, тобто $\frac{h_k}{D} = 0,16 \div 0,25$.

Після розрахунку калібровки валки обов'язково перевіряють на міцність.

7.2. Верхній і нижній тиск валків

У залежності від типу стану і сортаменту профілів, що прокатуються на ньому, можливі наступні співвідношення діаметрів верхніх D_B і нижніх D_H валків:

$$1) D_B > D_H; \quad 2) D_B = D_H; \quad 3) D_B < D_H.$$

На практиці в більшості випадків мається нерівність діаметрів верхнього і нижнього валків. Обумовлюється це особливостями прокатки того чи іншого профілю. Але в будь-якому випадку, величина середнього діаметру визначається за виразом:

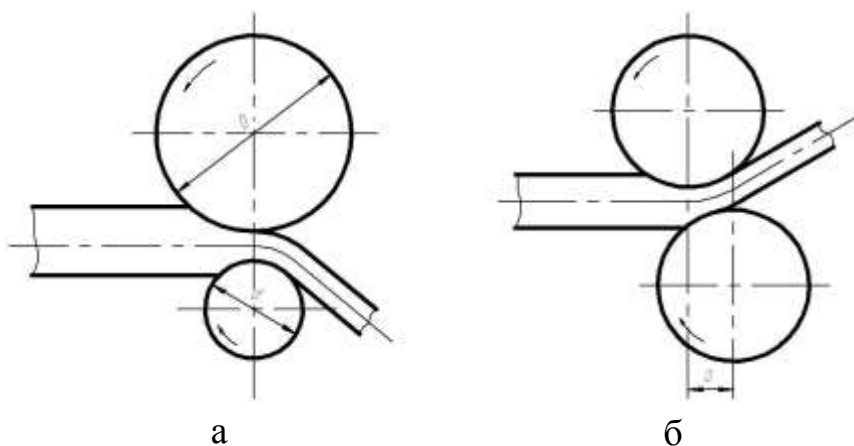
$$D_{\text{сер}} = \frac{D_B + D_H}{2} + S, \quad (7.5)$$

де S — зазор між валками.

Для нових валків:

$$D_{\text{сер}} = D_H (D_{\text{max}}). \quad (7.6)$$

Прокатка у валках з різними діаметрами супроводжується вигином штаби, що прокатується, у бік валка з меншим діаметром (рис. 7.2, а). Пояснюється це різницею окружних швидкостей поверхні валків при однаковій їхній частоті обертання.



а – при неоднакових діаметрах валків; б – при зсуві валків

Рис. 7.2. Різні випадки вигину штаб

Різниця величини діаметра одного прокатного валка від іншого, що вимірюється в міліметрах, називається **тиском валків** ΔD .

Розрізняють верхній $\Delta D_{\text{в}}$ і нижній $\Delta D_{\text{н}}$ тиск. При верхньому тиску верхній валок має більший діаметр, при нижньому – навпаки.

Верхній тиск:

$$\Delta D_{\text{в}} = D_{\text{в}} - D_{\text{н}}. \quad (7.7)$$

Нижній тиск:

$$\Delta D_{\text{н}} = D_{\text{н}} - D_{\text{в}}. \quad (7.8)$$

Слід зазначити, що на вигин штаби впливають і інші фактори, що приводять до того, що навіть при $D_{\text{в}} = D_{\text{н}}$ штаба може згинатися нагору чи вниз, а у окремих випадках і «оковувати» валок. Цими факторами є:

1. Нерівномірне нагрівання штаби.
2. Різний коефіцієнт тертя у валків.
3. Неправильна установка валків (рис. 7.2, б), валкової арматури.

Застосування тиску валків дозволяє створити умови, при яких штаба завжди буде виходити з валків в одному напрямку. Так, на блюмінгах і слябінгах застосовують нижній тиск до $15 \div 20$ мм, яке оберігає ролики рольганга від поломок.

А на сортових станах для попередження випадкових відхилень штаби при виході з валків, установлюються спеціальні вивідні проводки. У зв'язку з труднощами установки верхньої проводки застосовують звичайно верхній тиск до $2 \div 6$ мм.

На станах тріо зі сполученими калібрами іноді працюють з верхнім чи нижнім тиском, що доходить до $50 \div 70$ мм і дуже часто з тиском до $10 \div 30$ мм.

Однак, навіть невелике розходження в діаметрах валків приводить до нерівномірного розподілу моменту, прокатки між шпинделями, наприклад до 70 % моменту прокатки приходиться

на нижній і 30 % на верхній валок, що викликає нерівномірний знос шевронних валків шестеренної кліті і шпинделів. Отже, застосовувати тиск треба тільки в необхідних випадках.

7.3. Середній діаметр пари валків. Середня лінія валків і лінія прокатки

Вертикальна площина, що проведена крізь осі обох валків, називається **площиною прокатки**. Креслення калібровки валків представляє собою розріз у цій площині (рис. 7.3).

Відстань між осями валків називається **середнім діаметром** пари валків (**початковим** чи **теоретичним**) і позначається $D_{сер}$.

Під **середньою лінією валків** розуміється лінія NN, що поділяє відстані між осями валків навпіл.

Уявна лінія MM, на якій розташовуються калібри, називається **лінією прокатки**.

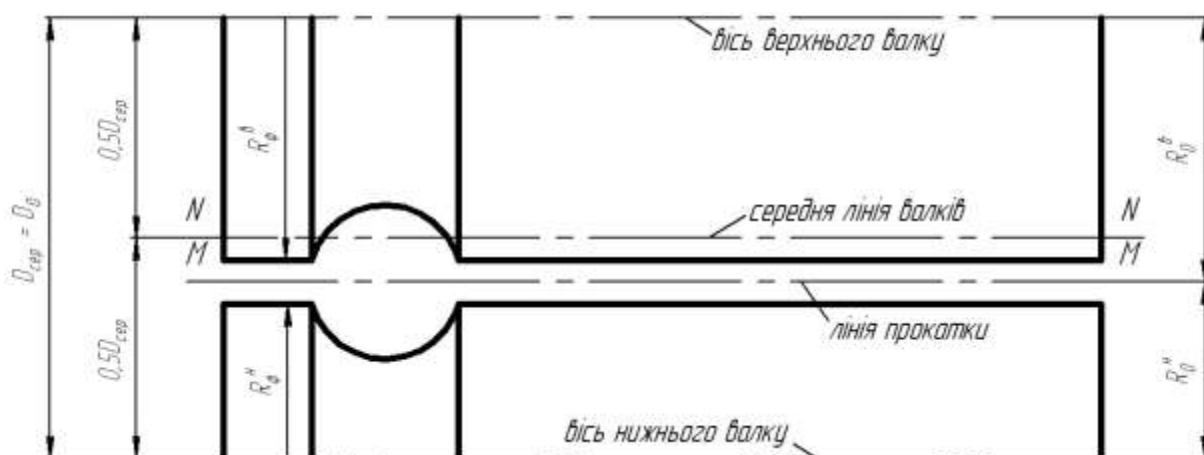


Рис. 7.3. Розташування середньої лінії валків і лінії прокатки

Лінія прокатки розташована в площині прокатки та поділяє відстань між осями валків або середній діаметр пари валків на дві частини R_0^B і R_0^H , що представляють собою початкові радіуси верхнього і нижнього валків. Цими радіусами визначаються початкові діаметри окремих валків:

$$D_0^B = 2R_0^B \quad \text{та} \quad D_0^H = 2R_0^H. \quad (7.9)$$

Середній діаметр валків даної кліти при відомих фактичних діаметрах окремих валків визначається

$$D_{\text{сер}} = \frac{D_{\text{ф}}^B + D_{\text{ф}}^H}{2} + S; \quad (7.10)$$

де $D_{\text{ф}}^B$, $D_{\text{ф}}^H$ – фактичний діаметр верхнього і нижнього валків;

S – зазор між валками.

Лінія прокатки може не збігатися із середньою лінією валків, тобто розташовуватися на кресленні валків або вище, або нижче середньої лінії.

Якщо валки будуть однакового діаметра, тобто верхній чи нижній тиск відсутній, то лінія прокатки збігається із середньою лінією валків і в цьому випадку:

$$R_0^B = R_0^H = \frac{D_{\text{сер}}}{2}. \quad (7.11)$$

При верхньому тиску, коли $D_B > D_H$, лінія прокатки розташована нижче середньої лінії валків, при нижньому тиску, коли $D_H > D_B$ - вище середньої лінії валків.

Звичайно на кресленні валків показують лінію прокатки, а не середню лінію валків.

7.4. Нейтральна лінія калібру

Якщо відома відстань між осями валків і величина верхнього чи нижнього тиску валків, то положення лінії прокатки стає визначеним.

Для того, щоб знайти положення калібру щодо лінії прокатки, необхідно по висоті калібру прийняти таку лінію, яку можна розглядати як базу для визначення його положення щодо лінії прокатки.

*Базова лінія, яка визначає положення калібру, називається **нейтральною лінією калібру** (НЛК).*

Калібри врізаються у валки таким чином, що їхня нейтральна лінія збігається з лінією прокатки.

Фізична сутність нейтральної лінії калібру пояснюється наступними правилами:

НЛК – це уявна горизонтальна лінія в калібрі, відносно до якої з боку обох валків виникають однакові сили, що діють на штабу, яка прокатується.

НЛК – це така горизонтальна лінія в калібрі, при співпадінні якої із середньою лінією валків, забезпечується прямолінійний вихід штаби з валків.

Ця лінія в більшості випадків проходить через центр ваги перерізу профілю. Для симетричних калібрів вона збігається з їх горизонтальною віссю симетрії (круглих, овальних, квадратних, ромбічних).

При відсутності горизонтальної осі симетрії в калібрі положення НЛК визначається різними методами в залежності від конфігурації калібру.

При розбіжності НЛК із середньою лінією валків штаба буде згинатися вниз або вгору, знос струмків буде неоднаковим, навантаження на шестеренні валки, шпинделі і на валкову арматуру нерівномірним. Таким чином, за рядом ознак можна судити про положення калібру щодо середньої лінії валків.

Відомо багато методів визначення НЛК, що запропоновані вченими-прокатниками, наприклад: Старченко, Даля, Кучко тощо. Проте всі вони можуть бути зведені до наступних способів:

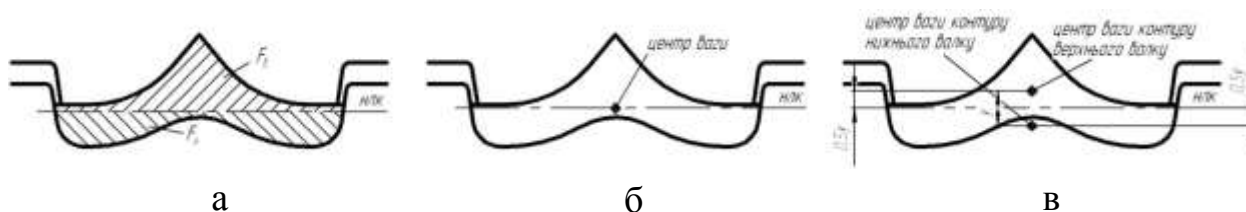
1. НЛК проводиться таким чином, щоб площа частини калібру, що лежить вище неї, дорівнювала площі частини калібру, що лежить нижче неї (рис. 7.4, а), тобто $F_B = F_H$.

2. НЛК проводиться через центр ваги калібру, якій необхідно попередньо визначити (рис. 7.4, б).

3. НЛК проводиться на половині відстані між центрами ваги контуру в кожному валку (рис. 7.4, в).

На практиці в основному використовуються спосіб, визначення центру ваги.

Якщо нейтральна лінія калібру визначена неправильно, то це приводить до великих динамічних ударів у муфтах, і штаба при виході з валків буде згинатися нагору або вниз.



*а – за рівністю площ; б – за методом центра ваги;
в – за методом центрів ваг контурів в кожному валку*

Рис. 7.4. Розташування нейтральної лінії калібру

Одним з найбільш простих та поширених методів визначення НЛК є проведення його через центр мас калібру. При цьому можна використати наступний алгоритм:

1. Викреслюють калібр між двома паралельними лініями (на рис. 7.5 вони позначені $x-x$ та $y-y$).

2. Визначають значення площ вище калібру F_2 та нижче калібру F_1 .

3. Визначають приведені висоти діляниць над і під калібром:

$$H_m = \frac{F_1}{B}; \quad H'_m = \frac{F_2}{B}.$$

4. Висоти повинні мати однакове значення. В іншому випадку з боку меншої висоти добудовують прямокутник висотою $|H'_m - H_m|$ (на рис. 7.5 відокремлений лініями у-у та z-z). Середня лінія між x-x та z-z буде НЛК.

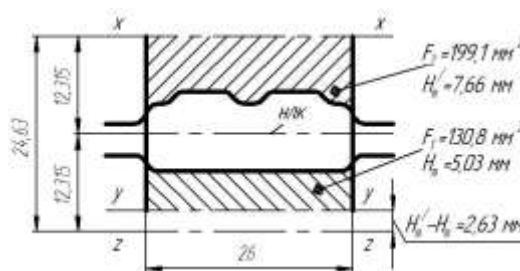


Рис. 7.5. До визначення НЛК за центром ваги

Практичне заняття № 1. Визначення нейтральної лінії калібру

Мета заняття: вивчити методи розрахунку нейтральної лінії калібру.

Задача заняття: виконати розрахунок нейтральної лінії калібру для чистового кутового калібру.

1.1. Загальні положення

Після розрахунку режиму обтиснень і визначення форми і розміру калібрів необхідно виконати калібровку валків. У поняття «калібровка валків» входить розташування калібрів на валку, визначення діаметрів верхнього і нижнього валків, розміри крайніх і середніх буртів. У кінцевому виді калібровка валків являє собою креслення валків із калібрами.

Якщо відома відстань між осями валків і розмір верхнього або нижнього тиску, то розташування лінії прокатування визначено.

Для того, щоб знайти розташування калібру відповідно до лінії прокатування, необхідно у середині калібру прийняти таку лінію, яку могли б розглядати як базу, для визначення його положення щодо лінії прокатування.

У якості такої базової лінії приймається нейтральна лінія калібру (НЛК). Калібри треба врізати у валки так, щоби їхня нейтральна лінія співпадала з лінією прокатування.

Фізична сутність НЛК пояснюється такими властивостями:

1. НЛК – це уявна горизонтальна лінія в калібрі, відносно якої валки здійснюють однаковий силовий вплив на штабу, яка прокатується.
2. НЛК – це така горизонтальна лінія в калібрі, при суміщенні якої із середньою лінією валків штаба, яка прокатується не вигинається ні нагору, ні вниз.

Для симетричних калібрів НЛК співпадає з їх горизонтальною віссю симетрії. При відсутності горизонтальної вісі симетрії НЛК визначається різноманітними методами. Найбільше обґрунтовані методи визначення НЛК базуються на розрахунках сил тертя в калібрі для верхнього і нижнього валків з урахуванням зони відставання та випередження, але через складність і трудомісткість вони не одержали широкого поширення.

Для інженерних розрахунків широко використовуються більш прості методи, наприклад, метод Д.І. Старченко [2]. Загальне розв'язання задачі про визначення НЛК за даним методом зводиться до наступного (рис. 7.6). Площа фасонного калібру F_K приводиться до прямокутника відносно ширини B_K . Приведена висота калібру в цьому випадку:

$$H_{\text{кал.пр.}} = \frac{F_K}{B_K},$$

де F_K – площа калібру (поперечного перерізу штаби);

B_K – ширина калібру.

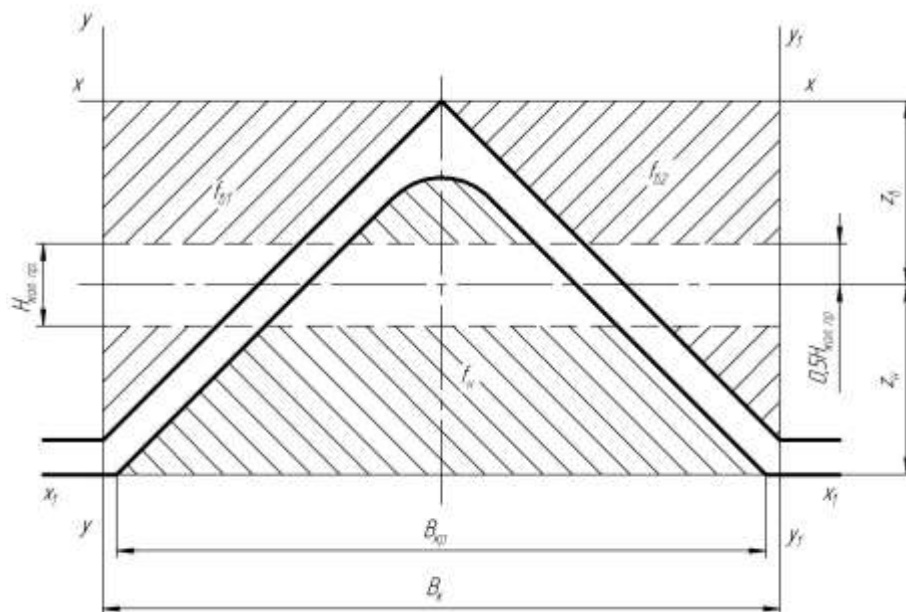


Рис. 7.6. Визначення положення НЛК кутового калібру за методом Д.І. Старченко

Через крайні по висоті точки калібру проводяться горизонтальні лінії $x-x$ і x_1-x_1 , а через крайні бічні точки калібру проводяться вертикальні лінії $y-y$ і y_1-y_1 (див. рис. 7.6).

Визначаються площі f_{B_1} , f_{B_2} і f_H , які обмежені лініями $x-x$, і x_1-x_1 , $y-y$, y_1-y_1 і обрисом калібру (заштриховані ділянки на рис. 7.6).

Площі f_{B_1} , f_{B_2} і f_H приводяться до рівного по площі прямокутника із шириною, що дорівнює ширині калібру B_K , і визначаються приведені висоти:

$$h_{B.пр.} = \frac{f_{B_1} + f_{B_2}}{B_K},$$

де f_{B_1} , f_{B_2} - додаткові площі з боку верхнього струмка.

$$h_{H.пр.} = \frac{f_H}{B_{кр}},$$

де f_H - додаткова площа з боку нижнього валку;

$B_{кр}$ - ширина калібру по нижньому струмку.

Тоді положення НЛК (z_B) щодо верхньої крайньої точки калібру, визначається як:

$$z_B = h_{B.пр.} + 0,5 \cdot H_{кал.пр.},$$

де $H_{кал.пр.}$ - приведена висота калібру (штаби).

Якщо відлік відстані необхідно вести від нижньої крайньої точки калібру, то:

$$z_H = h_{H.пр.} + 0,5 \cdot H_{кал.пр.}.$$

Для побудови монтажного креслення валків достатньо прив'язати НЛК до верхньої або нижньої крайньої точки калібру, тому виходячи з конфігурації заданого калібру розраховується та додаткова площа, яку зручніше розрахувати - верхня ($f_{B_1} + f_{B_2}$) або нижня f_H .

1.2. Приклад розрахунку нейтральної лінії калібру для прокатування кутового рівнополічного профілю

Виконаємо розрахунок нейтральної лінії чистового калібру для прокатування рівнополічного кутового профілю № 7 із товщиною полиці 4,5 мм (рис. 7.7).

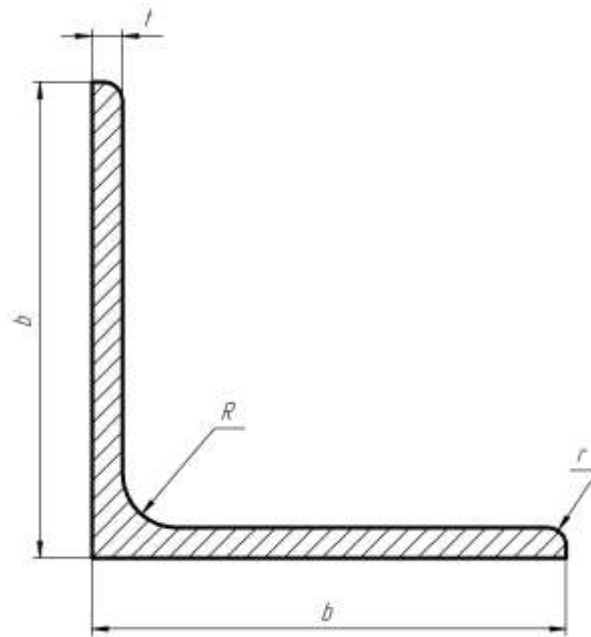


Рис. 7.7. Розстановка розмірів рівнополичного кутового профілю

Послідовність виконання

1. Визначаються розміри профілю в гарячому стані:

$$b_{\Gamma} = (1,013 \div 1,015) \cdot b,$$

де b - ширина полиці в холодному стані.

$$b_{\Gamma} = 1,013 \cdot 70 \approx 70,9 \text{ мм.}$$

$$t_{\Gamma} = (1,013 \div 1,015) \cdot t,$$

де t - товщина полиці кутового профілю.

$$t_{\Gamma} = 1,013 \cdot 4,5 = 4,56 \text{ мм.}$$

2. Визначаються розміри для побудови чистового калібру (рис. 7.8) по таким формулам:

$$b_{\text{к}} = b_{\Gamma} + (1,5 \div 2),$$

де $b_{\text{к}}$ - довжина полиці (у калібрі).

$$b_{\text{к}} = 70,9 + 1,6 = 72,5 \text{ мм.}$$

$$S = 1,414 \cdot t_{\Gamma} - 1,66,$$

де S - зазор між валками.

$$S = 1,414 \cdot 4,56 - 1,66 \approx 4,8 \text{ мм.}$$

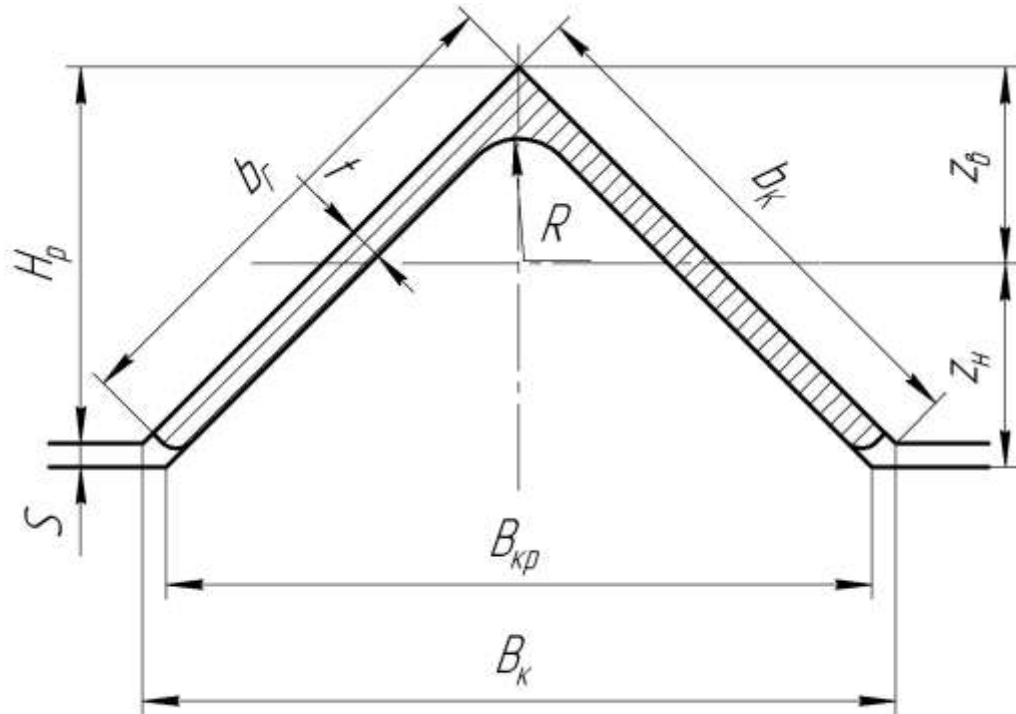


Рис. 7.8. Чистовий калібр для прокатування кутового рівнополічного профілю

$$B_{\text{к}} = 1,414 \cdot b_{\text{к}},$$

де $B_{\text{к}}$ - ширина калібру.

$$B_{\text{к}} = 1,414 \cdot 72,5 = 102,5 \text{ мм.}$$

$$H_{\text{р}} = 0,707 \cdot b_{\text{к}},$$

де $H_{\text{р}}$ - глибина струмка верхнього валку.

$$H_{\text{р}} = 0,707 \cdot 72,5 = 51,3 \text{ мм.}$$

$$B_{\text{кр}} = B_{\text{к}} - 3,32,$$

де $B_{\text{кр}}$ - ширина гребеню нижнього валку.

$$b_{\text{гр}} = B_{\text{к}} - 3,32 = 102,5 - 3,32 = 99,2 \text{ мм.}$$

$$H_{\text{гр}} = 0,5 \cdot B_{\text{кр}} - 0,414 \cdot R,$$

де R - радіус на стику полиць.

$$H_{\text{гр}} = 0,5 \cdot 99,2 - 0,414 \cdot 8 = 46,3 \text{ мм.}$$

3. Розраховується положення НЛК щодо крайньої верхньої точки калібру.

а) через вертикальні крайні точки калібру проводяться габаритні лінії $x-x$ і $y-y$ (див. рис. 7.6);

б) визначається площа калібру (F_k):

$$F_k \approx 2b_k \cdot t_r - t_r^2;$$

$$F_k = 2 \cdot 72,5 \cdot 4,56 - 4,56^2 = 640,4 \text{ мм}^2.$$

в) за формулою знаходиться приведена до прямокутника висота калібру:

$$H_{\text{кал.пр.}} = \frac{640,4}{102,5} = 6,25 \text{ мм.}$$

г) розраховуються площі f_{v_1} і f_{v_2} , що розташовані вище контуру калібру, і визначається приведена висота $h_{v.пр.}$ рівновеликого за площею прямокутника. Для рівнополичного кутового калібру суму площ ($f_{v_1} + f_{v_2}$) можна виразити через H_p^2 , тобто:

$$f_{v_1} + f_{v_2} = H_p^2;$$

$$f_{v_1} + f_{v_2} = 51,3^2 = 2628 \text{ мм}^2.$$

$$h_{v.пр.} = \frac{2628}{102,5} = 25,64 \text{ мм.}$$

д) за формулою визначається відстань від верхньої крайньої точки калібру до НЛК і відкладається на кресленні калібру (рис. 7.8):

$$z_v = 25,64 + 0,5 \cdot 6,25 = 28,76 \text{ мм.}$$

1.3. Порядок оформлення звіту

Звіт повинен включати методика і результати розрахунків нейтральної лінії калібру.

1.4. Завдання на самостійну роботу

Відповідно до номеру варіанту (табл.1.1) розрахувати розміри чистового калібру для прокатування рівнополичного кутового профілю, розрахувати положення чистового калібру в валках (нейтральну лінію калібру).

1.5. Контрольні запитання

1. Який матеріал валків використовують для чистових проходів при виробництві сортових профілів?
2. Що таке нейтральна лінія калібру?
3. Що розуміють під поняттям лінія прокатування?
4. Який найбільш розповсюджений спосіб визначення НЛК?

Таблиця 7.1. Розміри кутових рівнополичних профілів

№ вар.	№ проф.	B, мм	t, мм	R, мм	r, мм	D _{сер} , мм	ΔD _B , мм	B _{кор} , мм
1	4	40	3	5,0	1,7	280	4	100
2	4	40	4	5,0	1,7	280	6	100
3	4	40	5	5,0	1,7	280	8	100
4	4,5	45	3	5,0	1,7	280	8	108
5	4,5	45	4	5,0	1,7	300	6	108
6	4,5	45	5	5,0	1,7	300	4	108
7	5	50	3	5,5	1,8	300	10	115
8	5	50	4	5,5	1,8	300	8	115
9	5	50	5	5,5	1,8	320	6	115
10	5,6	56	4	6,0	2,0	320	10	125
11	5,6	56	5	6,0	2,0	350	8	125
12	6,3	63	4	7,0	2,3	350	8	140
13	6,3	63	5	7,0	2,3	350	6	140
14	6,3	63	6	7,0	2,3	350	10	140
15	7	70	4	8	2,7	350	4	150
16	7	70	5	8	2,7	350	6	150
17	7	70	6	8	2,7	350	12	150
18	7	70	7	8	2,7	350	8	150
19	7	70	8	8	2,7	350	10	150
20	7,5	75	5	9	3,0	420	8	160
21	7,5	75	6	9	3,0	420	10	160
22	7,5	75	7	9	3,0	420	12	160
23	7,5	75	8	9	3,0	420	6	160
24	7,5	75	9	9	3,0	420	4	160
25	8	80	5,5	9	3,0	420	8	170
26	8	80	6	9	3,0	450	10	170
27	8	80	7	9	3,0	450	12	170
28	8	80	8	9	3,0	450	6	170
29	9	90	8	10,0	3,0	450	8	180
30	9	90	9	10,0	3,0	450	6	180

7.5. Визначення ширини бортів і способи розташування калібрів на валках

Кількість калібрів, які розміщують на валках однієї кліті, залежить від довжини бочки валка, ширини калібру, розмірів крайніх і середніх бортів.

Ширина середніх бортів $V_{\text{сер}}$ залежить від глибини струмка калібру $h_{\text{вр}}$ і матеріалу валків. На практиці часто приймають $V_{\text{сер}} \approx h_{\text{вр}}$ для чавунних валків і $V_{\text{сер}} \approx 0,5h_{\text{вр}}$ для сталевих валків. Ширина крайніх бортів залежить від ширини ввідної та вивідної арматури:

$$V_{\text{кр}} \geq (0,5V_{\text{кор}} - 0,5V_{\text{кал}} + 1,0); \quad (7.12)$$

де $V_{\text{кор}}$ — ширина коробки;

$V_{\text{кал}}$ — ширина калібру.

Для виконання, замовлень даного сортаменту профілів на стані монтажна схема валків може бути виконана декількома способами:

1. На валках даної кліті розміщують калібри тільки одного типорозміру.

2. На одному комплекті валків з конструктивних міркувань розміщуються калібри декількох типорозмірів.

3. Для одних клітей валки мають комбінацію декількох калібрів, для інших – калібри тільки одного розміру.

Відомо, що зі збільшенням числа перевалок фактичний час роботи стану зменшується.

Раціонально виконана калібровка валків забезпечує максимальне використання бочки валків, а також має таке сполучення калібрів на валках, яке відповідає мінімальній кількості перевалок і найменшому парку валків при виконанні замовлень даного сортаменту профілів на стані.

В ідеальному випадку на бочці валків розміщені такі калібри й у такій кількості, щоб при одній установці його в кліть були

прокатані всі замовлення, і калібри були зношені рівномірно і цілком. Такий випадок має місце при досить великих партіях профілів одного чи декількох близьких розмірів.

З вищесказаного випливає, що калібровка валків впливає на величину фактичного робочого часу стану, а також на витрати, що пов'язані з придбанням і обробкою валків.

7.6. Побудова креслення валків

У поняття «калібровка прокатних валків» входить визначення послідовності калібрів з врахуванням їх розміщення на верхньому і нижньому валках, розмірів крайніх і середніх буртів [4]. У закінченому виді калібровка валків представляє собою креслення валків.

Для виконання креслення валків необхідно визначити нейтральну лінію калібру, що виражає умови симетричності процесу прокатки відносно уявлюваної горизонтальної лінії калібру. З метою забезпечення прямолінійного виходу штаби з валків нейтральна лінія калібру на кресленні співпадає із середньою лінією валків (рис. 7.9).

