

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
ДНІПРОДЗЕРЖИНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ



Штода М.М.

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з дисципліни
ТЕХНОЛОГІЯ ПРОЦЕСІВ ОМТ:
ОСНОВИ КАЛІБРОВКИ ВАЛКІВ

для студентів
напряму 6.050401 — Металургія (Обробка металів тиском)
всіх форм навчання

Затверджено редакційно-видавничою
секцією науково-методичної ради ДДТУ
19.05.2016 р., протокол № 6

Дніпродзержинськ,
2016

**Розповсюдження та тиражування без офіційного дозволу
Дніпродзержинського державного технічного університету заборонене**

УДК 621.771

Конспект лекцій з дисципліни Технологія процесів ОМТ: Основи калібровки валків для студентів напрямку 6.050401 — Металургія (Обробка металів тиском) всіх форм навчання / М.М. Штода — Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2016 р. — 88 с.

Укладач: канд. техн. наук, доцент Штода М.М.

Рецензент: канд. техн. наук, доцент Самохвал В.М.

Розглянуто і затверджено на засіданні
кафедри ОМТ 12.05.2016 р., протокол № 8

Видання призначене для студентів спеціальності "Обробка металів тиском". Конспект лекцій містить основні положення калібровки профілю та валків. Наведена класифікація калібрів. Наведені формули та значення коефіцієнтів, які необхідні для розрахунку основних розмірів калібрів простої форми. Описані системи витяжних калібрів.

Зміст

1. Сортамент продукції прокатних станів	4
2. Стандартизація прокатної продукції.....	7
3. Вплив вимог до готового прокату на технологічний процес виробництва і технологічні схеми виробництва прокату	10
4. Контроль технологічного процесу	10
5. Класифікація прокатних станів за призначенням.....	12
6. Основні положення калібровки валків	13
6.1. Елементи калібру	15
6.2. Класифікація калібрів.....	21
7. Елементи калібровки валків.....	24
7.1. Вибір діаметра валків для прокатки заданого профілю.....	25
7.2. Верхній і нижній тиск валків	26
7.3. Середній діаметр пари валків. Середня лінія валків і лінія прокатки	28
7.4. Нейтральна лінія калібру.....	29
7.5. Визначення ширини буртів і способи розташування калібрів на валках	31
7.6. Побудова креслення валків	32
7.7. Катаючий діаметр валків.....	38
7.8. Коефіцієнти деформації	40
7.9. Обтиснення в калібрах.....	43
7.10. Розширення при прокатуванні в калібрах	45
7.11. Максимальне обтиснення при прокатуванні профілів.....	48
7.12. Визначення максимальних обтиснень при розрахунках режимів обтиснень	53
7.13. Обмеження мінімального обтиснення при розрахунках калібровки	54
7.14. Системи витяжних калібрів	58
7.15. Швидкісний режим неперервних станів.....	69
7.16. Схема розрахунку калібровки.....	71
7.17. Загальна схема калібровки	71
7.18. Вибір матеріалу валків	72
8. Вальцетокарне виробництво	73
9. Валкова арматура. Призначення і класифікація арматури	78
ЛІТЕРАТУРА	87

1. Сортамент продукції прокатних станів

Виробництво металу в чорній металургії поділяється на дві основні стадії:

- 1) виплавка сталі заданого хімічного складу і його розливання в ливарниці чи на машині неперервного лиття;
- 2) переробка зливків у задані готові профілі.

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

Прокатний профіль — форма поперечного перерізу готового виробу.

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 тонко- і товстолистовий;
- 3) трубну продукцію (безшовні, зварні, фасонні та інші труби);
- 4) спеціальні профілі прокату (колеса, кулі, бандажі, шестерні).

Поряд з вищевказаними профілями виробляються економічні види прокату, такі як: гнуті фасонні профілі, що виготовляються з листа і штаби; перодичні профілі прокату, що виготовляють на станах подовжнього 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 у машинобудівників.

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).

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

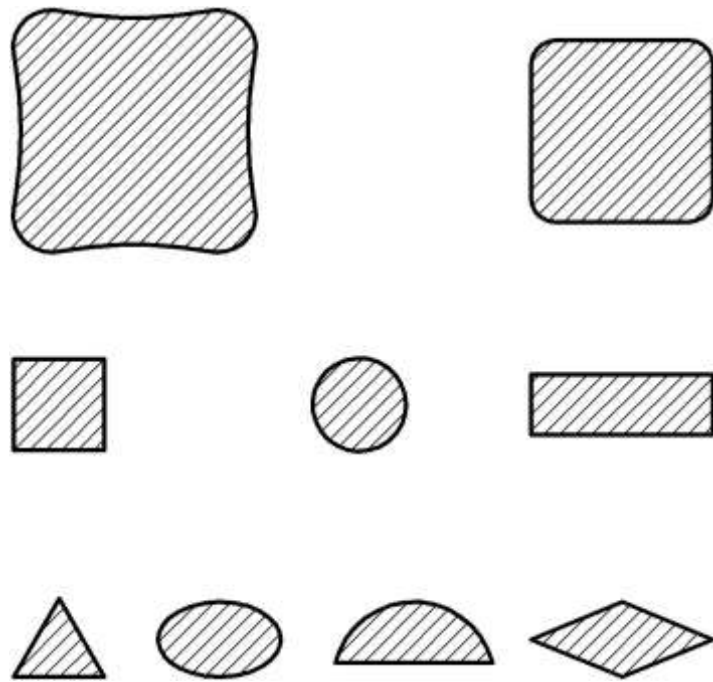


Рисунок 1.1 – Форма простих профілів прокату

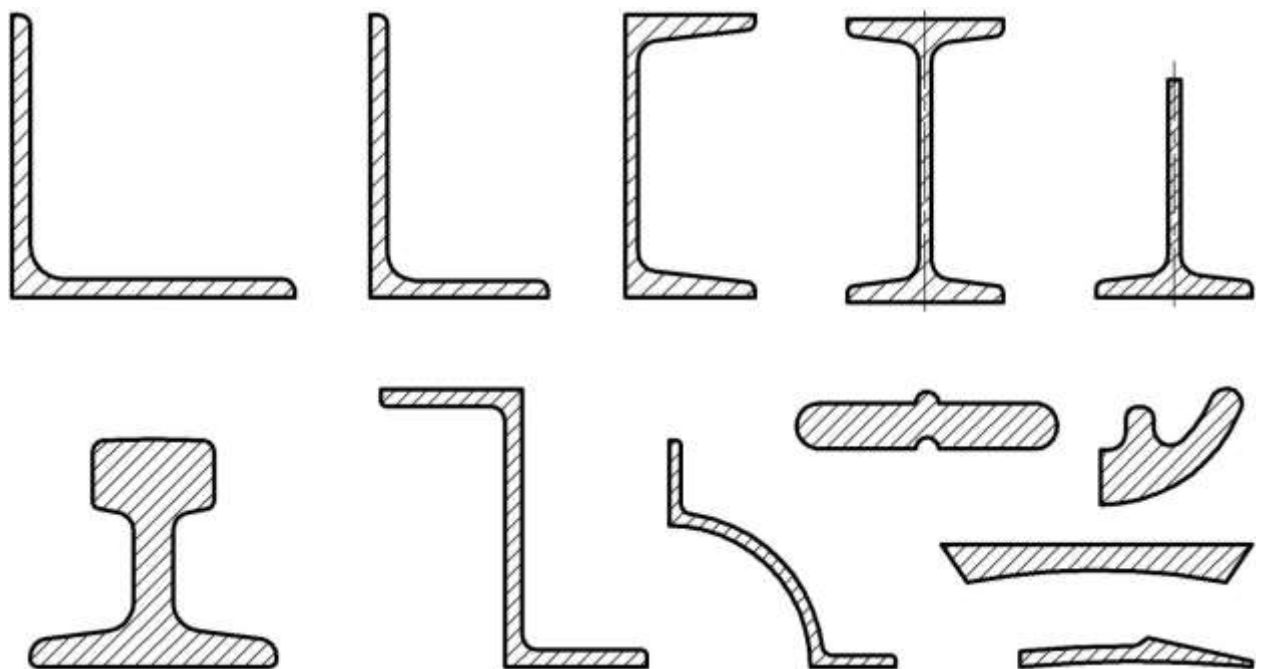


Рисунок 1.2 – Форма деяких фасонних профілів прокату

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 відноситься прокат, який застосовують для конкретного призначення в окремих галузях народного господарства, у їхньому числі залізничні рейки, ресорні профілі, періодичні профілі, профілі для дверних петель автомобілів, лемішна полоса та багато інших.

Умовно весь сортовий прокат звичайно поділяють на чотири групи (табл. 1.1): крупносортні, середньосортні, дрібно сортні профілі та кругла канта діаметром 5-9 мм.

Таблиця 1.1 – Класифікація деяких профілів за розмірами

Найменування профілю	Розміри прокату, мм			
	Крупносор- тний	Середньосорт- ний	Дрібносор- тний	Стандарт
Круглий	діаметром 31 і більше	діаметром 20-30	діаметром до 19	ДСТУ 4738:2007
Кутовий рівно- поличний	№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 та 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, казанобудування, топковий, електротехнічний, трансформаторний й таке інше.

Марочний сортамент сталей, що прокатуються

Сталі, які піддаються прокатуванню, 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 – Утримання 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 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 і спеціальні.

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

Хімічний склад і механічні властивості конкретних марок сталей наведені у відповідних ДСТУ.

2. Стандартизація прокатної продукції

Уся прокатна продукція піддається контролю на відповідність вимогам чи стандартів 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, необхідний стандарт, що нормує 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 та так далі). 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, магнітопроникність), а також технологічні властивості (можливість штампування, зварюваність і 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 і 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. Частина 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 Ст3 відповідно до ДСТУ 2651:2005.

Таблиця 1.3 – Хімічний склад Ст3

Найменування сталі	Хімічний склад, %				
	C	Mn	Si	P	S
Ст3кп	0,14-0,22	0,3-0,6	≤ 0,07	-	-
Ст3пс	0,14-0,22	0,04-0,65	0,05-0,19	до 0,04	до 0,05
Ст3сп	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.

ри 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 виробництва 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; обробка, включаючи різання, охолодження, виправлення, видалення поверхневих дефектів і 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]:

<i>Азот</i>	– А*	<i>Мідь</i>	– Д
<i>Алюміній</i>	– Ю	<i>Молібден</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

Цифра, що стоїть після букви, указує на приближений вміст легуючого елементу у відсотках. 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 20ХНЗА в середньому містить 0,20% С, по 1% Сг та 3% Ні. 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, виплавлені заводом «Електросталь», маркують 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 зразковий 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. Тобто технологічний процес виробництва прокату контролюється на всіх стадіях, починаючи з підготовки заготовок і закінчуючи навантаженням.

Так, при різанні блюмів контролюють видалення усадочної раковини та рихлості, при різанні готового прокату — правильність різання на мірні довжини і якість різа, 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 і якості сталі за макро- і мікроструктурою, магнітні іспити й інше.

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

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 сучасному металургійному заводі складається з 2-х основних стадій: прокатка зливків у напівпродукт (блюми, сляби і заготовки); прокатка напівпродукту в готовий прокат:

Розміри блюму – $h \times b$ - 200 x 200 ÷ 400 x 400 мм;

Слябу - $h \times b$ = (90 ÷ 300) x (500 ÷ 1300) мм;

Заготовки - $h \times b$ = 60x60 ÷ 180x180 мм;

Сутунки - $h \times b$ = (10 ÷ 30)x(150 ÷ 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 неперервного лиття заготовок.

До станів для виробництва готового прокату відносять сортові, листові, трубні та спеціальні прокатні стани (колесо-бандажні, універсальні, шаропрокатні й інші).

З метою підвищення ефективності виробництва металургійні заводи звичайно спеціалізувалися на окремих видах сортаменту. Наприклад, існують заводи, в сортамент яких складається із сортових профілів («Криворіжсталь» і Західно-Сибірський металургійний завод), заводи з виробництва листової продукції («Запоріжсталь», Маріупольський металургійний комбінат ім. Ілліча), заводи з виробництва трубної продукції (Нікопольський трубний завод, Першоуральський 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 звичайно квадратного чи прямокутного перерізу. Розмір цього перерізу приймається значно більше готового профілю і тому, як правило, останній майже ніколи не вдається отримати за один прохід між валками. 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 її поступово наближаються до необхідного 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, круга, квадрату, рейки й інших, щоб додати металу, що прокатується, необхідну форму, на робочій поверхні валків роблять поглиблення, які називають **струменями**, що відповідають необхідній формі розкату після прокатування.

*Просвіт, що утворюється струменями 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 крізь калібр буде приймати форму цього калібру тільки за певних умов: коли розміри калібру та розкату, що надходить в нього, обрані відповідно до законів 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 розміри.

***Калібровою профілю** називається система послідовно розташованих калібрів, що забезпечує одержання 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 і 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 призвів до появи методик, які дозволяють отримати профіль принаймні з третього прокатування, тобто зробили це високе мистецтво майже загальнодоступним.

Розвиток методів калібровки профілів нерозривно зв'язаний із загальним прогресом прокатного виробництва. Це приводить до відмирання старих ме-

тодів калібровки, що неприйнятних у сучасних умовах, і виникненню нових методів, що враховують останні досягнення прокатної техніки та науки.

6.1. Елементи калібру

З аналізу конструкцій типових калібрів установлено, що майже всі калібри мають наступні елементи: струмені, бурти, зазори, випуски, рознімання калібрів, закруглення (рис. 6.1).

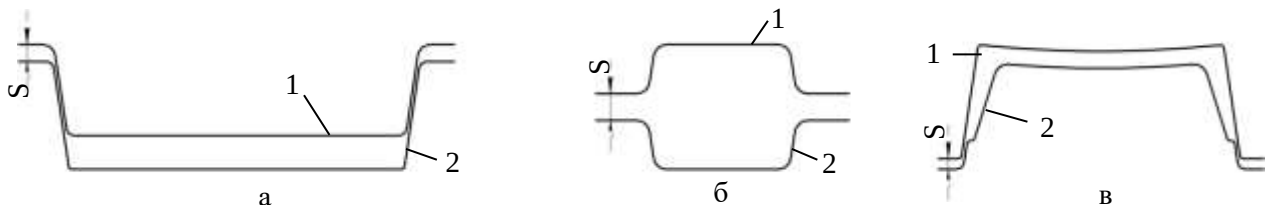
Кільцевий виріз, що виконаний на одному валку та входить до складу калібру, називається струменем.

Вільні ділянки бочки валка між нарізаними струменями 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 струменів на верхньому та нижньому валках і величини зазору між валками.



*a – штабовий калібр; б – ящичний калібр; в – швелерний калібр
1 – верхній струмінь; 2 – нижній струмінь*

Рисунок 6.1 – Калібри різної форми

Зазор

Наявність зазору необхідно, виходячи з наступних розумінь:

1. Валки не повинні стикатися один з іншим у процесі прокатування, тому що у місцях стикання вони гріються, викликають знос буртів, а також створюють додатковий тиск на підшипники валків і зайву витрату 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.

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

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

3. 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 станин;

$f_{н.в}$ — 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 поломки валків.

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

На практиці приймаються наступні величини зазорів:

для чистових калібрів

$$S \leq 0,01D_{\epsilon};$$

де D_{ϵ} — діаметр валків.

Для передчистових калібрів

$$S \leq 0,02D_{\epsilon};$$

Для чорнових калібрів

$$S \leq 0,03D_{\epsilon}.$$

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

Сучасні попередньо напружені кліті мають невелику довжину бочки валків, обладнані підшипниками котіння або рідкого тертя, що дозволяє приймати зазорі 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).

