

**Яхненко С. М.,
Скиданенко М. С.,
Піддубний Є. М.**

**ОБЛАДНАННЯ ЗАГОТІВЕЛЬНИХ
ТА КОТЕЛЬНО-ЗВАРЮВАЛЬНИХ ДІЛЬНИЦЬ
РЕМОНТНО-МЕХАНІЧНИХ ЦЕХІВ
ХІМІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ**

Навчальний посібник

Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет

**Яхненко С. М.,
Скиданенко М. С.,
Піддубний Є. М.**

**ОБЛАДНАННЯ ЗАГОТІВЕЛЬНИХ
ТА КОТЕЛЬНО-ЗВАРЮВАЛЬНИХ ДІЛЬНИЦЬ
РЕМОНТНО-МЕХАНІЧНИХ ЦЕХІВ
ХІМІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ**

Навчальний посібник

Рекомендовано вченою радою Сумського державного університету



Суми
Сумський державний університет
2022

УДК 66.023-049.32(075.8)

Я 90

Рецензенти:

О. О. Ляпощенко – доктор технічних наук, професор кафедри хімічної інженерії Сумського державного університету;

К. В. Сімейко – доктор технічних наук, провідний науковий співробітник відділу термохімічних процесів і нанотехнологій Інституту газу Національної академії наук (м. Київ)

*Рекомендовано до видання
вченою радою Сумського державного університету
як навчальний посібник
(протокол № 13 від 23 червня 2022 року)*

Яхненко С. М.

Я 90 Обладнання заготівельних та котельно-зварювальних дільниць ремонтно-механічних цехів хімічних виробництв : навчальний посібник / С. М. Яхненко, М. С. Скиданенко, Є. М. Піддубний. – Суми : Сумський державний університет, 2022. – 170 с.

ISBN 978-966-657-907-5

Навчальний посібник розроблений для студентів закладів вищої освіти спеціальності «Галузеве машинобудування», які навчаються за освітніми програмами: «Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів», «Комп'ютерний інжиніринг обладнання хімічних виробництв», «Обладнання нафто- та газопереробних виробництв», «Хімічне та нафтове машинобудування».

Викладено основні положення щодо організації ремонтної служби на підприємстві. Розглянуто основні технологічні операції та обладнання заготівельних і котельно-складальних дільниць ремонтно-механічних цехів хімічних виробництв.

УДК 66.023-049.32(075.8)

© Сумський державний університет, 2022

© Яхненко С. М., Скиданенко М. С.,

Піддубний Є. М., 2022

ISBN 978-966-657-907-5

ЗМІСТ

	С.
Вступ.....	5
1 Загальні положення організації ремонтної служби	6
1.1 Організація ремонтного виробництва	6
1.2 Структурні підрозділи ремонтно-механічного цеху....	8
2 Види заготовок.....	10
2.1 Матеріали, які використовують для виготовлення машин та апаратів	10
2.2 Заготовки деталей апаратів	15
Запитання для самоперевірки.....	16
3 Технологічні операції та обладнання заготівельної дільниці.....	17
3.1 Вибір та розкрій листового прокату для виготовлення корпусних деталей великогабаритних апаратів.....	17
Запитання для самоперевірки.....	19
3.2 Вибір листового прокату для виготовлення корпусу циліндричної ємності.....	19
3.3 Обладнання для правки листового й сортового прокату.	22
3.3.1 Загальні відомості про процес правки.....	22
3.3.2 Класифікація обладнання для правки прокату....	23
3.3.3 Виправлення на багатовалкових листоправильних машинах.....	24
3.3.4 Вибір обладнання для виправлення листового прокату.....	26
3.3.5 Розмічання деталей та різання металу.....	33
3.3.5.1 Види розмічання деталей.....	33
3.3.5.2 Послідовність виконання розмічання.....	36
3.3.5.3 Інструмент для розмічальних робіт.....	39
3.3.5.4 Класифікація способів та обладнання для різання металу.....	39
Запитання для самоперевірки.....	45
3.4 Вибір обладнання для прямолінійного різання.....	46

3.5 Вибір обладнання для колового різання.....	51
3.6 Технологічне обладнання для згинання і вальцювання.....	57
3.6.1 Загальні відомості про процес згинання.....	57
3.6.2 Вальцювання обичайок.....	60
Запитання для самоперевірки.....	65
3.7 Вибір обладнання для згинання листового прокату...	66
3.8 Обладнання для штампування і витягання деталей...	73
Запитання для самоперевірки.....	81
3.9 Вибір обладнання для штампування еліптичного днища..	81
4 Технологічні операції та обладнання котельно-зварювальної дільниці.....	95
4.1 Обладнання для складання зварних конструкцій.....	95
4.1.1 Складання елементів конструкцій апаратів.....	95
4.1.2 Складальні пристосування	96
Запитання для самоперевірки.....	99
4.2 Спеціальне зварювальне обладнання.....	99
4.2.1 Призначення механічного зварювального обладнання	99
4.2.2 Механічне зварювальне обладнання.....	100
Запитання для самоперевірки.....	110
4.3 Вибір обладнання для установа зварюваних виробів.....	110
5 Приклад виконання комплексних завдань.....	120
Завдання 1	120
Завдання 2	133
Список рекомендованої літератури.....	160
Додаток А.	162
Додаток Б.	163
Додаток В.	164
Додаток Г	165
Додаток Д	166
Додаток Е	167
Додаток Ж	168

ВСТУП

В Україні існує розвинена хімічна та нафтопереробна промисловість з установками великої одиничної потужності, що дозволяють істотно знизити експлуатаційні витрати і собівартість продукції за значного підвищення продуктивності праці. Одночасно різко зростають вимоги до надійності обладнання, тому що раптові зупинення хімічних виробництв спричиняють величезні втрати сировини та грошових ресурсів, а в разі аварії може статися екологічна катастрофа в регіоні. Значну й відповідальну роль у підвищенні надійності обладнання приділяють ремонтним службам. Збільшення обсягу ремонтних робіт за одночасного поліпшення якості технічного обслуговування потребує постійного вдосконалення технології ремонту, підвищення темпів механізації, централізації й спеціалізації служб.