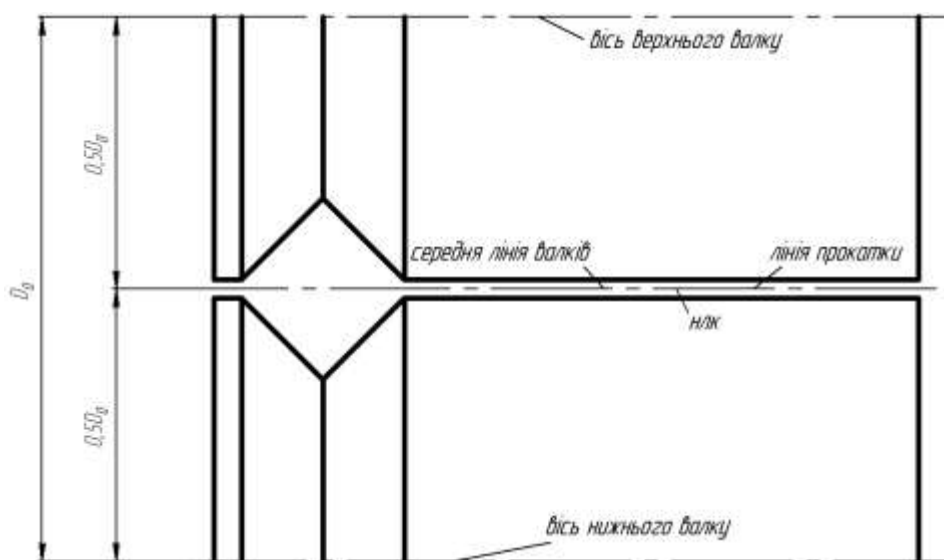


Рис.7.9. Розташування калібру при відсутності тиску валків

У цьому випадку вплив на штабу з боку верхнього і нижнього валків однаковий, тобто процес прокатування буде відбуватися без «тиску» з боку будь-якого валку. Для даного випадку на рис. 7.9 середня лінія валків, нейтральна лінія калібру і лінія прокатки повинна знаходитися на одній лінії.

У випадку, коли необхідна прокатка з верхнім тиском, на кресленні необхідно змістити лінію прокатки униз відносно середньої лінії валків так, щоб діаметр верхнього валка був більше діаметру нижнього (рис. 7.10).

При верхньому тиску валків його величина визначається з виразу:

$$\Delta D_B = D_B - D_H. \quad (7.13)$$

Інакше можна записати:

$$\frac{\Delta D_B}{2} = R_B - R_H. \quad (7.14)$$

Радіус верхнього валка при верхньому тиску валків:

$$R_B = 0,5D_{\text{сер}} + x; \quad (7.15)$$

де x – відстань між середньою лінією валків і лінією прокатки.

Радіус нижнього валка при верхньому тиску валків:

$$R_H = 0,5D_{\text{сер}} - x. \quad (7.16)$$

Підставимо (7.15) та (7.16) до формули (7.14), після перетворень отримаємо:

$$x = \frac{\Delta D_B}{4}. \quad (7.17)$$

Аналогічно, при нижньому тиску:

$$x = \frac{\Delta D_H}{4}. \quad (7.18)$$

Таким чином, при заданому тиску валків (ΔD) лінія прокатки відносно середньої лінії валків знаходиться на відстані $\Delta D/4$ нижче середньої лінії валків при верхньому тиску і вище — при нижньому тиску.

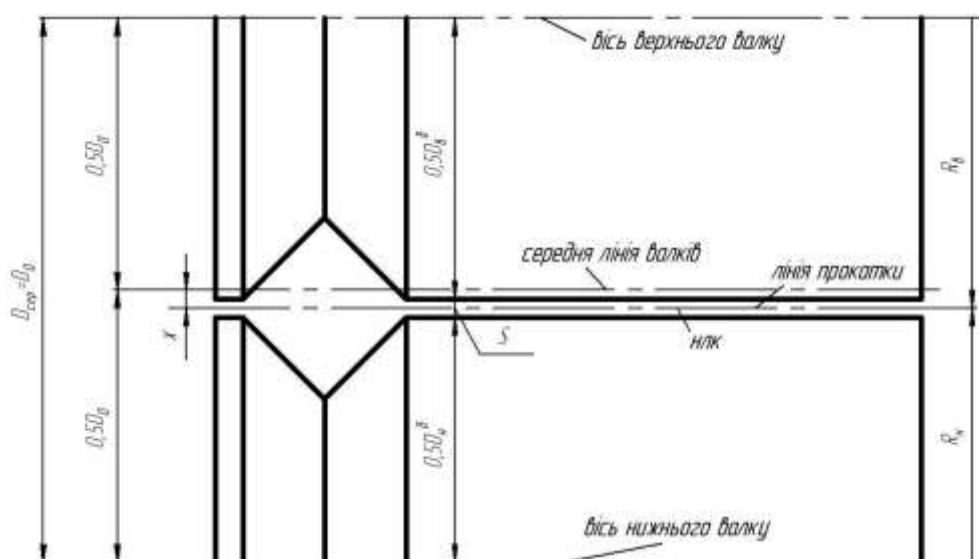


Рис. 7.10. Розташування калібру при верхньому тиску валків

При відомих $D_{\text{сер}}$, $\Delta D_{\text{в}}$ (або $\Delta D_{\text{н}}$) і S , використовуючи формули (7.15) та (7.16), можна визначити діаметри валків по буртах $D_{\text{н}}^{\text{б}}$ і $D_{\text{в}}^{\text{б}}$.

Середній діаметр валків (рис. 7.9):

$$D_{\text{сер}} = 0,5D_{\text{в}}^{\text{б}} + 0,5D_{\text{н}}^{\text{б}} + S; \quad (7.19)$$

або

$$D_{\text{сер}} = \frac{D_{\text{н}}^{\text{б}} + D_{\text{в}}^{\text{б}}}{2} + S. \quad (7.20)$$

При відомому $\Delta D_{\text{в}}$:

$$D_{\text{н}}^{\text{б}} = D_{\text{в}}^{\text{б}} - \Delta D_{\text{в}}. \quad (7.21)$$

Підставивши (7.21) в (7.19), одержимо:

$$D_{\text{сер}} = D_{\text{в}}^{\text{б}} - 0,5\Delta D_{\text{в}} + S. \quad (7.22)$$

Звідси

$$D_{\text{в}}^{\text{б}} = D_{\text{сер}} + 0,5\Delta D_{\text{в}} - S. \quad (7.23)$$

На кресленні в будь-якому перерізі валків повинна виконуватися умова (7.19).

Приклади побудови креслення валків

Приклад №1

Дано:

$$D_{сер} = 400 \text{ мм}; \quad \Delta D_{в} = 8 \text{ мм}; \quad L_{б} = 350 \text{ мм}.$$

З креслення калібру (рис. 7.8):

$$S = 6 \text{ мм}; \quad h_p = 10 \text{ мм}; \quad b_k = 40 \text{ мм}.$$

Ширина ввідної коробки

$$B_{кор} = 250 \text{ мм}.$$

Матеріал валків — чавун.

Завдання:

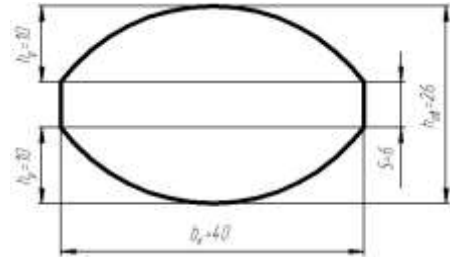


Рис. 7.11. Овальний калібр

Зробити креслення валків з калібрами (рис. 7.11) для прокатки з вказаним тиском.

Розв'язання:

Визначаємо діаметри валків по буртах, спочатку за формулою (7.23) знаходимо діаметр верхнього валку:

$$D_{в}^{\text{б}} = 400 + 0,5 \cdot 8 - 6 = 398 \text{ мм},$$

потім за формулою (7.21) знаходимо діаметр нижнього валку:

$$D_{н}^{\text{б}} = 398 - 8 = 390 \text{ мм}.$$

перевіряємо правильність розв'язання за формулою (7.20):

$$D_{сер} = \frac{398 + 390}{2} + 6 = 400 \text{ мм}.$$

Таким чином, діаметри валків по буртах визначені правильно.

Визначаємо діаметри валків по вершинах калібру.

Діаметр верхнього валка:

$$D_{в\text{min}} = D_{в}^{\text{б}} - 2h_p = 398 - 2 \cdot 10 = 378 \text{ мм}.$$

Діаметр нижнього валка:

$$D_{\text{нmin}} = D_{\text{н}}^{\text{б}} - 2h_{\text{p}} = 390 - 2 \cdot 10 = 370 \text{ мм.}$$

Перевіряємо правильність розв'язання за формулою (7.20):

$$D_{\text{сер}}^{\text{П-П}} = \frac{378 + 370}{2} + 26 = 400 \text{ мм,}$$

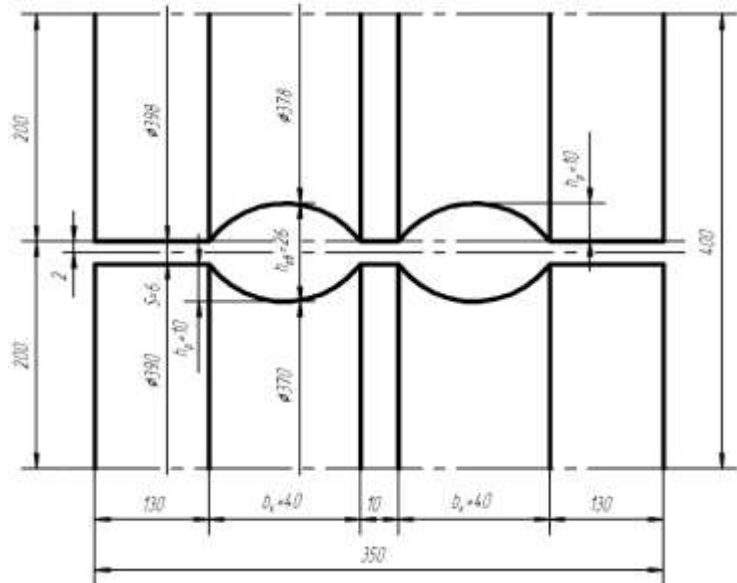
таким чином, діаметри валків по вершині калібру визначені правильно.

Так як валки чавунні, мінімальна припустима ширина середнього бурту повинна дорівнювати глибині струмка:

$$V_{\text{сер}}^{\text{б}} = h_{\text{p}} = 10 \text{ мм.}$$

Ширина крайніх буртів визначається виходячи з ширини коробки (7.12):

$$V_{\text{кр}}^{\text{б}} = 0,5 \cdot 250 - 0,5 \cdot 40 + 1 = 106 \text{ мм.}$$



Приймаємо:

Рис. 7.12. Креслення валків з овальними калібрами

$$V_{\text{кр}}^{\text{б}} = 130 \text{ мм.}$$

За отриманими результатами виконуємо креслення валків (рис. 7.12).

Приклад №2

Дано:

$$D_{\text{сер}} = 500 \text{ мм}; \Delta D = 0.$$

З креслення калібру (рис. 7.10) маємо: зазор $S = 5$ мм; висота виступу верхнього струмка $h_{\text{вист.}} = 15$ мм; глибина струмка нижнього валку $h_p = 20$ мм; висота калібру $H_K = 40$ мм; ордината НЛК щодо нижнього бурту - 30 мм.

Завдання:

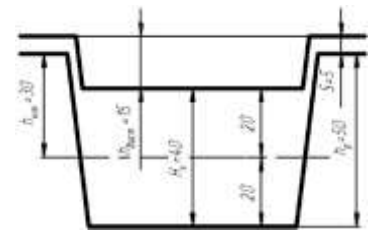
Визначити діаметри валків в характерних перерізах.
Побудувати креслення валків.

Розв'язання:

З креслення (рис. 7.13) визначаємо діаметри валків по буртах при умові, що тиск валків дорівнює нулю:

$$D_{\text{Н}}^{\text{б}} = 2 \cdot (0,5D_{\text{сер}} + h_{\text{НЛК}}) = 2 \cdot (250 + 30) = 560 \text{ мм};$$

$$D_{\text{В}}^{\text{б}} = 2 \cdot [0,5D_{\text{сер}} - (h_{\text{НЛК}} + S)] = 2 \cdot [250 - (30 + 5)] = 430 \text{ мм}.$$



Перевіряємо:

$$D_{\text{сер}}^{\text{I-I}} = \frac{560 + 430}{2} + 5 = 500 \text{ мм}.$$

Рис. 7.13. Штабовий калібр закритого типу

Таким чином, діаметри валків по буртах визначені вірно.

Визначаємо діаметри валків по дну калібру:

$$D_{\text{Нmin}} = D_{\text{Н}}^{\text{б}} - 2h_p = 560 - 2 \cdot 20 = 460 \text{ мм};$$

$$D_{\text{Вmax}} = D_{\text{В}}^{\text{б}} + 2h_{\text{вист.}} = 430 + 2 \cdot 15 = 460 \text{ мм}.$$

Перевіряємо:

$$D_{\text{сер}}^{\text{II-II}} = \frac{460 + 460}{2} + 40 = 500 \text{ мм}.$$

Таким чином, діаметри валків по дну калібру визначені вірно.

Виконуємо монтажне креслення валків (рис 7.14).

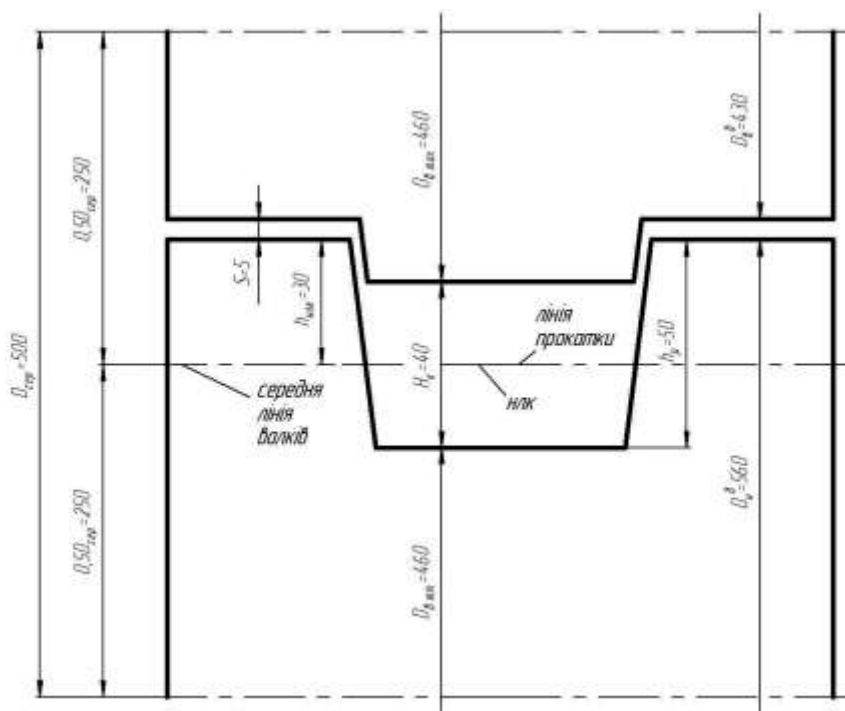


Рис. 7.14. Креслення монтажної схеми валків закритого штабового калібру

Практичне заняття № 2. Побудова креслення калібровки валків

Мета заняття: навчитися виконувати монтажне креслення валків.

Задача заняття: за результатами розрахунку нейтральної лінії калібру виконати монтажне креслення валків для чистового кутового калібру.

2.1. Загальні положення

У залежності від типу стану і сортаменту профілів, що прокатуються на ньому, можливі наступні співвідношення діаметрів верхніх D_B і нижніх D_H валків:

$$1) D_B > D_H; \quad 2) D_B = D_H; \quad 3) D_B < D_H.$$

На практиці в більшості випадків мається нерівність діаметрів верхнього і нижнього валків.

Прокатка у валках з різними діаметрами супроводжується вигином штаби, що прокатується, у бік валка з меншим діаметром. Пояснюється це

різницею окружних швидкостей поверхонь валків при однаковій їхній частоті обертання.

Різниця величини діаметра одного прокатного валка над іншим, що вимірюється в міліметрах, називається тиском валків $\Delta D \geq 0$.

Розрізняють верхній $\Delta D_{\text{в}}$ і нижній $\Delta D_{\text{н}}$ тиск. При верхньому тиску верхній валок має більший діаметр, при нижньому – навпаки.

Верхній тиск:

$$\Delta D_{\text{в}} = D_{\text{в}} - D_{\text{н}}.$$

Нижній тиск:

$$\Delta D_{\text{н}} = D_{\text{н}} - D_{\text{в}}.$$

Застосування тиску валків дозволяє створити умови, при яких штаба завжди буде виходити з валків в одному напрямку. Так, на блюмінгах і слябінгах застосовують нижній тиск до $15 \div 20$ мм, що попереджає поломки роликів рольгангу.

На сортових станах для попередження випадкових відхилень штаби при виході з валків, установлюються спеціальні вивідні проводки. У зв'язку з труднощами установки верхньої проводки застосовують звичайно верхній тиск до $2 \div 6$ мм.

Вертикальна площина, що проведена крізь осі обох валків, називається площиною прокатки. Креслення калібровки валків представляє собою розріз у цій площині.

Відстань між осями валків називається середнім діаметром пари валків (початковим чи теоретичним) і позначається $D_{\text{сер}}$.

Під середньою лінією валків розуміється лінія, що поділяє відстані між осями валків навпіл.

Уявна лінія, на якій розташовуються калібри, називається лінією прокатки.

Лінія прокатки може не збігатися із середньою лінією валків, тобто розташовуватися на кресленні валків чи вище ніжче середньої лінії.

Якщо валки будуть однакового діаметра, тобто верхній чи нижній тиск відсутній, то лінія прокатки збігається із середньою лінією валків і в цьому випадку:

$$R_0^{\text{в}} = R_0^{\text{н}} = \frac{D_{\text{сер}}}{2}.$$

При верхньому тиску, коли $D_B > D_H$, лінія прокатки розташована нижче середньої лінії валків, при нижньому тиску, коли $D_H > D_B$ - вище середньої лінії валків.

Звичайно на кресленні валків показують лінію прокатки, а не середню лінію валків.

*Визначення ширини буртів і способи розташування
калібрів на валках*

Кількість калібрів, що розміщують на валках однієї кліті, залежить від довжини бочки валка, ширини калібру, розмірів крайніх і середніх буртів.

Ширина середніх буртів $V_{сер}$ залежить від глибини струменю калібру $h_{вр}$ і матеріалу валків. На практиці часто приймають $V_{сер} \approx h_{вр}$ для чавунних валків і $V_{сер} \approx 0,5h_{вр}$ для сталевих валків. Ширина крайніх буртів залежить від ширини ввідної та вивідної арматури:

$$V_{кр} \geq (0,5V_{кор} - 0,5V_{кал} + 1,0);$$

де $V_{кор}$ — ширина коробки;

$V_{кал}$ — ширина калібру.

Для виконання, замовлень даного сортаменту профілів на стані монтажна схема валків може бути виконана декількома способами:

1. На валках даної кліті розміщують калібри тільки одного типорозміру.
2. На одному комплекті валків маєтсья сполучення калібрів декількох типорозмірів.
3. Для одних клітей валки мають комбінацію декількох калібрів, для інших - калібри тільки одного розміру.

При заданому тиску валків (ΔD) лінія прокатки відносно середньої лінії валків знаходиться на відстані $\Delta D/4$ нижче середньої лінії валків при верхньому тиску і вище — при нижньому тиску.

Середній діаметр валків:

$$D_{сер} = 0,5D_B^{\bar{}} + 0,5D_H^{\bar{}} + S;$$

або

$$D_{сер} = \frac{D_H^{\bar{}} + D_B^{\bar{}}}{2} + S.$$

При відомому ΔD_B :

$$D_H^{\bar{0}} = D_B^{\bar{0}} - \Delta D_B.$$

Підставивши (7.21) в (7.19), одержимо:

$$D_{\text{сер}} = D_B^{\bar{0}} - 0,5\Delta D_B + S.$$

Звідси

$$D_B^{\bar{0}} = D_{\text{сер}} + 0,5\Delta D_B - S.$$

2.2. Приклад побудови монтажного креслення валків чистової кліті для прокатки рівнополічного кутового профілю

Побудова чистового калібру проводиться у наступній послідовності.

1) відкладаються вісі верхніх і нижніх валків на відстані, що дорівнює $D_{\text{сер}}$ (середній діаметр валків) і проводиться середня лінія валків;

2) відповідно до заданого тиску валків проводиться лінія прокатування на відстані $\Delta D / 4$ від середньої лінії валків;

3) поєднуючи НЛК з лінією прокатування, переносимо всі розміри калібру на креслення валків (рис. 7.10). Визначаємо діаметри валків:

$$D_{\text{в. min}} = D_{\text{сер}} + \frac{\Delta D}{2} - 2 \cdot z_B,$$

де $D_{\text{сер}}$ - середній діаметр валків (відстань між осями валків);

ΔD - величина тиску;

z_B - координата нейтральної лінії калібру відносно верхньої крайньої точки.

$$D_{\text{в. min}} = 250 + \frac{4}{2} - 2 \cdot 28,76 = 194,5 \text{ мм.}$$

$$D_{\text{в. max}} = D_{\text{в. min}} + 2 \cdot H_p;$$

$$D_{\text{в. max}} = 194,5 + 2 \cdot 51,26 = 297 \text{ мм.}$$

$$D_{\text{н. min}} = 2 \cdot D_{\text{сер}} - D_{\text{в. max}} - 2 \cdot S;$$

$$D_{\text{н. min}} = 2 \cdot 250 - 297 - 2 \cdot 4,8 = 193,4 \text{ мм.}$$

$$D_{\text{н. max}} = D_{\text{н. min}} + 2 \cdot H_{\text{Гр}};$$

$$D_{\text{н. max}} = 193,4 + 2 \cdot 46,3 = 286 \text{ мм.}$$

Перевірка:

$$D_{\text{сер}} = \frac{D_{\text{в. max}} + D_{\text{н. min}}}{2} + S;$$

$$D_{\text{ср}} = \frac{297 + 193,4}{2} + 4,8 = 250 \text{ мм.}$$

$$D_{\text{ср}} = \frac{D_{\text{в.мин}} + D_{\text{н.мак}}}{2} + \left(\frac{t_{\text{г}}}{\cos \alpha} + 0,414 \cdot R \right),$$

де α - кут нахилу полиць в чистовому калібрі.

$$D_{\text{ср}} = \frac{194,5 + 286}{2} + \left(\frac{4,56}{0,707} + 0,414 \cdot 8 \right) = 250 \text{ мм.}$$

Визначаються діаметри і довжина бочки вихідних валків:

верхній валок: $D_{\text{в}} = 297 \text{ мм};$

нижній валок: $D_{\text{н}} = 288 \text{ мм.}$

4) Визначаємо кількість калібрів, що можуть бути розміщені на бочці валка.

$$n_{\text{кал}} = \frac{L_{\text{б}}}{B_{\text{к}}},$$

де $L_{\text{б}}$ - довжина бочки валка;

$B_{\text{к}}$ - ширина калібру.

$$n_{\text{кал}} = \frac{600}{102,5} \approx 5,85,$$

Приймаємо кількість калібрів $n_{\text{кал}} = 5$. Тоді загальна ширина всіх калібрів складає $5 \cdot 102,5 = 512,5$ мм. Інший простір залишається для буртів і складає $600 - 512,5 = 87,5$ мм. Таким образом, середня ширина бурта складе:

$$b_{\text{бсер}} = \frac{87,5}{6} \approx 14,6 \text{ мм,}$$

де b – кількість буртів (завжди на 1 більше ніж калібрів).

Так як, ширина бурта набагато менша ніж припустима ($B_{\text{ср}} \geq h_{\text{вр}}$), то приймаємо кількість калібрів, що розміщуються на валках $n_{\text{кал}} = 4$. Тоді загальна ширина всіх калібрів складає $4 \cdot 102,5 = 410$ мм. Інший простір залишається для буртів і складає $600 - 410 = 190$ мм. Таким образом, середня ширина бурта складе:

$$b_{\text{бсер}} = \frac{190}{5} = 38 \text{ мм.}$$

Приймаємо, ширину крайніх буртів

$$b_{\sigma_{кр}} = 50 \text{ мм.}$$

Тоді ширина середніх буртів

$$b_{\sigma_{кр}} = \frac{190 - 2 \cdot 50}{3} = 30 \text{ мм.}$$

Далі будемо монтажне креслення валків (рис. 7.15).

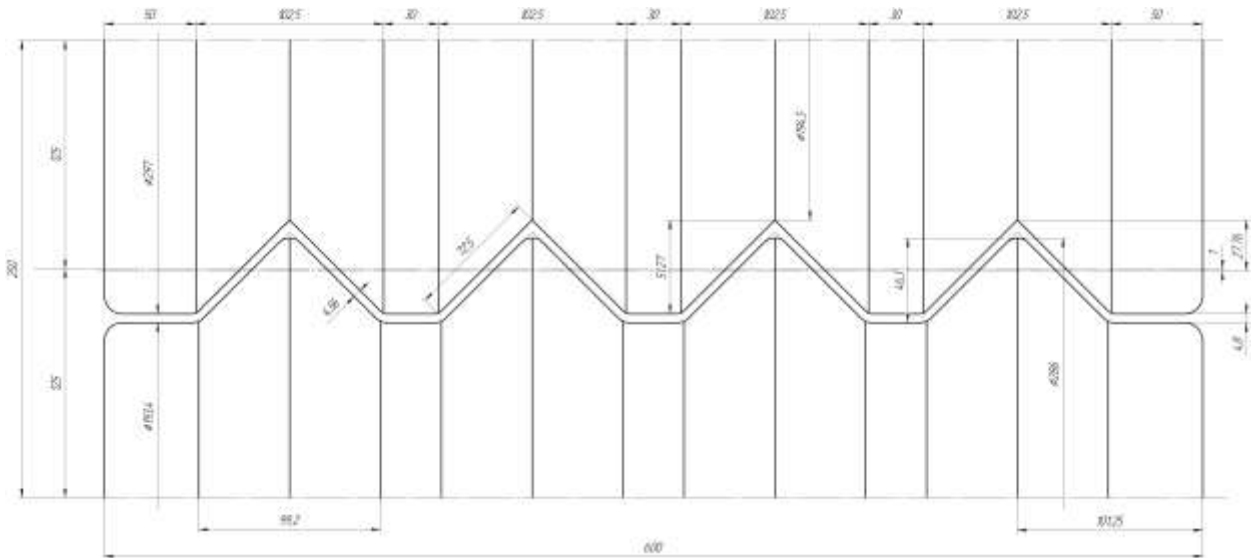


Рис. 7.15. Креслення валків чистової кліти для прокатування кутового профілю № 7

2.3. Порядок оформлення звіту

Звіт повинен включати розрахунки розмірів валків чистової кліти. За результатами розрахунку необхідно виконати монтажне креслення каліброваних валків в масштабі.

2.4. Завдання на самостійну роботу

Відповідно до номеру варіанту (табл.7.1) та відповідно до результатів розрахунку НЛК чистового калібру для прокатування рівнополічного кутового профілю, визначити розміри валків та побудувати монтажне креслення валків. Довжина валків для кожного варіанту дорівнює 600 мм.

2.5. Контрольні запитання

1. Яка припустима ширина буртів?
2. Що розуміють під поняттям тиск валків?
3. Яка одиниця вимірювання тиску валків?

7.7. Катаючий діаметр валків

*Діаметр валків, який відповідає перерізу, в якому відбувається дотик металу, що прокатується, з валками, називається **катаючим діаметром**.*

У випадку прокатки штаби на гладкій бочці катаючим діаметром являється діаметр бочки валка. При прокатці в калібрі штаба торкається ділянок поверхні валків, що мають різні діаметри, і тому мають різну окружну швидкість.

Наприклад, при прокатці круглого профілю (рис. 7.16) швидкість по розділу калібру складає:

$$v_1 = \frac{\pi n}{60} D_{k1}, \quad (7.24)$$

де n - частота обертання валків;

D_{k1} - катаючий діаметр по розділу калібру.

По дну струмка калібру:

$$v_2 = \frac{\pi n}{60} D_{k2}, \quad (7.25)$$

де D_{k2} — катаючий діаметр по дну струмка калібру.

Фактична швидкість виходу штаби відповідає деякому проміжному значенню між v_1 і v_2 .

*Діаметр, якому відповідає швидкість виходу штаби з валків, без урахування випередження, називається **середнім катаючим діаметром** D_K .*

Швидкість штаби на виході з валків:

$$v = \frac{\pi n}{60} \cdot D_K, \quad (7.26)$$

де D_K - середній катаючий діаметр.

Точне знання D_K особливо необхідно при розробці калібровок неперервних станів. Однак, яких-небудь точних способів визначення D_K , що задовольняють вимоги підприємств,

поки не запропоновано та звичайно для його визначення користуються наближеною залежністю:

$$D_K = D_{\text{сер}} - \frac{F}{b}, \quad (7.27)$$

де F — площа штаби;

b — ширина штаби.

Приклад. Дано:

$D_{\text{сер}} = 400$ мм; $S = 3$ мм; $n = 500$ об/хв., креслення калібру
рис. 7.17.

Завдання:

Визначити середній катаючий діаметр D_K і середню швидкість виходу штаби з валків.

Розв'язання:

Середній катаючий діаметр знаходимо за формулою (7.27):

$$D_K = 400 - \frac{7850}{100} = 321,5 \text{ мм}.$$

Тоді, швидкість виходу штаби з валків (7.26):

$$v = \frac{3,14 \cdot 500 \cdot 0,3215}{60} = 8,4 \text{ м/с}.$$

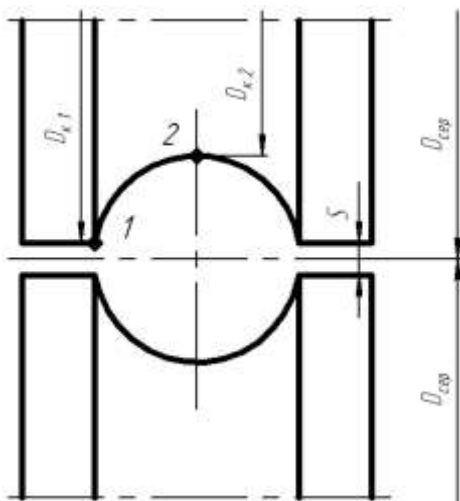


Рис. 7.16. Круглий калібр

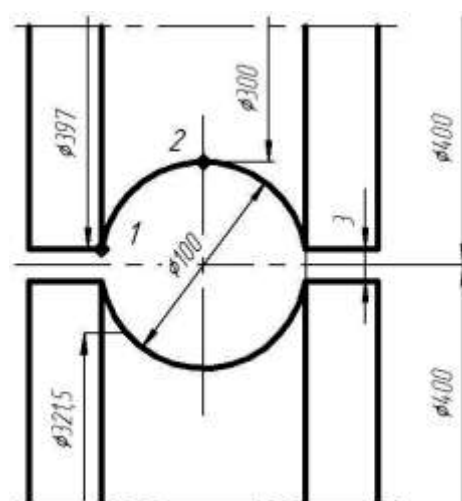


Рис. 7.17. Катаючий діаметр в круглому калібрі

7.8. Коефіцієнти деформації

При розрахунку калібровки профілів користуються абсолютними обтисненням і розширенням, а також коефіцієнтами висотної, поперечної та подовжньої деформаціями.

Абсолютне обтиснення:

$$\Delta h = H_0 - H_1, \quad (7.28)$$

де H_0, H_1 – початкова та кінцева висоти штаби.

Абсолютне розширення:

$$\Delta b = B_1 - B_0, \quad (7.29)$$

де B_0, B_1 – початкова та кінцева ширини штаби.

Коефіцієнтом висотної деформації прийнято вважати відношення висот штаби до та після прокатки:

$$\eta = \frac{H_0}{H_1}. \quad (7.30)$$

Звичайно цим коефіцієнтом користаються при розрахунку калібровок штабових і кутових профілів, а також фланцевих профілів (швелерів, двотаврів тощо).

За **коефіцієнт подовжньої деформації** (**коефіцієнт подовження** або **витяжки**) приймається відношення площ поперечного перерізу штаби до та після прокатки:

$$\mu = \frac{F_0}{F_1} \text{ або } \mu = \frac{\ell_k}{\ell_0}, \quad (7.31)$$

де F_0, F_1 - кінцева та початкова площі поперечного перерізу розкату;

ℓ_k, ℓ_0 - кінцева та початкова довжина розкату.

Цей коефіцієнт звичайно називають коефіцієнтом витяжки або просто витяжкою.