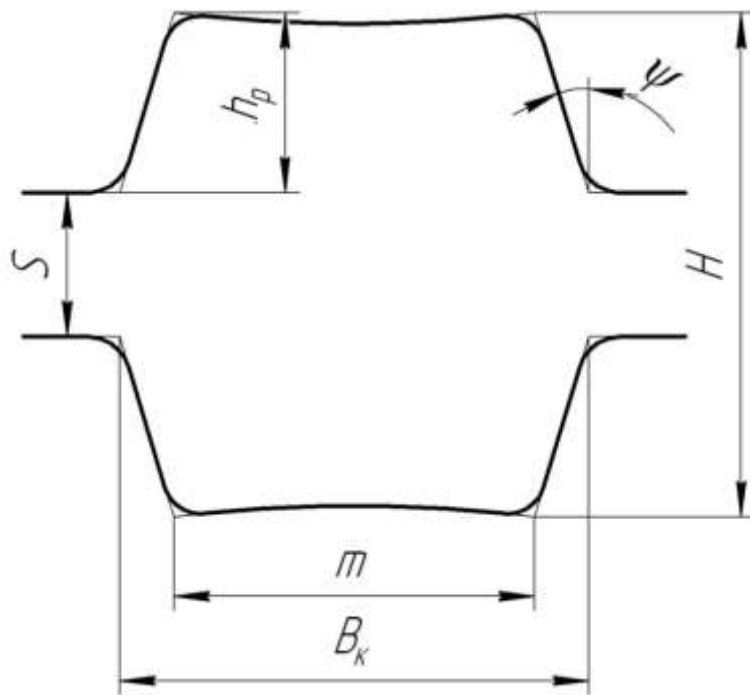


Рисунок 6.2 – Ящикний калібр

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

Величина випуску буває різна для різних типів калібрів, і звичайно вона виражається у відсотках від глибини струменя, іноді в градусах, іноді величиною тангенсу кута ухилу бічної грані до вертикалі. Так, наприклад, на практиці для обтискних ящикних калібрів складає 20–35%, для чистових ящикних 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 дну;

h_p - глибина струменя.

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 затискала 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:

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

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

де a — величина зносу калібру, мм;

ψ — кут ухилу стінок калібру, град.;

ΔD — зменшення діаметру внаслідок переточування, мм.

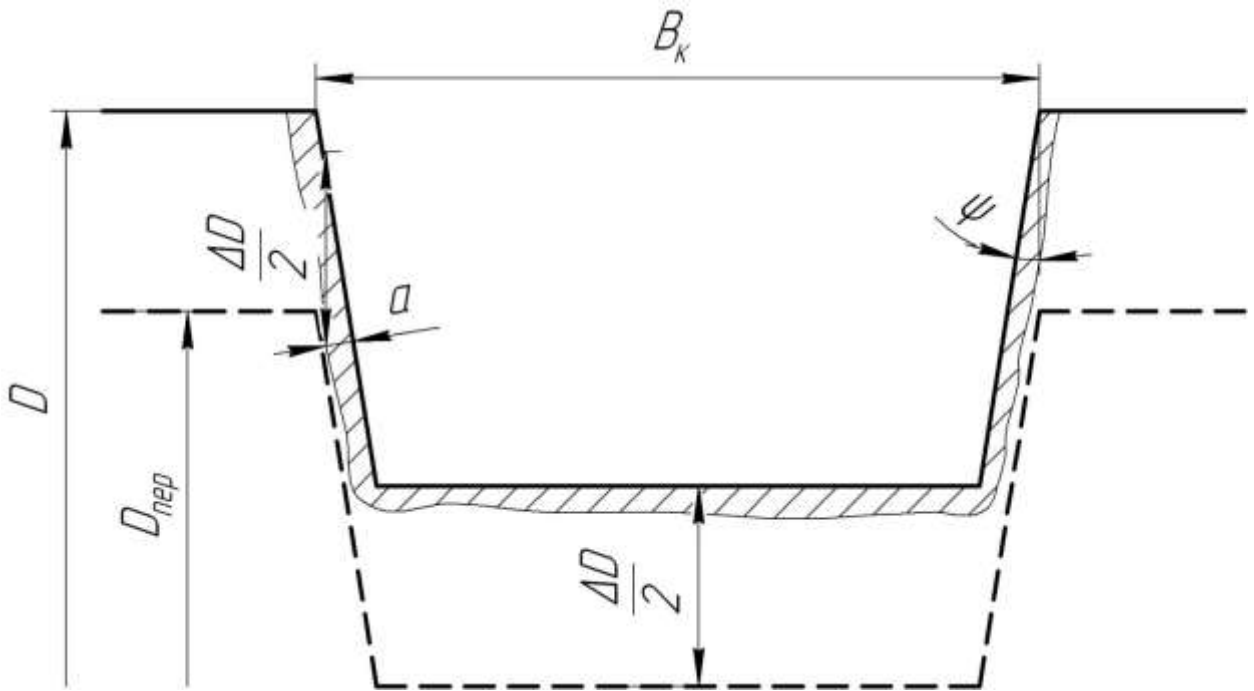


Рисунок 6.3 – До визначення величини переточування

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.

$$a = 3 \text{ мм};$$

$$\psi_1 = 5^\circ;$$

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

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

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

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

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

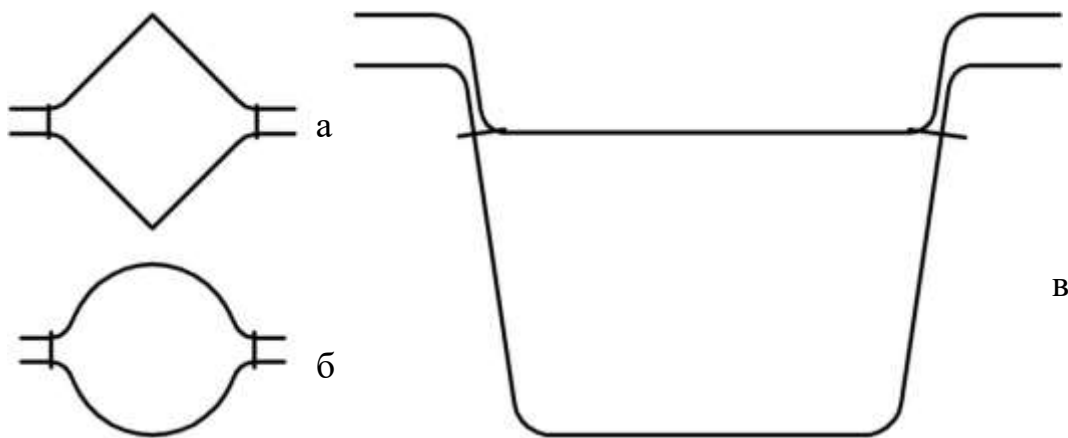
Роз'їм або розділ калібру

*Оскільки калібр складений двома валками, то він має границю переходу з одного струменя 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. Величина розділу в закритих калібрах значно менше зазору калібру.



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

Рисунок 6.4 – Схема, що пояснює розташування розділу в калібрах різної форми

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 штаби в калібр, а також одержання тупих задирок у випадку переповнення калібрів. Крім того, не закругленні кути калібрів є концентраторами напружень у валках. Тому гострі кути заокруглюють визначеними радіусами, якщо ці кути не відносяться до форми майбутнього профі-

лю. Розміри 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).

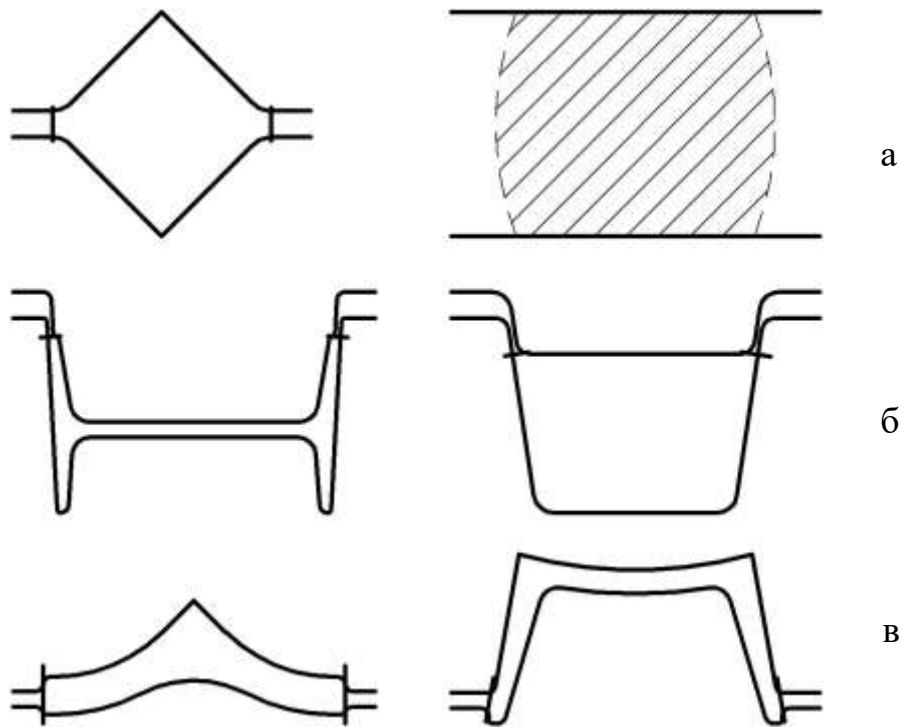
Відкриті калібри – це калібри, лінія розділу яких знаходиться в межах середньої частини по висоті калібру (рис. 6.5, а).

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).

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



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

Рисунок 6.5 – Класифікація калібрів за конструкцією

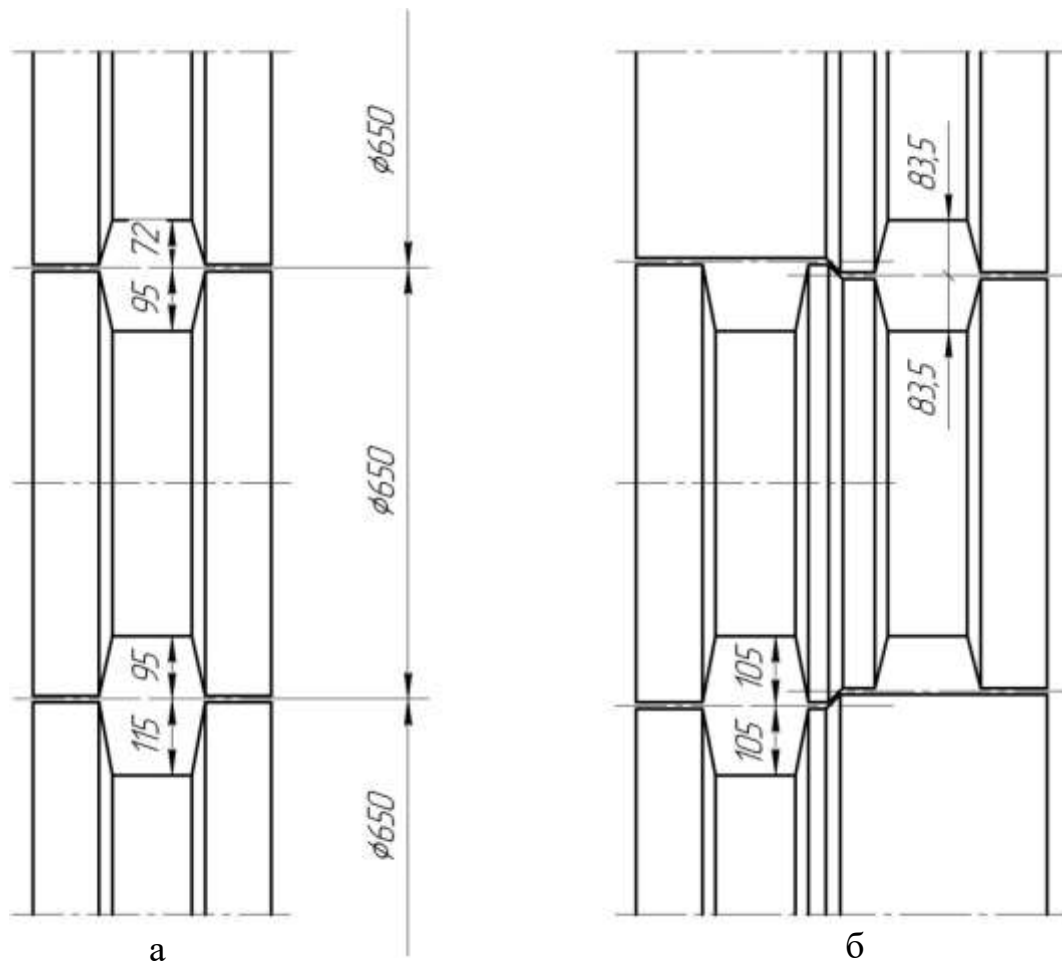


Рисунок 6.6 – Калібри з однією віссю симетрії

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).



Рисунок 6.7 – Асиметричні калібри



а – сполучені; б - несполучені

Рисунок 6.8 – Калібри кліті тріо

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

Використання сполучених калібрів дає можливість розмістити велике 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 бу-

дуть 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 «калібровки валків» входить визначення діаметрів верхнього і нижнього валків, розташування калібрів на бочці валка, 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 2500, 3600, 4500.

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

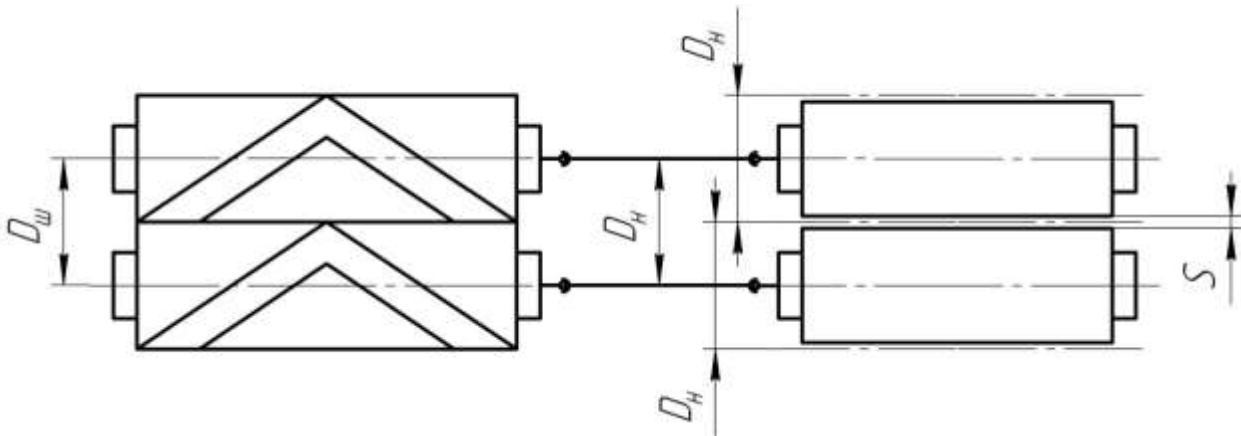


Рисунок 7.1 – Діаметри шестеренних і робочих валків

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

При проектуванні кліті в якості вихідного розміру приймають D_{θ} . Номінальний діаметр D_i валків приймають на 5% більше розміру D_{θ} , що необхідно для компенсації зносу валків. Мінімальний діаметр валків (після всіх

переточувань) допускається на 10% менше номінального діаметра або на 5% менше .

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

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

Діаметрами D_H і $D_{ш}$ визначаються кути перекосу шпинделів. 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 перевірочних розрахунків умов захвату штаби 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 струменів на кожному з валків.