Завданням цієї роботи є надання методичної допомоги студентам з оволодіння методикою раціонального вибору існуючого обладнання для проведення ремонтних робіт, під час виготовлення нових деталей і вузлів.

1 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ОРГАНІЗАЦІЇ РЕМОНТНОЇ СЛУЖБИ

1.1 Організація ремонтного виробництва

Структура ремонтної служби залежить від виробничо-технологічних особливостей підприємства, трудомісткості ремонтних робіт, кількості ремонтного персоналу та можливості внутрішньогалузевої кооперації з виготовлення типових запасних частин обладнання. Керування ремонтними службами підприємств являє собою сукупність керувальної та керованої систем, водночас керована система проводить ремонтні роботи, а керувальна – це відділи головного механіка (ВГМ), головного енергетика (ВГЕ), що здійснюють планування, контроль і керівництво цими ремонтними роботами.

Діяльність механічної служби регламентується Положенням про механічну службу підприємства. Функції механічної служби [17; 18]:

- розробляти та виконувати організаційно-технологічні заходи із забезпечення продуктивної роботи технологічного обладнання, брати участь у розробленні основних напрямків розвитку виробництва, вносити пропозиції в перспективні та річні плани з питання комплектації технологічним обладнанням;

- організовувати розроблення та виконання планів капітального і планово-попереджувального ремонтів обладнання; планування, що складається з розроблення раціональної структури ремонтних циклів, визначення трудових і ремонтних ресурсів для виконання плану ремонтних робіт;

- визначати необхідність підприємства (цеху, установок) в обладнанні, запасних частинах та матеріалах;

- здійснювати контроль за додержанням графіків проведення ремонтів, норм витрати матеріалів та енергії, термінів здавання обладнання в ремонт й отримання його з ремонту.

На сучасному етапі розвитку виробництва основним за-

вданням керування ремонтним виробництвом є координація дій механічної та ремонтної служб. Механічна частина ремонтного виробництва виконує капітальний ремонт усього знімного обладнання в спеціалізованих відділеннях або цехах типу РМЦ.

На сучасних підприємствах існує три основних види організації ремонтного виробництва: централізоване, децентралізоване та змішане.

Централізована організація ремонту – це коли всі види ремонту технологічного обладнання виконують силами та засобами відділу головного механіка і його ремонтно-механічного цеху. Така організація ремонтних робіт можлива на підприємствах із невеликою кількістю обладнання.

Децентралізована організація ремонту – всі види ремонтів та міжремонтне обслуговування проводять під керівництвом механіка основного виробництва на цеховій ремонтній базі комплексні бригади. Ремонтно-механічний цех прямо підпорядкований головному механіку й виконує лише капітальні ремонти складного обладнання.

Змішана організація ремонту характеризується тим, що всі види ремонту, крім капітального, виконують на цеховій ремонтній базі, а капітальний (у деяких випадках і середній) ремонт – ремонтно-механічний цех.

Під час організації ремонту обладнання хімічних підприємств розрізняють вузловий і поагрегатний методи:

– вузловий метод ремонту – це заміна зношених вузлів новими чи заздалегідь відремонтованими;

– поагрегатний метод – це ремонт за допомогою заміни всього агрегата на новий чи заздалегідь відремонтований. Для забезпечення безперебійної роботи над замовленнями під час централізованого ремонту обладнання повинна бути передбачена на складі наявність обмінного фонду розміром 4–5-денної виробничої програми спеціалізованих відділень.

1.2 Структурні підрозділи ремонтно-механічного цеху

Ремонтно-механічний цех виконує капітальний ремонт усього обладнання, що експлуатується в технологічних цехах підприємства. Для цього передбачені: ремонтні підрозділи, спеціалізовані для ремонту типового обладнання; спеціалізовані ділянки для виготовлення запасних частин або підвищення їх якості й випробувальні стенди в спеціалізованих відділеннях.

До складу ремонтно-механічного цеху входять основні спеціалізовані дільниці й допоміжні відділення, службові та побутові приміщення.

Основні ділянки РМЦ [18]:

– механічна (верстатна) дільниця. На обладнанні механічної дільниці виконують мехнічне оброблення відновлених деталей та виготовляють нові оригінальні деталі. До складу механічної дільниці входить допоміжне заточувальне відділення, де проводять заточування різального інструменту (різці, фрези, свердла, мітчики);

– слюсарно-складальна дільниця. На цій дільниці виконують слюсарні та слюсарно-складальні роботи. До слюсарно-складальних робіт відносять операції зі складання вузлів або виробів, їх перевірку та випробовування, регулювання та вивіряння апаратів, роботи пов'язані з підгонкою розмірів деталі на місці її установа, з'єднання деталей (згинчуванням, склеюванням, зварюванням);

– котельно-зварювальна дільниця. На цій дільниці виконують такі операції: різання заготовок, розмічання, випрямлення та очищення прокату і заготовок, згинання труб, зварювання тріщин і дірок, наплавлення металу на зношені поверхні, приварювання відламаних частин і додаткових (нових) деталей.