Коефіцієнтом поперечної деформації (**коефіцієнтом розширення**) прийнято вважати відношення ширини прокатоної штаби до вихідної ширини заготовки:

$$\beta = \frac{B_1}{B_0}. \quad (7.32)$$

Розрізняють одиничні, сумарні та середні коефіцієнти деформації.

*У випадку, якщо розглядається деформація тільки за один прохід, коефіцієнти деформації, що виникають при цьому, називаються **одиничними**.*

Одиничні коефіцієнти витяжки:

$$\mu_1 = \frac{F_0}{F_1}; \mu_2 = \frac{F_1}{F_2}; \dots; \mu_n = \frac{F_{n-1}}{F_n}, \quad (7.33)$$

де $F_0, F_1, F_2, F_{n-1}, F_n$ — площа поперечного перерізу, що відповідає номеру проходу.

*Якщо деформація отримана за кілька проходів, то коефіцієнти деформації називаються **сумарними**.*

Сумарна витяжка при прокатуванні визначається з формули:

$$\mu_{\Sigma} = \frac{F_0}{F_k}, \quad (7.34)$$

де F_0 — площа поперечного перерізу вихідної заготовки;

F_k — площа поперечного перерізу готового профілю.

Сумарна деформація за будь-яку кількість проходів n дорівнює добутку часток деформацій:

$$\mu_{\Sigma} = \mu_1 \cdot \mu_2 \cdot \dots \cdot \mu_n; \quad \eta_{\Sigma} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \dots \cdot \eta_n, \quad (7.35)$$

де μ_1, μ_2, μ_n - одиничні коефіцієнти витяжки;

η_1, η_2, η_n - одиничні коефіцієнти висотної деформації.

Середня витяжка за прохід характеризує інтенсивність деформації за прохід, а також ступінь використання і завантаження прокатного обладнання та дорівнює:

$$\mu_{\text{сер}} = \sqrt[n]{\mu_{\Sigma}}, \quad (7.36)$$

де n – загальна кількість проходів в межах одного стану.

Тоді, сумарна витяжка:

$$\mu_{\Sigma} = \mu_{\text{сер}}^n. \quad (7.37)$$

Середня витяжка часто використовується для попереднього визначення розмірів вихідної заготовки, витрати енергії по клітях.

Якщо відомі середня і загальна витяжки, то кількість проходів визначається за формулою:

$$n = \frac{\lg \mu_{\Sigma}}{\lg \mu_{\text{сер}}}; \quad (7.38)$$

або

$$n = \frac{\lg F_0 - \lg F_k}{\lg \mu_{\text{сер}}}. \quad (7.39)$$

В умовах відсутності розширення, наприклад, при прокатці листів, коефіцієнт витяжки збігається по величині з коефіцієнтом висотної деформації і дорівнює:

$$\mu_n = \frac{H_{n-1}}{H_n}; \quad (7.40)$$

де H_{n-1} - висота штаби до проходу;

H_n - висота штаби після проходу.

На практиці для визначення висотної деформації часто користуються відносним обтисненням, що виражається у відсотках:

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{H_0} \cdot 100\%, \quad (7.41)$$

де Δh - абсолютне обтиснення за прохід.

Іноді використовують відносне обтиснення в долях одиниці

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{H_0}. \quad (7.42)$$

При розрахунках калібровки часто використовують показник розширення:

$$K = \frac{\Delta b}{\Delta h}, \quad (7.43)$$

де Δb - абсолютне розширення за прохід.

Знаючи K , можна легко визначити абсолютне розширення:

$$\Delta b = K \cdot \Delta h. \quad (7.44)$$

7.9. Обтиснення в калібрах

Обтиснення в калібрах по ширині штаби можуть бути рівномірні, наприклад: при прокатці штаби, кутового профілю (рис. 7.18)

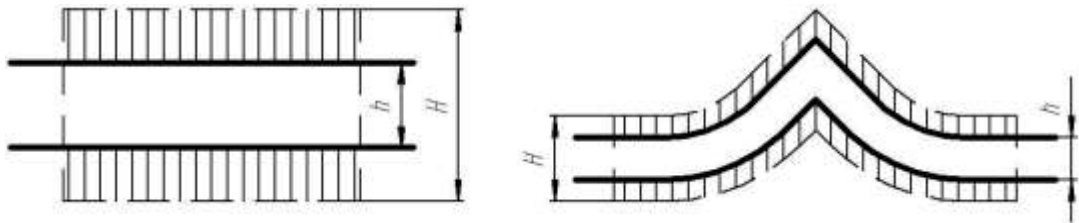


Рис. 7.18. Рівномірні обтиснення

та нерівномірні, наприклад: при прокатці в овальних, круглих й інших калібрах (рис. 7.19).

У випадку прокатки штаби з рівномірним обтисненням величина обтиснення визначається за формулою (7.28).

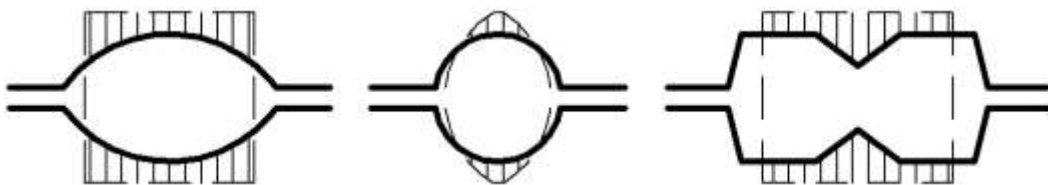


Рис. 7.19. Нерівномірні обтиснення

При прокатці штаби з нерівномірним обтисненням величина обтиснення змінюється по ширині штаби, і розрахунок її по тій же формулі дає неправильні результати.

У випадках нерівномірних обтиснень легко визначити максимальне абсолютне обтиснення, а визначення середнього обтиснення зв'язано з певними труднощами. Проте знання цього

параметру необхідно для визначення розширення штаби, сили, що діє на валки, та інших технологічних факторів процесу прокатування.

Для розрахунку середнього абсолютного обтиснення в умовах нерівномірної деформації по ширині найчастіше використовують **метод приведеної штаби** (Врацького), що полягає в заміні калібру з криволінійними обрисами на рівновеликий за площею прямокутний розкат, що має таку ж ширину, що і калібр.

Метод має наступний алгоритм:

1. Знаходять середню висоту штаби після прокатування в калібрі:

$$h_{\text{сер}} = \frac{F_1}{b_1}, \quad (7.45)$$

де F_1 — площа профілю, що виходить з калібру;

b_1 — ширина профілю після прокатування.

2. Аналогічно визначають приведену висоту штаби, що задається в калібр:

$$H_{\text{сер}} = \frac{F_0}{B_0}, \quad (7.46)$$

де F_0 — площа штаби, що задається в калібр;

B_0 — ширина штаби, що задається в калібр.

3. Після цього визначають величину середнього обтиснення:

$$\Delta h_{\text{сер}} = H_{\text{сер}} - h_{\text{сер}}. \quad (7.47)$$

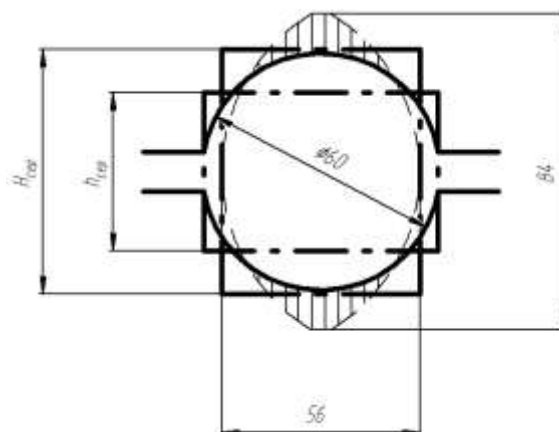


Рис. 7.20. Ілюстрація методу приведеної штаби

Приклад

Дано:

В круглий калібр діаметром 60 мм ($F_{кр} = 2826 \text{ мм}^2$) задається овальна штаба $56 \times 84 \text{ мм}$ ($F_{ов} = 3300 \text{ мм}^2$) (рис. 7.20).

Завдання:

Визначити абсолютне середнє обтиснення.

Розв'язання:

Середню висоту штаби після прокатування за формулою (7.45):

$$h_{\text{сер}} = \frac{2826}{60} = 47,1 \text{ мм.}$$

Середню висоту штаби до прокатування за формулою (7.46):

$$H_{\text{сер}} = \frac{3300}{56} = 58,93 \text{ мм.}$$

Середню обтиснення за формулою (7.47):

$$\Delta h_{\text{сер}} = 58,93 - 47,1 = 11,83 \text{ мм.}$$

Для визначення середнього обтиснення при нерівномірній деформації відомий метод відповідної штаби (Головіна), а також метод Тарновського (або метод зміщеного об'єму). Ці способи більш складні і застосовуються рідше, ніж метод приведеної штаби.

Метод відповідної штаби є більш обґрунтованим з точки зору теорії подібності та полягає у заміні будь-якої фігури поперечного перерізу рівновеликим їй по площі прямокутником зі співвідношенням сторін таким самим, як співвідношення подібних осей профілю, якій піддають спрощенню.

Метод має наступний алгоритм:

1. Знаходять відповідну висоту штаби після прокатування в калібрі:

$$h_{\text{в.с.}} = \sqrt{\frac{F_1 \cdot h_1}{b_1}}, \quad (7.48)$$

де F_1 — площа профілю, що виходить з калібру;

h_1 — висота профілю після прокатування;

b_1 — ширина профілю після прокатування.

2. Аналогічно визначають відповідну висоту штаби, що задається в калібр:

$$H_{в.с.} = \sqrt{\frac{F_0 \cdot H_0}{B_0}}, \quad (7.49)$$

де F_0 — площа штаби, що задається в калібр;

H_0 — висота профілю після прокатування;

B_0 — ширина штаби, що задається в калібр.

3. Після цього визначають величину середнього обтиснення:

$$\Delta h_{в.с.} = H_{в.с.} - h_{в.с.} \quad (7.50)$$

Приклад

Вирішимо попереднє завдання методом відповідної штаби.

Розв'язання:

Визначаємо відповідну висоту штаби після прокатування за формулою (7.48):

$$h_{в.с.} = \sqrt{\frac{2826 \cdot 60}{60}} = 53,16 \text{ мм.}$$

Визначаємо відповідну висоту штаби до прокатування за формулою (7.49):

$$H_{в.с.} = \sqrt{\frac{3300 \cdot 84}{56}} = 70,36 \text{ мм.}$$

Середню обтиснення за формулою (7.47):

$$\Delta h_{в.с.} = 70,36 - 53,16 = 17,2 \text{ мм.}$$

При використанні методів приведеної та відповідної штаби, можна визначити інші деформаційні параметри при прокатці в калібрах.

Середнє відносне обтиснення

$$\varepsilon_{\text{сер}} = \frac{\Delta h_{\text{сер}}}{H_{\text{сер}}} \quad \text{або} \quad \varepsilon_{\text{сер}} = \frac{\Delta h_{\text{в.с.}}}{H_{\text{в.с.}}}$$

Середній коефіцієнт висотної деформації

$$\eta_{\text{сер}} = \frac{H_{\text{сер}}}{h_{\text{сер}}} \quad \text{або} \quad \varepsilon_{\text{сер}} = \frac{H_{\text{в.с.}}}{h_{\text{в.с.}}}$$

Розрахунки з використанням середнього обтиснення іноді дають істотну розбіжність з фактичними вимірами. Проте застосування таких спрощених прийомів пов'язано зі зменшенням трудомісткості аналізу процесу деформації в профільних калібрах.

7.10. Розширення при прокатуванні в калібрах

При сортовій прокатці розрізняють вільне, стиснене і вимушене розширення.

Вільне розширення відбувається у випадках, коли бічні стінки калібру відсутні або не роблять ніякого впливу на розвиток поперечної деформації.

Стиснене розширення виходить при примусовому обмеженні поперечної деформації стінками калібру.

Стримуючий вплив бічних стінок калібру оцінюється **коефіцієнтом стиснення**:

$$\theta = \frac{\Delta b - \Delta b_{\text{ст}}}{\Delta b}; \quad (7.48)$$

де Δb - вільне розширення;

$\Delta b_{\text{ст}}$ - стиснене розширення.

Чим тісніший калібр, тим більше величина коефіцієнту стиснення. Коефіцієнт стиснення дорівнює одиниці при повній

відсутності розширення. У вільних калібрах, які не перешкоджають розширенню:

$$\Delta b_{\text{ст}} = \Delta b; \quad \theta = 0.$$

Вимушене розширення відбувається при нерівномірній деформації по ширині штаби.

При вимушеному розширенні ділянки профілю, що більше обтискаються, не одержують відповідної витяжки, унаслідок стримуючого впливу інших ділянок профілю. Тому в поперечному напрямку плине більша кількість металу, чим при прокатуванні на гладкій бочці з тим же обтисненням.

Прикладом вимушеного розширення є прокатка в таврових калібрах з нерівномірним обтисненням по підшві та голівці калібру (рис. 7.21).

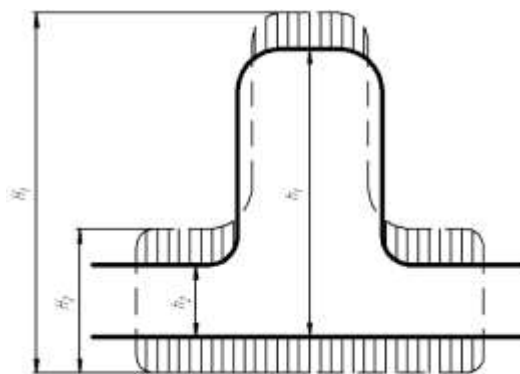


Рис. 7.21. Вимушене розширення

Приклад

Дано: У тавровий калібр (рис. 7.17) задаються штаби з розмірами $H_1 = 100$ мм і $H_2 = 50$ мм. Після прокатки штаби мають розміри $h_1 = 91$ мм і $h_2 = 25$ мм.

Завдання:

Довести нерівномірність деформації. Показати, що в цьому випадку розширення є вимушеним.

Розв'язання:

Знаходимо коефіцієнти висотного обтиснення по голівці і по підшві :

$$\eta_1 = \frac{100}{91} = 1,1; \quad \eta_2 = \frac{50}{25} = 2.$$

Відношення $\eta_2 / \eta_1 = 1,82$, що відповідає явно вираженій нерівномірній висотній деформації, тому розширення в підшові, є вимушеним, за рахунок чого одержуємо необхідну ширину підшови.

Багато профілів можна прокатати в калібрах зі стиснутим чи з вільним розширенням.

При прокатці зі стиснутим розширенням досягається краще виконання профілю і більш висока якість бічних кромок.

Прокатка з вільним розширенням має наступні переваги:

- менша витрата енергії унаслідок відсутності тертя о бокові стінки калібру й зменшення величини тиску металу на валки;
- менша витрата валків;
- усувається небезпека утворення задирок;
- краще використання довжини бочки валків через відсутність буртів;
- можливість використання тих самих калібрів для прокатування декількох профілерозмірів;
- менша глибина струмків калібрів.

Величина розширення при прокатці залежить від хімічного складу металу, коефіцієнта тертя, швидкості прокатування, діаметра валків, матеріалу й якості поверхні валків, ступеня обтиснення, форми осередку деформації й інших технологічних факторів процесу прокатування.

Для визначення розширення при прокатці в калібрах існує велика кількість формул. Усі формули за певних умов дають задовільні результати. Чим більше факторів враховує формула, тим вона може бути точніша. Більшість формул виведені для умов рівномірної деформації, тобто при прокатці на гладкій бочці.

При прокатці в калібрах розрахунок розширення звичайно ускладнений через нерівномірне обтиснення штаби по ширині. На розширення в значній мірі впливає форма калібрів (рис. 7.15).

У випадку нерівномірної деформації по ширині калібру для визначення величини розширення часто використовують середнє чи приведенє обтиснення, отримане за методом приведенної

штаби. Для розрахунку розширення в калібрах можна використовувати наступні формули:

– Бахтінова

$$\Delta b = 1,15 \frac{\Delta h_{\text{сер}}}{H_0} \left(\sqrt{R_k \Delta h_{\text{сер}}} - \frac{\Delta h_{\text{сер}}}{2f} \right); \quad (7.52)$$

– Зібеля

$$\Delta b = (0,3 \div 0,4) \frac{\Delta h}{H} \sqrt{R_k \Delta h}; \quad (7.53)$$

– Целікова

$$\Delta b = C_\sigma C_b 0,5 \left(\sqrt{R_k \Delta h} - \frac{\Delta h}{2f} \right) \ln \frac{H_0}{h_1}. \quad (7.54)$$

де Δh – абсолютне обтиснення;

H_0 – початкова висота штаби;

h_1 – кінцева висота штаби;

R_k – катаючий радіус;

f – коефіцієнт тертя;

C_σ – коефіцієнт, що враховує вплив заднього натягу;

C_b – коефіцієнт, що враховує вплив ширини заготовки.

$$C_\sigma = 1 - \frac{2\sigma_0}{\sigma_T},$$

де σ_0 – напруження заднього натягу;

σ_T – фактичний опір деформації з урахуванням температури, швидкості та ступеню деформації.

$$C_b = K(1 - \varepsilon_{\text{сер}}) \left(\frac{B_0}{\sqrt{\Delta h_{\text{сер}} \cdot R_k}} - 0,15 \right) e^{\left(1 - \frac{B_0}{\sqrt{\Delta h_{\text{сер}} \cdot R_k}} m \right)} + \varepsilon_{\text{сер}},$$

де

$$K = \frac{\delta^2}{0,85\delta^2 - 1}; \quad m = \frac{\delta^2}{\delta^2 - 1}; \quad \delta = \frac{2\sqrt{\Delta h_{\text{сер}} \cdot R_k}}{\Delta h_{\text{сер}}} f.$$

Для аналізу впливу технологічних параметрів процесу на величину розширення при прокатці розберемо дію найбільш суттєвих з них.

Обтиснення. З ростом величини обтиснення збільшується об'єм зміщеного металу, що рухається у повздовжньому та поперечному напрямках, а також відбувається збільшення суми підпираючих повздовжніх сил тертя, що утруднює витяжку. Тому розширення збільшується.

Діаметр валків. При збільшенні діаметра валків при інших рівних умовах розширення зростає, що пояснюється збільшенням довжини осередку деформації та відповідним цьому зростанням суми підпираючих повздовжніх сил тертя.

Ширина штаби. Для більшості випадків прокатки, зі збільшенням ширини вихідної заготовки розширення штаби зменшується, що пояснюється збільшенням на контактній поверхні підпираючих поперечних сил тертя. Слід відмітити, що при сортовій прокатці, коли в якості заготовки використовують вузькі штаби, зі збільшенням ширини штаби розширення збільшується, що пояснюється різким скороченням зміщеного об'єму металу.

Коефіцієнт тертя. Зі збільшенням коефіцієнту тертя зростають підпираючі сили тертя, що спрямовані в повздовжньому та поперечному напрямках. Цей вплив більш суттєвий у повздовжньому напрямку, тому зі збільшенням коефіцієнту тертя розширення збільшується.

Переднє та заднє натягіння. Прикладання до прокатуємої штаби додаткових розтягуючих сил сприяє повздовжньому плину металу, тобто збільшує витяжку. Таким чином, при збільшенні переднього та заднього натягіння зменшується розширення. Також слід зазначити, що вплив заднього натягіння більш суттєвий ніж переднього, що пояснюється тим, що заднє натягіння впливає на зону відставання, де відбувається основна деформація штаби.

Форма калібру. В залежності від форми калібру та заготовки розширення може бути вимушеним або стисненим, тобто в залежності від форми калібру та заготовки розширення може бути збільшено або зменшено.

Сумісний вплив коефіцієнта тертя та заднього натягу.

Результати лабораторних досліджень при прокатуванні алюмінієвих і свинцевих круглих заготовок діаметром 6,5 мм в овальному калібрі шириною 8,8 мм з різними режимами тертя та натягіння показали, що їхня сумісна дія зменшує величину розширення.

В процесі досліджень для зменшення сил тертя при прокатці на зразок наносили покриття у вигляді мильного порошку. В іншому випадку в якості покриття служив крейдяний порошок, при цьому коефіцієнт тертя штучно завищували. Крім того, досліди проводили, прокатуючи знежирені зразки. У всіх випадках поверхню валків перед прокаткою очищали і знежирювали. Попередньо, виходячи з граничного обтиску, визначали для всіх випадків прокатки коефіцієнт тертя в початковий момент захоплення. Його значення наведені в табл. 7.2.

Таблиця 7.2. Значення коефіцієнта тертя в дослідах

Матеріал зразка	Коефіцієнт тертя, f		
	Покриття зразка		
	Мильний порошок	Крейдяний порошок	Сухий зразок
Свинець	0,07	0,43	0,21-0,28
Алюміній	0,06	0,33	0,13-0,18

На рис. 7.22 показані зразки з найбільш яскраво вираженою різницею в розширенні між сухою і покритою милом або крейдою частинами заготовок.

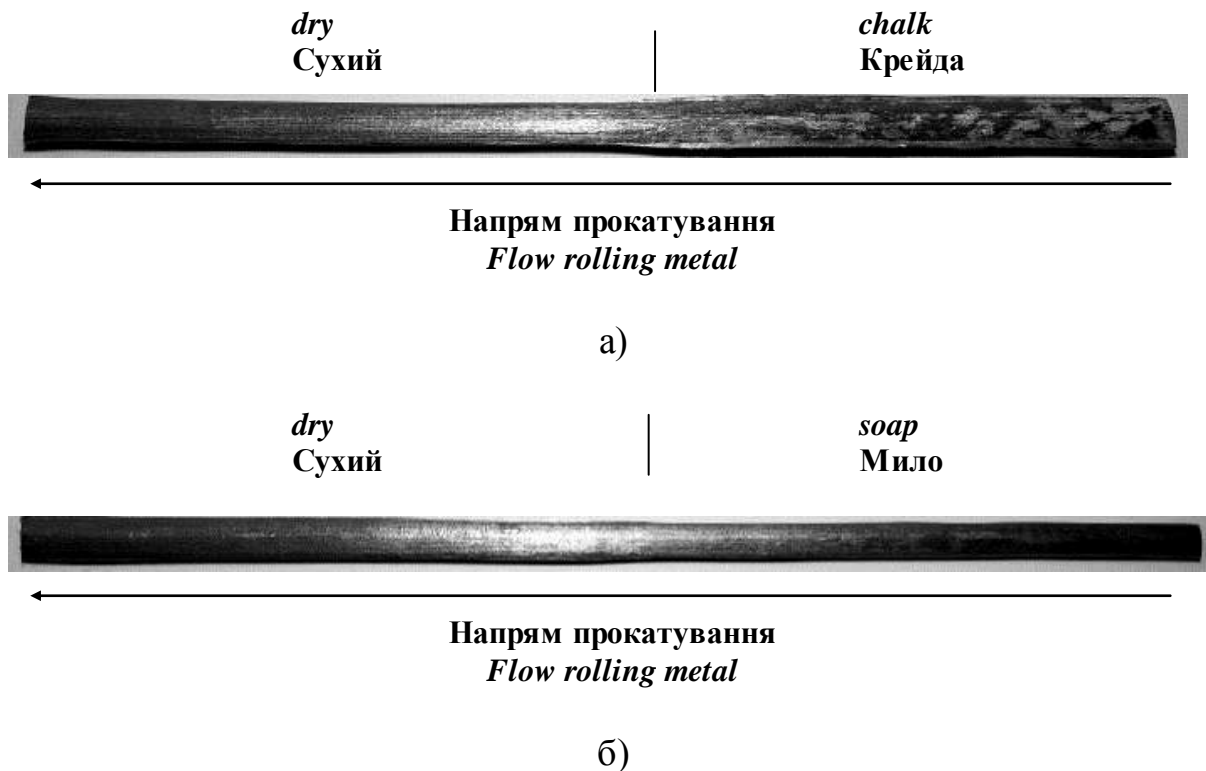
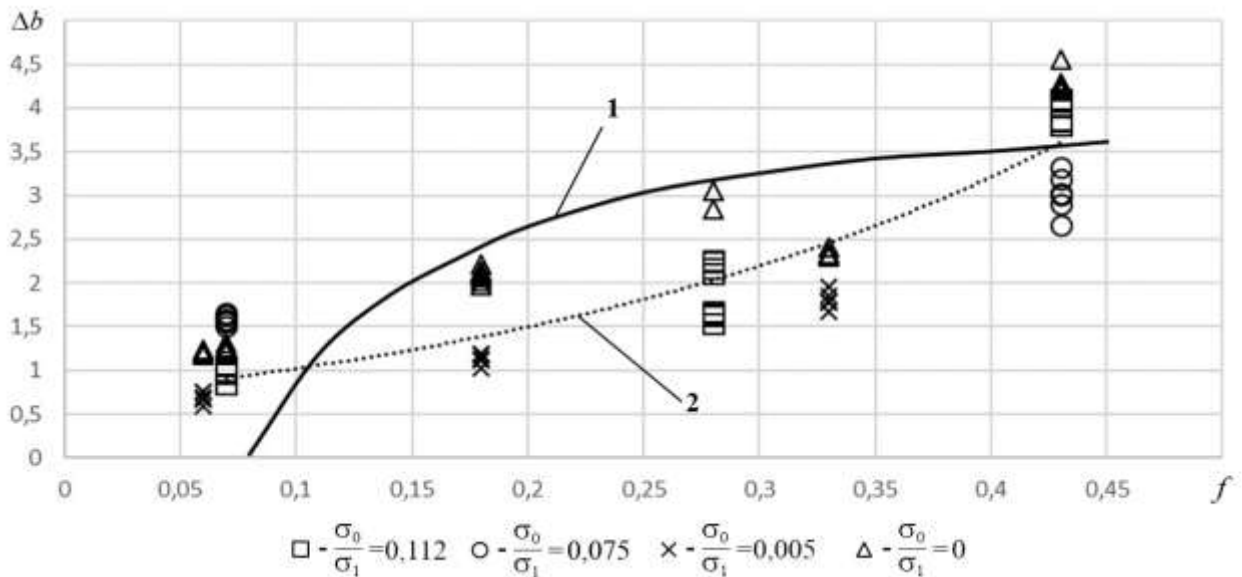


Рис. 7.22. Загальний вигляд свинцевих зразків із задньою частиною покритою крейдою (а) і милом (б) після прокатки

Для наочності, крейду і мило наносили на задню частину зразка, при цьому після прокатки чітко видно, як зміни умов тертя впливають на поперечні деформації металу по всій довжині розкату.

Результати експериментальних досліджень процесу прокатки круглих свинцевих і алюмінієвих штаб в овальному калібрі при різних умовах тертя і натяжіння наведені на рис. 7.23. Тут, σ_0 – напруга заднього натягу, а σ_T – межа текучості при розтягуванні для прокочується матеріалу заготовки.

Вплив коефіцієнта тертя та заднього натяжіння на коефіцієнт розширення при прокатці круглих заготовок в овальних калібрах графічно показано рис. 7.24 та 7.25.



- 1 – крива, побудована відповідно до рівнянь О.І. Целікова (7.54);
 2 – апроксимація результатів експерименту

Рис. 7.23. Залежність абсолютного розширення при прокатці круглих штаб в овальному калібрі від коефіцієнта тертя в осередку деформації при різних значеннях напружень заднього натягіння:

В кінцевому підсумку отримана апроксимована залежність, яка дозволяє провести розрахунки коефіцієнта розширення при прокатці круглих штаб в овальному калібрі:

$$\beta = k \cdot f^{0,34} \cdot \left(1 - \frac{\sigma_0}{\sigma_T}\right)^{0,06} \beta_p,$$

де k – коефіцієнт пропорційності;

β_p – коефіцієнт розширення, визначений за формулою:

$$\beta_p = 0,943 + 0,113 \frac{h_0}{h_1} + 0,004 \frac{D_B}{h_1} + 0,014 \frac{B_K}{b_0},$$

h_0 , h_1 – початкова і кінцева висота штаби при прокатці в овальному калібрі;

D_B – діаметр валків по буртам;

B_K – ширина калібру;

b_0 – ширина заготовки.

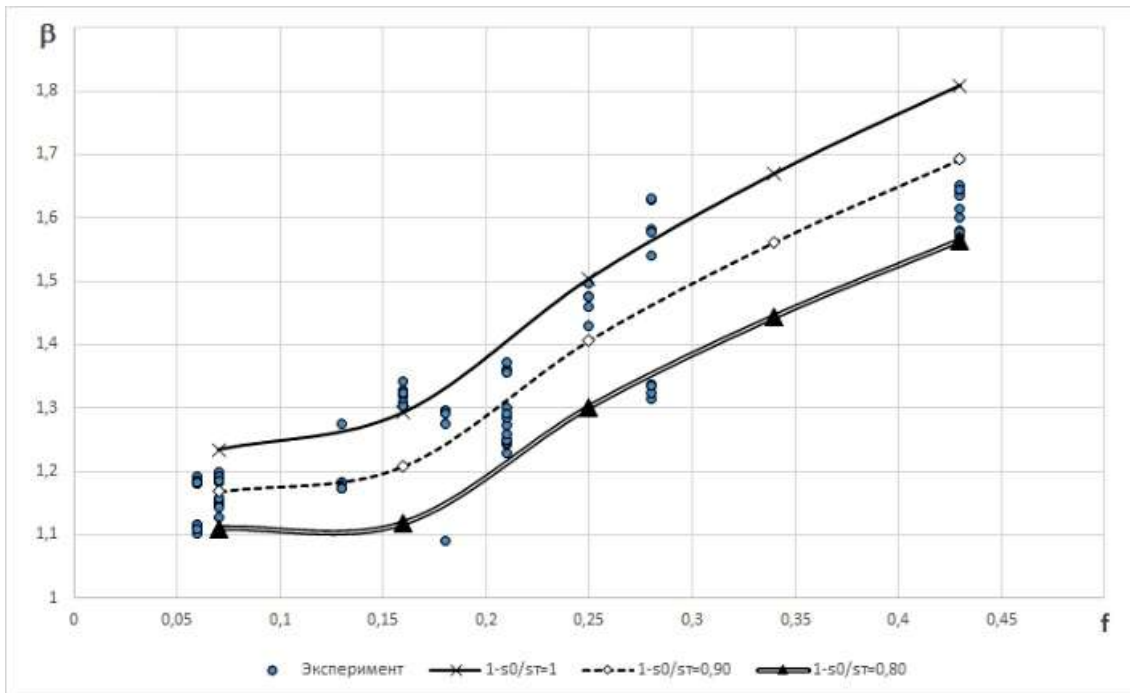


Рис. 7.24. Вплив коефіцієнта тертя на β

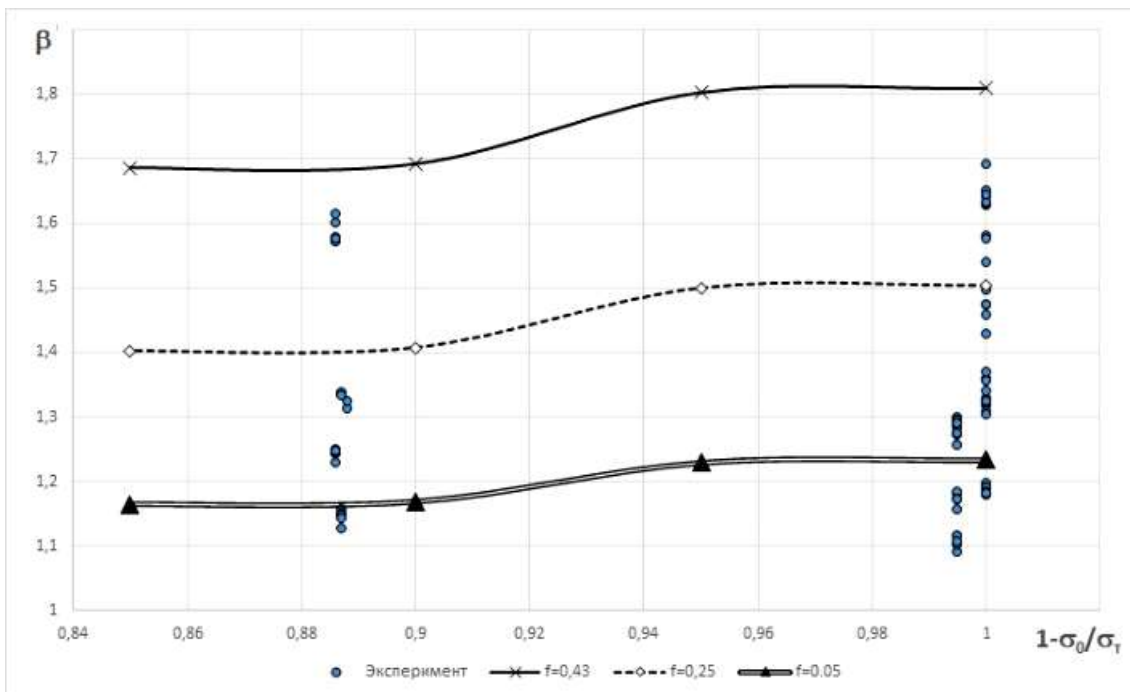


Рис. 7.25. Вплив заднього натяжіння на β

Таким чином, зменшення коефіцієнту тертя при одночасному збільшенню сили заднього натягіння призводить до суттєвого зменшення коефіцієнту розширення.