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

Необхідно враховувати, що 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 місцевого розширення. 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 для попереднього розрахунку калібровки профілів приймаються на підставі величини припустимої глибини струменів на діючих станах, тобто $\frac{h_k}{D} = 0,16 \div 0,25$.

Після розрахунку калібровки валки обов'язково перевіряються 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 $D_{\text{в}}$ і нижніх $D_{\text{н}}$ валків:

$$1) D_{\text{в}} > D_{\text{н}}; \quad 2) D_{\text{в}} = D_{\text{н}}; \quad 3) D_{\text{в}} < D_{\text{н}}.$$

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:

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

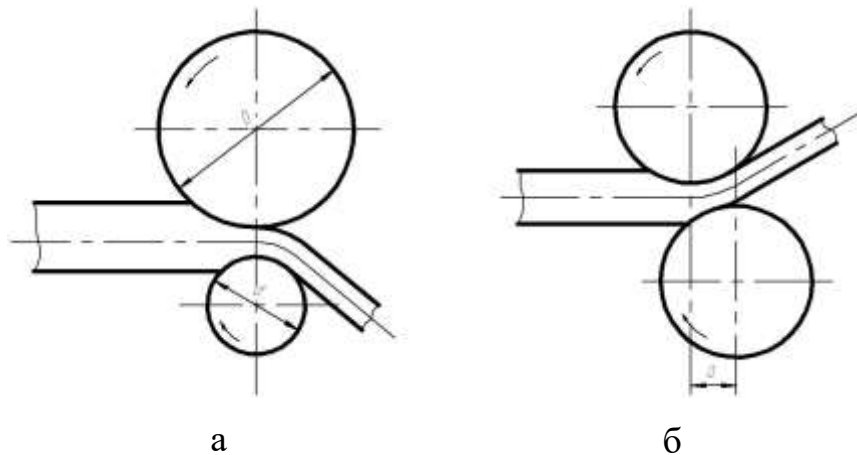
де S — зазор між валками.

Для нових валків:

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

Прокатка у валках з різними діаметрами супроводжується вигином штаби, що прокатується, убік валка з меншим діаметром (рис. 7.2, а). Пояс-

нюється це різницею окружних швидкостей поверхні валків при однаковій їхній частоті обертання.



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

Рисунок 7.2 - Різні випадки вигину штаб

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

Розрізняють верхній ΔD_v і нижній ΔD_n тиск. При верхньому тиску верхній валок має більший діаметр, при нижньому – навпаки.

Верхній тиск:

$$\Delta D_v = D_v - D_n . \quad (7.7)$$

Нижній тиск:

$$\Delta D_n = D_n - D_v . \quad (7.8)$$

Слід зазначити, що на вигин штаби впливають і інші фактори, що приводять до того, що навіть при 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 слябі-

нгах застосовують нижній тиск до $15 \div 20$ мм, що охороняє 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 приходить 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**.

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:

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

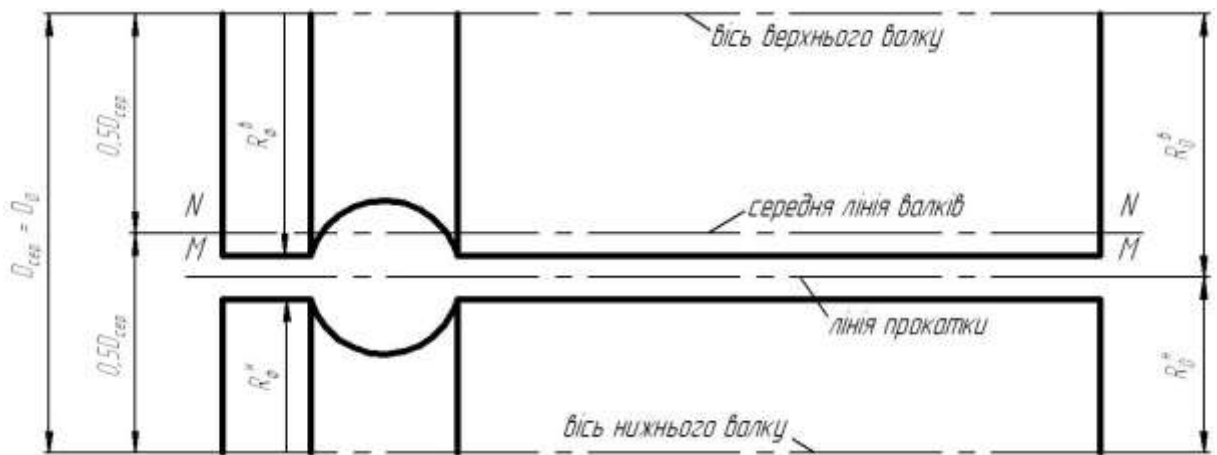


Рисунок 7.3 - Розташування середньої лінії валків і лінії прокатки

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

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

де $D_{\text{ф}}^{\text{в}}$, $D_{\text{ф}}^{\text{н}}$ — фактичний діаметр верхнього і нижнього валків;

S — зазор між валками.

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:

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

При верхньому тиску, коли $D_{\text{в}} > D_{\text{н}}$, лінія прокатки розташована нижче середньої лінії валків, при нижньому тиску, коли $D_{\text{н}} > D_{\text{в}}$ - 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 струменів 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.

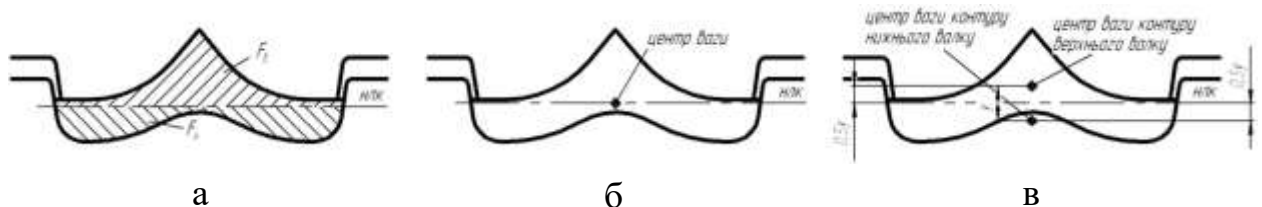
Відомо багато методів визначення НЛК, що запропоновані вченими-прокатниками, наприклад: Старченко, Даля, Кучко й так далі. Проте всі вони можуть бути зведені до наступних способів:

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 $F_v = F_n$.
2. НЛК проводиться через центр ваги калібру, що 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 центра ваг контурів в кожному валку*

Рисунок 7.4 - Розташування нейтральної лінії калібру

Одним з найбільш простих та поширених методів визначення НЛК є проведення його через центр ваги 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:

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

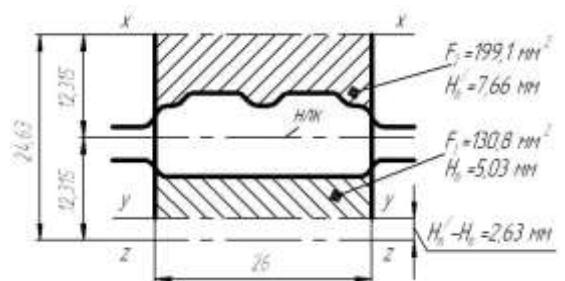


Рисунок 7.5 – До визначення НЛК за центром ваги

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 y-y та z-z). Середня лінія між x-x та z-z буде НЛК.

7.5. Визначення ширини бортів 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 бортів.

Ширина середніх бортів $V_{\text{сер}}$ залежить від глибини струменю 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 монтаж-на схема валків може бути виконана декількома способами:

1. На валках даної кліти розміщують калібри тільки одного типорозміру.
2. На одному комплекті валків маєтся сполучення калібрів 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 повинні бути 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 валків» входить розташування калібрів на валку, визначення діаметрів верхнього і нижнього валків, розмірів крайніх і середніх бортів. 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 уявленої горизонтальної лінії калібру.

Для забезпечення прямолінійного виходу штаби з валків нейтральна лінія калібру на кресленні співпадає із середньою лінією 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 (рис. 7.6). Для даного випадку на рис. 7.6 середня лінія валків, нейтральна лінія калібру і лінія прокатки повинна знаходитися на одній лінії.

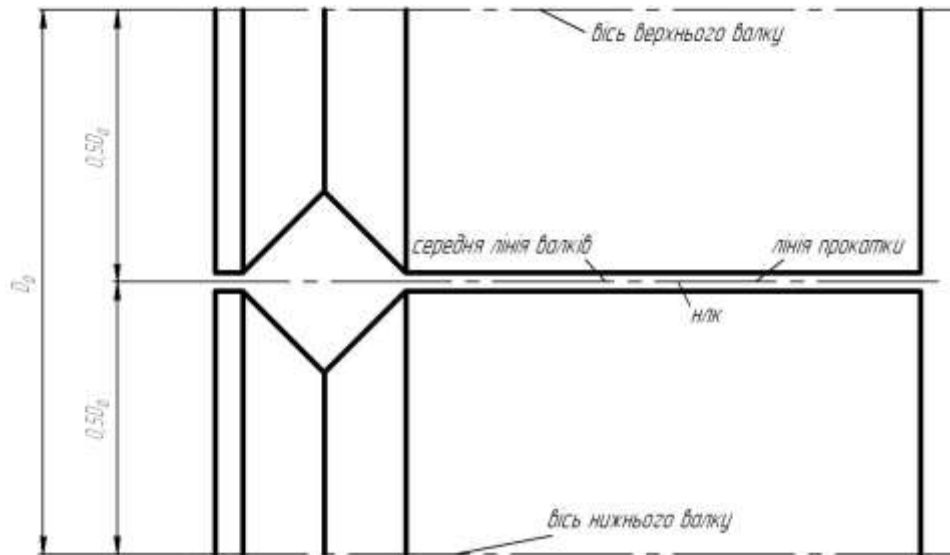


Рисунок 7.6 - Розташування калібру при відсутності тиску валків

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. 7.7).

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:

$$x = \frac{\Delta D_{\text{в}}}{4}. \quad (7.17)$$

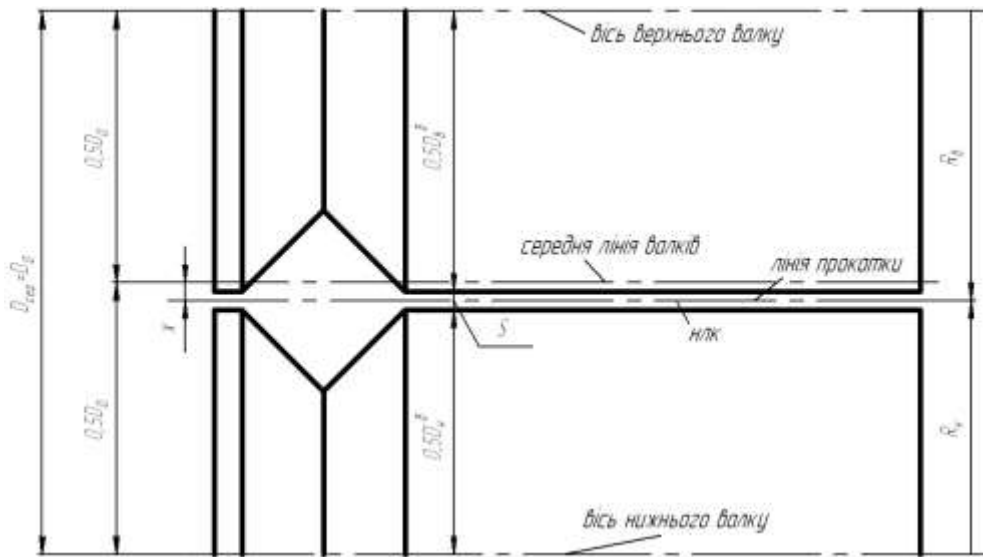


Рисунок 7.7 - Розташування калібру при верхньому тиску валків

Аналогічно, при нижньому тиску:

$$x = \frac{\Delta D_{\text{н}}}{4}. \quad (7.18)$$

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.

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. 7.6):

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

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:

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

З креслення калібру (рис. 7.8):

$$S = 6 \text{ мм}; \quad h_{\text{р}} = 10 \text{ мм}; \quad b_{\text{к}} = 40 \text{ мм}.$$

Ширина ввідної коробки

$$B_{\text{кор}} = 250 \text{ мм}.$$

Матеріал валків — чавун.

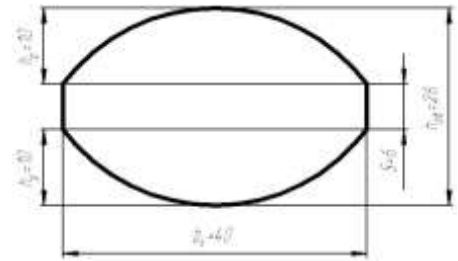


Рисунок 7.8 — Овальний калібр

Завдання:

Зробити креслення валків з калібрами (рис. 7.8) для прокатки з вказаним тиском.

Розв'язання:

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

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

потім за формулою (7.21) знаходимо діаметр нижнього валку:

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

перевіряємо правильність розв'язання за формулою (7.20):

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

Таким чином, діаметри валків по буртах визначені правильно.

Визначаємо діаметри валків по вершинах калібру.

Діаметр верхнього валка:

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

Діаметр нижнього валка:

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

Перевіряємо правильність розв'язання за формулою (7.20):

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

Таким чином, діаметри валків по вершині калібру визначені правильно.

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

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

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

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

Приймаємо:

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

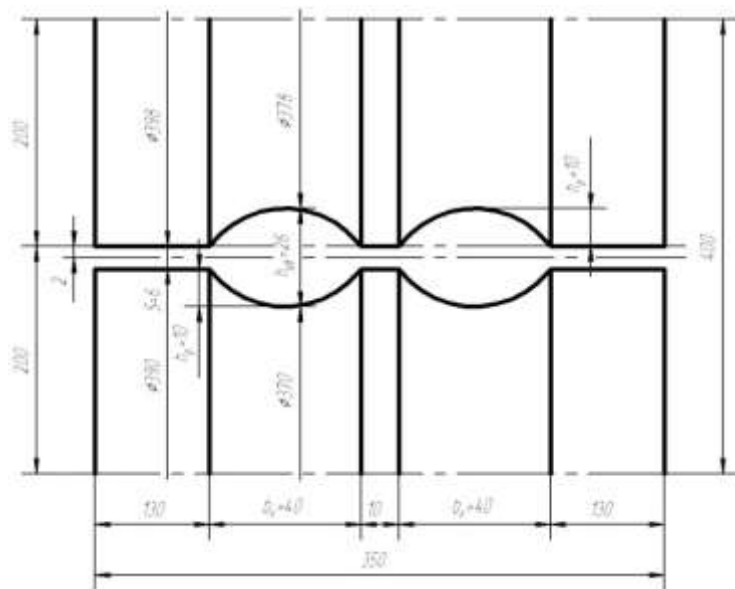


Рисунок 7.9 - Креслення валків з овальними калібрами

За отриманими результатами виконуємо креслення валків (рис. 7.9).

Приклад №2

Дано:

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

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

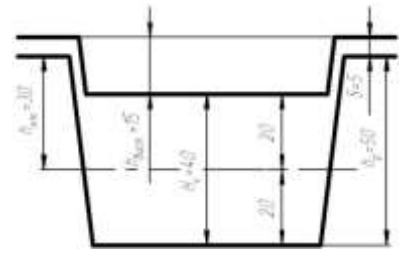


Рисунок 7.10 -
Штабовий калібр
закритого типу

Завдання:

Визначити діаметри валків в характерних перерізах. Побудувати креслення валків.