Основні відділення РМЦ: ковальське, термічне, жерстяно-мідницьке (відділення з виготовлення тонкостінних деталей із кольорових металів за допомогою паяння), електроремонтне, випробувальне, ділянка зносостійкого захисту та ін.

Допоміжні відділення і склади: склад металу, склад запасних частин, проміжний склад, інструментально-роздавальна комора, експедиція та ін.

Службові й побутові приміщення: контора цеху, гардеробна, вбиральні, умивальні, душові, кімнати для вживання їжі та ін. У невеликих ремонтно-механічних цехах деякі відділення об'єднують, а у великих, навпаки, їх роблять самостійними. Так, зварювальне, трубопровідне, жерстяно-мідницьке і котельне відділення іноді утворюють окремі виробничі дільниці.

2 ВИДИ ЗАГОТОВОК

2.1 Матеріали, використовувані для виготовлення машин та апаратів

Матеріали, призначені для виготовлення елементів хімічного обладнання, повинні задовольняти комплекс вимог, обумовлених конструкцією, технологією оброблення та експлуатацією апарата або машини. Найголовнішими з цих вимог є розрахунковий тиск, температура стінок обладнання (мінімальна негативна й максимальна позитивна), хімічний склад і характер робочого середовища, технологічні властивості (передусім зварюваність та оброблюваність) і корозійна стійкість матеріалів. Зрозуміло, що неабияке значення має і вартість конструкційних та допоміжних матеріалів. У хімічному апарато- й машинобудуванні широко використовують сталі, чавуни, кольорові метали та сплави, а також неметалеві матеріали органічного й неорганічного походження. Під час вибору матеріалу потрібно враховувати такі чинники [6; 7]:

- 1) міцність;
- 2) питому вагу;
- 3) теплопровідність;
- 4) коефіцієнт лінійного розширення;
- 5) опір коливанням температур;
- 6) стійкість до хімічної та електрохімічної корозії;
- 7) стійкість до ерозії;
- 8) вплив матеріалу на робоче середовище;
- 9) пористість матеріалу;
- 10) зміна властивостей під час термічного оброблення;
- 11) пластичність;
- 12) можливість оброблення різанням;
- 13) в'язкість і ковкість;
- 14) ливарні властивості;
- 15) зварюваність;
- 16) можливість паяння і склеювання;

- 17) кошторис матеріалу;
 18) дефіцитність матеріалу.

Під час розроблення конструкцій апаратів ураховують властивості, наведені в пунктах 1–9. Властивості найбільш поширених у хімічній промисловості матеріалів наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Властивості матеріалів найбільш поширених у хімічній промисловості

Матеріал	Марка матеріалу	Питома вага, кг/м ³	Температура плавлення, °C	Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·°C)	Коефіцієнт лінійного розширення 10 ⁶	Межа міцності під час розтягування, МПа (листовий прокат)	Видовження, % (листовий прокат)	Температурна межа застосування, °C
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Сталь вуглецева	Ст. 3	780	—	55	11,0	380–470	16–17	–30 – (+400)
Сталь вуглецева, якісна	20	7 850	—	52	11,5	350–500	22–24	–404 – (+450)
Низько – легована сталь	15ХМ	7 850	—	38	12,0	440–600	18–21	–40 – (+560)
Кислото – стійка сталь	12Х18Н10Т	7 900	—	15	16,5	500–600	35–45	–196 – (+600)
Жаростійка сталь	20Х20Н14С2	7 840	—	15	16,2	650–750	45	До 900
Технічна мідь	М3	8 900	1 080	401	16,4	300 (200)	3 (30)	–196 – (+250)
Латунь	Л62	8 430	898–905	110	20,6	420 (300)	10(40)	–196 – (+250)
Томпак	ЛТ90	8 730	1 025–1 045	244	17,0	400 (270)	15 (40)	–196 – (+250)
Алюміній	А1, А2	2 700	658	202	23,8	150 (70)	4 (28)	–196 – (+150)
Сплав алюмінію	АМг	2 670	—	102	23,4	250 (200)	20 (23)	До +150

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Технічний нікель	НТ	8 900	1 452	107	13,7	550 (380)	2 (35)	-250 – (+550)
Монель	НМЖМц 28 – 2,5 – 1,5	8 800	1 350	25	14,0	600 (450)	10 (25)	-180 – (+750)
Титан	—	4,35	1 725– 1 800	22	8,1	1 260 (770)	2 (17,5)	
Технічний магній	Мг1, Мг2	1 740	651	156	25,7	250 (180)	8 (17)	
Технічний цинк	Ц1; Ц2	7 130	419	115	35,4	150 (70)	10 (20)	-20 – (+120)
Технічний свинець	С1, С2	1 134	327	35	29,5	20 (18)	30 (40)	
Технічне олово	01; 02	7 300	232	67	22,0	20 (17)	45 (90)	+20 – (+200)
Графіт	—	—	—	278– 2435	—	0,6–2,3		
Кварцеве скло	—	2,15	1 800– 2 000	1,38	0,27 – 0,5	4,5	—	До +1 200
Вініпласт	—	1,38	—	0,16	60–70	40–60	10 – 15	-20 – (+60)
Пластикат	—	1,3–1,5	—	—	80	1,0	100	-30 – (+60)
Поліетилен	—	0,92	104– 115	0,32– 0,36	700–830	1,1 – 1,4	250 – 600	-45 – (+100)
Полізобу – тилен	—	1,3–1,4	80	0,116 –0,14	—	0,45–0,65	550 – 600	-40 – (+100)
Органічне скло	ТОСП	1 180	—	0,19– 0,3	—	6,5	2– 4	-40 – (+70)
Поліпропі – лен	—	0,9–0,91	164 – 170	0,24	110	3–3,8	500–700	-40 – (+ 120)
Полістирол	—	0,9– 1,1	—	0,028	60,0– 80,0	2,2–4,9	—	-50 – (+80)
Гума	—	0,9–1,3	—	0,06– 0,41	—	2,0–4,5	600–700	-40 – (+ 60)
Фторо – пласт – 4	—	2,1–2,3	327	0,25	160,0 – 250,0	1,6–2,5	250–500	-100 – (+250)
Текстоліт	ПТК – ПТ	1,4		0,3	17–30,0	6–10	0,8 – 1,0	До +125
Фаоліт	—	1,5–1,7	—	0,419	17–22,0	1,5–3,5	—	До +100