7.11. Максимальне обтиснення при прокатуванні профілів

При прокатці профілів основними факторами, що визначають можливі обтиснення по проходах, є: пластичність металу, витяжна здатність калібрів, міцність валків, нормальний тиск, знос калібрів.

Вплив пластичності металу на максимальне обтиснення

Пластичність металу залежить від хімічного складу металу, температури деформації та схеми напруженого стану.

Раніше вважалося, що леговані і високолеговані сталі необхідно прокатувати з малими обтисненнями в порівнянні з рядовими сталями. Це приводить до того, що на стані використовують чистові калібри окремі для рядових і легованих сталей.

Дослідженнями доведено, що з підвищенням вмісту вуглецю та легуючих домішок припустима величина деформації повинна зменшуватися, однак це зменшення не повинне бути настільки значним, як це припускалося раніше.

Дослідження процесів прокатувань легованих сталей показали, що низька пластичність сталей окремих марок часто викликається надмірно низькою температурою кінця прокатки, що викликається зайво обережними обтисненнями і, отже, великою кількістю проходів.

Для пояснення можна привести ряд прикладів, коли окремі марки легованих сталей, що вважаються малопластичними, прокатувалися по тим же режимам обтиснень, що і рядові, при цьому не було виявлено ніяких дефектів.

Дослідженнями доведено, що чим інтенсивніше обтискаються зливки легованої сталі, тим вище якість готової продукції. За рахунок підвищення обтиснень, збільшується проробка зливка по перерізу та інтенсивність тепловиділення, що зменшує кількість розривів усередині зливка, а також скорочується час обробки, що у свою чергу приводить до збільшення температури кінця прокатки. А чим вище температура прокатки, тим менша ймовірність утворення тріщин, волосовин, розривів.

З розвитком технології неперервного прокатування, що дозволяє зберігати високу температуру кінця прокатки, доведено, що різниця в припустимих обтисненнях для звичайних і легованих сталей дуже незначна.

Вплив міцності валків на максимальне обтиснення

При прокатці у валках виникають напруження, величина яких залежить, від сили прокатування, що діє на них, а також від діаметру валків. При перевищенні припустимих напружень валок руйнується.

Тому при розрахунку режиму обтиснень необхідно враховувати припустимі сили прокатки, що звичайно вказуються в характеристиці кліті.

Після розрахунку калібровки профілю і валків, стають відомі обтиснення і ширина штаби по проходах, а також розміри діаметрів валків по калібрах. На підставі практичних чи розрахункових даних визначаються температури прокатки по проходах. Після цього визначається сила прокатування:

$$P = p_{\text{сер}} V_{\text{сер}} \sqrt{R_k \Delta h}, \quad (7.51)$$

де $p_{\text{сер}}$ – середній тиск металу на валки в осередку деформації;

$V_{\text{сер}}$ – середня ширина осередку деформації;

R_k – катаючий радіус;

Δh – середнє абсолютне обтиснення.

Напруження вигину в бочці валка визначається, виходячи з сили прокатування та розмірів валків (рис. 7.26):

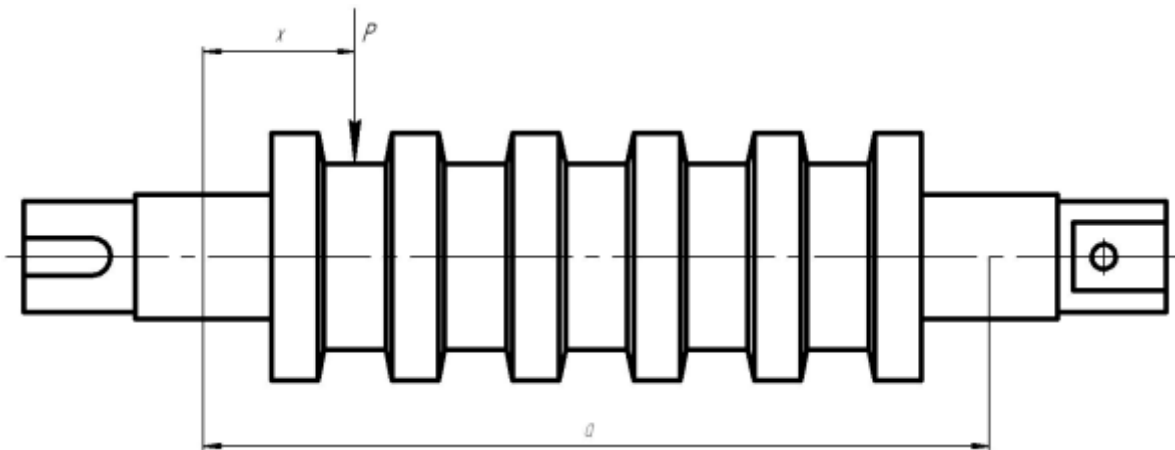


Рис. 7.26. Робочий валок

$$\sigma_{\text{виг}} = \frac{M_{\text{виг}}}{W_{\text{б}}} = \frac{M_{\text{виг}}}{0,1D_{\text{в}}^3}, \quad (7.52)$$

де $M_{\text{виг}}$ – момент вигину, що діє на бочку валку;

$D_{\text{в}}$ – діаметр валка в небезпечному перерізі;

$W_{\text{б}}$ – момент опору вигину бочки валка.

Момент вигину в бочці валку залежить від місця розташування калібру, в якому проводиться прокатування (рис. 7.26):

$$M_{\text{зг}} = P \frac{x}{a} (a - x); \quad (7.53)$$

де a — відстань між центрами підшипників;

x — відстань від центра шийки до центра калібру.

Точність розрахунку залежить від правильності визначення тиску металу на валки, що залежить від абсолютного обтиснення, марки сталі, температури прокатування, форми осередку деформації й інших факторів.

В умовах сортової прокатки для підрахунку середнього тиску металу на валки найбільш часто використовують методику Целікова [8]:

$$P_{\text{сер}} = \sigma_T \cdot n_{\sigma} \cdot n_b, \quad (7.54)$$

де σ_T - напруження опору деформації металу, який прокатується;

n_{σ} - коефіцієнт напруженого стану;

n_b - коефіцієнт, що враховує вплив ширини штаби.

Коефіцієнт напруженого стану, відповідно до методики Целікова, визначають за формулою [8]:

$$n_{\sigma} = n'_{\sigma} \cdot n''_{\sigma} \cdot n'''_{\sigma}, \quad (7.55)$$

де n'_{σ} - коефіцієнт, що враховує деформацію металу поза межами геометричного осередку деформації;

n''_{σ} - коефіцієнт, що враховує вплив умов тертя між металом та валками в осередку деформації;

n'''_{σ} - коефіцієнт, що враховує вплив натягу штаби.

Визначення напруження опору деформації металу, який прокатується, рекомендується проводити з використанням термомеханічних коефіцієнтів за Зюзіним [9]:

$$\sigma_T = k_t \cdot k_{\varepsilon} \cdot k_u \cdot \sigma_{\text{о.д.}}, \quad (7.56)$$

де k_t - коефіцієнт, що враховує вплив температури металу;

k_{ε} - коефіцієнт, що враховує вплив ступеню деформації штаби;

k_u - коефіцієнт, що враховує середню швидкість деформації;

$\sigma_{\text{о.д.}}$ - базове значення напруження опору деформації металу, що відповідає умовам обробки.

Окрім методики Целікова досить розповсюдженою є емпірична методика, що запропонована Екелундом:

$$P_{\text{сер}} = (\sigma + \eta \cdot u) k_f \quad (7.57)$$

де σ - статичний опір деформації;

η – коефіцієнт в'язкості металу;

u – відносна швидкість деформації;

k_f – коефіцієнт зовнішнього тертя в осередку деформації.

Статичний опір деформації являє собою функцію від хімічного складу та температури металу, що прокатується:

$$\sigma = (14 - 0,01 \cdot t)(1,4 + \text{Mn} + 0,3 \cdot \text{Cr}), \quad (7.58)$$

де t – температура металу, що прокатується;

Mn – вміст марганцю в сталі, що прокатується;

Cr – вміст хрому в сталі, що прокатується.

Коефіцієнт в'язкості металу визначають за формулою:

$$\eta = 0,01 \cdot (14 - 0,01 \cdot t). \quad (7.59)$$

Коефіцієнт зовнішнього тертя в осередку деформації визначають за формулою:

$$k_f = 1 + \frac{1,6 \cdot \mu \cdot \sqrt{R_k \cdot \Delta h} - 1,2 \cdot \Delta h}{h_0 + h_1}, \quad (7.60)$$

де μ – коефіцієнт витяжки;

R_k – катаючий радіус валків;

Δh – абсолютне обтиснення;

h_0 – початкова висота штаби;

h_1 – кінцева висота штаби.

Якщо в результаті виявляється, що міцність валка недостатня, то виконують перерозподіл обтиснень з наступною перевіркою валків на міцність, або збільшують діаметр валка (якщо це можливо) або заміняють матеріал валків на більш міцний.

Вплив потужності приводу на обтиснення

Величина моменту, необхідного для процесу прокатування, залежить від сили, що діє на валки з боку металу, який прокатується, а також від довжини осередку деформації:

$$M_{\text{пр}} = 2 \cdot P \cdot a, \quad (7.61)$$

де a – відстань від площини на виході з осередку деформації до місця прикладення рівнодіючої сили прокатування.

Потужність двигуна, що необхідна для здійснення деформації металу при прокатуванні штаби, залежить від величини моменту прокатування та частоти обертання валків:

$$N_{\text{дв}} = \frac{M_{\text{пр}} \cdot n_{\text{в}}}{0,975}, \quad (7.62)$$

де $n_{\text{в}}$ – частота обертання валків, об /хв.

Номінальна потужність двигунів клітей стану відома і є величиною постійною.

Після розрахунку калібровки профілю визначають швидкість прокатування по проходах та виконують розрахунок необхідної потужності при заданому швидкісному режимі прокатування. Для цього спочатку визначають силу прокатування по проходах, потім визначають момент прокатування та потужність двигуну для кожного проходу. Отримані результати порівнюють з номінальною потужністю двигуна. У випадку якщо необхідна потужність прокатування більше за паспортну характеристику двигуна, то виконують перерозподіл обтиснень по проходах.

Звичайно стан проектується таким чином, щоб величину обтиснення лімітувала міцність валків, але у випадку заміни матеріалу валків або збільшення їхніх діаметрів, фактором, що лімітує, може бути також і потужність двигуну, наприклад: при прокатці великих профілів або при збільшенні швидкості прокатування.

Потужність двигуну, особливо часто є вузьким місцем на листових станах, на блюмінгах і слябінгах.

Вплив зносу валків (калібрів) на розподіл обтиснень

Звичайно за інших рівних умов через чорнові калібри прокатується в кілька разів більше металу, чим через чистові. Обумовлюється це тим, що температура на початку прокатування значно вище, чим в останньому проході, це забезпечує менше

напруження опору деформації. Окрім того, у кожному наступному калібрі довжина розкату збільшується відповідно до коефіцієнту витяжки, отже валки стикаються з гарячою штабою у декілька разів частіше.

Наприклад: при прокатуванні катанки діаметром 6,5 мм із заготовки з поперечним перерізом 80×80 мм загальна витяжка складає 200. Тому при довжині заготовки 12 м довжина розкату в чистовому проході буде сягати 2400 м.

Стан поверхні готового профілю визначається станом чистового калібру, тому дуже важливо забезпечити його найменший знос, тому що часта зміна калібрів збільшує простої стану. Знос чистового калібру можна зменшувати, застосовуючи в ньому мінімально можливі обтиснення. Знос витяжних і підготовчих калібрів припустимий в набагато більшому ступені й, як правило, величини обтиснення в них не лімітуються.

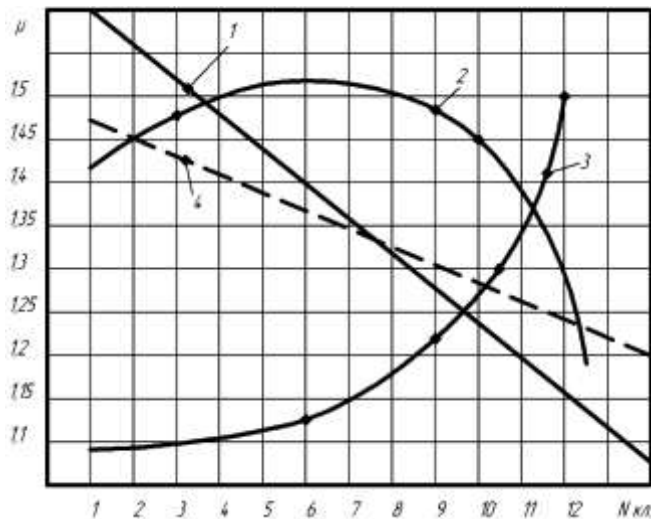
При розробці калібровки профілю необхідно прагнути використовувати такі системи калібрів і розподіляти обтиснення по проходах таким чином, щоб забезпечити рівномірний знос калібрів по клітках. У протилежному випадку частина калібрів буде зношена цілком, а інша ні, та стан прийдеться зупиняти для заміни валків.

На підставі вищевикладеного закономірність розподілу обтиснень по проходах залежить звичайно від того, який з перерахованих вище факторів (пластичність, міцність валків, знос і так інше) обмежує величину обтиснення.

Прокатка з максимальними обтисненнями в практичних умовах не завжди буває оптимальною, тому що стійкість роботи стану може бути порушена через відхилення у розмірах вихідних заготовок, у складі сталей, у температурі прокатки. При використанні максимальних обтиснень важко організувати рівномірний знос калібрів по клітках.

Типовий графік розподілу коефіцієнтів деформації по проходах для деяких випадків прокатування наведений на

рис. 7.27. Аналіз калібровок, які добре працюють на різноманітному обладнанні, показує, що на практиці при калібруванні більше застосовують розподіл за схемою близькою до першої (рис. 7.27).



1 - при обмежених пластичності, міцності валків і потужності двигуна; 2 - при обмежених кутах захвату й зношування валків; 3 - при обмежених умовах захвата; 4 - при прокатці на БЗС

Рис. 7.27. Залежність розподілу коефіцієнта витяжки по проходам

Середні значення витяжки в залежності від профілю можна обирати з табл. 7.3.

Таблиця 7.3. Розподіл одиничних коефіцієнтів витяжки по проходах при прокатуванні різних профілів

Профілі	Одиничні коефіцієнти витяжки для групи клітей		
	чорнова	проміжна	чистова
Круг, квадрат	1,4-1,45	1,35-1,38	1,2-1,25
Кутовий	1,35-1,4	1,3-1,35	1,15-1,2
Двотавр, швелер	1,35-1,4	1,25-1,3	1,0-1,15
Рейки	1,35-1,4	1,3-1,35	1,13-1,18
Штаба	1,4-1,45	1,25-1,35	1,15-1,23

7.12. Визначення максимальних обтиснень при розрахунках режимів обтиснень

Граничні умови захвату характеризуються коефіцієнтом тертя:

$$f = \operatorname{tg} \alpha, \quad (7.63)$$

де α – кут захвату.

Для здійснення надійного захвату металу валками необхідно дотримуватися умови $f \geq \operatorname{tg} \alpha$.

Зв'язок між кутом захвату, діаметром валків та абсолютним обтисненням описується формулою:

$$\Delta h = D_{\text{в}} \cdot (1 - \cos \alpha), \quad (7.64)$$

де $D_{\text{в}}$ – катаючий діаметр валків;

α – кут захвату.

Максимальне обтиснення при граничних умовах захвату (7.63) виражається рівнянням

$$\Delta h_{\max} = D_{\text{в}} \cdot \left(1 - \frac{1}{\sqrt{1 + f^2}} \right). \quad (7.65)$$

З граничних умов захвату (7.63) виведене також рівняння:

$$\Delta h_{\max} = 0,9 \cdot f^2 \cdot R, \quad (7.66)$$

де f – коефіцієнт тертя;

R – катаючий радіус валків.

Для сталевих валків:

$$f_{\text{ст}} = 1,05 - 0,0005 \cdot t, \quad (7.67)$$

де t – температура металу, що прокатується, °С.

Для чавунних валків:

$$f_{\text{чав}} = 0,8 \cdot f_{\text{ст}} = 0,8 \cdot (1,05 - 0,0005 \cdot t). \quad (7.68)$$

В умовах регулярної роботи діаметри валків змінюються, величина коефіцієнта тертя коливається через коливання температури прокатки та товщини шару окалини та марки сталі, яка прокатується. Тому при розрахунках робочої калібровки валків необхідно враховувати: знос валків, тобто його

мінімальний діаметр; надійний стійкий захват при відхиленнях основних технологічних параметрів.

Розрахунок режиму обтиснень зручно виконувати за формулою М.В. Литовченко [6]:

$$\Delta h_{\max} = 0,9 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot f^2 \cdot R, \quad (7.69)$$

де k_1 – коефіцієнт переточування валків;

k_2 – коефіцієнт, що забезпечує стійкий захват при відхиленні від технологічного режиму.

Виходячи з практичних даних рекомендовано приймати $k_1 = 0,9$ та $k_2 = 0,95$. Тоді

$$\Delta h_{\max} = 0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,95 \cdot f^2 \cdot R = 0,77 \cdot f^2 \cdot R. \quad (7.70)$$

При прокатці в калібрах максимальний кут захвату можна приблизно визначити виходячи з обтиснення приведеної штаби:

$$\alpha_{\max} = \sqrt{\frac{\Delta h_{\max}}{R_k}}, \quad (7.71)$$

де Δh_{\max} – максимальне абсолютне обтиснення, що приймається відповідно до рекомендацій, які розроблені за даними практики;

R_k – середній катаючий радіус, що визначають за методом приведеної штаби.

Звичайно максимальне абсолютне обтиснення обирається таким, щоб кут захвату не перевищував 32° , а в деяких випадках і менших значень.

Приклад

Дано:

*Діаметр сталевих валків 1000 мм, температура металу 1100°C.
Валки – сталеві.*

Завдання:

Визначити максимальне обтиснення при гарячій прокатці металу.

Розв'язання:

Визначаємо коефіцієнт тертя (7.67):

$$f = 1,05 - 0,0005 \cdot 1100 = 0,5.$$

Максимальне обтиснення за формулою (7.65):

$$\Delta h_{\max} = 1000 \cdot \left(1 - \frac{1}{\sqrt{1 + 0,5^2}} \right) \approx 105,6 \text{ мм};$$

за формулою (7.66):

$$\Delta h_{\max} = 0,9 \cdot 0,5^2 \cdot 500 = 112,5 \text{ мм};$$

за формулою (7.71):

$$\Delta h_{\max} = 0,77 \cdot 0,5^2 \cdot 500 = 96,3 \text{ мм}.$$

Таким чином, для забезпечення стійкого процесу прокатування, при розробці режиму обтиснень для заданих умов, максимальне обтиснення не повинно перевищувати 96 мм.

На практиці для поліпшення умов захвату використовують нанесення на валки насічок, наварювань або інші методи зміну рельєфу поверхні валків. Це дозволяє збільшити обтиснення на 20-40 %, якщо вони обмежуються тільки умовами захвату.

Разом з тим використання таких методів збільшення куту захвату має серйозні недоліки:

- можливість появи різних дефектів (плен, рванін, тріщин) на готовому профілі;
- збільшення собівартості виготовлення валків;
- збільшення витрат електроенергії в зв'язку з ростом тертя в осередку деформації.

При розробці калібровок треба домагатися такого розподілу обтиснень, при якому насічки та наварювання не потрібні. Нажаль, в умовах діючих станів це не завжди вдається.

При проектуванні нових станів необхідно прагнути, щоб у всіх клітях діаметри валків мали достатні розміри, що

забезпечувати надійний захват розкату без збільшення шорсткості поверхні валків.

7.13. Обмеження мінімального обтиснення при розрахунках калібровки

У ряді випадків прокату приходится обмежувати величиною мінімального обтиснення, хоча за умовами технології іноді бажано мати обтиснення нижче застосовуваних. Обмеження нижньої межі обтиснення викликається звичайно нестабільною прокаткою, що приводить до скручування або вигину в бік (серпінню) штаби при її виході з валків.

Скручування або серпіння при малих обтисненнях може викликатися: різницею обтиснень по ширині штаби; неоднаковою температурою штаби по перерізу; незначним перекосом валків; несприятливою формою профілю, що задається, що ускладнює тримання його ввідними пропусками, наприклад, при прокатуванні вузького овалу в круглому калібрі.

Мінімальні витяжки при прокатці деяких профілів коливаються від 1,05 до 1,22.

Приклад

Дано:

Початкова товщина штаби №1 - 10,3 мм, початкова товщина штаби №2 - 15 мм. Прокатування проводиться у

перекошених валках: $h_1^{лів} = 10,1$ мм; $h_1^{пр} = 10,0$ мм (рис. 7.28).

Завдання:

Знайти різницю в подовженнях лівої і правої сторін штаби через неоднакове обтиснення.

Розв'язання:

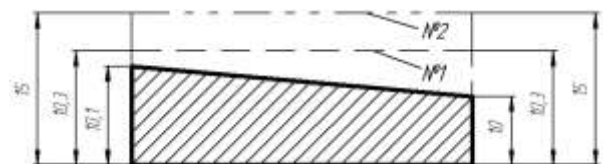


Рис. 7.28. Прокатування в перекошених валках

Подовження:

$$\lambda = \eta - 1;$$

де η - коефіцієнт висотної деформації (7.30).

Коефіцієнт висотної деформації по лівій стороні штаби №1:

$$\eta_{\text{лів}} = \frac{10,3}{10,1} = 1,02.$$

Коефіцієнт висотної деформації по правій стороні штаби №1:

$$\eta_{\text{пр}} = \frac{10,3}{10,0} = 1,03.$$

Подовження по лівій стороні штаби №1:

$$\lambda_{\text{лів}} = 1,02 - 1 = 0,02.$$

Подовження по правій стороні штаби №1:

$$\lambda_{\text{пр}} = 1,03 - 1 = 0,03.$$

Різниця між подовженнями по лівій та правій частинами штаби складе

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda_{\text{пр}} - \lambda_{\text{лів}}}{\lambda_{\text{лів}}} \cdot 100\% = \frac{0,03 - 0,02}{0,02} \cdot 100\% = 50\%$$

Така різниця в подовженні призведе до скручування штаби при виході з валків (штопор).

При прокатуванні штаби №2, за рахунок збільшення товщини штаби, що задається, різниця в подовженнях значно зменшується:

$$\eta_{\text{лів}} = \frac{15}{10,1} = 1,485; \quad \lambda_{\text{лів}} = 1,485 - 1 = 0,485;$$

$$\eta_{\text{пр}} = \frac{15}{10} = 1,5; \quad \lambda_{\text{пр}} = 1,5 - 1,0 = 0,5;$$

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda_{\text{пр}} - \lambda_{\text{лів}}}{\lambda_{\text{лів}}} \cdot 100\% = \frac{0,5 - 0,485}{0,485} \cdot 100\% = 3,1\%.$$

Таким чином, скручування не відбудеться.

Практичне заняття № 3. Побудова ящичного калібру

Мета заняття: навчитися будувати креслення калібрів простої форми.

Задача заняття: отримати навички розрахунку розмірів ящичного калібру та побудови креслення калібрів простої форми.

3.1. Загальні положення

В залежності від ширини розкату, який задається в ящичний калібр, обирають ширину калібру по дну струмка (рис. 7.29):

$$b_k = k_c \cdot b_0,$$

де k_c - коефіцієнт, що обирають в залежності від умов прокатування в калібрі;

b_0 - ширина штаби, що задається в калібр.

При прокатуванні штаби в калібрі за один прохід (неперервний заготовочний стан, чорнова неперервна група клітей та таке інше) найважливішою умовою є стійкість штаби в калібрі при прокатуванні та покращення умов захвату, тому в цьому випадку k_c знаходиться в межах (0,95...1,00). При використанні ящичного калібру для прокатування штаби за декілька проходів або прокатування розкатів

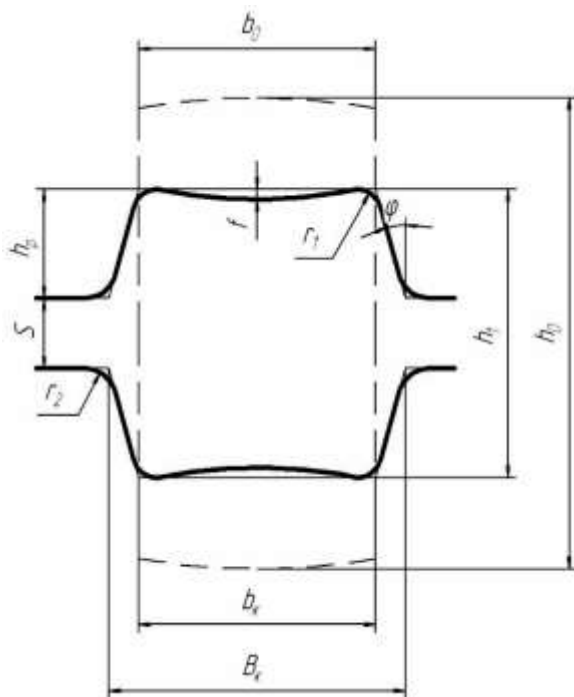


Рис. 7.29. Схема ящичного калібру

різних розмірів найбільш важливою умовою стає правильне заповнення калібру (тобто відсутність переповнення), тому в цьому випадку k_c звичайно знаходиться в межах (1,00...1,05).

Ширина каркасу калібру біля розділу (ширина калібру) повинна бути такою, щоби при прокатуванні в ньому штаби не виникало переповнення. Звичайно передбачають, що калібр буде заповнений металом до початку радіусу закруглення біля розділу, тому ширину каркасу біля розділу приймають на (1...5) мм більше кінцевої ширини штаби:

$$B_k = b_1 + (1,0 \div 5) \text{ мм},$$

b_1 - кінцева ширина штаби, що прогнозується.

Після визначення глибини струмка та ширини каркасу калібру по дну та біля розділу можна розрахувати величину випуску калібру:

$$\psi = \frac{B_k - b_k}{2 \cdot h_p} \cdot 100\%$$

$$\text{або } \operatorname{tg}\psi = \frac{B_k - b_k}{2 \cdot h_p},$$

де h_p — глибина струмка.

Глибина струмка для ящичних калібрів звичайно знаходиться в межах:

$$h_p = (0,2 \div 0,45)h_1.$$

Для випадку прокатування на блюмінгу глибина струмка визначається прийнятою початковою висотою калібру та зазором між валками:

$$h_p = \frac{h_{k_i} - S}{2},$$

де h_{k_i} - висота калібру;

S - зазор між валками.

На практиці прийнято конструювати ящичні калібри при звичайній глибині струмків з випуском $5 \div 20$ % та при невеликій глибині струмків - $25 \div 40$ %. Тому можна використовувати й інший алгоритм визначення ширини каркасу калібру біля розділу: спочатку прийняти величину випуску калібру (чим ближче до готового перерізу, тим менший випуск), а потім, виходячи з його значення та попередньо визначеної висоти калібру визначають ширину каркасу калібру біля розділу:

$$B_k = b_k + h_p \cdot \operatorname{tg} \varphi,$$

де h_p - глибина струмка;

$\text{tg } \varphi$ - випуск калібру в долях одиниці.

При використанні другого способу після визначення ширини калібру біля розділу обов'язково перевіряють виконання умови відсутності переповнення, при необхідності виконують корегування.

Радіуси заокруглень приймають конструктивно в залежності від розмірів розкату:

$$r_1 = (0,1 \div 0,2)h_1.$$

$$r_2 = (0,8 \div 1,0)r_1.$$

В деяких випадках дно ящичного калібру виконують з опуклістю (див. рис. 7.29). Це сприяє покращенню стійкості розкату на рольгангах, запобігає переповненню при прокатуванні в наступному калібрі після кантування на 90° . Величину опуклості приймають у межах $0,5 \div 5,0$ мм в залежності від розмірів профілю, що прокатується.

Площу поперечного перерізу розкату після прокатування в ящичному калібрі можна приблизно визначити за формулою:

$$F_1 = 0,98 \cdot h_1 \cdot b_1.$$

Далі визначають діаметри валків. На блюмінгах валки яких приводяться від спільного електродвигуна приймається нижній тиск в межах:

$$\Delta D_H = 10 \div 15 \text{ мм}.$$

Діаметр верхнього валка:

$$D_p^B = D_{\text{сер}} - h_k - \frac{\Delta D_H}{2}.$$

Діаметр нижнього валка:

$$D_p^H = D_p^B + \Delta D_H.$$

Перевірка:

$$D_{\text{сер}} = 0,5 \cdot (D_{p_i}^H + D_{p_i}^B + 2 \cdot S) = \text{const}$$

3.2. Приклад розрахунку та побудови ящичного калібру

Вихідні дані:

розміри перерізу заготовки: $H_0 \times B_0 = 740 \times 460$ мм;

висота калібру після першого проходу: $h_1 = 650$ мм;

висота калібру після другого проходу: $h_2 = 570$ мм;

висота калібру після третього проходу: $h_3 = 500$ мм;

висота калібру після четвертого проходу: $h_4 = 430$ мм;

початковий діаметр валків: $D_0 = 1150$ мм;

висота калібру: $h_k = 200$ мм;

зазор між валками: $s = 20$ мм.

1. Розраховуємо ширину штаби по проходах. Для цього використовуємо формулу Чекмарьова [2]:

$$\Delta b_i = \frac{2 \cdot b_{i-1} \cdot \Delta h_i}{(h_{i-1} + h_i) \left[1 + (1 + \alpha_i) \left(\frac{2 \cdot b_{i-1}}{D_{\text{к.сер}_i} \cdot \alpha_i} \right)^n \right]},$$

де b_{i-1} , h_{i-1} - ширина та висота штаби, що задається в калібр в i -му проході;

Δh_i - абсолютне обтиснення для в i -го проході;

h_i - висота штаби після в i -го проході;

α_i - кут захвату, рад.;

$D_{\text{к.сер}_i}$ - діаметр по дну калібру;

n - показник ступеню, що залежить від ширини осередку деформації.

$$\left. \begin{aligned} n = 1 & \text{ при } 2 \cdot b_{i-1} \leq D_{\text{к.сер}_i} \cdot \alpha_i, \\ n = 2 & \text{ при } 2 \cdot b_{i-1} > D_{\text{к.сер}_i} \cdot \alpha_i. \end{aligned} \right\}$$

Абсолютне обтиснення для кожного з проходів:

$$\Delta h_1 = H_0 - h_1.$$

$$\Delta h_1 = 740 - 650 = 90 \text{ мм},$$

$$\Delta h_2 = 650 - 570 = 80 \text{ мм},$$

$$\Delta h_3 = 570 - 500 = 70 \text{ мм},$$

$$\Delta h_4 = 500 - 430 = 70 \text{ мм}.$$

Діаметр по дну калібру:

$$D_{\text{к.сер}} = D_0 - h_k.$$

$$D_{\text{к.сер}} = 1150 - 200 = 950 \text{ мм.}$$

Кут захвату:

$$\alpha_i = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta h_i}{D_{\text{к.сер}}}}$$

$$\alpha_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot 90}{950}} = 0,435 \text{ рад.}$$

$$\alpha_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot 80}{950}} = 0,41 \text{ рад.}$$

$$\alpha_3 = \alpha_4 = \sqrt{\frac{2 \cdot 70}{950}} = 0,384 \text{ рад.}$$

Розширення штаби після першого проходу:

$$\Delta b_1 = \frac{2 \cdot 460 \cdot 90}{(740 + 650) \left[1 + (1 + 0,435) \left(\frac{2 \cdot 460}{950 \cdot 0,435} \right)^2 \right]} \approx 10 \text{ мм.}$$

Отримане розширення округляємо до числа кратного 5 мм (з ряду значень, мм: 0, 5, 10, 15, 20, 25, ...).