Розв'язання:

З креслення (рис. 7.10) визначаємо діаметри валків по буртах при умові, що тиск валків дорівнює нулю:

$$D_H^6 = 2 \cdot (0,5 D_{\text{сер}} + h_{\text{НЛК}}) = 2 \cdot (250 + 30) = 560 \text{ мм};$$

$$D_B^6 = 2 \cdot [0,5 D_{\text{сер}} - (h_{\text{НЛК}} + S)] = 2 \cdot [250 - (30 + 5)] = 430 \text{ мм}.$$

Перевіряємо:

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

Таким чином, діаметри валків по буртах визначені вірно.

Визначаємо діаметри валків по дну калібру:

$$D_{H \text{ min}} = D_H^6 - 2h_p = 560 - 2 \cdot 20 = 520 \text{ мм};$$

$$D_{B \text{ max}} = D_B^6 + 2h_{\text{вист}} = 430 + 2 \cdot 15 = 460 \text{ мм}.$$

Перевіряємо:

$$D_{\text{сер}}^{\text{II-II}} = \frac{460 + 520}{2} + 40 = 500 \text{ мм}.$$

$$v_2 = \frac{\pi n}{60} D_{k_2}, \quad (7.25)$$

де D_{k_2} — катаючий діаметр по дну струменю калібру

Фактична швидкість виходу штаби відповідає якомусь 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:

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

де F — площа штаби;

b — ширина штаби.

Приклад

Дано:

$D_{сер} = 400 \text{ мм}; S = 3 \text{ мм}; n = 500 \text{ об/хв.}, \text{ креслення калібру рис. 7.13.}$

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):

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

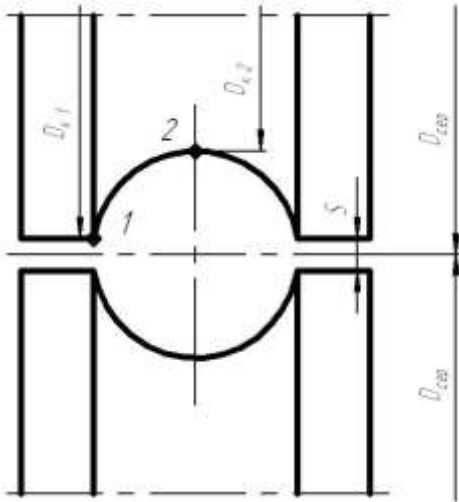


Рисунок 7.12 - Круглий калібр

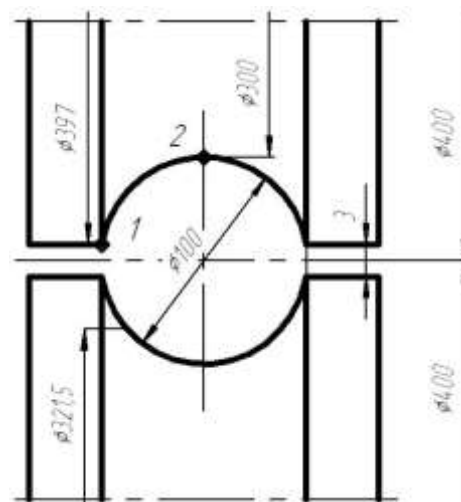


Рисунок 7.13 - Катаючий діаметр в круглому калібрі

7.8. Коефіцієнти деформації

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

Абсолютне обтиснення:

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

де H_0 , H_1 – початкова та кінцева висоти штаби.

Абсолютне розширення:

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

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 і так далі).

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 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. 7.14), та нерівномірні, наприклад: при прокатці в овальних, круглих й інших калібрах (рис. 7.15).

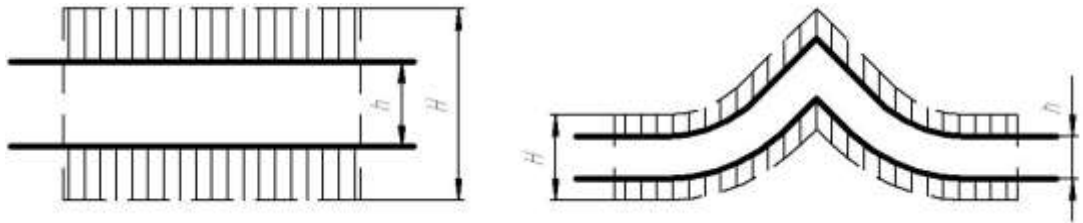


Рисунок 7.14 — Рівномірні обтиснення

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

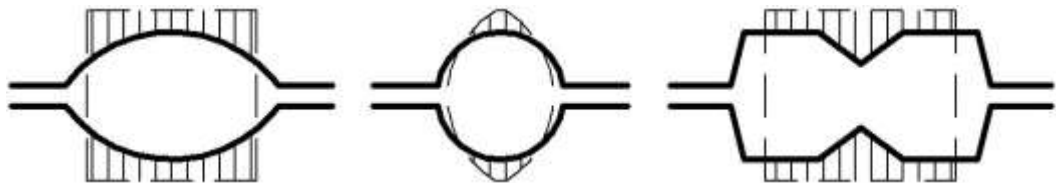


Рисунок 7.15 — Нерівномірні обтиснення

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 ви-

значення 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** (Врацкого), 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 калібрі:

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

де F_0 — площа штаби, що задається в калібрі;

B_0 — ширина штаби, що задається в калібрі.

3. Після цього визначають величину середнього обтиснення:

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

Приклад

Дано:

В круглий калібр діаметром 60 мм ($F_{\text{кр}} = 2826 \text{ мм}^2$) задається овальна штаба 56x84 мм ($F_{\text{ов}} = 3300$).

Завдання:

Визначити абсолютне середнє обтиснення.

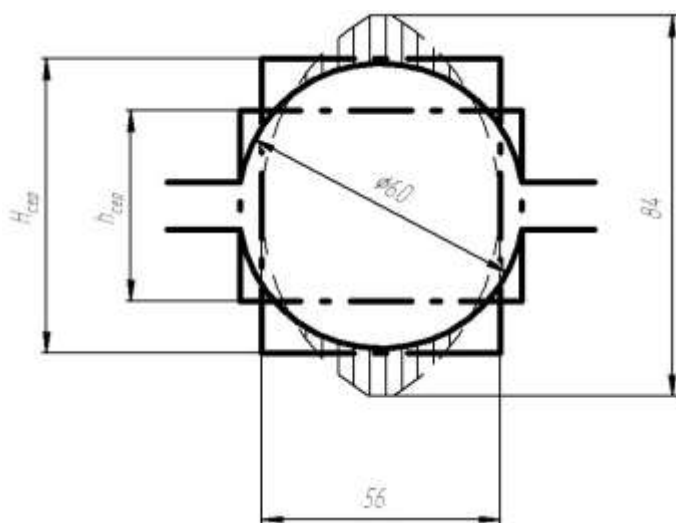


Рисунок 7.16 — Ілюстрація методу приведеної штаби

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.

Розрахунки з використанням середнього обтиснення іноді дають істотну розбіжність з фактичними вимірами. Проте застосування таких спрощених прийомів пов'язано з недостатньою теоретичною розробкою 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 головці калібру (рис. 7.17).

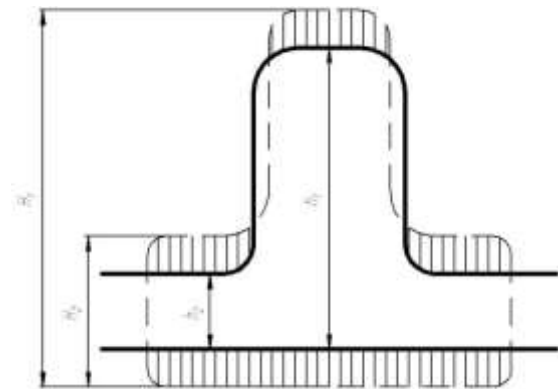


Рисунок 7.17 — Вимушене розширення

Приклад

Дано:

У тавровий калібр (рис. 7.17) задаються штаби з розмірами $H1 = 100$ мм і $H2 = 50$ мм. Після прокатки штаби мають розміри $h1 = 91$ мм і $h2 = 25$ мм.

Завдання:

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

Розв'язання:

Знаходимо коефіцієнти висотного обтиснення по голівці і по підшви :

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

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

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 кромek.

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 струменів 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 безліч формул. Усі формули за певних умов дають задовільні результати. Чим більше факторів враховує формула, тим вона 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 приведене обтиснення, отримане за методом приведеної штаби. Для розрахунку розширення в калібрах можна використовувати наступні формули:

- Бахтінова

$$\Delta b = 1,15 \frac{\Delta h}{H_0} \left(\sqrt{R_k \Delta h} - \frac{\Delta h}{2f} \right); \quad (7.49)$$

- Зібеля

$$\Delta b = (0,3 \div 0,4) \frac{\Delta h}{H} \sqrt{R_k \Delta h}; \quad (7.50)$$

де Δh — абсолютне обтиснення;

H_0 — початкова висота штаби;

R_k — катаючий радіус;

f — коефіцієнт тертя.

А також багато інших методик.

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.

Як доказ 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, що зменшує кількість розривів усередині зливка, а також скорочується кількість проходів, що у свою чергу приводить до збільшення температури кінця прокатки. А чим

вище температура прокатки, тим менша ймовірність утворення тріщин, воло-
совин, розривів.

З розвитком технології неперервного прокатування, що дозволяє збері-
гати високу температуру кінця прокатки, доведено, що різниця в припусти-
мих 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 пере-
вищенні припустимих напружень валок зламується.

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

Після розрахунку калібровки профілю і валків, стають відомі обтиснен-
ня і ширина штаби по проходах, а також розміри діаметрів валків по каліб-
рах. На підставі практичних чи розрахункових даних визначаються темпера-
тури прокатки по проходах. Після цього визначається сила прокатування:

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

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

$B_{\text{сер}}$ - середня ширина осередку деформації;

R_k - катаючий радіус;

Δh - середнє абсолютне обтиснення.

Напруження вигину в бочці валка визначається, виходячи з сили прока-
тування та розмірів валків (рис. 7.18):

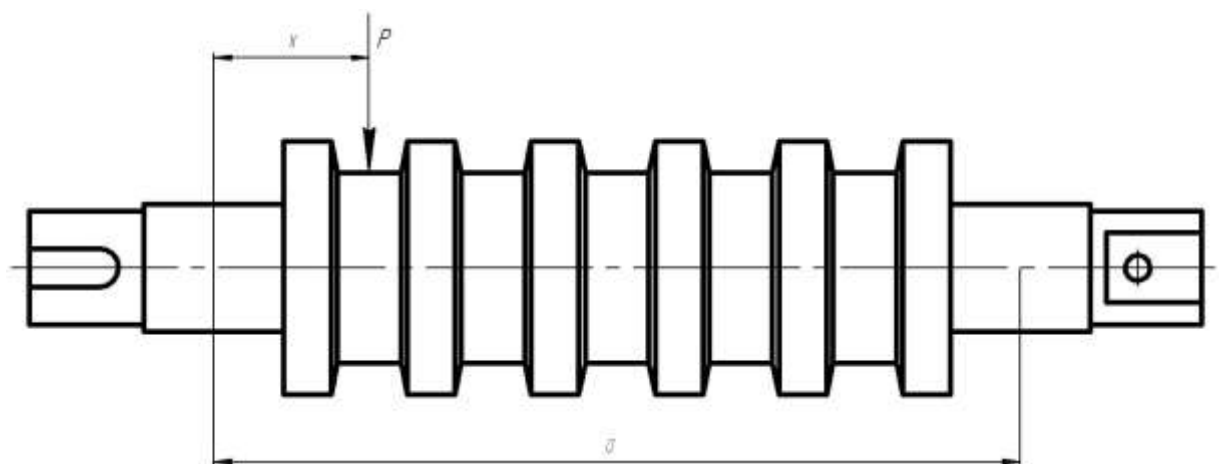


Рисунок 7.18 — Робочий валок

$$\sigma_{\text{виг}} = \frac{M_{\text{виг}}}{W_6} = \frac{M_{\text{виг}}}{0,1D_B^3}, \quad (7.52)$$

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. 7.18):

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

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]:

$$P_{\text{сер}} = \sigma_{\text{т}} \cdot n_{\sigma} \cdot n_{\text{б}}, \quad (7.54)$$

де $\sigma_{\text{т}}$ - напруження опору деформації металу, який прокатується;

n_{σ} - коефіцієнт напруженого стану;

$n_{\text{б}}$ - 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]:

$$\sigma_{\text{т}} = k_{\text{т}} \cdot k_{\text{ε}} \cdot k_{\text{υ}} \cdot \sigma_{\text{о.д.}}, \quad (7.56)$$

де $k_{\text{т}}$ - коефіцієнт, що враховує вплив температури металу;

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

$k_{\text{υ}}$ - коефіцієнт, що враховує середню швидкість деформації;

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

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:

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

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 збільшують діаметр валка (якщо це можливо) або замінюють матеріал валків на більш міцний, або виконують перерозподіл обтиснень з наступною перевіркою валків на міцність.

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 x 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 під-

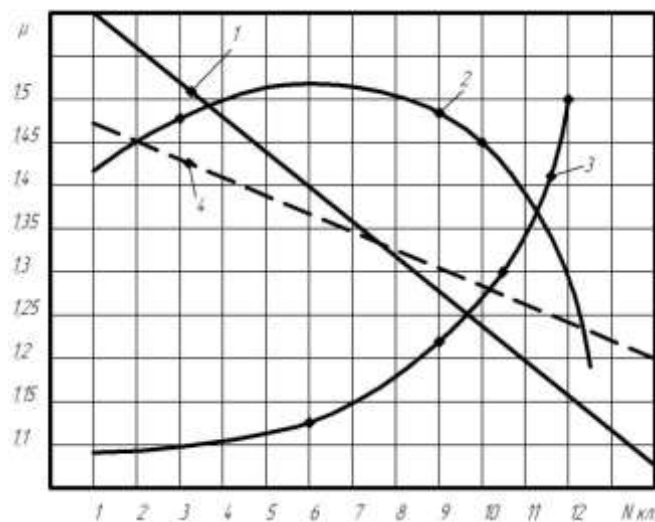
готовчих калібрів припустимий в набагато більшому ступені й, як правило, величини обтиснення в них не лімітуються.

При розробці калібровки профілю необхідно прагнути використовувати такі системи калібрів і розподіляти обтиснення по проходах таким чином, щоб був рівномірний знос калібрів по клітях. 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 далі) 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 клітях.

Типовий графік розподілу коефіцієнтів деформації по проходах для різних випадків прокатування наведений на рис. 7.19.



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

Рисунок 7.19 - Залежність розподілу коефіцієнта витяжки по проходах

Аналіз калібровок, які гарно працюють на різноманітному обладнанні, показує, що більшість калібрувальників застосовують розподіл за схемою близькою до першої (рис. 7.19). Середні значення витяжки в залежності від профілю можна обирати з табл. 7.1.

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.

Таблиця 7.1 – 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

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 виразом:

$$\Delta h = D_v \cdot (1 - \cos \alpha), \quad (7.64)$$

де D_v - катаючий діаметр валків;

α - кут захвату.

Максимальне обтиснення при граничних умовах захвату (7.63) виражається рівнянням

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

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 повсякденної 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 мі-

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

Розрахунок режиму обтиснень зручно виконувати за формулою Н.В. Літовченко [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 $\Delta h_{\max}$ - 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 збільшення шорсткості 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 прокатуку приходить обмежувати величиною мінімального обтиснення, хоча за умовами технології іноді бажано мати обтиснення нижче застосовуваних. Обмеження нижньої межі обтиснення викликає-

ся 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. 7.20).