Примітка. У дужках наведені властивості матеріалів після відпа-

ду

З погляду технолога-апаратобудівника особливий інтерес становлять викликають властивості матеріалів, наведені в пунктах 10–16. Залежно від цих властивостей вибирають технологічні маршрути і способи оброблення деталей.

Найпоширенішими матеріалами для виготовлення хімічного обладнання є сталі.

Сталь – це сплав заліза з вуглецем (до 2 % за масою вуглецю) та іншими елементами. Залежно від хімічного складу сталі поділяють на три основні групи: 1) вуглецеві сталі; 2) леговані сталі; 3) сплави.

До вуглецевих сталей належать сталі, що не містять легувальних елементів, які вводять для надання сталям спеціальних властивостей.

До легованих сталей належать сталі, леговані одним чи кількома елементами. Леговану сталь, у якій сумарний вміст легувальних елементів за більшим граничним значенням понад 10 % за вмістом одного з них понад 5 %, можна вважати високолегованою.

До сплавів у чорній металургії належать сплави двох і більше елементів, якщо вміст заліза у сплаві не перевищує 50 %. Виняток становлять прецизійні сплави, в яких (в окремих випадках) міститься понад 50 % заліза. Сплави поділяють згідно з найменуваннями елементів, що є основою (на нікелевій основі, на залізній основі та ін.).

Залежно від галузі застосування та основних властивостей сталі поділяють на такі групи:

1) сталі звичайної якості (вуглецева звичайної якості, низьколегована конструкційна (сталь підвищеної міцності), котельна та ін.);

2) сталь якісна й високоякісна (вуглецева конструкційна, легована конструкційна для зварювального дроту та ін.);

3) сталі та сплави певного призначення та зі спеціальними властивостями (високолеговані, корозієстійкі, жа-

ростійкі, жароміцні, теплостійкі та ін.).

Для позначення сталей і сплавів у чорній металургії прийнято умовне (літерно-цифрове) маркування залежно від хімічного складу (сталі або сплав).

Елементи в усіх стандартах і технічних умовах позначено однаково – літерами української (російської) абетки:

А – нітроген;	Н – нікол (нікель);
Б – ніобій;	П – фосфор;
В – вольфрам;	Р – бор;
Г – манган (марганець);	С – силіцій (кремній);
Д – купрум (мідь);	Т – титан;
Е – селен;	Ф – ванадій;
К – кобальт;	Х – хром;
Л – берилій;	Ц – цирконій;
М – молібден;	Ю – алюміній.

Цифри, які стоять після літер, свідчать про вміст легувального елемента у відсотках. Відсутність числа означає, що вміст цього елемента до 1,5 % (за більшим граничним значенням). Цифри на початку марки свідчать про середній або максимальний (без меншого граничного значення) вміст карбону (вуглецю) в сталі в сотих частках відсотка (відсутність числа означає, що середній вміст карбону становить приблизно 0,01 %). Літера А в кінці марки означає, що сталь виготовляють зі звуженими межами хімічного складу; літера К – сталь належить до котельної; літера Л – сталь має підвищені ливарні властивості; літера Ш – сталь, виготовлена методом шлакового переплаву.

Деякі сталі спеціального призначення мають особливе позначення з літер, які ставлять на початку марки: А – автоматна (тобто сталь для оброблення на верстатах-автоматах, наприклад, А45Е); Ш – конструкційна шарикопідшипникова, наприклад ШХ15 (цифри свідчать про вміст хрому в десятих частках відсотка); Е – магнітотверда, наприклад ЕХ5К5; Е – електротехнічна; У – інструментальна вуглецева, наприклад

У8; Р – інструментальна швидкорізальна (наприклад, Р18, де 18 – середній вміст вольфраму у відсотках).

2.2 Заготовки деталей апаратів

Заготовка – предмет, із якого за допомогою зміни форми, розмірів, шорсткості поверхні та властивостей матеріалу виготовляють деталь або не рознімну складальну одиницю:

а) листовий прокат. Основний вид прокату, який застосовують для виготовлення елементів ємнісної частини апаратів (обичайок і днищ), деталей внутрішніх пристроїв – тарілок, перегородок, ґрат. Листовий прокат виготовляють методом холодної та гарячої прокаток (ДСТУ 8971:2019). Найчастіше використовують гарячекатаний листовий прокат (ДСТУ 8540:2015);

б) двошаровий прокат (ГОСТ 10885-85);

в) труби. Трубний прокат застосовують у конструкціях печей, теплообмінників, технологічних трубопроводів, як патрубків апаратів;