Ширина штаби після першого проходу:

$$b_1 = B_0 + \Delta b_1.$$

$$b_1 = 460 + 10 = 470 \text{ мм.}$$

Розширення штаби після другого проходу:

$$\Delta b_2 = \frac{2 \cdot 470 \cdot 80}{(650 + 570) \left[1 + (1 + 0,41) \left(\frac{2 \cdot 470}{950 \cdot 0,41} \right)^2 \right]} \approx 5 \text{ мм.}$$

Ширина штаби після другого проходу:

$$b_2 = 470 + 5 = 475 \text{ мм.}$$

Розширення штаби після третього проходу (3.11):

$$\Delta b_3 = \frac{2 \cdot 475 \cdot 70}{(570 + 500) \left[1 + (1 + 0,384) \left(\frac{2 \cdot 475}{950 \cdot 0,384} \right)^2 \right]} \approx 5 \text{ мм.}$$

Ширина штаби після третього проходу:

$$b_3 = 475 + 5 = 480 \text{ мм.}$$

Розширення штаби після четвертого проходу:

$$\Delta b_4 = \frac{2 \cdot 480 \cdot 70}{(500 + 430) \left[1 + (1 + 0,384) \left(\frac{2 \cdot 480}{950 \cdot 0,384} \right)^2 \right]} \approx 5 \text{ мм.}$$

Ширина штаби після четвертого проходу:

$$b_4 = 480 + 5 = 485 \text{ мм.}$$

2. Далі розраховуємо розміри каркасу калібру.

Ширина калібру по дну

$$b_k = 0,985 \cdot 460 = 453,1 \text{ мм.}$$

Приймаємо конструктивно $b_k = 455 \text{ мм.}$

Глибина струмку визначається прийнятою початковою висотою калібру та зазором між валками:

$$h_p = \frac{200 - 20}{2} = 90 \text{ мм.}$$

Приймаємо значення випуску калібру $\text{tg } \varphi = 0,35$. Тоді ширина калібру

$$B_k = 455 + 90 \cdot 0,35 = 486,5 \text{ мм.}$$

Перевіряємо заповнення калібру після кожного проходу:

$b_1 = 470 \text{ мм} < B_k = 486,5 \text{ мм}$ - після першого проходу переповнення нема.

$b_2 = 475 \text{ мм} < B_k = 486,5 \text{ мм}$ - після другого проходу переповнення нема.

$b_3 = 480 \text{ мм} < B_k = 486,5 \text{ мм}$ - після третього проходу переповнення нема.

$b_4 = 485 \text{ мм} < B_k = 486,5 \text{ мм}$ - після четвертого проходу переповнення нема.

Проте в останньому проході калібр заповнений на

$$\frac{b_4}{B_k} \cdot 100 = \frac{485}{486,5} \cdot 100 = 99,7 \text{ \% .}$$

Тому збільшимо ширину калібру. Для цього перераховуємо ширину калібру по дну:

$$b_k = 0,995 \cdot 460 \approx 460 \text{ мм.}$$

Тоді,

$$B_k = 460 + 90 \cdot 0,35 = 491,5 \text{ мм.}$$

Приймаємо, $B_k = 490 \text{ мм.}$

3. Визначаємо розміри інших елементів калібру.

Розраховуємо радіуси заокруглень по дну калібру за формулою:

$$r_1 = (0,1 \div 0,2) \cdot 200 = (20 \div 40) \text{ мм.}$$

З урахуванням того, що сучасні стани використовують безперервнолиту заготовку з гострими кутами, приймаємо $r_1 = 25$ мм.

Визначаємо за формулою радіус біля зазору:

$$r_2 = 0,8 \cdot 25 = 20 \text{ мм.}$$

Приймаємо величину опуклості дну калібру 5 мм.

За результатами розрахунків будуємо креслення калібру (рис. 7.30).

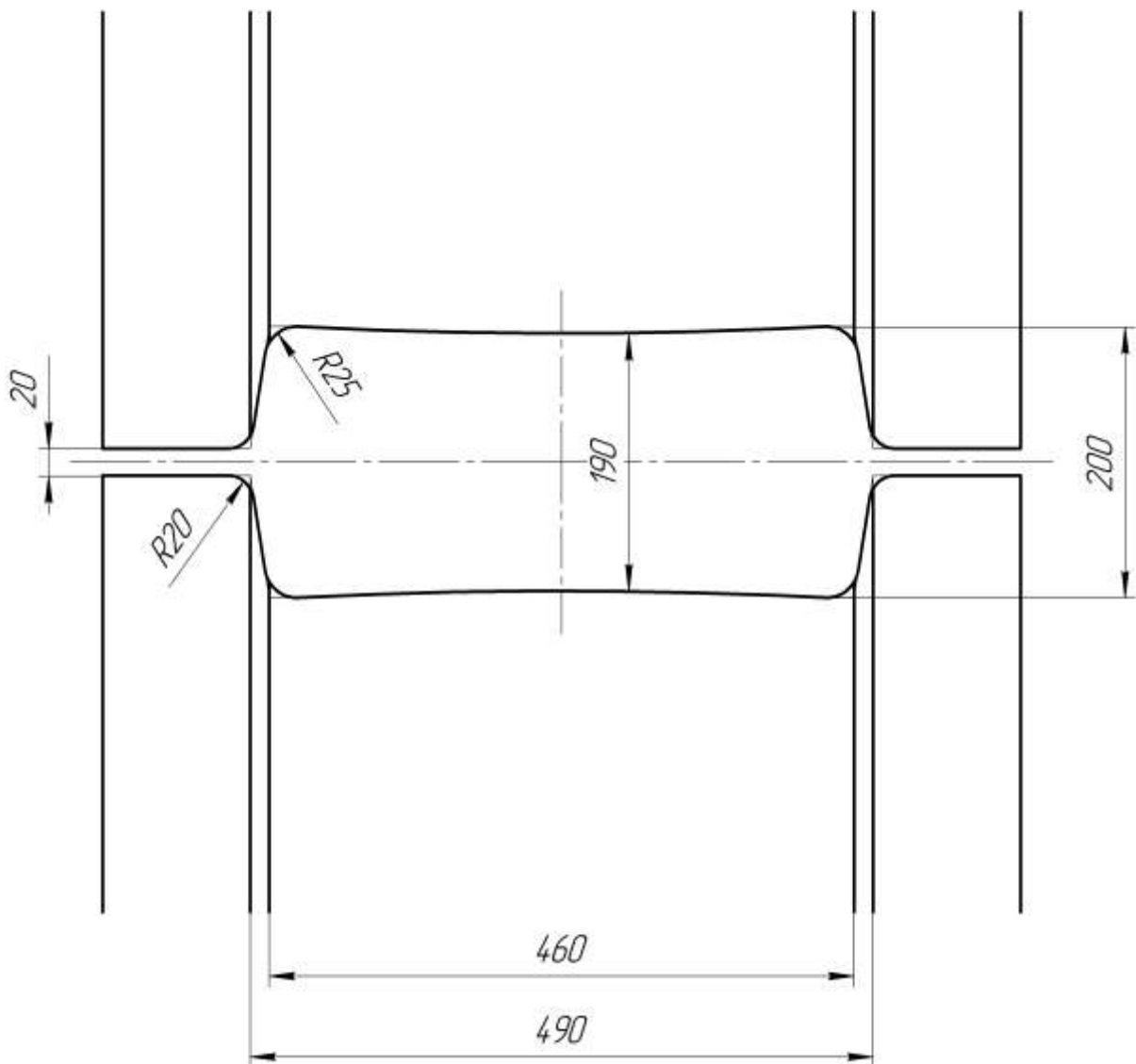


Рис. 7.30. Ящичний калібр блюмінга 1150

У виробничих калібровках валків блюмінгу можливі відхилення від розрахункових розмірів за наведеними формулами, що пояснюється конкретними умовами прокатки: врахуванням розмірів злитків або безперервнолитих блюмів та кінцевих перерізів за сортаментом блюмів і слябів [5].

3.3. Порядок оформлення звіту

Звіт повинен включати мету заняття, методику розрахунку розмірів ящичного калібру. Необхідно привести послідовність розрахунку розмірів калібру відповідно до індивідуального завдання. За розрахованими розмірами виконати креслення калібру.

3.4. Завдання на самостійну роботу

1. Вивчити співвідношення, за якими розраховують габаритні розміри ящичного калібру для обтискної реверсивної та не реверсивної клітей.
2. Вивчити способи контролю за правильністю конструювання калібрів, та розробки режиму обтиснень
3. Розрахувати розміри та виконати креслення калібру відповідно до одного із варіантів (табл. 7.4).

3.5. Контрольні запитання

1. Визначте сферу використання ящичних калібрів.
2. Які переваги використання ящичних калібрів?
3. Які недоліки використання ящичних калібрів?
4. Як визначити катаючий діаметр валків в ящичному калібрі?
5. Як визначити кут захвату в ящичному калібрі?
6. За якою формулою можна розрахувати розширення при прокатуванні в ящичному калібрі?

Таблиця 7.4. Вихідні дані для розрахунку ящичного калібру блюмінгу, мм

№ вар.	Діаметр валків D_0	Розміри заготовки $H_0 \times B_0$	h_1	h_2	h_3	h_4	h_k	s
1	1300	825×420	745	665	590	520	210	25
2	1300	740×470	645	560	480	400	200	25
3	1300	825×400	725	635	555	480	210	25
4	1300	725×420	635	555	480	410	200	25
5	1300	745×420	635	535	445	360	210	25
6	1300	765×420	655	555	465	375	200	25
7	1300	900×550	795	695	600	520	210	25
8	1300	1000×550	875	755	640	540	200	25
9	1300	1020×550	895	765	645	535	210	25
10	1150	740×370	640	550	465	385	200	20
11	1150	760×360	645	535	435	335	200	20
12	1150	780×330	660	540	430	330	200	20
13	1150	765×320	665	570	475	385	200	20
14	1150	755×340	655	560	470	380	200	20
15	1150	790×320	680	575	475	380	200	20
16	1150	825×410	735	650	565	480	180	20
17	1150	810×405	710	615	520	430	180	20
18	1150	815×380	700	600	505	420	180	20
19	1150	800×390	700	610	515	430	180	20
20	950	790×420	710	630	555	480	180	15
21	950	825×410	725	635	545	460	180	15
22	950	805×380	700	595	495	415	180	15
23	950	745×320	660	580	500	425	180	15
24	950	640×270	550	465	380	300	200	15
25	950	765×370	680	600	420	345	180	15
26	950	770×410	680	595	410	330	180	15
27	950	785×390	695	605	515	430	180	15
28	950	680×300	605	530	455	385	180	15
29	1200	950×650	845	740	640	545	200	20
30	1200	835×450	735	640	550	460	200	20

7.14. Системи витяжних калібрів

Для зменшення перерізу штаби, що прокатується, застосовують витяжні калібри, як правило, простої форми. У залежності від діаметру валків, форми кінцевого перерізу розкату та необхідних коефіцієнтів витяжки застосовують витяжні калібри різної форми у визначеній за досвідом послідовності.

Під **системою витяжних калібрів** розуміють послідовність простих калібрів зі встановленою послідовністю чергування їхньої форми.

Відомі наступні системи витяжних калібрів [4,5,7]: «ящичний прямокутник – ящичний квадрат», «гладка бочка – ящичний квадрат», «овал – квадрат», «ромб – квадрат», «ромб – ромб», «шестикутник – квадрат», «овал – круг», «овал – ребровий овал».

Система «ящичний прямокутник – ящичний квадрат»

Система «ящичний прямокутник – ящичний квадрат» являє собою чергування ящичних прямокутних калібрів і ящичних квадратних калібрів (рис. 7.31). У цих калібрах прокатку ведуть з метою зменшення перерізу розкату з застосуванням кантувань або без кантувань, якщо до складу стану входять вертикальні кліті [5].

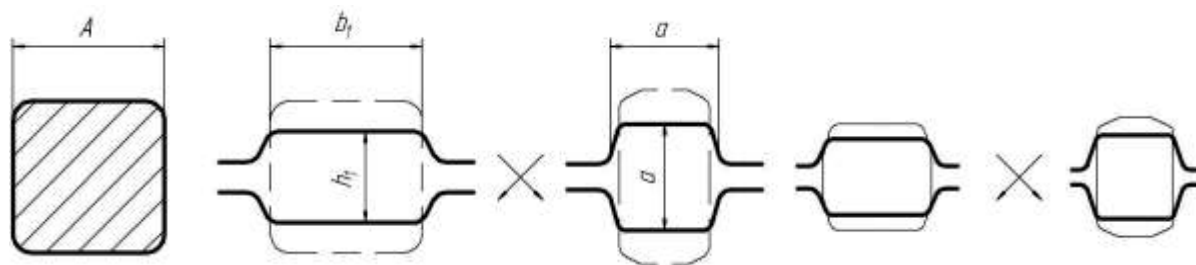


Рис. 7.31. Схема прокатування за системою калібрів «ящичний прямокутник – ящичний квадрат»

Звичайно середній коефіцієнт витяжки для системи ящичних калібрів знаходиться у межах $1,05 \div 1,5$; коефіцієнт

витажки від квадрата до квадрата (сумарний коефіцієнт витажки для пари калібрів складає $1,1 \div 2,2$). Це відповідає кутам захвату при прокатуванні на сталевих валках $24 \div 26^\circ$, а на чавунних – $19 \div 22^\circ$ [4]. Розміри проміжних прямокутників повинні відповідати умові (див. рис. 7.31):

$$b_1 = A + \Delta b_1; \quad (7.72)$$

$$h_1 = a - \Delta b_2. \quad (7.73)$$

Ця система широко застосовується на блюмінгах, неперервних заготовочних станах, в обтискних клітках і чорнових групах сортових станів.

Переваги системи:

1. Відносно мала глибина струмків.
2. Рівномірне обтиснення по всій ширині заготовки.
3. Можливість прокатування розкатів різних розмірів у одному калібрі за рахунок змінення зазору між валками.
4. Легке видалення окалини з бічних поверхонь розкату.
5. Розкат прямокутного поперечного перерізу не вимагає використання складної ввідної арматури.

Недоліки системи:

Неможливість одержання геометрично правильних квадратів через наявність ухилів бічних стінок.

Система «гладка бочка – ящичний квадрат»

Система «гладка бочка – ящичний квадрат» є різновидом (окремим випадком) системи «ящичний прямокутник – ящичний квадрат» (рис. 7.32).

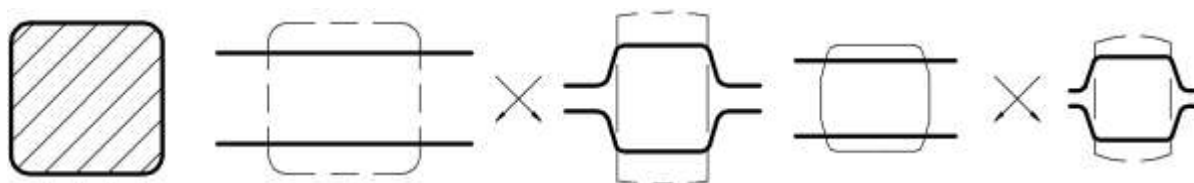


Рис. 7.32. Схема прокатування за системою калібрів «гладка бочка – ящичний квадрат»

Ця система широко використовується на середньосортних станах і сучасних блюмінгах при прокатці зливків у перших проходах, вона характеризується значною універсальністю, оскільки за рахунок зміни зазору між валками можна змінювати обтиснення на гладкій бочці й у ящичному калібрі.

Переваги системи:

1. Значна універсальність.
2. Зменшення кількості перевалок валків і вальцетокарних робіт.

Недоліки системи:

1. Менша витяжна здатність, ніж у системі «ящичний прямокутник - ящичний квадрат».
2. Менша глибина проникнення деформації через відсутність підпору з боку бічних стінок калібру.

Геометрія ящичних калібрів

В залежності від ширини розкату, який задається в ящичний калібр, обирають ширину калібру по дну струмка (рис. 7.33):

$$b_k = k_c \cdot b_0, \quad (7.74)$$

де k_c – коефіцієнт, що обирають в залежності від умов прокатування в калібрі;

b_0 – ширина штаби, що задається в калібр.

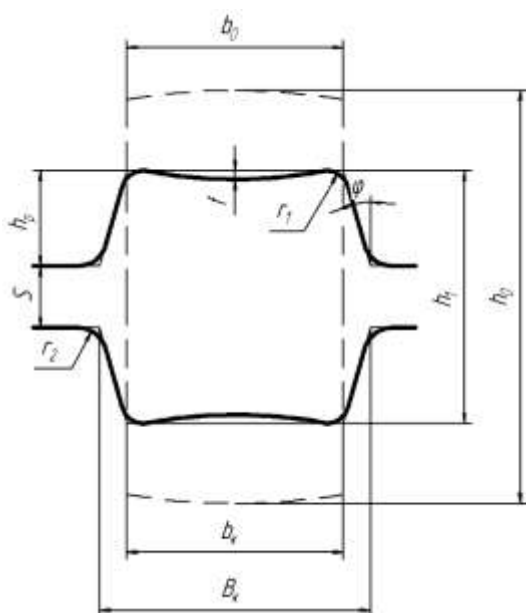


Рис. 7.33. Побудова ящичного калібру

При прокатуванні штаби в калібрі за один прохід (неперервний заготовочний стан, чорнова неперервна група клітей та таке інше) найважливішою умовою є стійкість штаби в калібрі при деформуванні та покращення умов захвату, тому в цьому випадку k_c знаходиться в межах $(0,95 \div 1,00)$. При використанні ящичного калібру для прокатування штаби за декілька проходів або прокатування розкатів різних розмірів найбільш важливою умовою стає правильне заповнення калібру (тобто відсутність переповнення), тому в цьому випадку k_c звичайно знаходиться в межах $(1,00 \div 1,05)$.

При прокатуванні за схемою «калібр – прохід» висота ящичного калібру визначається, виходячи з прийнятого одиничного абсолютного обтиснення:

$$h_1 = h_0 - \Delta h, \quad (7.75)$$

де h_0 – початкова висота штаби, що прокатується;

Δh – абсолютне обтиснення за прохід.

При проектуванні ящичних калібрів для реверсивних станів, які використовують для прокатування штаб різних розмірів (блюмінги, слябінги тощо), їхня висота приймається, виходячи з умов міцності валків. Так, на валках блюмінгу в залежності від номінального діаметру валків розміщують ящичні калібри висотою $160 \div 240$ мм.

Глибина струмка для ящичних калібрів звичайно знаходиться в межах:

$$h_p = (0,2 \div 0,45)h_1.$$

Ширина каркасу калібру біля розділу повинна бути такою, щоби при прокатуванні в ньому штаби не виникало переповнення. Звичайно передбачають, що калібр буде заповнений металом до початку радіусу закруглення біля розділу, тому ширину каркасу біля розділу приймають на $(1 \div 5)$ мм більше кінцевої ширини штаби:

$$B_k = b_1 + (1,0 \div 5) \text{ мм}. \quad (7.76)$$

де b_1 – кінцева ширина штаби, що прогнозується.

Після визначення глибини струменю та ширини каркасу калібру по дну та біля розділу можна розрахувати величину випуску калібру (6.2). На практиці прийнято конструювати ящичні калібри при звичайній глибині струменів з випуском 5-20 % та при невеликій глибині струменів - 25-40 %. Тому можна використовувати й інший алгоритм визначення ширини каркасу калібру біля розділу: спочатку прийняти величину випуску калібру (чим ближче до готового перерізу, тим менший випуск), а потім, виходячи з його значення та попередньо визначеної висоти калібру визначають ширину каркасу калібру біля розділу:

$$B_k = b_k + h_p \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (7.77)$$

де h_p – глибина струмка;

$\operatorname{tg} \varphi$ – випуск калібру в долях одиниці.

При використанні другого способу після визначення ширини калібру біля розділу обов'язково перевіряють виконання умови (7.76), при необхідності виконують корегування.

Радіуси заокруглень приймають конструктивно в залежності від розмірів розкату [4]:

$$r_1 = (0,1 \div 0,2)h_1. \quad (7.78)$$

$$r_2 = (0,8 \div 1,0)r_1. \quad (7.79)$$

В деяких випадках дно ящичного калібру виконують з опуклістю (рис. 7.33). Це сприяє покращенню стійкості розкату на рольгангах, запобігає переповненню при прокатуванні в наступному калібрі після кантування на 90° . Величину опуклості приймають у межах 0,5 ÷ 5,0 мм в залежності від розмірів профілю, що прокатується [4].

Площу поперечного перерізу розкату після прокатування в ящичному калібрі можна приблизно визначити за формулою:

$$F_1 = 0,98 \cdot h_1 \cdot b_1. \quad (7.80)$$

Система «овал - квадрат»

Система «овал - квадрат» (рис. 7.34) дозволяє одержувати великі витяжки (в овальному калібрі до $1,3 \div 2,0$, у квадратному — до 1,6), забезпечує швидке зменшення перерізу розкату, що дозволяє скоротити кількість пропусків. Ця система забезпечує систематичне відновлення кутів розкату, що сприяє рівномірному охолодженню металу по всьому периметру штаби.

Квадратна заготовка в овальному калібрі прокатується плазом. При цьому ребра квадрату обтискаються, а посередині бічних граней формуються опуклості. Після прокатування в овальному калібрі розкат кантується на 90° та прокатується у наступному квадратному калібрі. Таким чином, нові кути квадрату формуються в місцях, що на попередньому квадратному розкаті були серединою бічних граней. Після прокатування в квадратному калібрі виконують кантування штаби на 45° та наступне прокатування виконують у овальному калібрі.

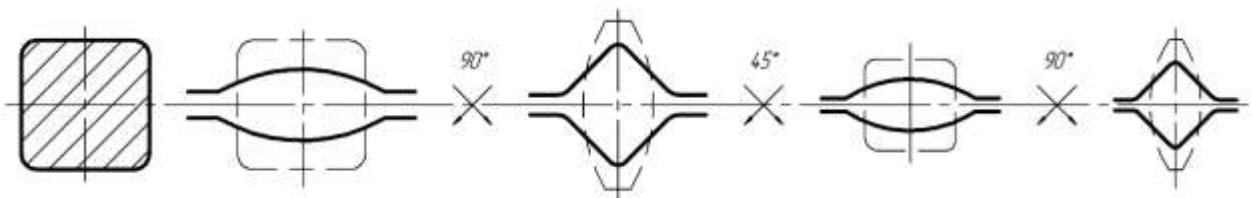
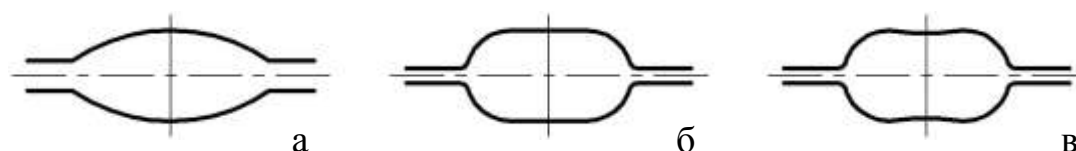


Рис. 7.34. Схема прокатування за системою калібрів «овал - квадрат»

Недоліки системи:

1. Значна нерівномірність деформації по ширині штаби, як в овальному, так і в квадратних калібрах, що приводить до нерівномірного зносу калібрів;
2. Велике розходження в коефіцієнтах витяжок в овальному і квадратному калібрах; унаслідок цього нерівномірний знос по клітях (калібрах);
3. Нестійкість овальної штаби в квадратному калібрі.

На практиці для зменшення нерівномірності розподілу навантажень по клітях та для збільшення коефіцієнту витяжки в квадратному калібрі застосовують плоскі овали та овали з увігнутим обрисом (рис. 7.35).



*а – нормальний (однорадіусний) овал; б – плоский овал;
в – овал з увігнутим дном*

Рис. 7.35. Форма овальних калібрів

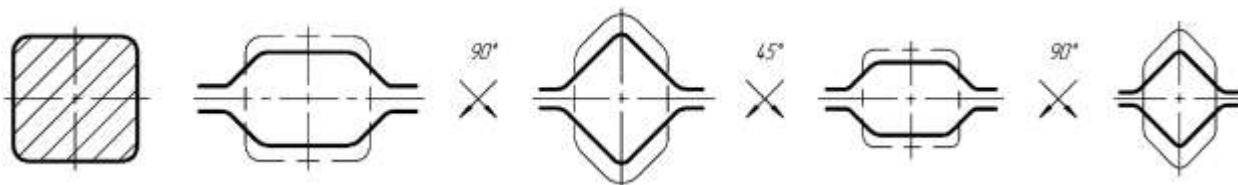
Пласкі овали більш зручні в експлуатації, тому що штабу такої форми легше утримувати в проводках при прокатці в квадратному калібрі.

Овали з увігнутим контуром мають додатковий запас на розширення в наступному квадратному калібрі, що дозволяє збільшувати обтиснення в ньому.

Система «овал - квадрат» широко застосовується на дрібносортних і дротових станах, де вимагаються великі загальні витяжки від заготовки до готового профілю.

Система «шестикутник - квадрат»

Система «шестикутник - квадрат» застосовується за тих самих умов і для досягнення тієї ж мети, що і система «овал - квадрат», тобто для дрібносортних і дротових станів. Шестикутні калібри є різновидом овальних (рис. 7.36).



*Рис. 7.36. Схема прокатування за системою калібрів
«шестикутник - квадрат»*

Переваги системи «шестикутник — квадрат» у порівнянні з системою «овал - квадрат»:

- рівномірність обтиснення по ширині калібру, що збільшує стійкість калібру;
- легше тримати шестикутник у провідках;
- велика витяжна здатність системи;
- спрощується розточування валків та конструкція валкової арматури.

Система «ромб - квадрат»

Система «ромб - квадрат» застосовується в основному на середньосортних, дрібносортних і неперервно-заготовочних станах як витяжна система калібрів, так і для прокатування спеціальних квадратних профілів [4,5]. Основна її перевага полягає в тім, що квадратні профілі мають правильні за конфігурацією перерізи з гострими кутами (рис. 7.37).

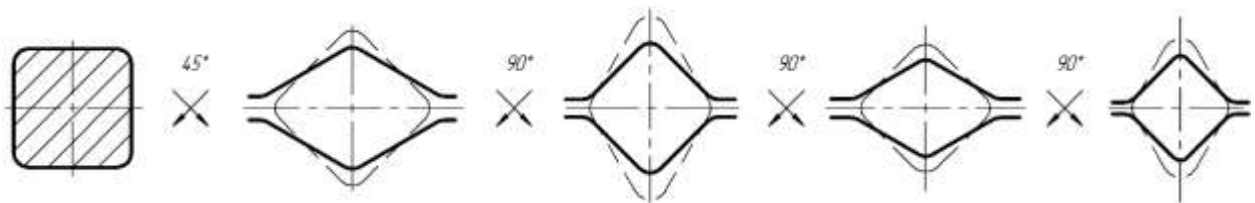


Рис. 7.37. Схеми прокатування за системою калібрів «ромб - квадрат»

Ця система дуже зручна для НЗС, де кожен проміжний квадрат може використовуватися як чистовий.

Переваги системи:

1. Квадратні профілі, що отримують з діагональних квадратів, мають правильну геометричну форму та високу точність розмірів.

2. При необхідності профіль може бути виконаний з гострими кутами.

3. З одного й того ж калібру можна отримати квадратні заготовки декількох розмірів за рахунок зміни зазору між валками.

4. Профіль добре центрується, стійкий в калібрі, що зменшує складність повідкової арматури.

5. Деформація в калібрах близька до рівномірної.

Недоліки системи:

1. Необхідність використання порівняно глибоких струмків калібрів, що обмежує застосування такої системи на крупносортих станах через зменшення міцності валків.

2. В ромбічних калібрах погано видаляється окалина з поверхні штаби. В результаті готова штаба може мати дефекти.

3. Витяжна здатність калібрів порівняно невелика. Звичайно витяжка за прохід $\mu_p \approx \mu_{кв} = 1,2 \div 1,4$.

Система «ромб - ромб»

Відповідно до схеми прокатування, що застосовується в цій системі калібрів, після кожного проходу розкат, що за формою близький до квадрату, кантують на 90° [4,5]. Ця система застосовується у даний час рідко, в основному для прокатування легованих сталей, коли вживають лише незначні витяжки $\mu_{max} = 1,28 \div 1,3$, при цьому кут при вершині профілю складає $\alpha = 95^\circ \div 97^\circ$ (рис. 7.38).

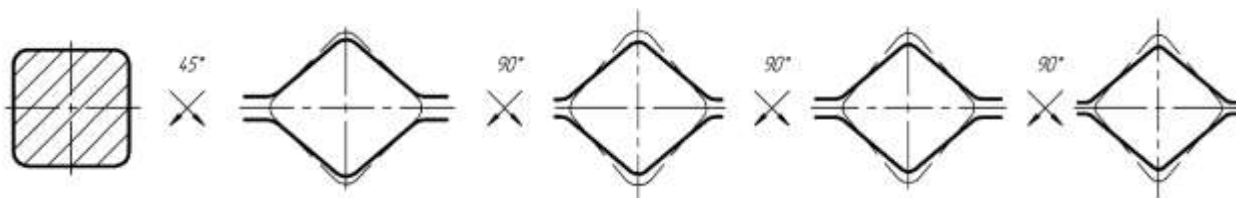


Рис. 7.38. Схема прокатування за системою калібрів «ромб - ромб»

Переваги системи:

1. Можливість отримання квадратної заготовки з будь-якого ромбічного калібру за два проходи з кантуванням між ними на 90° .

2. Стійке положення розкату в калібрі та відсутність проводок у ромбічних калібрах (застосовують тільки лінійки).

Недоліки системи:

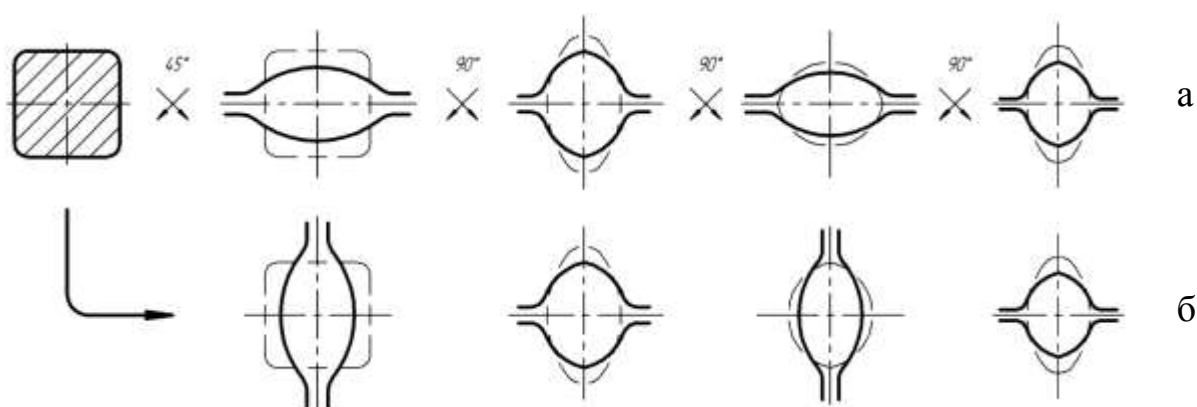
1. Незначні витяжки.

2. Квадратна заготовка, що отримана при прокатуванні в ромбічних калібрах, має помітну восьмигранність, що приводить до складностей при їхньому просуванні у нагрівальних печах.