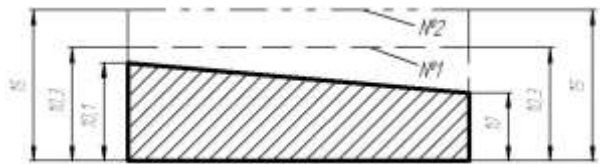


Рисунок 7.20 – Прокатування в перекошених валках

Завдання:

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

Розв'язання:

Подовження:

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

де η - коефіцієнт висотної деформації (7.30).

Коефіцієнт висотної деформації по лівій стороні штаби №1:

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

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 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.

7.14. Системи витяжних калібрів

Для зменшення перерізу штаби, що прокатується, застосовують витяжні калібри різноманітної форми. У залежності від діаметру валків, форми кінцевого перерізу штаби та необхідних коефіцієнтів витяжки застосовують витяжні калібри різної форми у визначеній послідовності.

Система «ящичний прямокутник - ящичний квадрат»

Звичайно середній коефіцієнт витяжки для системи ящичних калібрів знаходиться у межах $1,05 \div 1,5$; коефіцієнт витяжки від квадрата до квадрата (сумарний коефіцієнт витяжки для пари калібрів) - $1,1 \div 2,2$. 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. 7.21):

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

Преваги системи:

1. Відносно мала глибина струменів.
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. Штаба 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» – різновид (окремий випадок) системи «ящичний прямокутник — ящичний квадрат» (рис. 7.22).

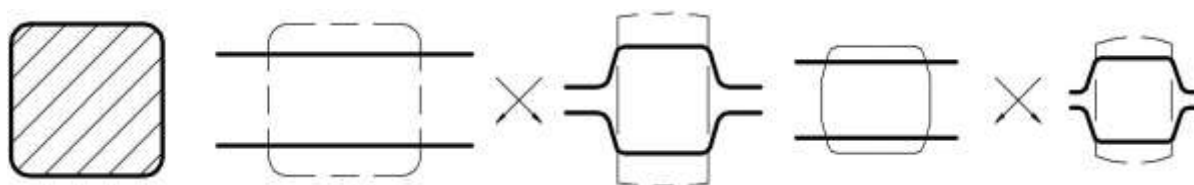


Рисунок 7.22 - Схема прокатування за системою калібрів «гладка бочка - ящичний квадрат»

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 струменя (рис. 7.23):

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

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

b_0 - ширина штаби, що задається в калібр.

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 $(0,95 \div 1,00)$. При ви-

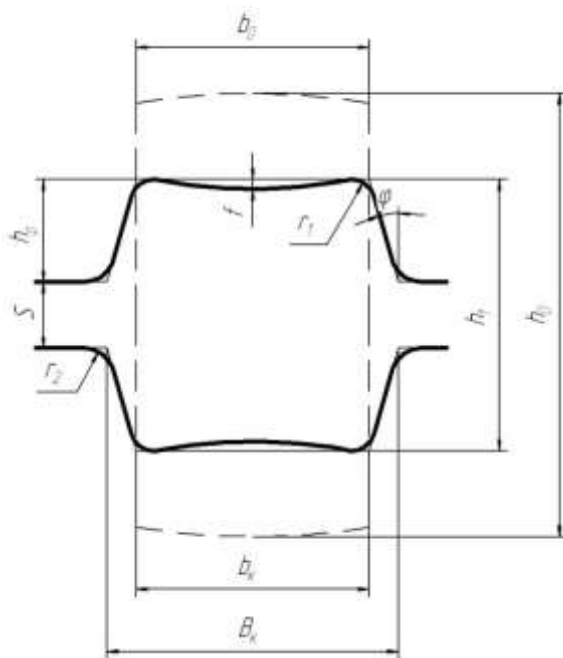


Рисунок 7.23 - Побудова ящичного калібру

користанні ящичного калібру для прокатування штаби за декілька проходів або прокатування розкатів різних розмірів найбільш важливою умовою стає вірне 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 (блємінги, слябінги тощо), їхня висота приймається, виходячи з умов міцності валків. Так, на валках блємінгу в залежності від номінального діаметру валків розміщують ящичні калібри висотою $160 \div 240$ мм.

Глибина струменю 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 струменю;

$\operatorname{tg} \varphi$ - 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. 7.23). 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. 7.24) дозволяє одержувати великі витяжки (в овальному калібрі до 1,3 ÷ 2,0, у квадратному — до 1,6), забезпечує швидке зменшення перерізу штаби, яка прокатується, 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 навзнаки. 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.

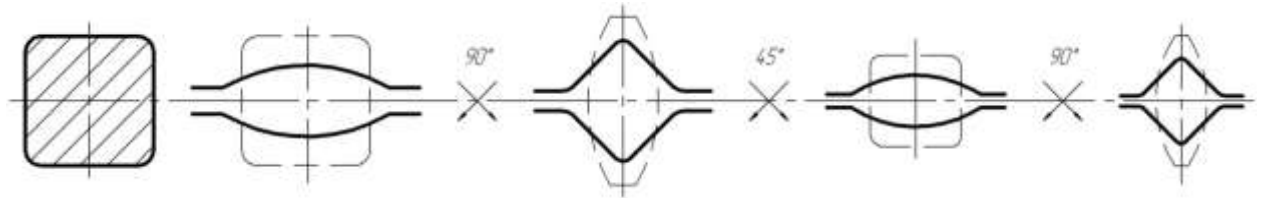
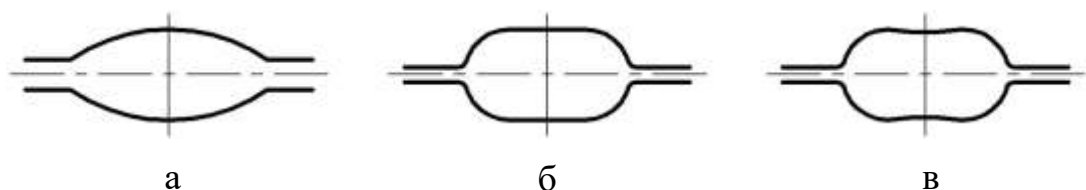


Рисунок 7.24 - Схема прокатування за системою калібрів
«овал - квадрат»

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 клітках (калібрах);
3. Нестійкість овальної штаби в квадратному калібрі.

На практиці для зменшення нерівномірності розподілу навантажень по клітках та для збільшення коефіцієнту витяжки в квадратному калібрі застосовують пласкі овали та овали з увігнутим обрисом (рис. 7.25).



*а — нормальний (однорадіусний) овал; б — плаский овал;
в — овал з увігнутим дном*

Рисунок 7.25 - 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 проволочних 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 проволочних станів. Шестикутні калібри є різновидом овальних (рис. 7.26).

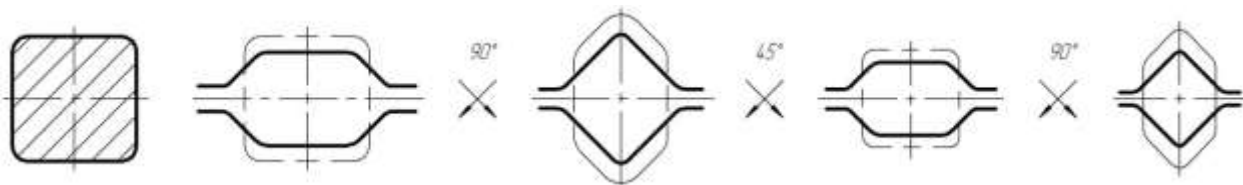


Рисунок 7.26 - Схема прокатування за системою калібрів «шестикутник - квадрат»

Переваги системи «шестикутник — квадрат» у порівнянні з системою «овал - квадрат»:

- рівномірність обтиснення по ширині калібру, що збільшує стійкість калібру;
- легше тримати шестикутник у проводках;
- велика витяжна здатність системи;
- спрощується розточування валків та конструкція валкової арматури.

Система «ромб - квадрат»

Система «ромб - квадрат» застосовується в основному на середньосортних, дрібносортових і неперервно-заготовочних станах як витяжна система калібрів, так і для прокатування спеціальних квадратних профілів. Основна її перевага полягає в тім, що квадратні профілі мають правильні за конфігурацією перерізи з гострими кутами (рис. 7.27).

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 вірну геометричну форму та високу точність розмірів.

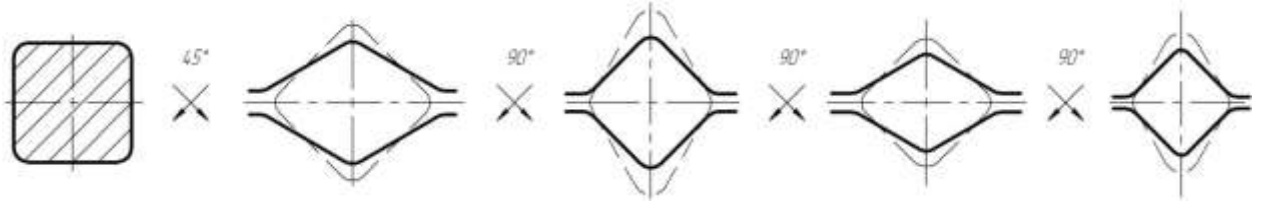


Рисунок 7.27 - Схема прокатування за системою калібрів
«ромб - квадрат»

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 струменів калібрів, що обмежує застосування такої системи на крупносортних станах через зменшення міцності валків.
2. В ромбічних калібрах погано осипається 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° . Ця система застосовується у даний час рідко, в основному для прокатування легованих сталей, коли припустимі лише незначні витяжки. Система «ромб – ромб» дозволяє отримати одиничні витяжки $\mu_{max} = 1,28 \div 1,3$, при цьому кут при вершині профілю складає $\alpha = 95^\circ \div 97^\circ$ (рис. 7.28).

Переваги системи:

1. Можливість отримання квадратної заготовки з будь-якого ромбічного калібру за два проходи з кантуванням між ними на 90° .
2. Стійке положення штаби в калібрі і відсутність проводок у ромбічних калібрах (застосовують тільки лінійки).

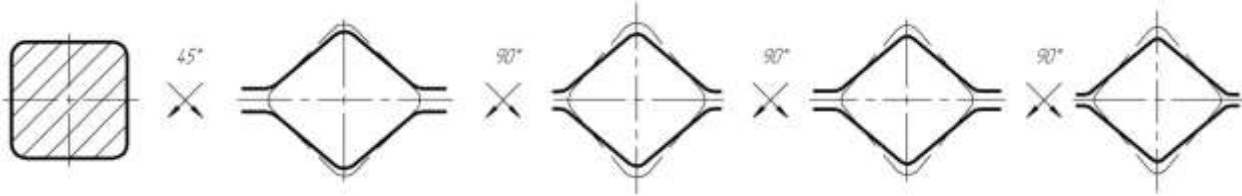


Рисунок 7.28 – Схема прокатування за системою калібрів
«ромб - ромб»

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.

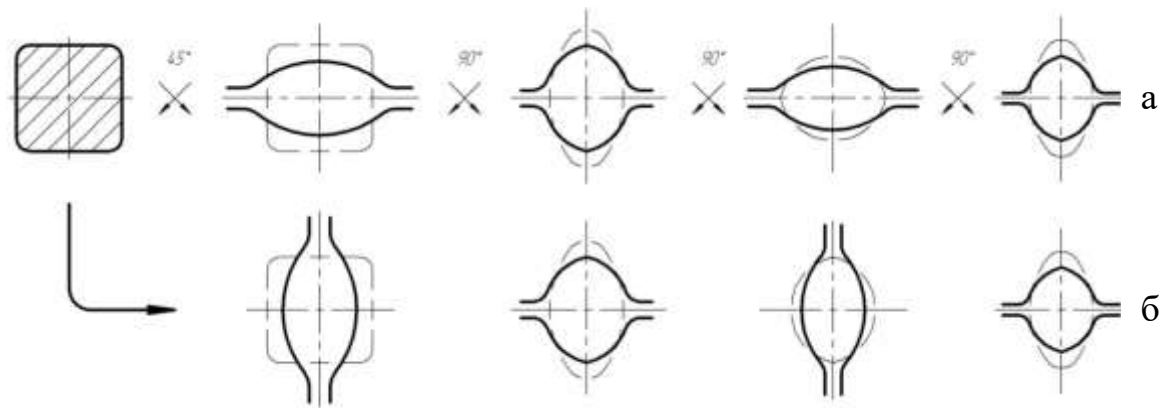
Система «овал - ребровий овал»

Система витяжних калібрів «овал - ребровий овал» (овал - вертикальний овал, овал - овал) застосовується в основному на неперервних дрібносортних, середньосортних і проволочних станах. При використанні цієї системи на штабі практично відсутні гострі ребра, тому розподіл температури по перерізу близький до рівномірного.

Схеми прокатування з використанням системи «овал - ребровий овал» наведені на рис. 7.29. Якщо стан складається тільки з горизонтальних клітей, то після кожного проходу виконують кантування розкату на 90° (рис. 7.29, а). Ребровий овал в звичайному овалі прокатується в положенні навзаки. 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 клітями не потрібно (рис. 7.29, б). Звичайні овали, як правило, розміщують у вертикальних клітях, а реброві овали - у горизонтальних клітях. Проте на деяких підприємствах калібри цієї системи розміщують навпаки: реброві овали у вертикальних клітях, 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.



а – схема прокатування на стані з горизонтальними клітьями;

*б – схема прокатування на стані з чергуванням
горизонтальних і вертикальних клітей*

Рисунок 7.29 – Схема прокатування за системою калібрів
«овал – ребровий овал»

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. 7.30) застосовується на сучасних дровових станах, а також при прокатуванні металу зі зниженими пластичними властивостями.

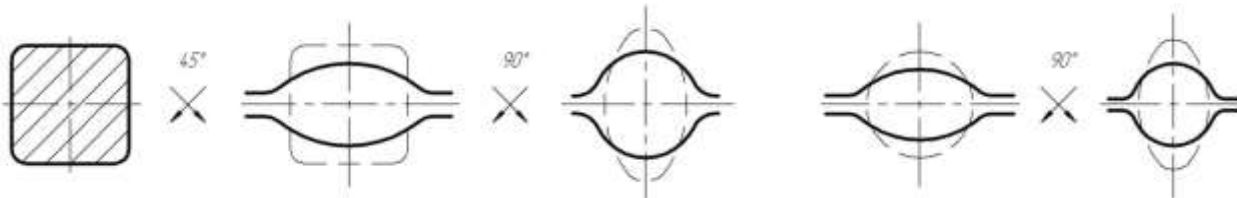


Рисунок 7.30 – Схема прокатування за системою калібрів «овал – круг»

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 зазвичай у собі містить калібри наступної форми (рис. 7.31): 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.