г) сортовий прокат. Для виготовлення апаратів його застосовують у вигляді: штаби (штабова сталь) за ДСТУ 4747:2007; круглого перерізу за ДСТУ 4738:2007; квадратного перерізу за ДСТУ 4746:2007; рівнополічних кутів за ДСТУ 2251:2018; кути з різними полками за ДСТУ 8769:2018; швелерів за ДСТУ 3436-96; двотаврів за ДСТУ 8768:2018;

г) заготовки ковані. Випускають круглого та квадратного перерізів, гарячекатані квадратні, калібровані квадратні й круглі, якісні круглі, смугова сталь гарячекатана і кована, гарячекатана шестигранна, калібрована шестигранна;

д) заготовки пресовані. Випускають у вигляді різних профілів: фасонні у вигляді порожнього квадрата, з алюмінію та алюмінієвих сплавів, із магнієвих сплавів, конструкційні з титанових сплавів;

е) заготовка лита. Зливки неперервного лиття, квадратні і прямокутні. Зливки електрошлакового переплавляння;

вакуумно-дугового переплавляння; ковальські зливки, зливки плазмово-дугового переплавляння та електронно-променевого плавлення.

Запитання для самоперевірки

- 1 Які є форми ремонту обладнання?
- 2 Які відділи належать до структури ремонтно-механічного цеху?
- 3 Які матеріали використовують для виготовлення машин та апаратів?
- 4 Що означає друга літера Ш у марці сталі ШХ15Ш?
- 5 Що означає літера Р у марці сталі Р18?
- 6 Що означає літера К у марці сталі 20К?
- 7 Що означає цифра 12 у марці сталі 12Х18Н10Т?
- 8 Які види заготовок використовують під час ремонту апаратів?

3 ТЕХНОЛОГІЧНІ ОПЕРАЦІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ ЗАГОТІВЕЛЬНОЇ ДІЛЬНИЦІ

3.1 Вибір та розкрій листового прокату для виготовлення корпусних деталей великогабаритних апаратів

Під час розмічання на листі металу деталі або низки деталей необхідно розмістити їх так, щоб було якомога менше відходів під час різання. Спосіб розміщення заготовок деталей на матеріалі називають *розкроєм*.

Існує три основні способи розкрою листів металу:

1) індивідуальний – матеріал розрізають на частини для виготовлення однойменних деталей, наприклад, смуги (штаби) для прокладок теплообмінників, пластин для штампування кілець Рашига;

2) змішаний – якщо з листа вирізають комплект деталей, необхідних для виготовлення конкретного виробу;

3) груповий – характеризується тим, що спочатку вирізають великі заготовки, потім – середні й маленькі (застосовують в індивідуальному виробництві).

Економічність розкрою характеризується коефіцієнтом використання матеріалу

$$K_{в. м} = M_{д} / M_{з} ,$$

де $M_{д}$ – вага деталі, кг;

$M_{з}$ – вага заготовки, кг.

На практиці $K_{в. м} = 0,75-0,92$ %.

Уразі застосування листового прокату як заготовки формула визначення коефіцієнта використання матеріалу набирає вигляду

$$K_{в. м} = \frac{S_{з}}{S_{л}} ,$$

де $S_{з}$ – площа заготовки;

$S_{л}$ – площа листа.

Для виготовлення корпусних деталей великогабаритних апаратів використовують карти розкрою – креслення розгортки деталі на площині, що визначає кількість і габаритні розміри листів-заготовок, розміщення і довжину подовжніх та поперечних швів.

На практиці під час виготовлення корпусів апаратів використовують два принципово відмінних типи карт розкрою. Перший метод – це метод обичайок, за якого поздовжня вісь листа розміщена перпендикулярно до осі апарата (рис. 3.1 а). У цьому разі складальний вузол (корпус) складається з окремих обичайок, які по можливості виготовляють з окремих листів. Другий – метод карт, для якого характерне поздовжнє розміщення листів відносно осі апарата (рис. 3.1 б). Кожний із розглянутих методів має свої недоліки й переваги.

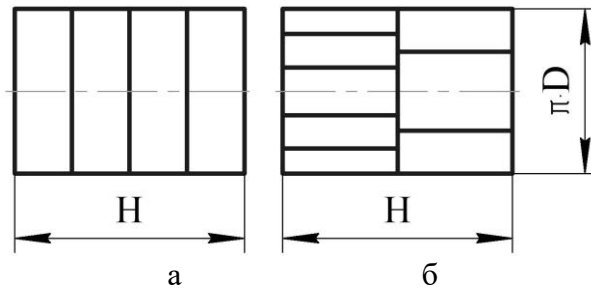


Рисунок 3.1 – Карти розкрою:
а – методом обичайок; б – методом карт

У разі використання методу обичайок збільшується кількість кільцевих швів – менш навантажених, але більш трудомістких. Простіше в цьому разі проводити згинання обичайок на машинах із невеликою довжиною валків.

Метод карт передбачає використання листів максимальної довжини, що звичайно зменшує кількість кільцевих швів, але збільшує кількість поздовжніх, які виконують на площині. Поздовжні шви є більш технологічними, але водночас більш

навантаженими. У цьому разі відхилення за периметром будуть найбільшими, а за висотою корпусу H – мінімальними. Проте потрібні вальці великої потужності, а довжина валків у цьому разі досягає 12 м.

На практиці під час ремонту циліндричних апаратів застосовують метод обичайок, оскільки разове використання вальців великої потужності є економічно не доцільним.