Система «овал - ребровий овал»

Система витяжних калібрів «овал - ребровий овал» (овал - вертикальний овал, овал - овал) застосовується в основному на неперервних дрібносортних, середньосортних і дровових станах. При використанні цієї системи на штабі практично відсутні гострі ребра, тому розподіл температури по перерізу близький до рівномірного [4,5].

Схеми прокатування з використанням системи «овал - ребровий овал» наведені на рис. 7.39 [4].



а – схема прокатування на стані з горизонтальними клітями;

б – схема прокатування на стані з чергуванням горизонтальних і вертикальних клітей

Рис. 7.39. Схема прокатування за системою калібрів «овал – ребровий овал»

Якщо стан складається тільки з горизонтальних клітей, то після кожного проходу виконують кантування розкату на 90° (рис. 7.39, а). Ребровий овал в звичайному овалі прокатується плазом. Після потрапляння металу до осередку деформації розкат самостійно кантується та займає стійке положення.

Особливо зручно використовувати систему «овал - ребровий овал» на неперервних станах з чергуванням вертикальних і горизонтальних клітей, коли кантування штаби між клітьми не потрібно (рис. 7.39, б). Звичайні овали, як правило, розміщують у вертикальних клітьях, а реброві овали - у горизонтальних клітьях. Проте на деяких підприємствах калібри цієї системи розміщують навпаки: реброві овали у вертикальних клітьях, а звичайні – у горизонтальних, що полегшує умови заходження широкої овальної штаби до калібру «ребровий овал».

Як в системі «овал - квадрат», розподіл витяжок в парі калібрів неоднаковий. У звичайному овальному калібрі максимально можлива одинична витяжка більша, чим при прокатуванні у ребровому овалі. Тому навантаження по проходах розподіляються нерівномірно.

Переваги системи:

1. Відсутність гострих ребер сприяє рівномірному розподілу температури металу по перерізу штаби, що обумовлює однорідність структури та механічних властивостей готової продукції.

2. Використання овальних калібрів дозволяє отримувати профілі декількох розмірів тільки за рахунок регулювання їхньої висоти шляхом зміни зазорів між валками. Це можливо за рахунок неповного заповнення калібрів.

3. Калібри в процесі експлуатації майже не змінюють своєї конфігурації.

4. Самоцентрування ребрового овалу при прокатуванні в звичайному овалі.

5. Використання системи забезпечує найбільш плавний перехід однієї форми в іншу, дозволяє здійснити прокатку сталі зі зниженими пластичними властивостями

Недоліки системи:

1. Невелика витяжна здатність системи у порівнянні з іншими системами.
2. Низька стійкість штаби овального поперечного перерізу при прокатуванні у ребровому овалі.
3. Нерівномірний розподіл навантажень між парами клітей (навіть при умові рівності витяжок навантаження при прокатуванні в овальних калібрах більш значні, ніж при прокатуванні в ребрових овалах).

Систем «овал - круг»

Систем «овал - круг» (рис. 7.40) застосовується на сучасних дротових станах, а також при прокатуванні металу зі зниженими пластичними властивостями [5].

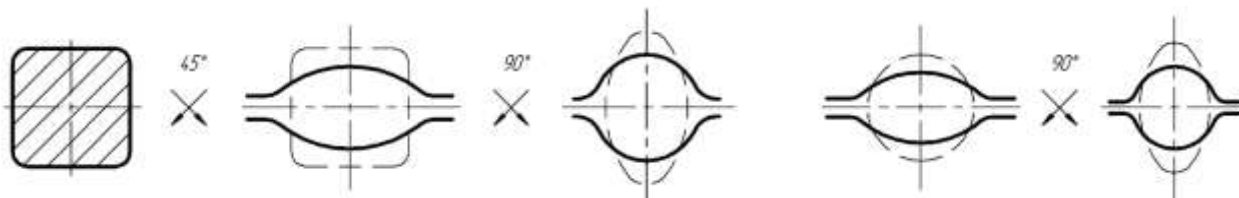


Рис. 7.40. Схема прокатування за системою калібрів «овал – круг»

Переваги системи:

1. Форма калібрів забезпечує порівняно плавний перехід одного профілю в іншій.
2. Відсутність гострих кутів забезпечує рівномірне охолодження штаби.
3. Можливість використання проміжних круглих калібрів у якості чистових.

Недоліки системи:

1. Низькі коефіцієнти витяжки.
2. Менша стійкість овалів у круглому калібрі в порівнянні з калібром «ребровий овал».

Універсальна витяжна система

Універсальна витяжна система (рис. 7.41) зазвичай містить у собі калібри наступної форми: діагональний квадрат, гладка бочка, ребровий ящичний, звичайний овал, круг. Така калібровка одержала поширення при прокатці круглих профілів з якісних сталей на середньосортних і крупносортних станах [5].

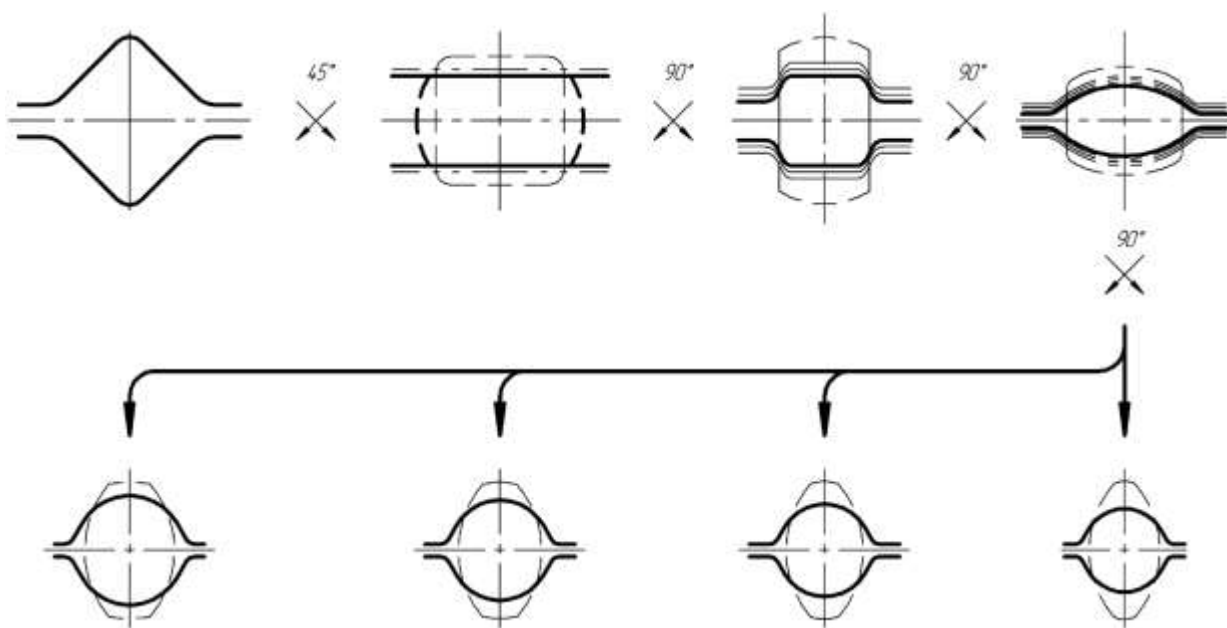


Рис. 7.41. Схема прокатування за універсальною витяжною системою калібрів

Переваги системи:

1. Регулюванням зазору між валками можна в тих самих калібрах (гладка бочка, ребровий ящичний, звичайний овал) одержувати різні розміри розкатів.

2. У калібрах створюється вільне розширення, у результаті чого виключається можливість одержання задирок.

3. Окалина добре видаляється з бічних поверхонь завдяки великим зазорам у калібрах (гладка бочка, ребровий ящичний).

4. Забезпечується якісна поверхня, тому що розкат має опуклі грані.

5. Спрощується монтаж калібрів на валках і значно скорочується парк валків.

6. Скорочуються простої стану для перевалок валків, що має значення при прокатці профілів невеликими партіями.

Треба, однак, відзначити, що на дрібносортних станах, коли ведуть прокатку профілю одного розміру великими партіями, переваги універсальної калібровки не проявляються, тому що перевалку доводиться робити не через зміну готового профілю, а для заміни зношених валків.

7.15. Швидкісний режим неперервних станів

Розрахунок калібровки швидкісного режиму прокатки для неперервних станів заснований на рівності секундних об'ємів металу, які проходять крізь кожну кліть. Відхилення від цього правила веде до утворення петлі між клітьями або до виникнення натягіння металу, який прокатується. Умову неперервної прокатки можна записати у виді рівняння:

$$F_1 \cdot v_{п1} = F_2 \cdot v_{п2} = F_3 \cdot v_{п3} = \dots = F_n \cdot v_{пn} = \text{const}, \quad (7.81)$$

де $F_1, F_2, F_3, \dots, F_n$ – площа поперечного перерізу штаби, що проходить через відповідний калібр;

$v_{п1}, v_{п2}, v_{п3}, \dots, v_{пn}$ – швидкість розкату на виході з валків для відповідного калібру.

Якщо виразити швидкість виходу розкату через частоту обертання валків в кожній кліті, одержимо:

$$\begin{aligned} F_1 \frac{\pi D_{к1} n_1}{60} (1 + S_1) &= F_2 \frac{\pi D_{к2} n_2}{60} (1 + S_2) = \\ &= F_3 \frac{\pi D_{к3} n_3}{60} (1 + S_3) = \dots = F_n \frac{\pi D_{кn} n_n}{60} (1 + S_n) = \text{const}, \end{aligned} \quad (7.82)$$

де $D_{к1}, D_{к2}, \dots, D_{кn}$ – середні катаючі діаметри валків для кожного калібру;

n_1, n_2, \dots, n_n – частота обертання валків для кожної кліті;

S_1, S_2, \dots, S_n - величина випередження для кожного калібру.

Скоротивши частини рівності на величину $\frac{\pi}{60}$, отримаємо:

$$F_1 D_{k_1} n_1 (1 + S_1) = F_2 D_{k_2} n_2 (1 + S_2) = \dots = F_n D_{k_n} n_n (1 + S_n) = \text{const} \quad (7.83)$$

У загальному виді можна записати:

$$F_1 D_{k_1} n_i (1 + S_i) = \text{const} = K \quad (7.84)$$

Це рівняння виражає умову неперервності прокатки.

*Значення K по клітях прийнято називати **константою неперервного стану** або **константою прокатки**.*

Розрахунки та практика показують, що величини випереджень по клітях приблизно однакові, ця умова виконується для кожного типу стану. Тоді, приймаючи $S_1 = S_2 = S_3 = S_n$ та скоротивши рівні величини, з рівняння (7.83) отримаємо:

$$F_1 D_{k_1} n_1 = F_2 D_{k_2} n_2 = \dots = F_n D_{k_n} n_n = \text{const},$$

чи в загальному виді:

$$F_1 D_{k_1} n_i = \text{const} = K. \quad (7.85)$$

У зв'язку з відхиленнями від нормативних умов технології на практиці дуже складно витримувати умови прокатування без натягіння або підпору. В умовах НЗС і чорнових груп сортових станів, коли перерізи розкатів великі, петлеутворення небажано, тому що вигини петлі розхитують валкову арматуру та в остаточному підсумку можуть привести до загальмування або розриву розкату. Щоб уникнути цього, при прокатці на НЗС і чорнових групах сортових станів прокатку ведуть з невеликим натягінням.

При прокатці дрібного сорту та катанки, а також фасонних профілів, натягіння дуже небажано через перекручування профілю унаслідок утягування. Тому на станах установлюють спеціальні петльові столи та прокатку прагнуть вести без натягіння з невеликою петлею.

Для процесу неперервного прокатування листових профілів в зв'язку з тим, що розширення практично відсутнє тобто

$$b_1 = b_2 = \dots = b_n = \text{const}$$

константа неперервного стану буде становити:

$$h_1 D_{k_1} n_1 = h_2 D_{k_2} n_2 = \dots = h_n D_{k_n} n_n = \text{const} = K.$$

7.16. Схема розрахунку калібровки

Під схемою розрахунку калібровки розуміють порядок визначення послідовного ряду калібрів для прокатки заданого профілю.

В даний час розрахунки ведуть за двома схемами: за ходом прокатки (від заготовки до кінцевого профілю) і проти ходу прокатки (від кінцевого профілю до заготовки).

Для найпростіших профілів (квадрат, круг, штаба й інші) розрахунок можна вести по ходу прокатки та проти ходу прокатки. Однак фланцеві і складні фасонні профілі (двотаврова балка, рейка, кутові профілі, швелери та так далі) розраховують тільки проти ходу прокатки.

При розрахунку проти ходу прокатки можливо більш правильно розподілити обтиснення по проходах, виходячи з обмежуючих факторів і більш точно визначити необхідні розміри заготовок.

У цілому на практиці велике поширення одержали методи розрахунку калібровок проти ходу прокатки.

7.17. Загальна схема калібровки

При розрахунках калібровок нових профілів необхідно прагнути до максимально можливого використання вже наявних калібрів для прокатки інших профілів.

Загальна схема калібровки - перелік калібрів для прокатки заданого сортаменту профілів, розташованих у визначеній послідовності на кресленні.

Чим менше калібрів у загальній схемі, тим вище ступінь універсальності схеми:

$$Y_{\text{сх}} = \frac{m}{C}; \quad (7.83)$$

де m – кількість профілів, що складають повний сортамент стану,

C – кількість калібрів у загальній схемі калібровки.

Універсальні калібри – калібри, що використовуються при прокатці декількох профілів.

Однак для фланцевих профілів часто приходится використовувати власні калібри від першої до останньої кліти.

Для кожного профілю на стані повинна бути своя оптимальна заготовка, на якій досягаються кращі техніко-економічні показники. Звичайно ж передбачають для всього сортаменту лише обмежену кількість вихідних заготовок (2-5) і ведуть усі розрахунки, враховуючи цю умову. Тому чорнові групи калібрів звичайно більш універсальні, бо прокатують декілька заготовок.

7.18. Вибір матеріалу валків

На прокатних станах різного типу можуть бути використані робочі валки з наступних матеріалів: сталеві ковани, сталеві литі, чавунні, а також складені (комбіновані чи бандажовані).

Чавунні валки мають зносостійкість у 2-4 рази вище, ніж сталеві, а їх вартість у 3 рази менше. Крім того, унаслідок зменшення коефіцієнту тертя, знижується питома витрата енергії на прокатку.

Основний недолік чавунних валків – це їх низькі міцність і в'язкість, що не дозволяє при великому відношенні довжини бочки до діаметру валків застосовувати їх в умовах великих тисків, які виникають на блюмінгах, слябінгах, товстолистових, заготовочних станах і в обтискних клітях сортових станів.

Іноді причиною недоцільності застосування чавунних валків буває недостатня спроможність захвату, викликана низьким коефіцієнтом тертя.

В умовах максимальних навантажень варто застосовувати сталеві ковани валки, при декілька менших навантаженнях - сталеві литі.

Чавунні валки поділяються на:

— м'які чавунні валки - відливаються в глиняні форми, твердість по Шору 30-45 Sh;

— тверді чавунні валки - відливаються в металеві форми, тому поверхня їх виходить з вибіленим (загартованим) шаром - твердість по Шору 55-70 Sh.

Товщина вибіленого шару звичайно складає 15-40 мм і визначає термін служби валка, тобто припустиму кількість переточувань. Однак велика товщина вибіленого шару знижує міцність валка на вигин.

З метою збільшення терміну служби, в останні роки почали широко застосовувати леговані чавунні валки. У якості легуючих домішок використовують хром, нікель, молібден, магній і інші хімічні елементи. Останнім часом почали застосовувати відливання каліброваних валків. Термін служби таких валків значно більший.

Сталеві ковани валки декілька міцніше литих сталевих валків, однак литі валки в 1,5-2 рази дешевше. Для виготовлення сталевих валків використовуються низьколеговані сталі (леговані Cr, Ni, Mo, Mn) зі змістом вуглецю від 0,5 до 1,2 %.

Для збільшення стійкості сталевих валків застосовується поверхневе загартування валків і наплавлення твердим

порошковим дротом. Мета наплавлення полягає у відновленні розмірів калібру та підвищенні його зносостійкості в кілька разів.

Останнім часом широко застосовують складені (бандажовані) валки. Вісь такого валка виконана зі сталі, а бандаж – зазвичай з чавуну або високолегованого сплаву. Стійкість комбінованих валків у кілька разів вище, ніж сталевих. Недоліки - складність у зборці, можливість ковзання бандажу вздовж осі валка, помітно вища вартість.

Практичне заняття № 4. Розрахунок енергосилових параметрів процесу прокатки в калібрах

Мета заняття: вивчити особливості розрахунку енергосилових параметрів процесу прокатки в калібрах на основі одного з методів умовного перетворення поперечного перерізу штаби (калібру) складної форми у штабу прямокутної форми (калібр – гладка бочка).

Задача заняття: виконати розрахунок енергосилових параметрів процесу прокатки розкату з ромбічним перерізом в квадратному калібрі.

4.1. Загальні відомості

При розрахунках енергосилових параметрів процесу прокатки в калібрах найбільші труднощі викликає урахування нерівномірності деформацій по ширині калібру з визначенням параметрів форми осередку деформації. При інженерних розрахунках найчастіше використовують два способи умовного перетворення перерізу розкату (калібру), складної форми у прямокутник:

- 1) метод приведеної штаби;
- 2) метод відповідної штаби.

Метод приведеної штаби полягає у перетворенні пласкої фігури складної форми у прямокутник, що має рівновеликі з вихідним перерізом площу та ширину.

Метод відповідної штаби полягає у заміні поперечного перерізу розкату прямокутником рівновеликим за площею вихідній фігурі та таким самим співвідношенням висоти до ширини.

Для розрахунку середнього абсолютного обтиснення в умовах нерівномірної деформації по ширині найчастіше використовують метод приведеної штаби (Врацького), який має наступний алгоритм:

1. Знаходять приведену висоту штаби після прокатування в калібрі:

$$h_{\text{сер}1} = \frac{F_1}{b_1},$$

де F_1 — площа профілю, що виходить з калібру;

b_1 — ширина профілю після прокатування.

Аналогічно визначають приведену висоту штаби, що задається в калібр:

$$H_{\text{сер}0} = \frac{F_0}{B_0},$$

де F_0 — площа штаби, що задається в калібр;

B_0 — ширина штаби, що задається в калібр.

Після цього визначають величину середнього обтиснення:

$$\Delta h_{\text{сер}} = H_{\text{сер}0} - h_{\text{сер}1}.$$

2. Розрахунок силових параметрів процесу прокатки в калібрі рекомендовано проводити за методикою О.І. Целікова [9] з використанням методу приведенної штаби.

Середня висота осередку деформації:

$$h_{\text{ср}} = \frac{H_{\text{сер}0} + h_{\text{сер}1}}{2},$$

Катаючий радіус валків:

$$R_k = 0,5 \cdot (D_n - h_{\text{сер}1}),$$

де D_n — номінальний діаметр валків.

Довжина дуги захвату:

$$\ell_d = \sqrt{R_k \cdot \Delta h_{\text{сер}}},$$

де R_k — катаючий радіус валків, мм.

Параметр форми осередку деформації:

$$m = \frac{\ell_d}{h_{\text{ср}}},$$

Контактна площа в осередку деформації:

$$F_k = \ell_d \cdot b_{\text{ср}};$$

де b_{cp} – середня ширина штаби в осередку деформації, мм.

$$b_{cp} = \frac{B_0 + b_1}{2},$$

де B_0 – ширина штаби до прокатки, мм;

b_1 – ширина штаби після прокатки, мм.

Коефіцієнт напруженого стану:

$$n_{\sigma} = 0,75 \cdot \left(m + \frac{0,5}{m} \right),$$

3. Середня швидкість деформації в чистовій кліті:

$$U_{cp} = \frac{\Delta h_{cep}}{h_{cep1}} \cdot \frac{1,03 \cdot v_{\epsilon}}{\ell_d},$$

де v_{ϵ} – швидкість валків кліті, м/с.

Ступінь деформації:

$$\epsilon = \frac{\Delta h_{cep}}{h_{cep1}}.$$

У випадку, коли температура металу не відома її слід розрахувати. Загальна зміна температури металу при прокатуванні [9]:

$$\Delta t = \Delta t_{\text{вип}} - \Delta t_{\delta},$$

де $\Delta t_{\text{вип}}$ – зміна температури металу за рахунок випромінювання;

Δt_{δ} – зміна температури металу за рахунок деформації.

На основі використання метода О.І. Целікова зміна температури розкату за рахунок випромінювання:

$$\Delta t_{\text{вип}} = t_0 - \frac{1000}{\sqrt[3]{\frac{0,0255 P \tau}{\omega} + \left(\frac{1273}{t_0 + \Delta t_{\delta} + 273} \right)^3}},$$

де t_0 – температура розкату перед входом до калібру, °С;

P – периметр поперечного перерізу розкату після проходу, мм;

ω – площа поперечного перерізу розкату після проходу, мм²;

τ – час охолодження розкату при переміщенні від калібру до наступного калібру, с;

Δt_{∂} – підвищення температури розкату в калібрі, °С.

Величина Δt_{∂} визначається по формулі:

$$\Delta t_{\partial} = 0,183 \cdot \sigma_s \cdot \ln \lambda,$$

де σ_s – напруження опору металу пластичній деформації, МПа;

λ – коефіцієнт подовження.

Зміна температури металу за час переміщення заготовки від нагрівальної печі до першої кліті стану можна розрахувати за тими ж формулами, але при умові, що температура до прокатки t_0 дорівнює температурі нагріву заготовки t_3 , а температурний розігрів за рахунок деформації $\Delta t_{\partial} = 0$. При цьому τ – час переміщення заготовки від печі до першої кліті, а P і ω – відповідно периметр і площа поперечного перерізу вихідної заготовки.

Тоді температура металу в проході дорівнює:

$$t = t_0 - \Delta t_{\text{ем}} + \Delta t_{\partial}.$$

4. Границя текучості за методикою Андріюка [9]:

$$\sigma_m = 0,9 \cdot a_1 \cdot \sigma_0 U_{\text{сер}}^{a_2} \cdot (10 \cdot \varepsilon)^{a_3} \cdot \left(\frac{t}{1000} \right)^{a_4},$$

де σ_0 – базова границя текучості, МПа;

a_1, a_2, a_3, a_4 – табличні коефіцієнти, які залежать від марки сталі;

$U_{\text{сер}}$ – середня швидкість деформації, 1/с;

ε – відносне обтиснення в долях одиниці;

t – температура металу штаби, °С.

Значення термомеханічних коефіцієнтів та базових границь текучості для різних марок сталей наведена в таблиці 7.5.

Таблиця 7.5. Значення термомеханічних коефіцієнтів та базових границь текучості для різних марок сталей

Марка сталі	a_1	σ_0	a_2	a_3	a_4
Зкп	0,885	77,9	0,135	0,164	-2,8
Зсп	0,96	90,7	0,124	0,167	-2,54
5сп	0,917	89,5	0,144	0,208	-3,35
15Г	0,842	103	0,126	0,188	-2,74
23ГА2	0,962	88,2	0,123	0,229	-3,23
35ГС	0,975	89,6	0,136	0,187	-2,79
А35Г2	0,94	83,5	0,151	0,122	-3,66
30ХГСА	0,966	92,4	0,134	0,25	-3,34
15ХСНД	0,88	93,2	0,122	0,226	-2,9
20ХГ2Д	1,011	95,8	0,125	0,213	-3,65
30ГСНА	1,041	97,6	0,116	0,14	-3,42
15ГНТА	0,932	108	0,108	0,257	-3,25
45	1	87,4	0,143	0,173	-3,05
40Х	0,979	87,5	0,13	0,17	-3,62
40ХН	0,935	88,5	0,134	0,234	-3,47
40ХГНМ	0,87	103	0,173	0,144	-2,64
38ХМОА	1,016	100	0,114	0,273	-3,72
40ХНМА	0,966	92,7	0,125	0,175	-3,4
ТВМ	1,05	81,1	0,085	0,253	-3,02
65Г	1,007	72,7	0,166	0,222	-3,02
У7А	0,948	78,7	0,159	0,197	-2,87
У10А	0,995	80,5	0,163	0,194	-3,57
У12А	1,057	70	0,173	0,18	-3,26
60С2	0,921	105	0,153	0,197	-3,46
60С2ХА	0,946	101	0,139	0,115	-3,84
33А	0,945	48,1	0,198	0,074	-3,85
ШХ15	1,01	79,6	0,137	0,22	-4,07
12Х2НЧА	0,966	104	0,1	0,226	-3,2
18Х2НЧВА	0,971	107	0,117	0,165	-2,73

продовження таблиці 7.5

Марка сталі	a_1	σ_0	a_2	a_3	a_4
ЭП182	0,927	156	0,12	0,108	-4,63
В2Ф	0,95	124	0,135	0,119	-3,69
ЭП257	0,947	149	0,127	0,103	-3,99
30Х5МВНФСА	0,836	186	0,124	0,15	4,61
ЭИ962	0,949	161	0,101	0,169	-3,7
3Х2В8Ф	0,895	162	0,113	0,113	-3,54
Р18	0,78	237	0,136	0,1	-3,01
1Х13	0,95	145	0,102	0,21	-3,5
2Х13	0,9	136	0,132	0,21	-3,26
Х12М	0,861	212	0,127	0,067	-3,12
ВНС14	0,9	137	0,124	0,208	-4,88
Х17Н2	0,866	126	0,13	0,063	-4,72
ЭП56	1,023	148	0,106	0,139	-3,95
ВНС16	0,921	146	0,107	0,15	-4,93
ЭИ636	0,934	56,5	0,172	0,067	-3,64
ЭИ439	1,028	58,5	0,124	0,052	-3,7
ЭИ811	0,9	150	0,077	0,067	-3,23
ЭИ302	0,804	198	0,104	0,07	-3
Х18Н10Т	0,825	222	0,112	0,088	-4,35
ЭИ654	0,93	190	0,155	0,064	-4,48
ЭИ432	0,85	217	0,122	0,46	-3,75
ЭИ440	0,926	218	0,072	0,173	-2,31
ЭИ319	0,888	192	0,093	0,127	-3,18
000Х21Н16АГ8	0,887	211	0,103	0,128	-3,27
Х23Н18	0,848	211	0,093	0,105	-3,18
000Х21НМНВ	0,883	239	0,096	0,151	-3,21
ЭИ723	0,975	138	0,108	0,107	-3,94
ЭИ711	1,015	149	0,099	0,142	-3,12
СП33	0,965	120	0,114	0,2	-2,95
ЭИ702	0,918	224	0,166	0,134	-5,38
ЭИ493	0,918	248	0,109	0,089	-3,46
ЭИ437В	0,886	289	0,158	0,037	-4,32
ЭИ602	0,899	386	0,116	0,153	-3,22
ЭИ617	0,753	390	0,106	0,118	-3,87
ЭП487	0,838	491	0,132	0,06	-5,47
ЭП109	0,515	769	0,124	0,055	-6,32
ЭП220	0,694	676	0,083	0,026	-8,06

Середній тиск:

$$p_{cp} = 1,15 \cdot n_{\sigma} \cdot \sigma_m$$

Сила прокатки:

$$P = p_{cp} \cdot F_k,$$

Коефіцієнт плеча рівнодіючої:

$$\psi = 0,498 - 0,0283 \cdot m;$$

Момент прокатування:

$$M_{np} = 2 \cdot P \cdot \psi \cdot \ell_d$$

Момент тертя:

$$M_m = P \cdot d_{uu} \cdot f'_{uu},$$

де d_{uu} – діаметр шийки валка, мм.

f'_{uu} – коефіцієнт тертя в опорах валка.

Момент холостого ходу можна визначити за формулою:

$$M_{x.x} = 0,05 \cdot M_n,$$

де M_n – номінальний момент двигуна.

Момент, що виникає на валу двигуна під час прокатки:

$$M_{\partial s} = \frac{M_{np} + M_m}{\eta' \cdot \eta'' \cdot \eta''' \cdot i} + M_{x.x},$$

де η' – к. к. д. шестеренної кліті;

η'' – к. к. д. редуктора;

η''' – к. к. д. шпинделів та муфт;

i – передатне відношення головної лінії кліті.

Потужність двигуна складе:

$$N_{\partial s} = M_{\partial s} \frac{n_{\partial s} \cdot \pi}{30}.$$

5. Якщо відомі характеристики основного двигуна кліті, то отримані результати порівнюють з припустимими значеннями.

$$N_{\text{дв}} \leq [N], \quad M_{\text{дв}} \leq [M_n].$$

За умовами експлуатації припустимі короточасні перевантаження потужності двигуна у 2,5 рази. Але роботу прокатного стану не можна вважати короточасною, при розрахунках калібрування такі випадки не припустимі.

4.2. Приклад розрахунку енергосилових параметрів процесу прокатки в калібрах

Вихідні дані:

площа поперечного перерізу заготовки: $F_0 = 672 \text{ мм}^2$;

ширина заготовки (з урахуванням кантівок): $B_0 = 29 \text{ мм}$;

площа поперечного перерізу калібру: $F_1 = 625 \text{ мм}^2$;

ширина калібру: $b_1 = 35,4 \text{ мм}$;

початковий діаметр валків: $D_0 = 380 \text{ мм}$;

діаметр шийки валка: $d_{\text{ш}} = 200 \text{ мм}$;

лінійна швидкість валків: $v_B = 8 \text{ м/с}$;

номінальний момент на валу двигуна: $M_n = 150 \text{ кН}$;

к. к. д. шестеренної кліті: $\eta' = 0,95$;

к. к. д. редуктора: $\eta'' = 0,98$;

к. к. д. шпинделів та муфт: $\eta''' = 0,99$;

передатне відношення головної лінії кліті: $i = 0,75$;

температура металу: $t = 980^\circ\text{C}$;

матеріал, що прокатується – сталь 5сп;

потужність двигуна $[N_{\text{дв}}] = 1300 \text{ кВт}$.

Приведена висота штаби після та перед прокаткою в калібрі:

$$h_{\text{сер1}} = \frac{625}{35,4} = 17,7 \text{ мм.}$$

$$H_{\text{сер0}} = \frac{672}{29} = 23,2 \text{ мм.}$$

Тоді величину середнього обтиснення:

$$\Delta h_{\text{сер}} = 23,2 - 17,7 = 5,5 \text{ мм.}$$

Середня висота штаби:

$$h_{cp} = \frac{23,2 + 17,7}{2} = 20,45 \text{ мм.}$$

Катаючий діаметр валків:

$$D_{\kappa} = D_0 - h_{cep1},$$

$$D_{\kappa} = 380 - 17,7 = 362,3 \text{ мм.}$$

Довжина дуги захвату:

$$\ell_{d_{16}} = \sqrt{\frac{362,3}{2} \cdot 5,5} = 31,5 \text{ мм.}$$

Параметр форми:

$$m = \frac{31,5}{20,45} = 1,54.$$

Середня ширина штаби

$$b_{cp} = \frac{35,4 + 29}{2} = 32,2 \text{ мм.}$$

Контактна площа в осередку деформації:

$$F_{\kappa_{16}} = 31,5 \cdot 32,2 = 1014,3 \text{ мм}^2.$$

Коефіцієнт напруженого стану:

$$n_{\sigma} = 0,75 \cdot \left(1,54 + \frac{0,5}{1,54} \right) = 1,4.$$

Середня швидкість прокатки:

$$U_{cp} = \frac{5,5}{23,2} \cdot \frac{1,03 \cdot 8}{0,0315} = 62 \text{ с}^{-1}.$$

Ступінь деформації:

$$\varepsilon = \frac{5,5}{23,2} = 0,24.$$

Границя текучості для сталі 5сп при температурі 980 °С

$$\sigma_m = 0,9 \cdot 0,917 \cdot 89,58 \cdot 62^{0,144} \cdot (10 \cdot 0,24)^{0,108} \cdot \left(\frac{980}{1000} \right)^{-3,35} = 157,5 \text{ МПа.}$$

Середній тиск:

$$p_{cp} = 1,15 \cdot 1,4 \cdot 157,5 = 253,6 \text{ МПа.}$$

Сила прокатки:

$$P = 253,6 \cdot 1014,3 = 257226,1 \text{ Н.}$$

Після переводу отримаємо $P = 257,2 \text{ кН.}$

Коефіцієнт плеча рівнодіючої:

$$\psi = 0,498 - 0,0283 \cdot 1,54 = 0,454.$$

Момент прокатки:

$$M_{np} = 2 \cdot 257,2 \cdot 0,454 \cdot 0,0315 = 7,36 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

Момент тертя:

$$M_m = 253,6 \cdot 0,2 \cdot 0,004 = 0,2 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

Момент холостого ходу:

$$M_{x.x.} = 0,05 \cdot 150 = 7,5 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

Момент двигуна:

$$M_{\partial\partial} = \frac{7,36 + 0,2}{0,95 \cdot 0,98 \cdot 0,99 \cdot 0,75} + 7,5 = 18,4 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

Частота обертання валу двигуна:

$$n_{\partial\partial} = \frac{60 \cdot v_6}{\pi \cdot D_{\kappa}} \cdot i$$

$$n_{\partial\partial} = \frac{60 \cdot 8}{\pi \cdot 0,3623} \cdot 0,75 = 316,3 \text{ об/хв}.$$

Потужність двигуна складе:

$$N_{\partial\partial} = 18,4 \cdot \frac{316,3 \cdot \pi}{30} = 609,5 \text{ кВт}.$$

На стані встановлений двигун $[N_{\partial\partial}] = 1300 \text{ кВт}$. Маємо $N_{\partial\partial} / [N_{\partial\partial}] < 1$, двигун буде працювати без перевантаження.