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 простой стану для перевалок валків, що має значення

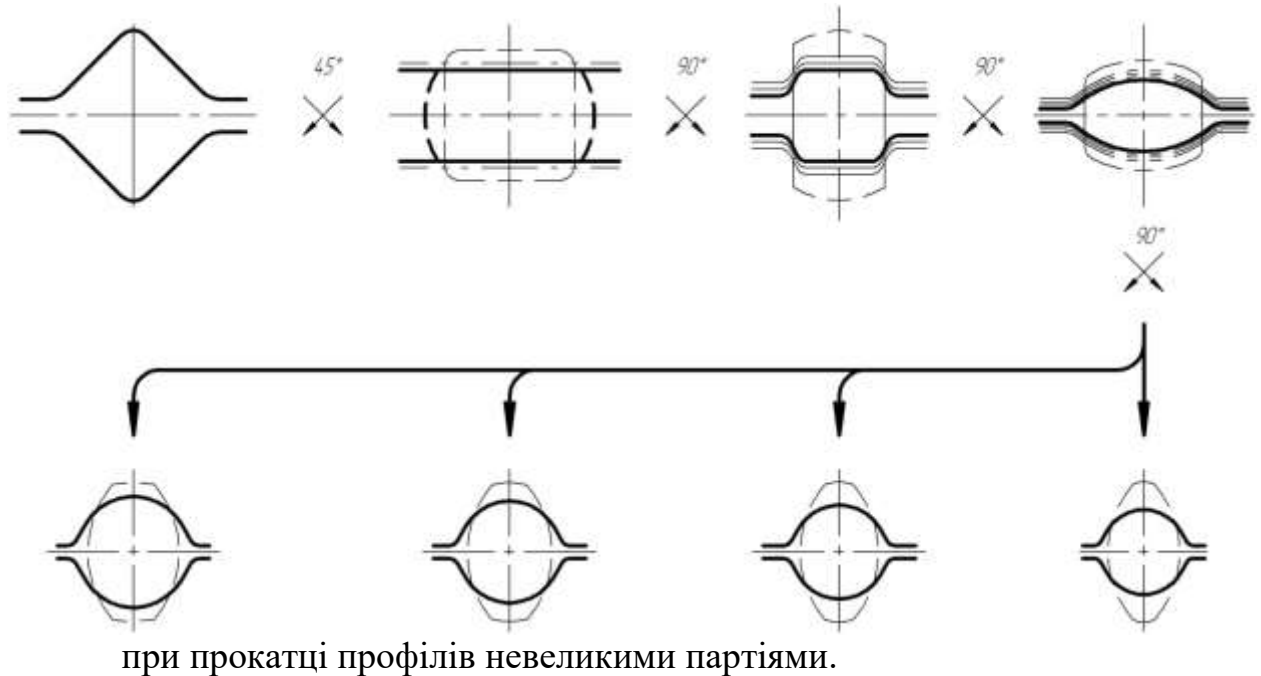


Рисунок 7.31 – Схема прокатування за універсальною витяжною системою калібрів

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 натягнення 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:

$$\begin{aligned} F_1 \frac{\pi D_{\kappa_1} n_1}{60} (1 + S_1) &= F_2 \frac{\pi D_{\kappa_2} n_2}{60} (1 + S_2) = \\ &= F_3 \frac{\pi D_{\kappa_3} n_3}{60} (1 + S_3) = \dots = F_n \frac{\pi D_{\kappa_n} n_n}{60} (1 + S_n) = \text{const}, \end{aligned} \quad (7.82)$$

де $D_{\kappa_1}, D_{\kappa_2}, D_{\kappa_n}$ - середні катаючі діаметри валків для кожного калібру;

n_1, n_2, n_n - частота обертання валків для кожної кліті;

S_1, S_2, S_n - величина випередження для кожного калібру.

Скоротивши частини рівності на величину $\frac{\pi}{60}$, отримаємо:

$$F_1 D_{\kappa_1} n_1 (1 + S_1) = F_2 D_{\kappa_2} n_2 (1 + S_2) = \dots = F_n D_{\kappa_n} n_n (1 + S_n) = \text{const} \quad (7.83)$$

У загальному виді можна записати:

$$F_i D_{\kappa_i} n_i (1 + S_i) = \text{const} = K \quad (7.84)$$

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:

$$F_1 D_{\kappa_1} n_1 = F_2 D_{\kappa_2} n_2 = \dots = F_n D_{\kappa_n} n_n = \text{const},$$

чи в загальному виді:

$$F_i D_{\kappa_i} n_i = \text{const} = K. \quad (7.85)$$

У зв'язку з відхиленнями від технології в практичних умовах дуже важко 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 застрягання 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 утяжки.

Тому на станах установлюють спеціальні петльові столи та прокатку прагнуть вести без натягнення 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: по ходу 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

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:

$$y_{cx} = \frac{m}{C}; \quad (7.83)$$

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.

При розрахунках калібровок нових профілів необхідно прагнути до максимально можливого використання вже наявних калібрів для прокатки інших профілів. Однак для фланцевих профілів часто приходится використовувати власні калібри від першої до останньої кліті.

Для кожного профілю на стані повинна бути своя оптимальна заготовка, на якій досягаються кращі техніко-економічні показники. Звичайно ж передбачають для всього асортименту 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 бандажировані).

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 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, толвстолистових, заготовочних станах і в обтискних клітях сортових станів.

Іноді причиною недоцільності застосування чавунних валків буває поганий захват, викликаний низьким коефіцієнтом тертя.

В умовах максимальних навантажень варто застосовувати сталеві ковани валки, при трохи 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 ковані валки трохи 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) з утриманням вуглецю від 0,5 до 1,2%.

Для збільшення стійкості сталевих валків застосовується поверхнєве 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 (бандажировані) валки. Вісь такого валка виконана зі сталі, а бандаж – зазвичай з чавуну або високолегованого сплаву. Стійкість комбінованих валків у кілька разів вище, ніж сталевих. Недолік - складність у зборці, можливість сповзання бандажа щодо осі валка.

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 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 і загартування і склад валків.

На деяких заводах окремі вальцетокарні верстати або невеликі майстерні розміщують поруч зі станами так, що кожен цех має свою невелику майстерню з виготовлення та ремонту валків. Таке розташування дозволяє скоротити транспортні витрати, що пов'язані з подачею валків з майстерні на стан і зі стану в майстерню.

На інших заводах (наприклад: ММК, ММЗ, ЧерМЗ) мають centralized майстерні, що обслуговують майже всі стани заводу. Це дозволяє раціонально використовувати верстати, краще організувати працю вальцетокарів і скоротити штат інженерно технічного персоналу. Єдиним недоліком такої майстерні є складність 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, струменеві (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 струменів яких суворо фіксується (усі закриті калібри, а також відкриті калібри при багатоструменевій прокатці).

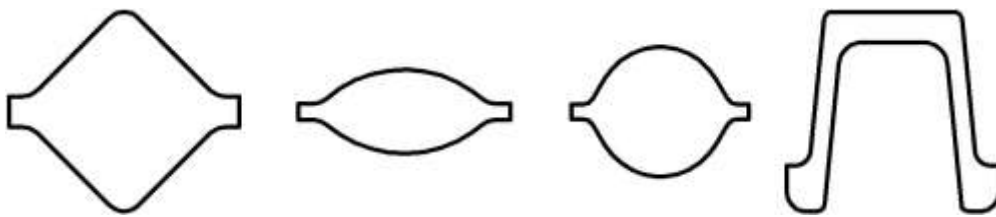


Рисунок 8.1 - Цільні шаблони

Струменеві (половинні) шаблони мають обриси, що відповідають конфігурації верхнього або нижнього струменів даного калібру (рис. 8.2). Використовують такі шаблони при виготовленні верхнього або нижнього валків, а також для контролю розмірів кожного струменя окремо.



Рисунок 8.2 - Струменеві шаблони

Виготовлення струменів на бочці кожного валка починається з виготовлення першого крайнього калібру. Тому, в залежності від форми крайнього

струменю, відповідно до калібровки валків виготовляють шаблони для крайнього калібру (рис. 8.3).

Після виготовлення крайнього калібру розточування інших струменів на бочці валка здійснюється із застосуванням крокових шаблонів (рис. 8.4).

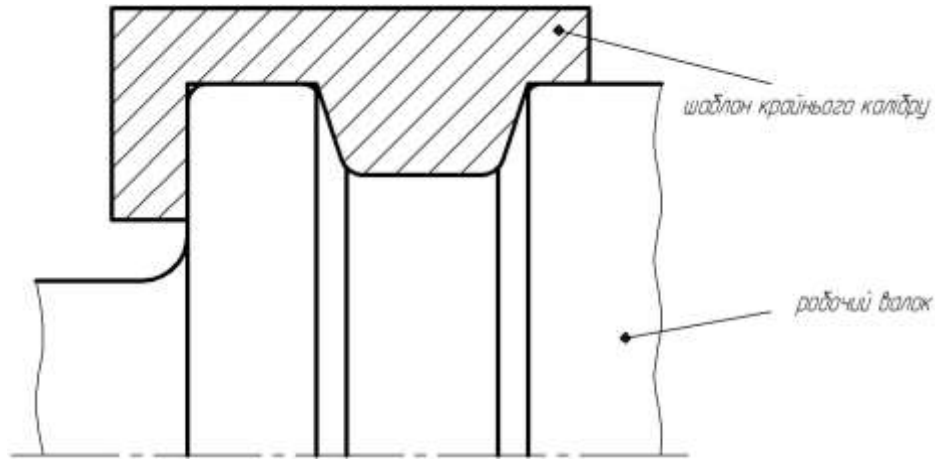


Рисунок 8.3 – Шаблон для крайнього калібру

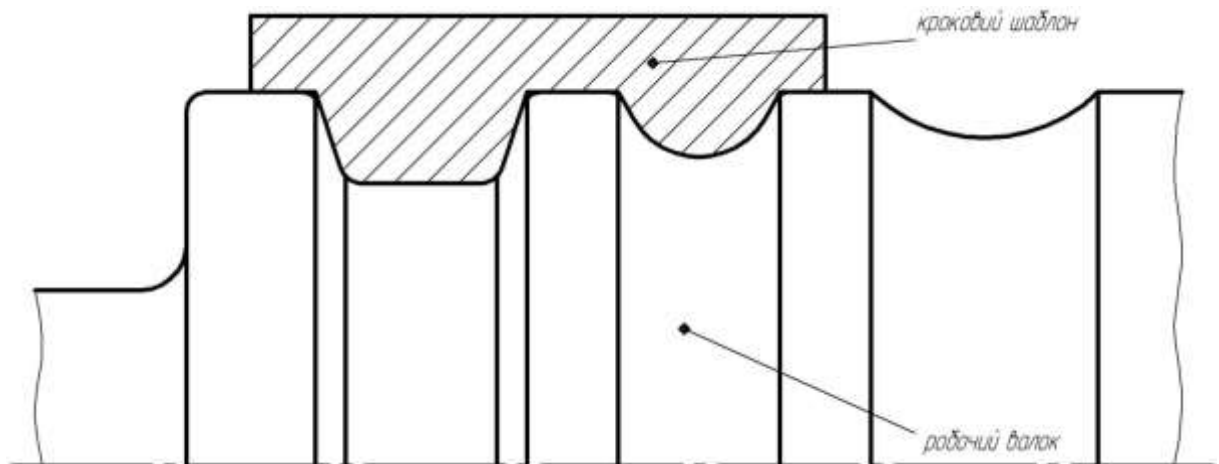


Рисунок 8.4 – Кроковий шаблон

У залежності від форми калібру та його розмірів, розточення струменів виконується різцями цільними чи таким, 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.

Вальцетокарна майстерня виготовляє також шаблони для приймання готового прокату працівниками ОТК 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 зроблена калібровочним бюро металургійного комбінату ДМК.

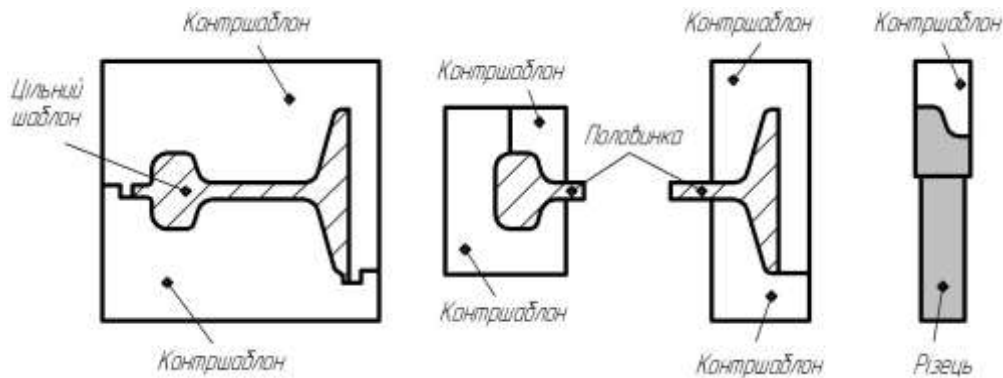


Рисунок 8.5 – Цільні та часткові шаблони, контршаблони

Інструменти, які застосовуються у вальцетокарному виробництві

Для розточення та ремонту валків основним інструментом являються різці. Форма різців визначається як конфігурацією елементу 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 струменів спочатку роблять повну підготовку валків, що полягає в обточуванні їхньої бочки і шийок. 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 струменів.

Різновидом чистових прохідних різців є прорізні, призначені для прорізання тіла валка в напрямку, перпендикулярному до його осі до визначеного діаметра.

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 струменя або його частини.

В даний час знайшли широке застосування різці, які оснащені пластинками зі швидкорізальної сталі P15 - P18 і з твердого сплаву BK4 - BK12.

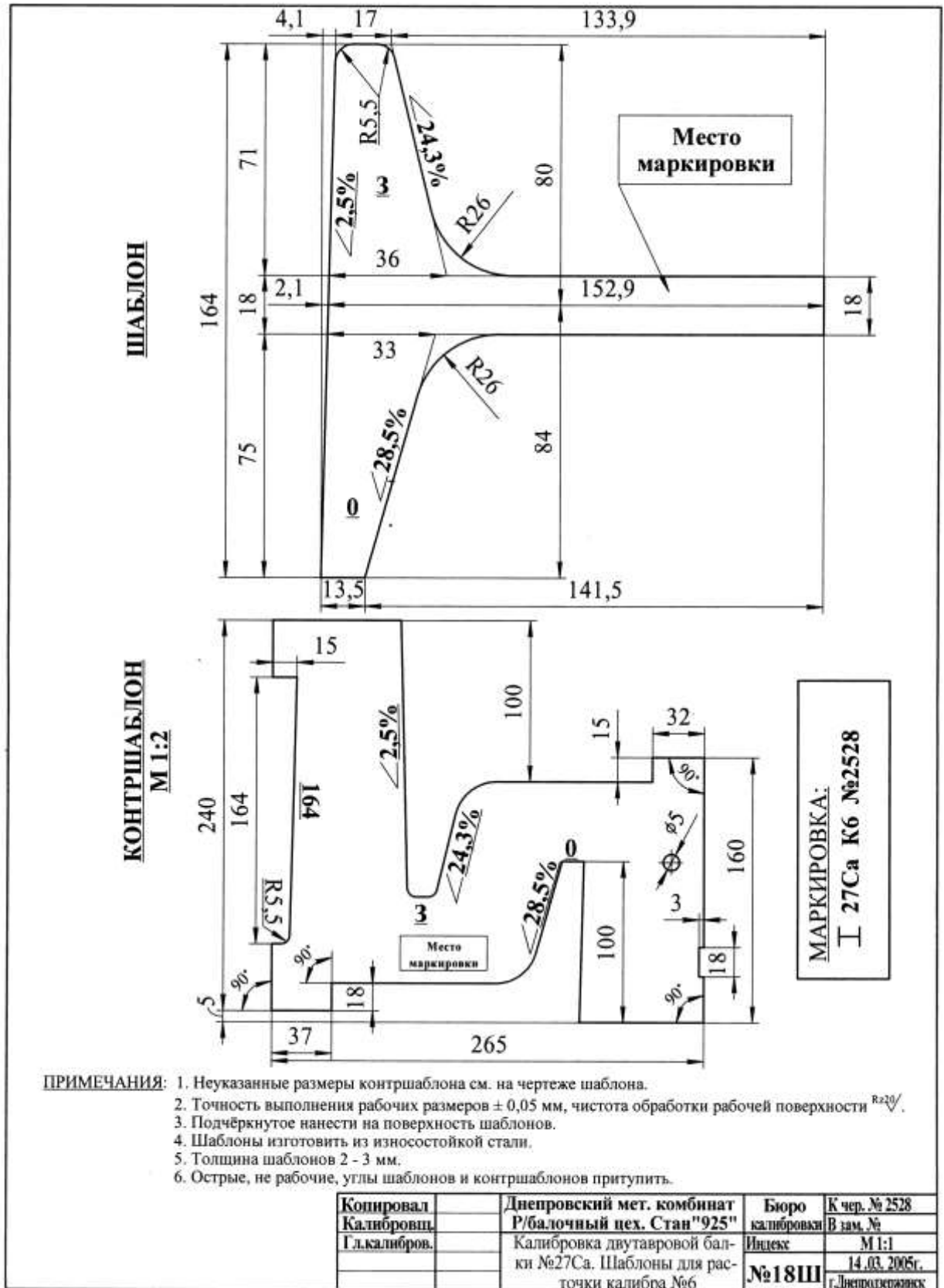


Рисунок 8.6 – Креслення шаблону та контршаблону для розточування калібру №6 згідно калібровки валків для прокатування двотаврової балки №27Са