Запитання для самоперевірки

- 1 Що таке розкрій?
- 2 Охарактеризуйте основні типи розкрою листового прокату.
- 3 Які переваги і недоліки виникають у разі застосування методу обичайок?
- 4 Які переваги й недоліки виникають у разі застосування методу карт?

3.2 Вибір листового прокату для виготовлення корпусу циліндричної ємності

Завдання 1 На основі початкових даних, які наведені у додатку А, потрібно:

- 1) визначити габаритні розміри заготовки для виготовлення обичайки;
- 2) визначити оптимальну (мінімальну) кількість обичайок для виготовлення корпусу та вибрати листовий прокат відповідного розміру;
- 3) зробити карту розкрою корпусу апарата або ескіз заготовки обичайки та визначити коефіцієнт використання матеріалу.

Вибір сортаменту листового прокату для виготовлення деталей проводиться з ДСТУ 8540:2015.

Зразок виконання завдання 1

Початкові дані:

Висота корпусу апарата H , мм 12 200;

Внутрішній діаметр корпусу $D_{\text{вн}}$, мм 1 800;

Товщина стінки S , мм 8;

Матеріал – сталь 08X13

Рекомендації з виконання завдання 1:

Відповідно до державного стандарту «Прокат листовий гарячекатаний» (ДСТУ 8540:2015) вибираємо розміри стандартних листів для виготовлення корпусу ємності. Під час вибору листового прокату потрібно дотримуватися таких рекомендацій: по-перше, корпус апарата повинен бути виготовлений із мінімальною кількістю обичайок, тобто з мінімальною кількістю кільцевих зварювальних швів; по-друге, ширина і довжина листа повинні забезпечувати припуски для оброблення кромки по всьому контуру заготовки, по-третє, розгортка обичайки повинна по всій довжині розміщуватися на одному листу прокату (таким чином, зменшується кількість найбільш навантажених поздовжніх зварювальних швів), але в разі якщо відповідна довжина листа не регламентується стандартом, дозволяється робити вставку, мінімальна довжина якої повинна бути не меншою ніж 400 мм.

Згідно зі стандартом виготовлення корпусу апарата висотою $H = 12\,200$ мм можливе з п'яти або шести обичайок різної висоти (ширини листа). Можливі два оптимальні варіанти вибору листового прокату для виготовлення апарата заданої висоти (довжини): а) з одного листа, ширина якого дорівнює 2 200 мм, і чотирьох листів – 2 500 мм; б) із п'яти листів, ширина яких 2 100 мм та одного листа, ширина якого дорівнює 1 700 мм. Під час виготовлення апарата за варіантом «б» збільшується на один кількість кільцевих і поздовжніх швів, з'являються додаткові технологічні

операції з вальцювання, складання та зварювання швів додаткової обичайки. Тому для виготовлення корпусу ємності вибираємо варіант «а».

1 На підставі початкових даних визначаємо довжину розгортки обичайки.

Довжина розгортки циліндричної обичайки

$$L_{\text{розг}} = \pi \cdot D_{\text{н. л}} = \pi \cdot (D_{\text{в}} + S),$$

де $D_{\text{н. л}}$ – діаметр нейтральної лінії, мм;

$D_{\text{в}}$ – внутрішній діаметр корпусу, мм;

S – товщина стінки обичайки, мм.

$$L_{\text{розг}} = 3,14 \cdot (2 \cdot 900 + 8) = 5677,1 \text{ мм.}$$

Для виготовлення обичайок відповідно до ДСТУ 8540:2015 вибираємо такий листовий прокат (Б – нормальної точності; ПН – нормальної площинності; О – з обрізною кромкою):

1) лист $\frac{\text{Б-ПН-О-}8 \times 2500 \times 6000 \text{ ДСТУ8540:2015}}{08X13 \text{ ГОСТ 7350-77}}$ – 4 листа;

2) лист $\frac{\text{Б-ПН-О-}8 \times 2200 \times 6000 \text{ ДСТУ8540:2015}}{08X13 \text{ ГОСТ 7350-77}}$ – 1 лист.

Карта розкрою корпусу показана на рисунку 3.2.

2 Коефіцієнт використання матеріалу визначаємо згідно з ескізом заготовки (рис. 3.3)

$$K_{\text{ВМ}} = \frac{F_3}{F_{\text{л}}} \cdot n,$$

де F_3 – площа заготовки;

$F_{\text{л}}$ – площа листа;

n – кількість обичайок на листі.

$$K_{BM} = \frac{12200 \cdot 5677,1}{(4 \cdot 2500 + 2200) \cdot 6000} \cdot 1 = 0,946.$$

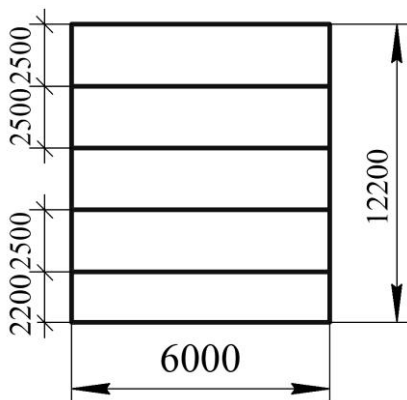


Рисунок 3.2 – Карта розкрою корпусу

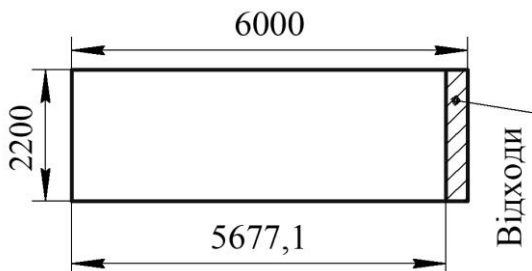


Рисунок 3.3 – Ескіз заготовки

3.3 Обладнання для правки листового й сортового прокату

3.3.1 Загальні відомості про процес правки

Основне технологічне задання правки полягає в усуненні хвилястості та жолоблення прокату. *Хвилястість* – це вид відхилень геометричних параметрів, що займає проміжне положення між відхиленнями форми та шорсткістю поверхні. *Жолоблення* – це хвилястість у взаємно перпендикулярних

напрямах. Ці похибки кількісно оцінюються стрілою прогину на 1 м довжини прокату. Хвилястість може бути першо-причиною втрати стійкості апаратів, особливо, тих які працюють під дією зовнішнього тиску.