4.3. Порядок оформлення завдання

Звіт повинен мати мету та задачі заняття, умови індивідуального завдання, методику та результати розрахунку енергосилових параметрів процесу прокатки в калібрах.

4.4. Завдання на самостійну роботу

1. Вивчити метод розрахунку енергосилових параметрів процесу прокатки в калібрах.

2. Виконати аналіз способів умовного перетворення штаби (калібру) складної форми у штабу прямокутної форми.

3. Розрахувати силу, момент та потужність прокатки ромбу в квадратному калібрі для одного з варіантів (табл. 7.6). Данні, яких не вистачає, взяти з прикладу розрахунку.

4.5. Контрольні запитання

1. Від яких технологічних параметрів залежить величина опору деформації?

2. Що таке середній тиск металу на валки?

3. В чому полягає метод приведеної штаби?
4. В чому полягає метод відповідної штаби?
5. Напишіть формули для сили P , моменту $M_{пр}$, потужності $N_{дв}$?

Таблиця 7.6. Вихідні дані для розрахунку енергосилових параметрів процесу прокатки ромбічного розкату в квадратному калібрі

№	$F_0, \text{мм}^2$	$B_0, \text{мм}$	$F_1, \text{мм}^2$	$b_1, \text{мм}$	$D_0, \text{мм}$	$d_{ш}, \text{мм}$	$v_B, \text{м/с}$	$M_{ш}, \text{кН}\cdot\text{м}$	i	$t, \text{°C}$	Марка сталі	$[N_{дв}]$
1	690	31	552	33,2	380	200	10	100	0,8	910	15Г	1000
2	790	34	632	35,6	390	200	11	150	1,1	920	23ГА2	1200
3	890	36	712	37,7	450	225	12	200	0,95	950	3кп	1300
4	990	38	792	39,8	420	210	13	200	0,9	930	5сп	1000
5	490	28	412	28,7	320	160	10	150	0,75	940	35ГС	1100
6	550	30	480	31	330	160	11	150	0,8	970	3кп	1300
7	620	31	526	32,4	350	180	8	200	0,85	960	40Х	1100
8	695	31	556	33,3	330	160	9	150	0,83	990	45	1200
9	750	34	630	35,5	380	190	10	200	0,72	980	15ХСНД	1000
10	850	36	680	36,9	370	200	11	100	0,8	910	3сп	1000
11	950	38	760	39	430	225	12	150	1,1	920	P18	1200
12	450	26	360	26,8	380	200	13	200	0,95	950	ШХ15	1300
13	590	30	472	30,7	270	150	14	200	0,9	930	У10А	1000
14	630	31	504	31,7	330	160	15	150	0,75	940	65Г	1100
15	645	31	516	32,1	370	180	10	150	0,8	970	35ГС	1300
16	730	33	584	34,2	360	180	8	200	0,85	960	3кп	1100
17	830	34	664	36,4	410	200	7	150	0,83	990	40Х	1200
18	930	36	744	38,6	445	225	9	200	0,72	980	45	1000
19	500	27	400	28,3	270	150	10	100	0,8	910	15ХСНД	1000
20	560	28	448	29,9	430	225	11	150	1,1	920	ШХ15	1200
21	640	31	512	32	370	200	12	200	0,95	950	У10А	1300
22	670	31	536	32,7	380	200	13	200	0,9	930	15Г	1000
23	740	33	592	34,5	410	200	14	150	0,75	940	23ГА2	1100
24	840	35	672	36,7	450	225	15	150	0,8	970	3кп	1300
25	940	36	752	38,8	380	200	10	200	0,85	960	5сп	1100
26	440	25	352	26,5	250	125	9	150	0,83	990	35ГС	1200
27	570	29	456	30,2	335	150	8	200	0,72	980	3кп	1000
28	670	31	536	32,7	340	160	9	100	0,8	910	40Х	1000
29	695	31	556	33,3	345	180	10	150	1,1	920	35ГС	1200
30	770	34	616	35,1	360	180	11	200	0,95	950	3кп	1300

8. Вальцетокарне виробництво

Розрахунок калібровки профілю закінчується кресленням калібрів по проходах, кресленням калібровки прокатних валків (монтажних креслень валків), кресленням шаблонів, що необхідні для виготовлення та контролю використання калібрів.

Креслення шаблонів на калібри і монтажні схеми валків передаються у вальцетокарну майстерню.

Сучасна вальцетокарна майстерня представляє самостійну ділянку, де виконується весь комплекс робіт, зв'язаних з розточенням, ремонтом, наплавленням, термообробкою й утилізацією прокатних валків, а також роликів правильних машин.

Відповідно до цього, до складу майстерні входять наступні підрозділи: шаблонове, ковальське, різальне, верстатна ділянка, відділення наплавлення та загартування і склад валків.

На деяких заводах окремі вальцетокарні верстати або невеликі майстерні розміщують поруч зі станами так, щоб кожен цех мав свою невелику майстерню з виготовлення та ремонту валків. Таке розташування дозволяє повисить мобільність робіт і скоротити транспортні та часові витрати, які пов'язані з подачею валків з майстерні на стан і зі стану в майстерню.

На інших заводах (наприклад: ММК, ММЗ, ЧерМЗ) діють централізовані майстерні, що обслуговують майже всі стани заводу. Це дозволяє раціонально використовувати верстати, краще організувати працю вальцетокарів і скоротити штат інженерно-технічного персоналу. Недоліками такої роботи майстерні є складність і тривалість подачі валків до станів і навпаки.

Шаблони калібрів найчастіше виготовляються зі сталевих листів товщиною 2-6 мм слюсарями-шаблонниками (лекальниками) відповідно до креслень, які розробляються технологами калібрувального бюро. Шаблонове відділення обладнано ручними тисками, ножицями для різання сталевих листів, свердлильним і наждаковим верстатами.

Для розточення каліброваних валків виготовляють наступні шаблони: цільні, струмкові (половинні), парні, крокові, шаблони для крайніх калібрів.

Цільний шаблон (рис. 8.1) має обрис, що повністю відповідає розрахунковим розмірам калібру. Застосовують такі шаблони для контролю калібрів, положення струмків яких суворо фіксується (усі закриті калібри, а також відкриті калібри при багатострумковій прокатці).

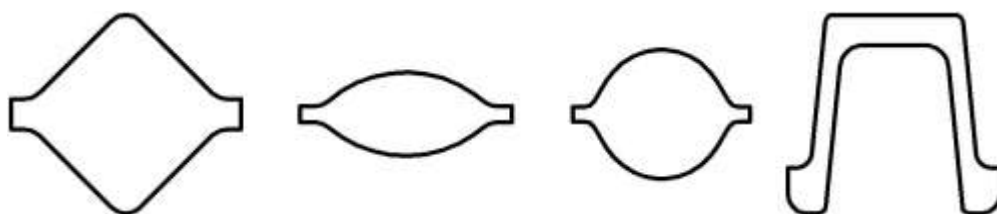


Рис. 8.1. Цільні шаблони

Струмкові (половинні) шаблони мають обриси, що відповідають конфігурації верхнього або нижнього струмків даного калібру (рис. 8.2). Використовують такі шаблони при виготовленні верхнього або нижнього валків, а також для контролю розмірів кожного струмка окремо.

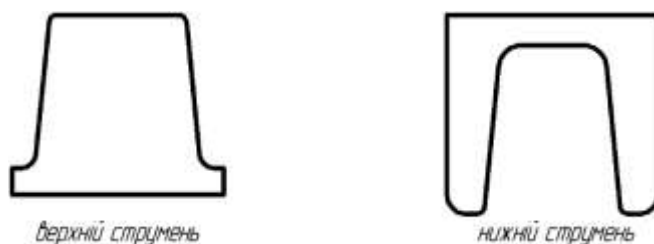


Рис. 8.2. Струмкові шаблони

Виготовлення струмків на бочці кожного валка починається з виготовлення першого крайнього калібру. Тому, в залежності від форми крайнього струмка, відповідно до калібровки валків виготовляють **шаблони для крайнього калібру** (рис. 8.3).

Після виготовлення крайнього калібру розточування інших струмків на бочці валка здійснюється із застосуванням **крокових шаблонів** (рис. 8.4).

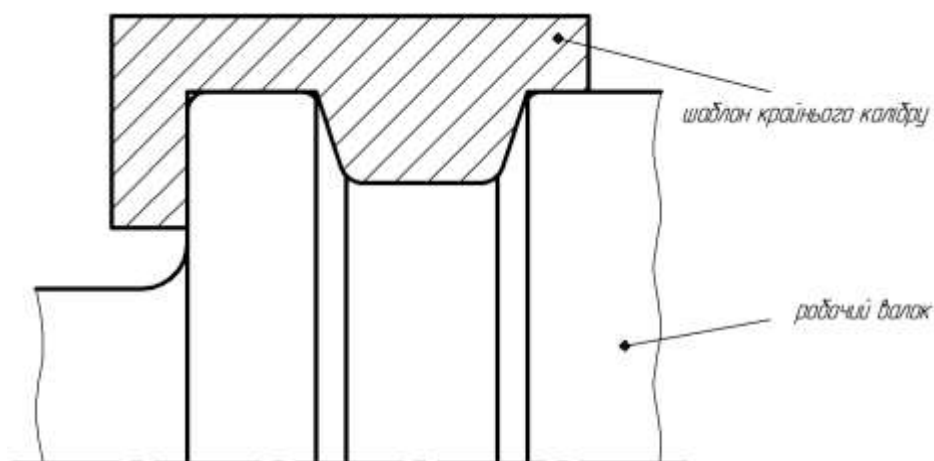


Рис. 8.3. Шаблон для крайнього калібру

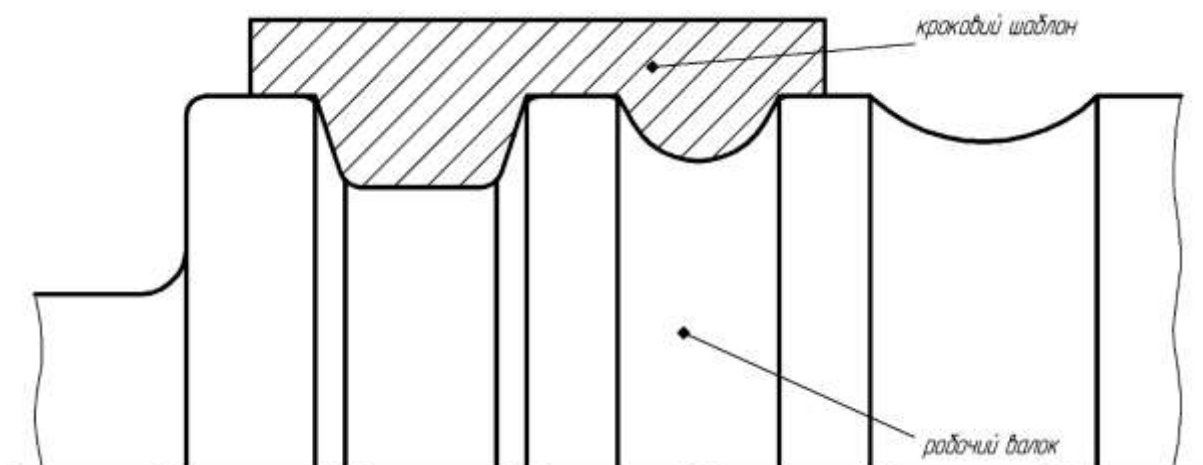


Рис. 8.4. Кроковий шаблон

У залежності від форми калібру та його розмірів, розточення струмків виконується різцями цільними чи такими, що мають форму частини калібру. Заправлення різців виконується по шаблонах. Відповідно до цього готують цілі шаблони, половинки, чвертки (рис. 8.5).

У зв'язку з тим, що в процесі використання шаблонів вони зношуються, для перевірки їхніх розмірів до кожного з них

обов'язково виготовляється **контршаблон**. Контршаблони (рис. 8.5) використовують також і для заточування різців.

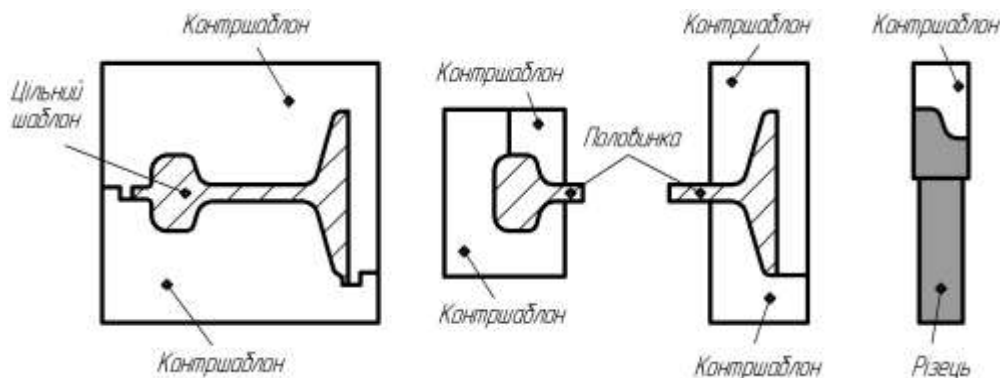


Рис. 8.5. Цільні та часткові шаблони, контршаблони

Вальцетокарна майстерня виготовляє також шаблони для приймання готового прокату працівниками ВТК і вальцювальникам станів. На рис. 8.6 наведено креслення шаблону та контршаблону для розточування калібру № 6 згідно калібровки валків для прокатування двотаврової балки №27Са, яка розроблена калібровочним бюро металургійного комбінату ДМК.

Інструменти, які застосовуються у вальцетокарному виробництві

Для розточення та ремонту валків основним інструментом являються різці. Форма різців визначається як конфігурацією елемента калібру, що врізають у валок, так і їхнім призначенням.

За призначенням розрізняють різці: прохідні та прорізні (рис. 8.7), галтельні та фасонні (рис. 8.8), чистові (рис. 8.9) й інші. Перед врізанням струмків спочатку роблять повну підготовку валків, що полягає в обточуванні їхньої бочки і шийок.

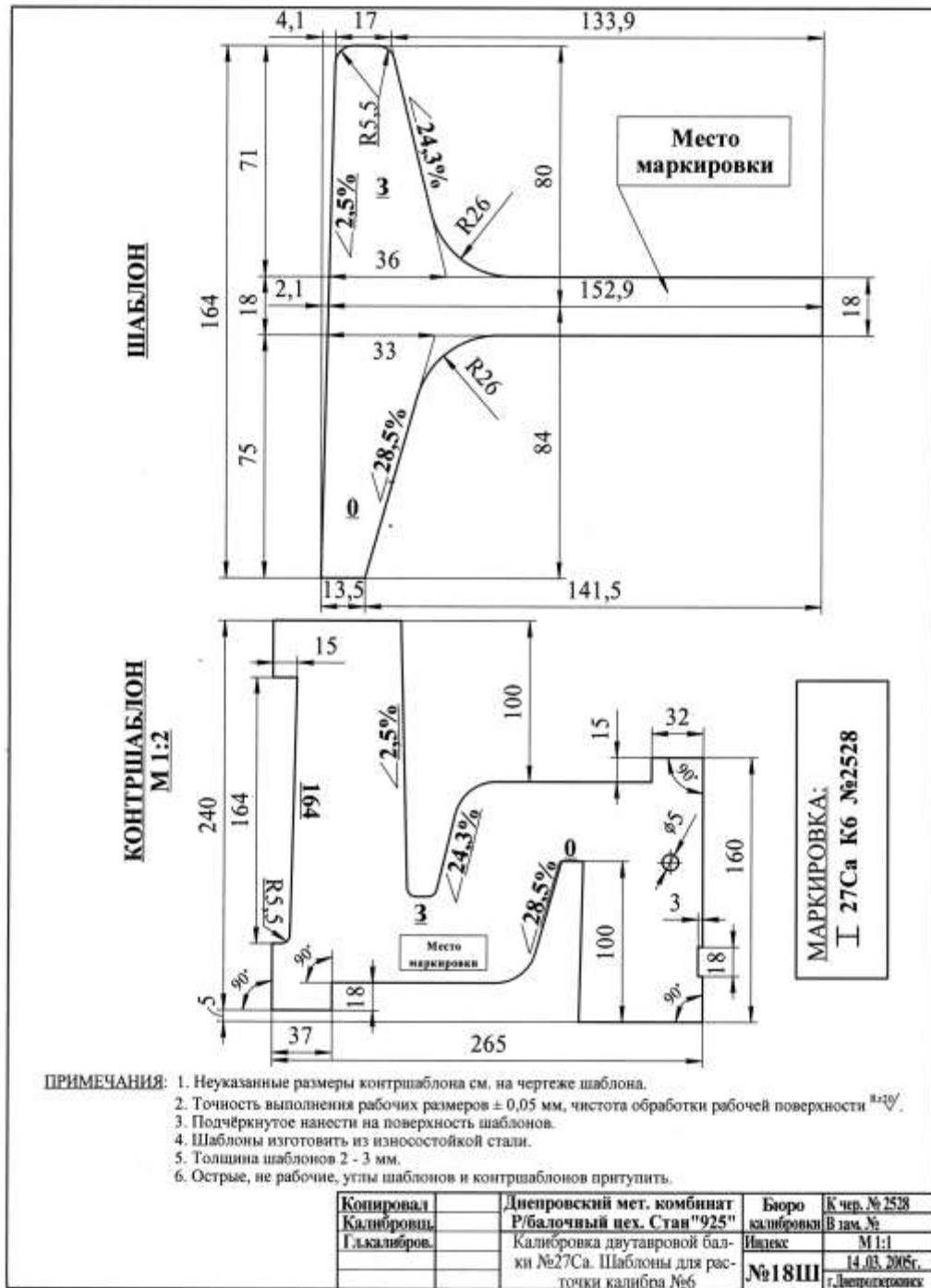


Рис.8.6. Креслення шаблону та контршаблону для розточування калібру № 6 для прокатування двотаврової балки №27Са

Для цієї мети застосовують чорнові прохідні різці, у яких лезо, що ріже, розташовується під визначеним кутом до оброблюваної поверхні і чистові прохідні з пластинкою, що ріже, прямокутної форми. Чистові прохідні різці використовуються також для чорнової обробки широких струмків.

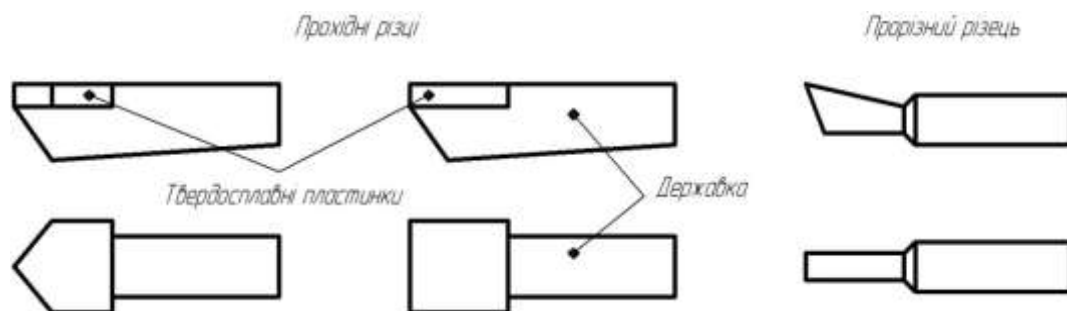


Рис. 8.7. Прохідні та прорізні різці

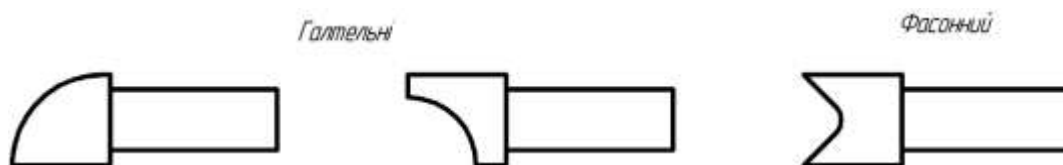


Рис. 8.8. Галтельні та фасонні різці

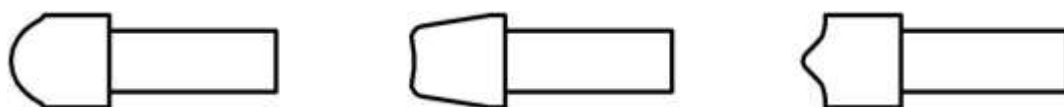


Рис. 8.9. Чистові різці

Різновидом чистових прохідних різців є прорізні, призначені для прорізання тіла валка до визначеного діаметра в напрямку, перпендикулярному до його осі.

Для видалення ливарних прибутків, зменшення довжини бочки і шийок валків, формування буртів застосовують відрізні різці спеціальної форми.

Обробку внутрішніх галтелей - місць переходу між шийками та бочкою валка виконують галтельними різцями, у яких лезо має суворо визначений радіус закруглення. Для обробки зовнішніх галтелей і фасок застосовують галтельний різець, у якого різальна крайка має зворотний радіус закруглення в порівнянні з попереднім різцем. Різновидом галтельних є фасонні різці.

Найбільш широкий клас за різновидом форм представляють собою чистові різці для розточення фасонних калібрів, у яких контур крайок, що ріжуть, виконаний за формою цільного струмка або його частини.

В даний час знайшли широке застосування різці, які оснащені пластинками зі швидкорізальної сталі P15 - P18 і з твердого сплаву BK4 - BK12.

Державки різців заданих розмірів виконуються в ковальському відділі або цеху, потім на кожній простругується посадкове місце під пластинку, що ріже. Різальні пластинки припаюються до державки різця за допомогою міді і бури.

Необхідний контур різальної пластинки виводиться за допомогою наждачних корундових кіл і доводиться на шліфувальних колах.

9. Валкова арматура.

Призначення і класифікація арматури

Прокатка сортових профілів неможлива без застосування валкової арматури. Призначення валкової арматури зводиться до спрямовування металу, який прокатується, на вході та виході з валків, а також до утримання розкату в необхідному положенні при обтисненні в калібрі та кантуванні розкату після прокатування на визначений кут.

Неякісно виконана або встановлена валкова арматура може стати причиною появи браку (скручування, зварювання,

оковування валків), а також причиною появи поверхневих дефектів на готовому прокаті. Валкова арматура безпосередньо впливає на продуктивність стану та вихід придатного металу. Тому питанням проектування, виготовлення, установки та служби валкової арматури на стані повинна приділятися дуже велика увага.

За призначенням валкова арматура підрозділяється на: **ввідну**, **вивідну** та **таку, що кантує**.

Задачами ввідної арматури є:

— центрування штаби, що прокатується, по всій своїй довжині відносно осі калібру;

— утримання розкату в процесі прокатки у визначеному положенні та попередження його звальовання або скручування щодо поздовжньої осі.

За своєю конструкцією ввідна арматура може бути або у виді **лінійок**, що спрямовують розкат у валки, або у виді **коробок із вмонтованими в них пропусками**. Ввідні лінійки використовують при прокатуванні штаб, прямокутників, двотаврових балок, кутових профілів, швелерів, рейок; а коробки - при прокатуванні круглих, квадратних та інших профілів, розкати яких не стійкі на рольгангу.

Лінійки або коробки кріпляться до проводкового бруса (столу), що монтується до станини кліті.

Для знімання розкату з валків, запобігання оковування валків і бічного переміщення розкату на задній стороні кліті установлюється вивідна валкова арматура.

Кріпиться вона на задньому опорному брусі. Звичайно валкова арматура являє собою коробку, у яку вставляються бічні лінійки, опорні планки, вивідні проводки.

Вивідні проводки поділяються на нижні і верхні. Якщо нижні проводки досить легкі, то для забезпечення прилягання носка проводок до валків, до них підвішують додаткові вантажі. Верхні проводки притискаються до валків і планок звичайно за

допомогою противаг. Схема встановлення ввідної та вивідної арматури наведена на рис. 9.1.

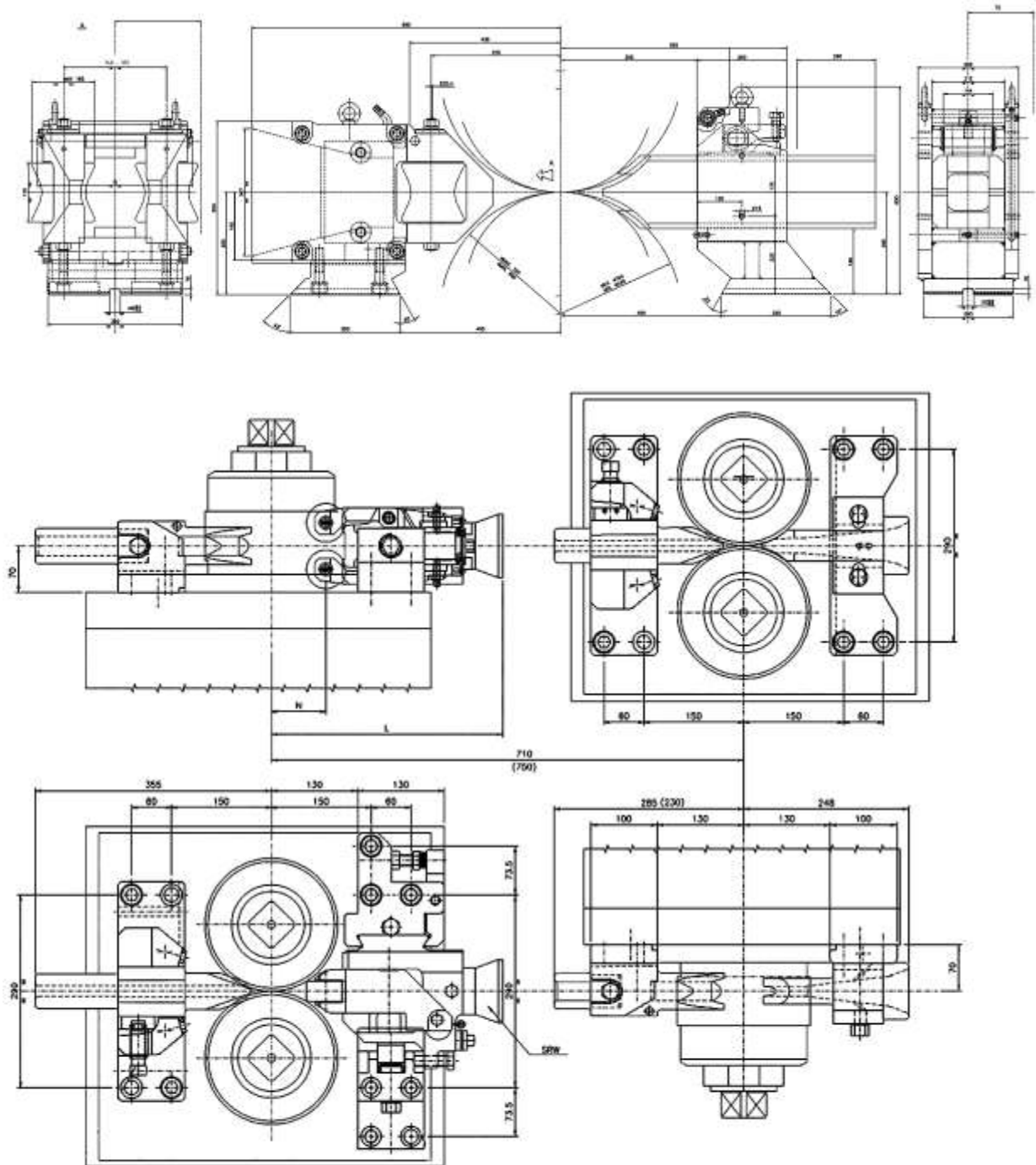


Рис. 9.1. Схема встановлення привалкової арматури

Так як нижні проводки легше встановлювати і налагоджувати, то при виконанні калібровки валків прагнуть передбачити наявність невеликого верхнього тиску й у такий спосіб забезпечити вигин штаб по виходу з валків униз. При цьому необхідності застосування верхніх проводок у ряді випадків не має.

За формою робочої поверхні, що направляє розкат, проводки бувають пласкі та фасонні. Профіль робочої поверхні проводок залежить від розмірів і конфігурації штаб, що прокатуються у даному калібрі (рис. 9.2 та 9.3).

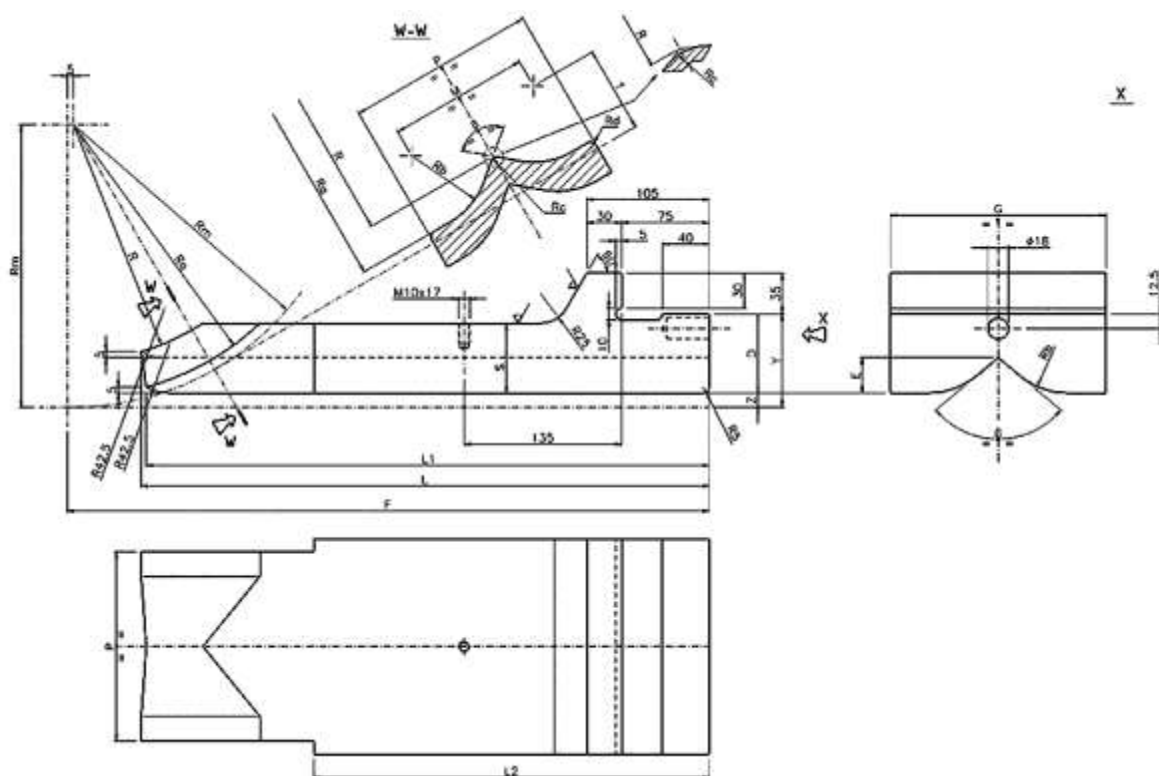


Рис. 9.2. Профіль робочої поверхні верхньої проводки для прокатки кутового профілю

Фасонні проводки застосовують при прокатці кутових, зетових, квадратних, а також інших профілів невеликого розміру, що мають складну конфігурацію поперечного перерізу.