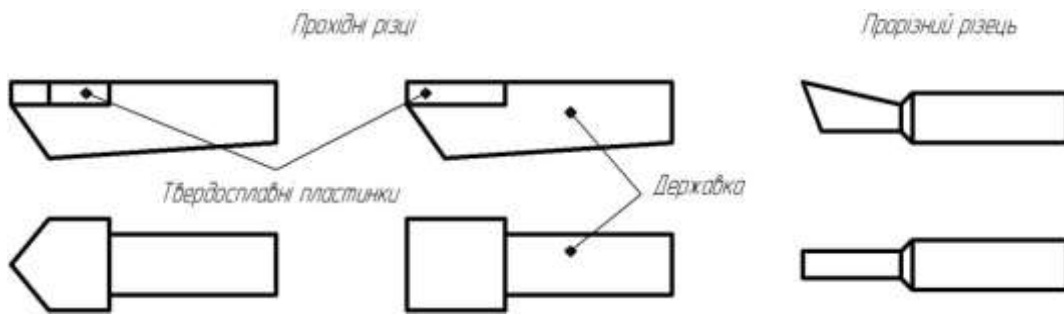


Рисунок 8.7 – Прохідні та прорізні різці

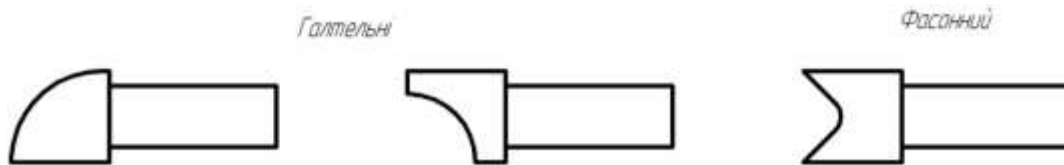


Рисунок 8.8 – Галтельні та фасонні різці

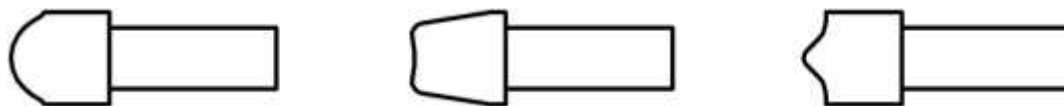


Рисунок 8.9 – Чистові різці

Державки різців заданих розмірів виконуються в ковальському відділі або цеху, потім 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 штаби у необхідному положенні при обтисненні в калібрі та кантуванні розкату після прокатування на визначений кут.

Неякісно виконана валкова арматура може стати причиною появи браку (звертання, 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 повинне 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 звалювання або скручування щодо подовжньої 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 пропускками. Ввідні лінійки використовують при прокатуванні штаб, прямокутників, двотаврових балок, кутових профілів, швелерів, рейок; а коробки - при прокатуванні круглих, квадратних та інших профілів, заготовки для яких не стійкі на рольгангу.

Лінійки або коробки кріпляться до провідкового бруса (столу), що монтується до станин кліті.

Для знімання штаби 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 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.

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 необхідність застосування верхніх проводок у ряді випадків відпадає.

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).

Фасонні проводки застосовують при прокатці кутових, зетових, квадратних, а також інших профілів невеликого розміру, що мають складну конфігурацію поперечного перерізу.

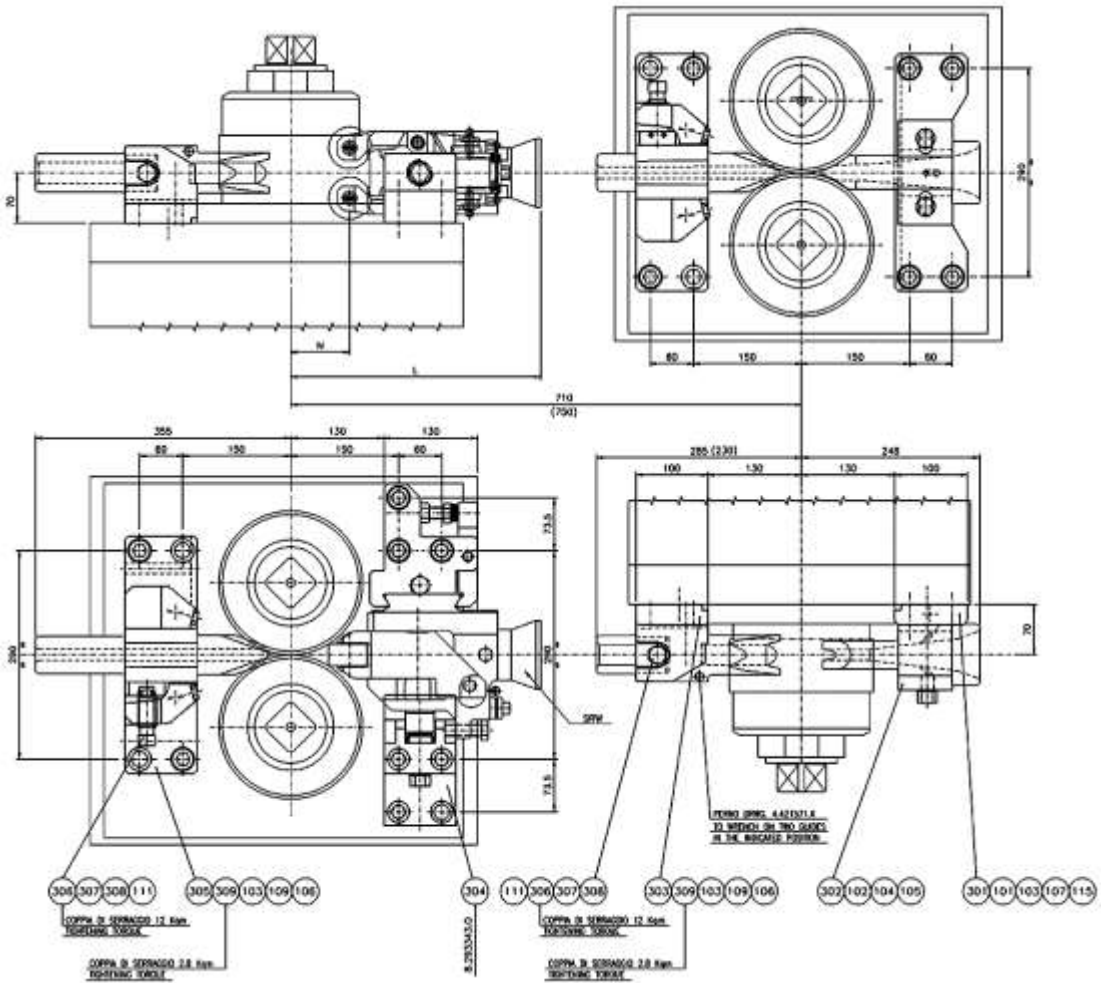


Рисунок 9.1 – Схема встановлення привалкової арматури

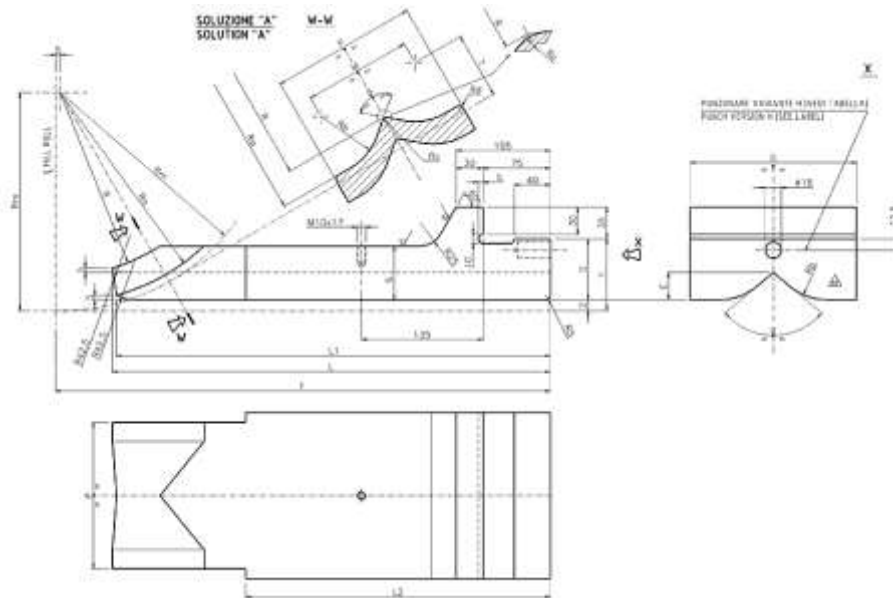


Рисунок 9.2 - Профіль робочої поверхні верхньої проводки для прокатки кутового профілю

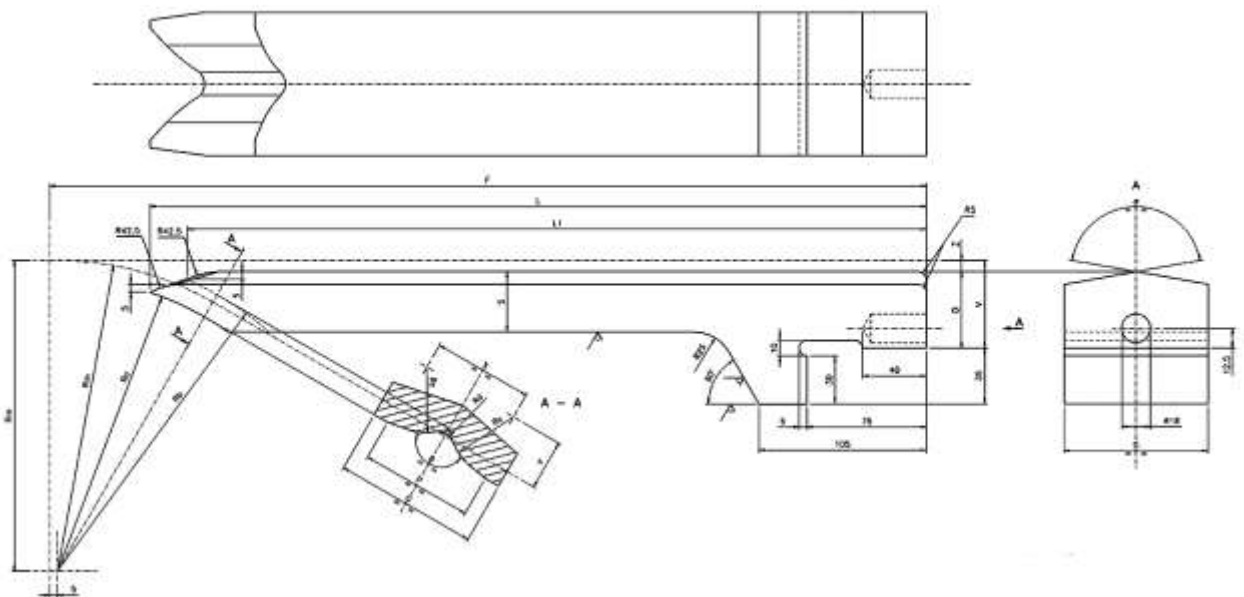


Рисунок 9.3 - Профіль робочої поверхні нижньої проводки для прокатки кутового профілю

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 сере-

дня - 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'яті.

Складені проводки - це з'єднані зварюванням або заклепками між собою дві чи три прості проводки, з метою спрощення виготовлення фасонної проводки (рис. 9.4).

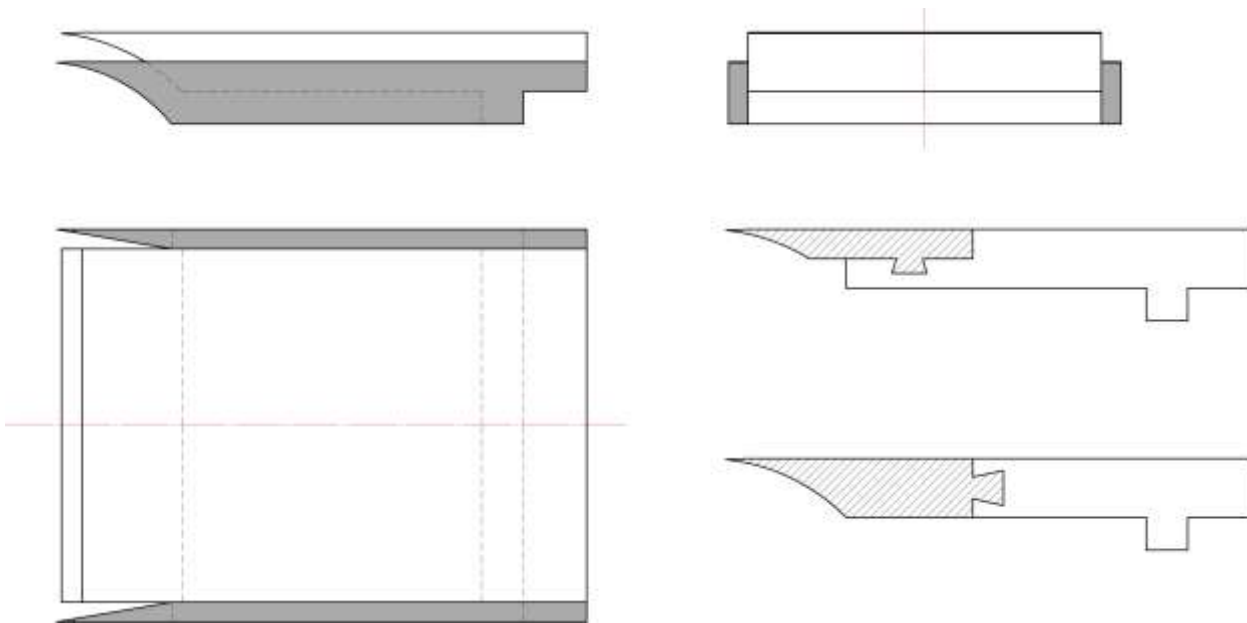


Рисунок 9.4 - Складені проводки

Проводки із від'ємними частинами застосовуються з метою підвищення терміну служби їх і полегшення ремонту. Змінними виготовляють частини, що піддаються найбільш інтенсивному зносу в процесі роботи: для вивідних пропусків - це носки та пластини, що слугують робочою поверхнею; для проводок, що кантують - це пластини, що мають гвинтову форму поверхні (рис. 9.5).