Допустима стріла прогину листового прокату після правки, що відповідає принципам взаємозамінності, повинна становити не більше ніж 1 мм на 1 м довжини.

Правка – різновид оброблення металів тиском, що здійснюється багаторазовим знакозмінним пластичним вигином оброблюваного металу за напруження, що перевищує межу текучості. Більшість способів правки прокату та заготовок виконується у холодному стані.

Правку в гарячому стані застосовують за дуже великих викривлень прокату чи заготовок, якщо потрібно проводити значний вигин прокату, що може призвести до зменшення пластичних властивостей металу під час проведення холодної правки.

3.3.2 Класифікація обладнання для правки прокату

За принципом дії обладнання для правки прокату поділяють на три групи: ротаційні машини, преси і розтягувально-правильні машини. До ротаційних машин належать листоправильні багатовалкові машини і сортоправильні багатороликові машини. До пресового обладнання належать гідравлічні правильно-згинальні преси, гвинтові преси, правильні та правильно-згинальні преси.

Набувають застосування в практиці також комбіновані способи випрямлення, за яких поєднуються в одній операції кілька простих технологічних схем правки: 1) розтягування з нагріванням; 2) нагрівання з розтягненням і стисненням у різних площинах; 3) розтягування з вигином; 4) стиснення з розтягуванням у різних площинах.

Розтягуванням вирівнюють штаби шириною до 200 мм, а також листи товщиною до 16 мм, що мають гвин-

топодібність і серпоподібність, які важко усунути вирівнюванням на роликівих машинах.

Контроль виправлення здійснюють спеціальним щупом за допомогою лінійки.

3.3.3 Виправлення на багатовалкових листопривильних машинах

Виправлення на багатовалкових листопривильних машинах виконують між двома рядами обертальних валків, розміщених у шаховому порядку (рис. 3.4). Відстань між нижніми та верхніми валками змінюють залежно від товщини листа, що підлягає виправленню. Нижній ряд – приводний, верхній ряд валків обертається за рахунок сил тертя і може вертикально переміщуватися, тобто регулювання тиску на лист. Кількість валків непарна – 5–23. Багатовалкові листопривильні машини можуть мати паралельне (рис. 3.4 а) і непаралельне (рис. 3.4 б) розміщення рядів валків. Непаралельне розміщення валків забезпечує послідовне зменшення кривизни перевигину листів у валках, що покращує якість вирівнювання. Ці машини використовують для виправлення тонкого матеріалу. Виправлення проводять за 3–5 проходів за прямого і зворотного ходів (реверсивний рух).

Процес правки на сортопривильних роликівих машинах аналогічний виправленню на багатовалкових листопривильних машинах. Заготовка проходить між двома рядами привильних роликів, розміщених у шаховому порядку, багаторазово вигинається й виправляється (рис. 3.4 в). Відстань між верхнім і нижнім рядами роликів регулюється залежно від величини поперечного перерізу заготовки, яку вирівнюють. Ролики на машині змінні, що дозволяє вирівнювати на одній машині різні профілі. Сортопривильні машини мають від 11 до 7 привильних роликів. Більшу кількість роликів застосовують для менших товщин матеріалу.

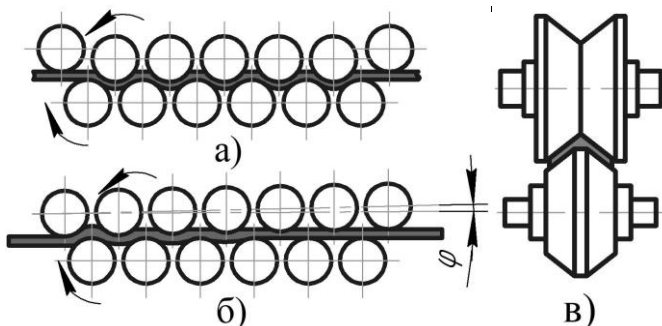


Рисунок 3.4 – Схема роботи багатовалкової листоправильної машини: а) паралельне розміщення валків; б) непаралельне розміщення валків; в) форма роликів для виправлення кутового прокату

Крок роликів – це відстань між осями двох роликів, які знаходяться в одному ряду. Крок роликів t вибирають із ряду $t = 200, 250, 400, 450$ мм. Діаметр ролика вибирають за залежністю $D = (0,9 \div 0,95) t$. Зі зменшенням кроку роликів точність правки зростає.

Зусилля виправлення в листоправильних машинах розраховують за максимально допустимою силою, прикладеною до одного ролика, та зусиллям виправлення, прикладеним до нижнього ряду валків.

Також важливим параметром є відстань між рядами нижніх та верхніх валків. Якщо відстань між рядами буде занадто велика, то технологічний процес виправлення не буде виконуватися, а за зменшеної відстані може відбутися заклинення машини.