У залежності від конструкції, проводки поділяються на **прості**, **складені** та з **від'ємними частинами**.

Прості проводки у свою чергу поділяються в залежності від призначення на фланцеві чи шийкові, які звичайно мають більш вузькі носки, а також на штабові з більш широкими носками.

При прокатці фланцевих профілів: двотаврових балок, рейок звичайно встановлюють по три проводки, з яких бічні (права і ліва) – фланцеві, а середня – шийкова. Вузькі фланцеві проводки, що встановлюються, як правило, у закритих частинах калібрів, мають носок вже іншої частини проводки. Ширина штабових і шийкових проводок однакова по всій довжині - як у носка, так і біля п'яти.

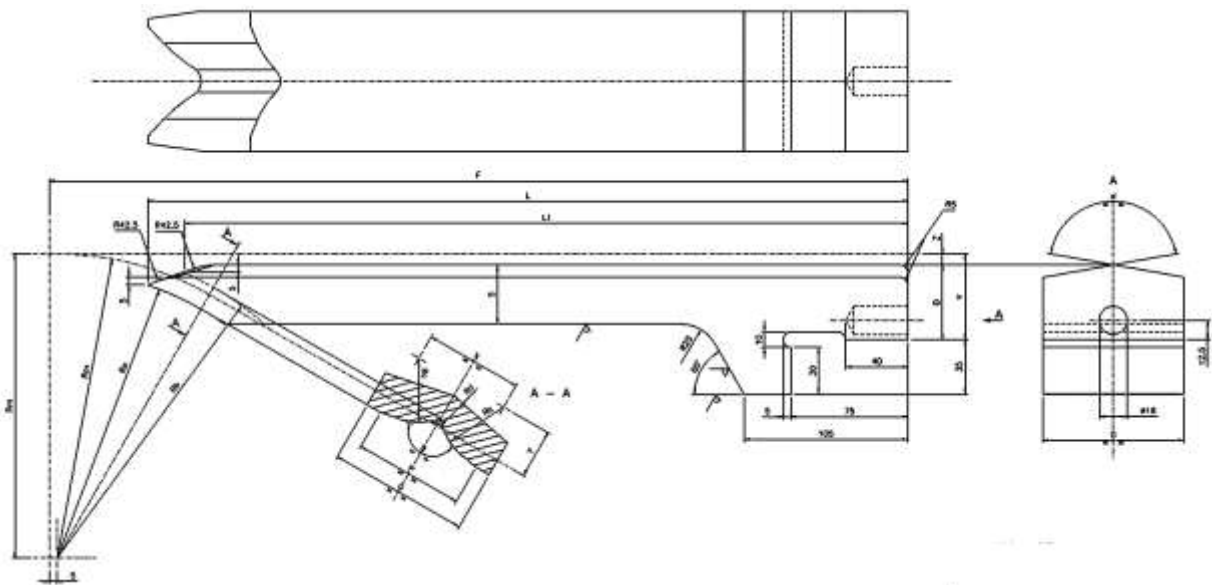


Рис. 9.3. Профіль робочої поверхні нижньої проводки для прокатки кутового профілю

Складені проводки – це з'єднані зварюванням або заклепками між собою дві чи три прості проводки, з метою спрощення виготовлення фасонної проводки (рис. 9.4).

Проводки зі змінними (від'ємними) частинами застосовуються з метою підвищення терміну служби їх і полегшення ремонту.

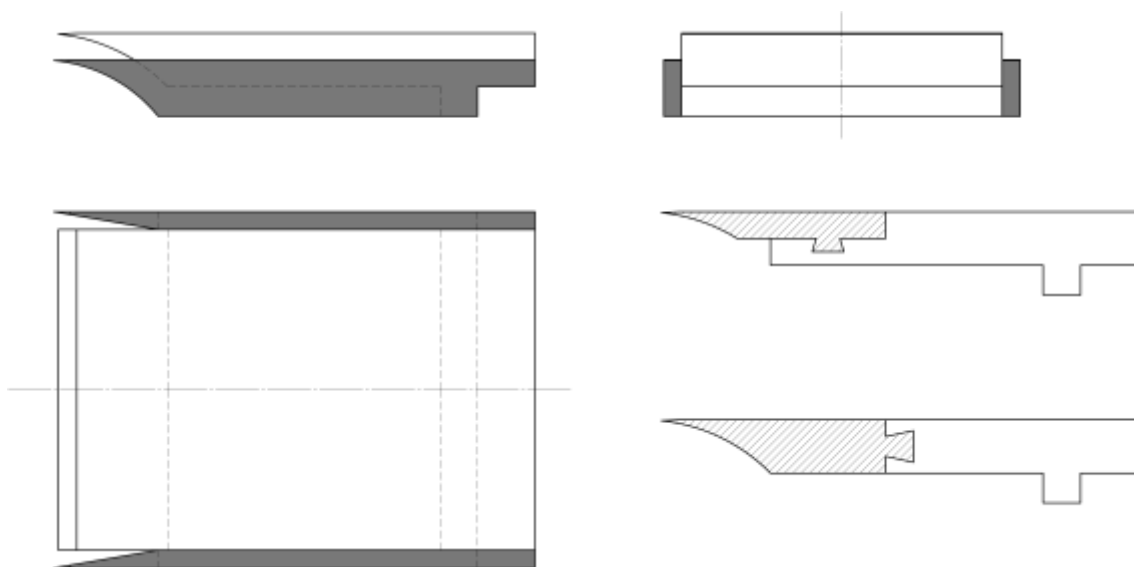


Рис. 9.4. Складені провідки

Змінними виготовляють частини, що піддаються найбільш інтенсивному зносу в процесі роботи: для вивідних пропусків - це носки та пластини, що слугують робочою поверхнею; для провідок, що кантують - це пластини, що мають гвинтову форму поверхні (рис. 9.5).

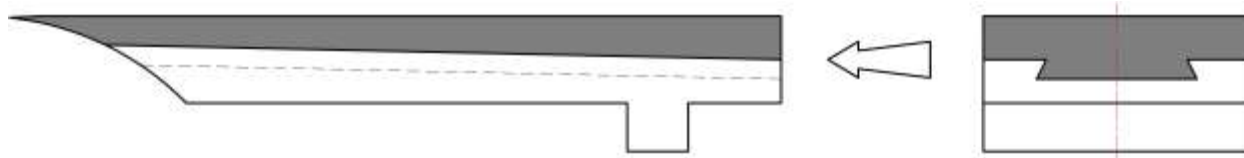


Рис. 9.5. Провідки із від'ємними частинами

У процесі прокатки штаби, що виходять з калібрів, стикаються з пропусками, лінійками та провідками, при цьому виникає значний тиск. У цих умовах частки металу штаби, що прокатується, можуть налипати на робочу поверхню пропусків або провідок. Горбки металу, що утворюються на поверхні провідок, служать причиною появи на прокатній продукції подряпин і закатів.

У деяких випадках при прокатці профілів малих розмірів або з легованих сталей, коли вимоги до поверхні особливо великі,

установлюють проводки із від'ємними робочими частинами з твердого дерева.

З тією же метою застосовують лінійки, пропуски і проводки з роликами або так звану роликову валкову арматуру.

У конструкціях арматури з роликами тертя ковзання замінюється тертям котіння, зменшується дія сил тертя, а, як наслідок, знос робочої поверхні проводок і знижується можливість налипання металу, який прокатується.

На більшості заводів лінійки і пропуски відливають з чавуна або зі сталі. Переваги литих чавунних лінійок і пропусків – відсутність налипання металу, що прокатується. Недолік – після зносу не можна відновити колишні розміри.

Сталеві лінійки та пропуски можна відновлювати шляхом наплавлень до первісних розмірів. Недолік – можливість налипання металу на робочу поверхню.

Проводки роблять кованими сталевими. Корпуса коробок – литі сталеві або зварені.

Бруси – сталеві литі.

Кількість проводок і їхнє розташування відносно калібрів різноманітної форми, яке прийнято застосовувати при прокатці основних профілів, показані на рис. 9.6.

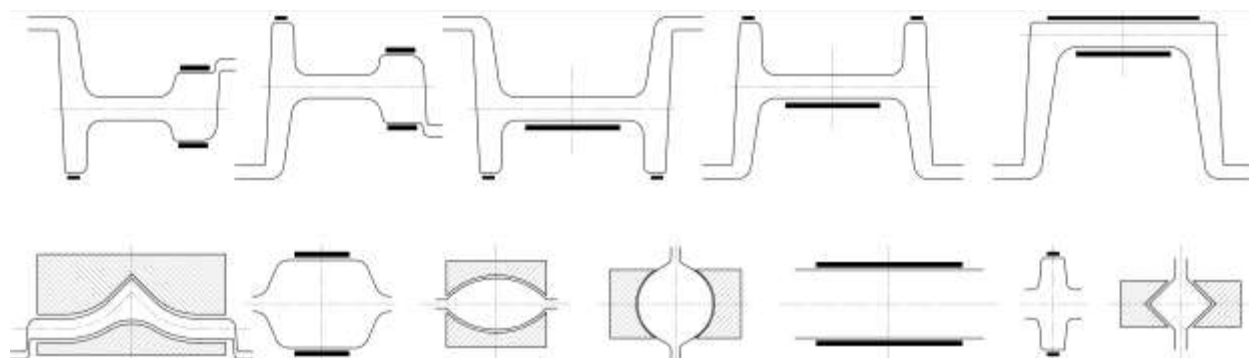


Рис. 9.6. Схема установки вивідних проводок для калібрів різного типу

Валкова арматура для кантування

Вивідну арматуру для кантування (рис. 9.7) установлюють на неперервних станах, коли необхідно кантувати штаби, що прокатуються, перед задачею їх у наступний калібр, а відстань між клітьми не дозволяє зробити це за допомогою інших пристроїв, що використовують для кантування.

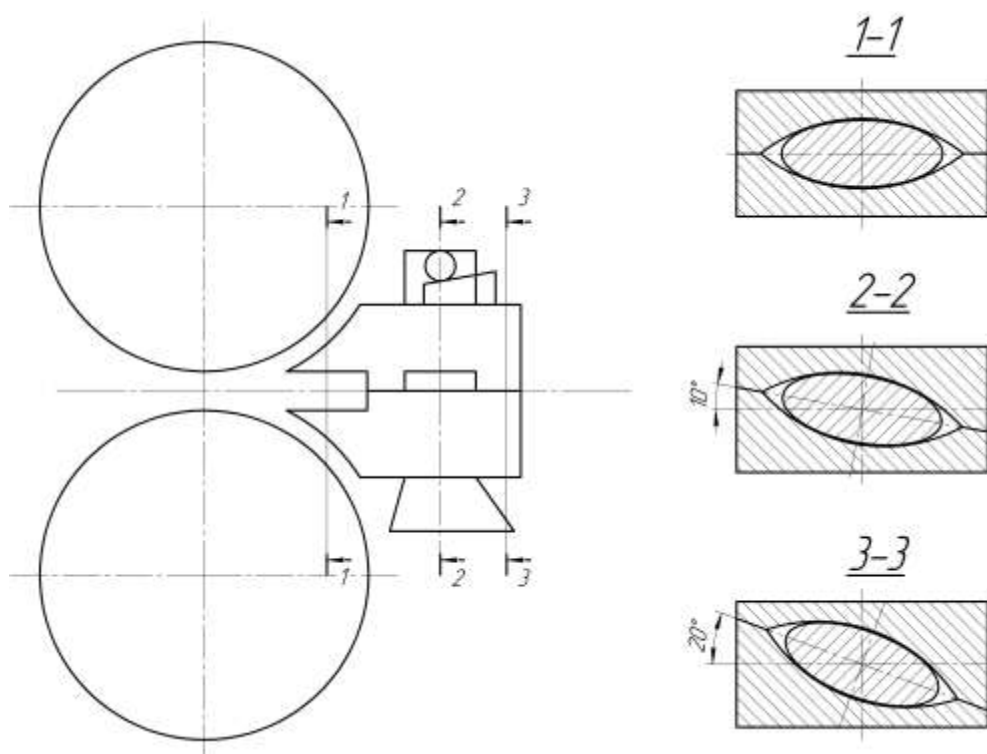


Рис. 9.7. Арматура ковзання для кантування

З цією метою використовують спеціальні вивідні проводки, що кантують, у яких робоча поверхня виконана по гвинтовій лінії з великим кроком. Завдяки цьому штаби, які виходять з валків, скручуються в проводках на необхідний кут, що забезпечує кантування переднього кінця розкатів перед задачею їх у наступний калібр на 45° або 90° . Такі проводки називаються гвинтовими, спіральними або гелікоїдальними.

Скручування виконується виступаючими площадками робочих поверхонь. Останні стикаються зі штабами

в діагональнопротилежних кутах їхнього перерізу для зменшення сили, що скручує штаби.

Основний недолік гвинтових провідок, що кантують, полягає в підвищеному зносі робочої поверхні, що вимагає частій зміни їх і ремонтів, а також вони часто стають причиною появи на штабах, що прокатуються, рисок, подряпин.

Для усунення зазначених недоліків гвинтових провідок доцільно встановлювати роликову арматуру, що кантує. Роликова арматура для кантування являє собою коробку, у якій закріплюються короткі гвинтові провідки та ролики, що кантують (рис. 9.8).

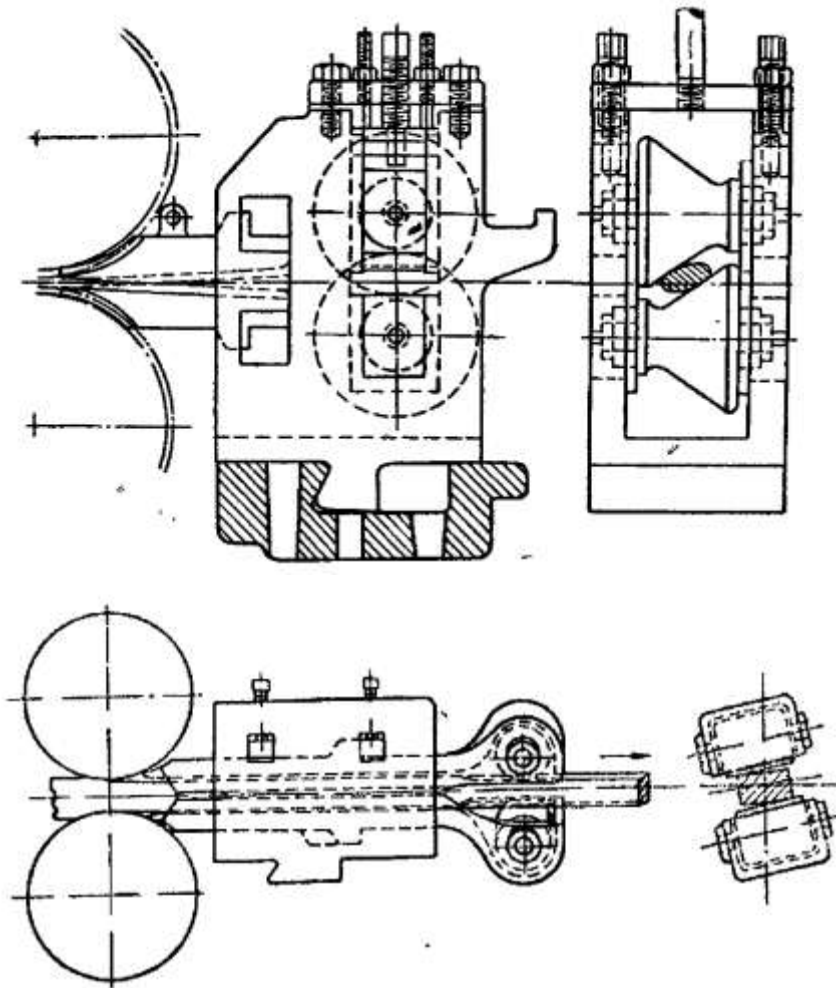


Рис. 9.8. Арматура кочення для кантування

Призначення проводок в цьому випадку полягає в зніманні переднього кінця штаби з валків, у його скручуванні та правильному спрямуванні переднього кінця штаби до роликів, що кантують. Як тільки передній кінець розкату заходить у простір між роликами, розкат відривається від поверхні гвинтових проводок та тертя між ними та поверхнею розкату припиняється через наявність достатніх зазорів.

Для кантування розкатів на неперервно-заготовочних станах і в чорнових групах сортових і дровових станів установлюють валки, що кантують, які закріплюють на станинах робочих клітей. Відомі конструкції з валками, які встановлені у рамах або без рам. Для безрамної конструкції монтаж подушок виконується у пазах, які виконані у станинах клітей.

Валки, що кантують, мають довжину бочки, яка дорівнює довжині бочки робочих валків, і таку саму кількість калібрів, що кантують, як і на робочих валках.

Кут скручування розкату α_x на ділянці від робочих валків до виходу з арматури, що кантує, при необхідності кантування штаби на 90° визначається за формулою [4]:

$$\alpha_x = \frac{l}{L-l_1} \cdot 90^\circ, \quad (9.1)$$

де l - відстань від осі валків до вихідного перерізу пристрою, що кантує;

L - відстань між осями валків робочих клітей;

l_1 - відстань від площини входу ввідної арматури до осі прокатних валків наступної кліті.

Геометрична схема розташування обладнання з позначеннями наведена на рис. 9.9.

При необхідності кантування штаби на 45° у формулі (9.1) необхідно 90° замінити на 45° .

Кількість калібрів на валках, які кантують розкат, повинна дорівнювати кількості калібрів на прокатних валках. Тоді

не потрібно переміщувати пристрій з кантуючим обладнанням, якщо здійснюється перехід на прокатування в інші калібри робочих валків.

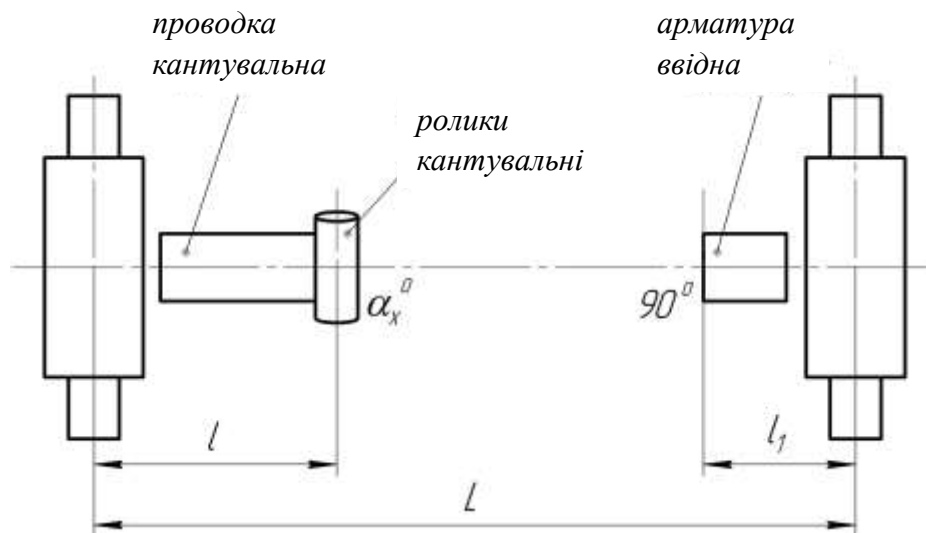


Рис. 9.9. Схема до визначення кута кантування

При розробці конструкцій валкової арматури потрібно враховувати результати розрахунків сил і моментів, діючих при кантуванні розкатів, щоб забезпечити міцність і надійність при роботі відповідного обладнання.

В кантувальній арматурі розрахунки моментів і зусиль можна виконати відповідно до методик, наведених у [15].

ПІСЛЯМОВА

Технологічно процес прокатки утворюється послідовністю пов'язаних одиничних операцій, кожна з яких є етапом перетворення розкату в готовий профіль з витратами певної кількості ресурсів. Тому доцільно спроектувати ланцюжок перетворень таким чином і так ним керувати при реалізації, щоб можна було отримати найбільший корисний вихід від процесу в цілому.

Залежно від вимог, що пред'являються до спроектованого процесу або умов, що склалися на діючому виробництві, оцінкою корисного виходу служать продуктивність прокатного стану, величина прибутку, якість готового прокату, рівномірність завантаження устаткування, надійність і довговічність вузлів та агрегатів, які відображають в кожному конкретному випадку основну мету виробництва або використовуються в кінцевій комбінації таких цілей.

Прокатне виробництво характеризується рядом особливостей, які ускладнюють розробку оптимальних технологічних процесів: виникаючі задачі оптимізації мають велику розмірність, пов'язані з наявністю багатьох допустимих розв'язків і не завжди можуть бути чітко поставлені. Далі труднощі розробки оптимальних технологічних процесів прокатки полягають в тому, що зазначені задачі є по суті стохастичними. Причина в притаманних прокатному виробництву багатьох слабодіючих неконтрольованих факторів, що створюють так званий «шумовий фон», який затушовує, а іноді і спотворює дію основних факторів [10].

Незважаючи на перераховані труднощі, прокатне виробництво постійно вдосконалюється. Досягається це, в основному, методом проб і помилок, який пов'язаний з численними випробуваннями та експериментами, з тривалим

очікуванням позитивного результату, з великими витратами різноманітних засобів.

Основним способом вдосконалення існуючих процесів прокатного виробництва в даний час є раціоналізація окремих елементів технології, причому таких, недосконалість яких різко впадає в очі досвідченим виробничникам і дослідникам.

В першу чергу, все це відноситься до вдосконалення калібровок валків для прокатки певного сортаменту на кожному прокатному стані. Калібровки валків, які використовуються для прокатки певного профілю проходять повний життєвий цикл технічної системи: від розробки та освоєння, через вдосконалення до заміни на нову.

Якісне виконання виробничих завдань засноване на інженерному та науковому підходах, яким потрібно сучасно навчатися, а потім раціонально користуватися. Для фахівців-прокатників усе «від альфи до омеги» пов'язане з ефективним калібруванням валків. Тому для них успішність діяльності повинна підтримуватися постійною увагою до розвитку методів калібрування, засвоєнням новітніх систем і методів прокатки профілів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кудрин В.А. Теория и технология производства стали: Учеб. для вузов / В.А. Кудрин. – М.: «Мир», ООО «Издательство АСТ», 2003. – 528 с.
2. Полухин П.И. Прокатное производство: Учебник для вузов / П.И. Полухин, Н.М. Федосов, А.А. Королев, Ю.М. Матвеев. – 3-е изд. – М.: Металлургия, 1982. – 696 с.
3. Диомидов Б.Б. Технология прокатного производства: Учеб. пособ. для вузов / Б.Б. Диомидов, Н.В. Литовченко. – М.: Металлургия, 1979. – 488 с.
4. Грудев А.П. Технология прокатного производства: Учебник для вузов / А.П. Грудев, Л.Ф. Машкин, М.И. Ханин. – М.: Металлургия, 1994. – 656 с.
5. Чекмарев А.П. Калибровка прокатных валков: Учебное пособ. для вузов / А.П. Чекмарев, М.С. Мутьев, Р.А. Машковцев. – М.: Металлургия, 1971. – 512 с.
6. Диомидов Б.Б. Калибровка прокатных валков / Б.Б. Диомидов, Н.В. Литовченко. – М.: Металлургия, 1970. – 311с.
7. Смирнов В.К. Калибровка прокатных валков: Учеб. пособ. для вузов / В.К. Смирнов, В.А. Шилов, Ю.В. Инатович. – М.: Металлургия, 1987. – 368 с.
8. Целиков А.И. Теория продольной прокатки/А.И. Целиков, Г.С. Никитин, С.Е. Рокотян. – М.: Металлургия, 1980. – 320 с.
9. Зюзин В.И. Сопротивление деформации сталей при горячей прокатке / В.И. Зюзин, М.Я. Бровман, А.Ф. Мельников. – М.: Металлургия, 1964. – 270 с.
10. Илюкович Б.М. Прокатка и калибровка. Справочник / Б.М. Илюкович, Н.Е. Нехаев, С.А. Меркурьев. В 6 томах. Т. 1. – Под ред. Б.М. Илюковича. – Днепропетровск: РИА «Днепр-ВАЛ», 2002. – 506 с.

11. Прокатные станы. Справочник / В.Г. Антипин, С.В. Тимофеев, Д.К. Нестеров и др. В 3-х томах. Т. 1. Обжимные, заготовочные и сортопрокатные станы 500 – 950. – М.: Металлургия, 1992. – 429 с.

12. Фастовский Б.Г. Справочник прокатчика / Б.Г. Фастовский. – М.: Металлургия, 1972. – 304 с.

13. Кочетов И.М. Калибровка валков с применением систем развернутых калибров / И.М. Кочетов. – М.: Металлургия, 1971. – 112 с.

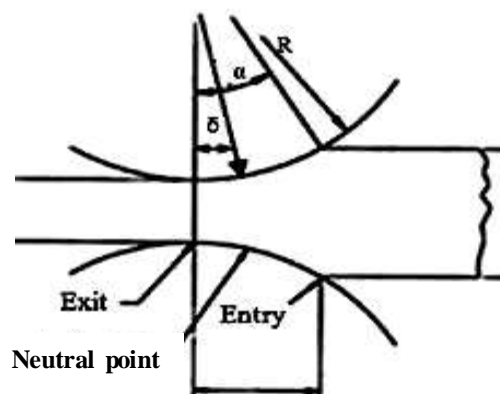
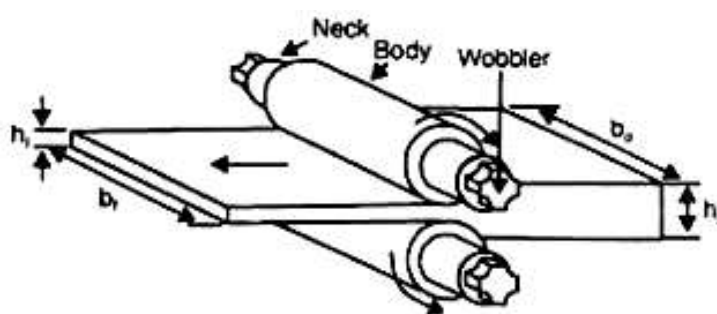
14. Технология процессов обработки металлов давлением / П.И. Полухин, А. Хензель, В.П. Полухин и др. – Под ред. Полухина П.И. – М.: Металлургия, 1988. – 408 с.

15. Федин В.П. Валковая арматура сортовых станов / В.П. Федин, Н.Ф. Грицук. – М.: Металлургия, 1975. – 216 с.

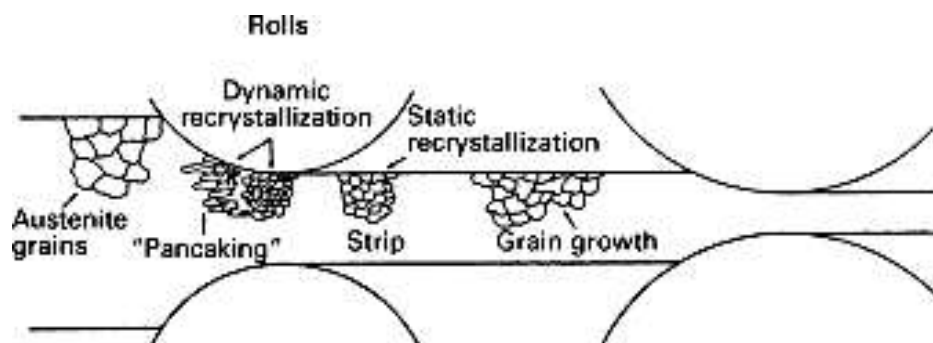
ДОДАТОК

Зовнішні та внутрішні перетворення металу при прокатуванні – External and internal transformations of metal during rolling

Геометрія осередку деформації та формозміна розкату – The geometry of the deformation zone and the shape change at rolling



Структурні перетворення – Structural transformations



ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК

апроксимація	approximation	77
арматура для кантування	twist guide	143
брус провідковий	guide bar	137
бурт валка	roll collar	22
валкова арматура	guide, roll fittings	136
верхній тиск валків	upper rolling pressure	35
визначення величини розширення	determination of a spread value	73
випуск калібру	chamfer of a groove	24
відкритий калібр	opened pass	29
гвинтова лінія	helix	143
діаметр валка	roll diameter	33
довжина бочки валка	length of a roll body	32
економічний профіль	efficient section	7
життєвий цикл	life cycle	148
задача оптимізації	optimization problem	147
зазор	roll gap	22
закритий калібр	closed pass	29
за ходом прокатки	on the direction of a rolling	116
знос калібру	wear roll	26
калібр	groove, pass	20
калібр асиметричний	asymmetric pass	30

калібр симетричний	symmetric pass	30
калібровка валків	roll pass design	32
каркас калібру	frame of a pass	93
коефіцієнт напруженого стану	stress state coefficient	82
коефіцієнт тертя	friction coefficient	73
контроль виробництва	production control	11
коробка арматурна	entry guide box	137
кут кантування	twist angle	145
лист гарячекатаний	hot-rolled sheet	10
лінійка	guard, guide	137
максимальне обтиснення	maximum reduction	79
мета виробництва	manufacturing target	147
метод відповідної штаби	method of a corresponding bar	68
метод приведеної штаби	method of a reduced bar	67
мінімальне обтиснення	minimum reduction	90
момент прокатування	rolling torque	125
монтажна схема	assembly drawing	57
наука обробки металів тиском	science of metalworking by pressure	5
нейтральна лінія калібру	neutral line of a pass	39
нижній тиск валків	lower rolling pressure	35
обтиснення	reduction	63
переточування	turning down on a lathe	25
показник розширення	spread ratio	64
поліпшення умов захвату	improvement of a bite condition	89

потужність двигуна	motor power	84
прокатний профіль	roll section	7
проти ходу прокатки	against the direction of a rolling	116
пружина кліті	stand (mill) springing	22
радіус заокруглення	round radius	98
різець	lathe tool	133
– галтельний	fillet lathe tool	133
– прорізний	facing tool	135
– прохідний	turning tool	135
– фасонний	form tool	135
роз'їм калібру	parting of the pass	27
роликівна арматура	roller guide unit	142
розширення	broadening, spread widening	75
сила прокатки	rolling force	80
система витяжних калібрів	exhaust system of roll design	101
система «овал-квадрат»	roll design “oval-square”	106
система «шестикутник-квадрат»	roll design “hexagon-square”	107
система «ромб-квадрат»	roll design “rhombic-square”	108
система «ромб-ромб»	roll design rhombic system	109
система «овал-ребровий овал»	roll design “oval-rib oval”	110
система «овал-круг»	roll design “oval-round”	112
сортамент прокату	rolled products range	8
сортівний прокат	rolled sections	9
стандарт	standard	11

струмок валка	groove	19
теорія подібності	similarity theory	68
термомеханічні коефіцієнти	thermomechanical coefficients	82
технологічний параметр	technology parameter	74
тиск металу на валки	roll separating force	80
універсальна витяжна система	universal stretch system	113
характеристика	feature, performance	13
холоднокатаний	cold-rolled	11
хром	chromium	16
центр ваги	centre of gravity	39
центрувальник роликовий	roll centering machine	137
чавунний валок	cast-iron roll	25
шаблон калібру	template, profile gauge	130
ширина бурта	roll collar width	60
ширина матеріалу, що прокатується	breadth of rolled material	63
якість виробу	quality of a product	12
якісна оцінка	quality assessment	6

Навчальне видання

Максименко Олег Павлович
Штода Максим Миколайович
Нікулін Олександр Вікторович

ОСНОВИ КАЛІБРОВКИ ПРОКАТНИХ ВАЛКІВ

Навчальний посібник

Підписано до друку 27.03.2023. Формат 60×84 1/16
Папір друк. Друк — різнограф. Ум.-друк. арк. 9,07
Тираж — 300. Зам. № 10/23

Видавець і виготовлювач

Дніпровський державний технічний університет
51918, м. Кам'янське, вул. Дніпробудівська, 2

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до державного реєстру видавців серія ДК № 5399
від 26.07.2017 р.