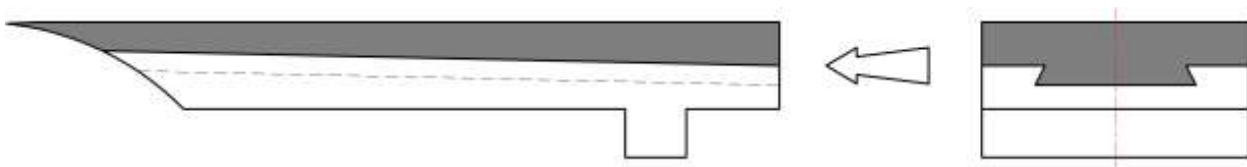


Рисунок 9.5 – Проводки із від'ємними частинами

У процесі прокатки штаби, що виходять з калібрів, стикаються з пропусками, лінійками та проводками, при цьому виникає значний тиск. У цих умовах частки металу штаби, що прокатується, можуть налипати на робочу по-

верхню пропусків або проводок. Горбки металу, що утворюються на поверхні проводок, служать причиною появи на прокатній продукції подряпин і закатувань.

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 чи так звану роликову валкову арматуру.

У конструкціях арматури з роликами тертя ковзання замінюється тертям котіння, зменшується знос робочої поверхні проводок і зменшується 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.

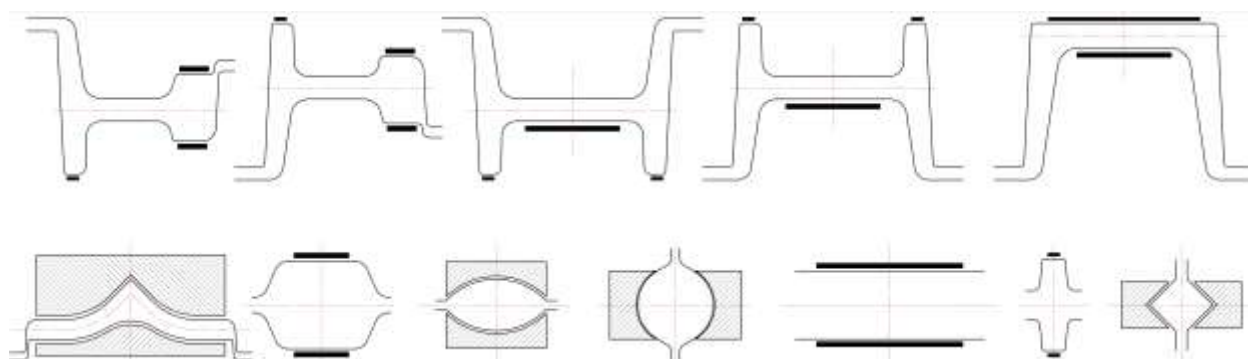


Рисунок 9.6 - Схема установки вивідних проводок для калібрів різного типу

Валкова арматура для кантування

Вивідну арматуру для кантування (рис. 9.7) установлюють на неперервних станах, коли необхідно кантувати штаби, що прокатуються, перед зада-

чею їх у наступний калібр, а відстань між клітьми не дозволяє зробити це за допомогою інших пристроїв, що використовують 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 гелікоїдальний.

Скручування виконується виступаючими площадками робочих поверхонь. Останні стикаються зі штабами в діагонально протилежних кутах їхнього перерізу для зменшення сили, що скручує штаби.

Основний недолік гвинтових проводок, що кантують, полягає в підвищеному зносі робочої поверхні, що вимагає часті зміни їх і ремонтів, а також вони часто стають причиною появи на штабах, що прокатуються, рисок, подряпин.

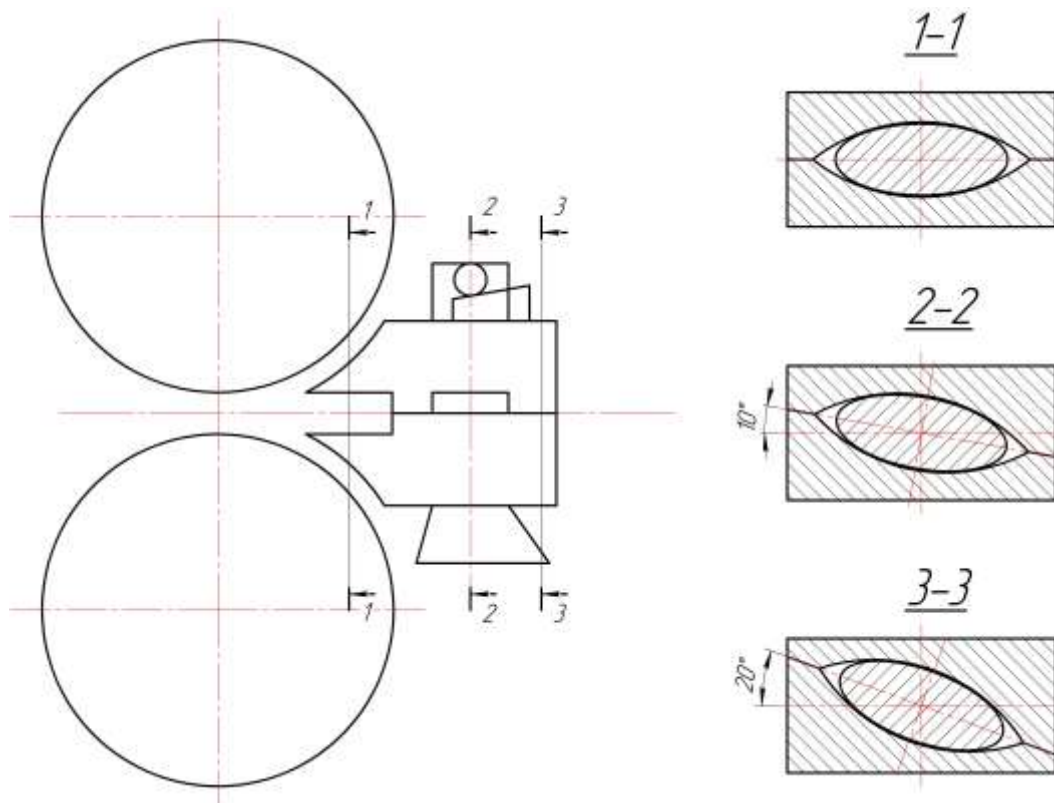


Рисунок 9.7 – Арматура ковзання для кантування

Для усунення зазначених недоліків гвинтових проводок доцільно встановлювати роликову арматуру, що кантує. Роликова арматура для кантування являє собою коробку, у якій закріплюються короткі гвинтові проводки та ролики, що кантують (рис. 9.8). Призначення проводок в цьому випадку поля-

гає в зніманні переднього кінця штаби з валків, у їхньому скручуванні та правильному спрямовуванні переднього кінця штаби до роликів, що кантують. Як тільки передній кінець штаби заходить у простір між роликами, штаба відривається від поверхні гвинтових проводок та тертя між ними та поверхнею штаби припиняється через наявність достатніх зазорів.

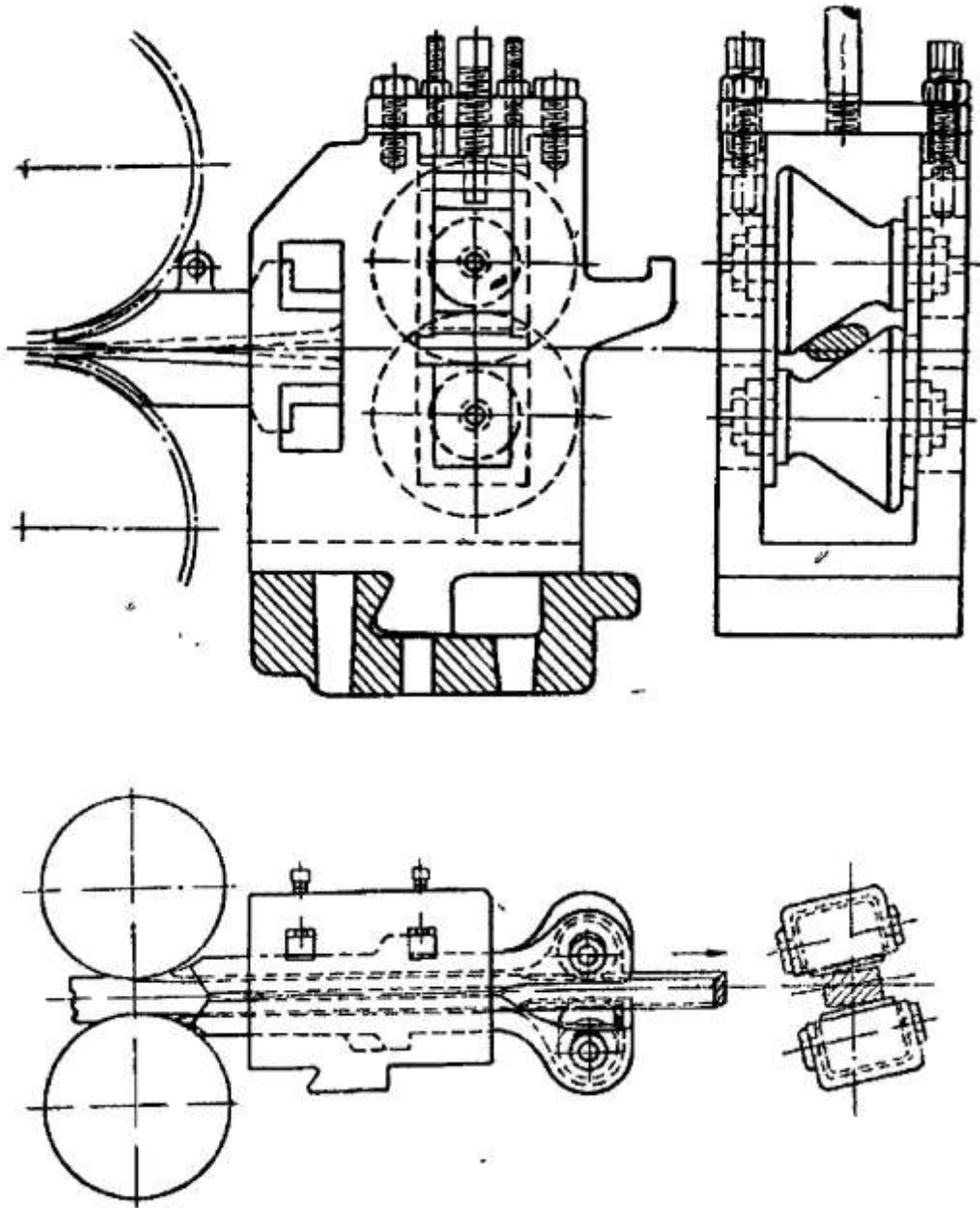


Рисунок 9.8 – Арматура кочення для кантування

Для кантування штаб на неперервно-заготовочних станах і чорнових групах сортових і проволочних станів установлюють валки, що кантують, які закріплюють на станинах робочих клітей. Валки, що кантують, мають дов-

жину бочки, яка дорівнює довжині бочки робочих валків, і таку кількість кантів, що кантують, що і на робочих валках.

Кут скручування розкату (рис. 9.9) на ділянці від робочих валків до виходу з арматури, що кантує, при необхідності кантування штаби на 90° визначається по формулі:

$$\alpha_x^0 = \frac{\ell}{(L - \ell_1)} 90^\circ,$$

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.

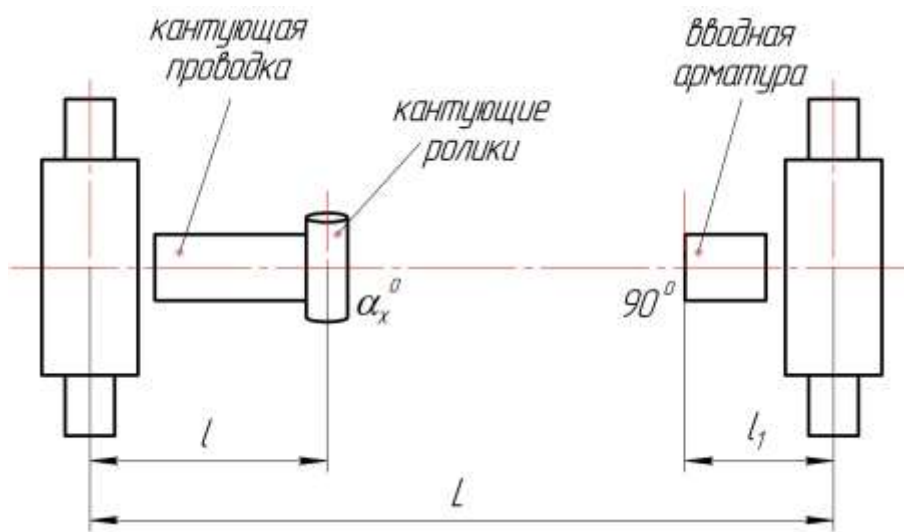


Рисунок 9.9 — Схема до визначення кута кантування

При необхідності кантування штаби на 45° у формулі (9.1) необхідно 90° замінити 45° .

Література

1. Кудрин В.А. Теория и технология производства стали [Уч. для вузов] / В.А. Кудрин. – М.: «Мир», ООО «Издательство АСТ», 2003. – 528 с.
2. Полухин П.И., Федосов Н.М., Королев А.А. и др. Прокатное производство. / Учебник для вузов. 3-е изд. — М.: Металлургия, 1982. — 696с.
3. Диомидов Б.Б., Литовченко Н.В. Технология прокатного производства. / Учебное пособие для вузов. — М.: Металлургия, 1979. — 488с.
- 4 Грудев А.П., Машкин М.Ф., Ханин М.И. Технология прокатного производства. — М.: «Арт-Бизнес-Центр», Металлургия, 1994. — 438с.
5. Чекмарев А.П., Мутьев М.С., Машковцев Р.А. Калибровка прокатных валков. / Учебное пособие для вузов. — М.: Металлургия, 1970. — 371с.
6. Диомидов Б.Б., Литовченко Н.В. Калибровка прокатных валков. / Учебное пособие для вузов.— М.: Металлургия, 1970. — 311с.
7. Смирнов В.К., Шилов В.А., Инарович Ю.В. Калибровка прокатных валков. / Учебное пособие для вузов. — М.: Металлургия, 1987. — 368с.
8. Целиков А.И., Никитин Г.С., Рокотян С.Е. Теория продольной прокатки. М.: Металлургия, 1980. — 320 с.
9. Зюзин В.И., Бровман М.Я., Мельников А.Ф. Сопротивление деформации сталей при горячей прокатке. — М.: Металлургия, 1964. — 270 с.
10. Илюкович Б.М., Нехаев Н.Е., Меркурьев С.А. Прокатка и калибровка. / Том I (Справочник). Под редакцией Б.М. Илюковича. - Днепропетровск: РИА «Днепр-ВАЛ», 2002 — 506 с.
11. Антипин В.Г., Тимофеев С.В., Нестеров Д.К., Грицук Н.Ф. и др. Прокатные станы. Справочник. В 3-х томах. Т. 1. Обжимные, заготовочные и сортопрокатные станы 500—950. — М.: Металлургия, 1992. — 429 с.
12. Фастовский Б.Г. Справочник прокатчика. — М.: Металлургия, 1972. — 304 с.
13. Кочетов И.М. Калибровка валков с применением систем развернутых калибров. - М.: Металлургия, 1971. – 112 с.

Навчальне видання

Конспект лекцій з дисципліни

ТЕХНОЛОГІЯ ПРОЦЕСІВ ОМТ:
ОСНОВИ КАЛІБРОВКИ ВАЛКІВ

Укладач: Штода Максим Миколайович

Підписано до друку 19.05.2016

Формат A4 Обсяг 3,38 др.арк.

Тираж 50 Замовлення 56

51918, м. Дніпродзержинськ, вул. Дніпробудівська, 2