Листоправильні машини призначені для виправлення листового матеріалу в холодному стані. Основні параметри роликів листоправильних машин наведені у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Основні параметри роликів листоправильних машин

Тип машини	Крок роликів, мм	Число роликів	Діаметр роликів, мм	Швидкість правки, м/с	Потужність головного привода, кВт	Вирівнюваний лист		
						товщина, мм	ширина, мм	межа текучості, МН/м ²
А	200	9	180	0,2	70	4 – 6	2 500	600
А	200	9	180	0,17	80	4 – 10	2 500	320
А	250	9	230	0,13	65	6 – 16	2 500	320
А	300	9	260	0,25–0,4	460	12 – 25	2 100	260
А	400	7	370	0,13	310	10 – 32	3 500	320
А	450	7	430	0,1	2x165	20 – 32	4 000	420
А	550	7	520	0,1	2x280	18 – 50	4 000	800
Б	142	17	140	0,13–0,4	37	1,5 – 4	1 500	500
Б	142	17	140	0,24	28	1,5 – 5	1 000	420
Б	128	9	125	0,6	28	2 – 6	730	220
Б	200	17	180	0,1–0,5	60	3 – 12	1 500	320

3.3.4 Вибір обладнання для виправлення листового прокату

Завдання 2 На основі початкових даних, наведених у додатку Б, потрібно:

- 1 Згідно з початковими даними виконати ескіз обичайки.
- 2 Вибрати листоправильну машину для виправлення заготовки заданого виробу.
- 3 Визначити відстань між верхніми і нижніми рядами валків.
- 4 Розрахувати зусилля виправлення.
- 5 Визначити крутні моменти на валках.
- 6 Визначити потужність привода машини.
- 7 Зобразити кінематичну схему машини.

Рекомендації з виконання завдання

1 Вибір необхідної листоправильної машини здійснюється згідно з таблицею 3.1 з урахуванням товщини і ширини

випрального прокату, а також механічних властивостей матеріалу, наведених у таблиці 3.2.

2 Визначення відстані між верхніми й нижніми рядами валків листопральної машини під час виправлення листа заданої товщини [7, с. 31]:

$$L = S - 2 \cdot \left[\frac{S \cdot E}{2 \cdot \sigma_T} - \sqrt{\left(\frac{S \cdot E}{2 \cdot \sigma_T} \right)^2 - \left(\frac{t}{4} \right)^2} \right] \text{ мм}, \quad (3.1)$$

де S – товщина листа, мм;

E – модуль пружності, МПа;

σ_T – межа текучості, МПа;

t – відстань між валками (крок валків), мм.

Таблиця 3.2 – Механічні властивості

Марки сталі	Механічні властивості	
	σ_T , МПа	σ_B , МПа
Ст3	230	430
16ГС	300	480
09Г2С	310	470
08Х13	240	450
10Г2С1	350	490
10Х17Н13М2Т	220	530
15Х5М	220	400
12ХМ, 12МХ	240	450
08Х18Н10Т	200	540
12Х18Н10Т	200	550
10Х17Н13М3Т	240	540
08Х22Н6Т	300	650
15К	220	380
20К	240	410

3 Зусилля виправлення листа на верхньому ряду валків [2; 7]:

$$P = \frac{b \cdot S^2 \cdot \sigma_T \cdot (n - 2)}{t} \text{ Н}, \quad (3.2)$$

де b – ширина листа, мм;

n – кількість верхніх валків, шт. (щоб визначити кількість верхніх валків, потрібно до загальної кількості валків машини додати ще один і суму поділити на два, а знайдена частка й буде дорівнювати числу верхніх валків).

4 Визначення крутних моментів на валках [2].

До елементів розрахунку листопробних машин із паралельними рядами валків відносять розрахунок крутних моментів на валках, за якими визначають потужність привода обертання валків. Загальний крутний момент для листопробної машини.

$$M_{KP} = M_{KP}^1 + M_{KP}^2 + M_{KP}^3, \quad (3.3)$$

де M_{KP}^1 – крутний момент, витрачений на пластичну деформацію викривлень під час правки;

M_{KP}^2 – крутний момент, витрачений на перегин заготовки під усіма валками;

M_{KP}^3 – крутний момент сил тертя кочення валків по заготовці і в підшипниках валків.

$$M_{KP}^1 = \frac{(M_{CP} + M_O) \cdot D}{4 \cdot R_{CER}} \quad (3.4)$$

де M_O – початковий згинальний момент,

$$M_O = k_1 \cdot W \cdot \sigma_T \quad (3.5)$$

де k_1 – коефіцієнт профілю, $k_1 = 1,5$;

W – момент опору поперечного перерізу листа;

M_{CER} – середній згинальний момент,

$$M_{CEP} = \left(k_1 + \frac{k_2}{r} \right) \cdot W \cdot \sigma_T, \quad (3.6)$$

де k_2 – коефіцієнт зміцнення, $k_2 = 5,0-5,8$;

r – відносний радіус згину, $r = \frac{R_{CEP}}{S} \approx 60$;

D – діаметр валків, мм;

R_{CEP} – середній радіус викривлень, $R_{CEP} = 60 \cdot S$.

$$M_{KP}^2 = \frac{M_O \cdot D}{2} \cdot \frac{1}{R_{CEP}} \cdot (n-3), \quad (3.7)$$

де n – кількість усіх валків.

$$M_{KP}^3 = \frac{8 \cdot M_O \cdot (n-2)}{t} \cdot \left(f + \frac{d}{2} \cdot \mu \right), \quad (3.8)$$

де f – коефіцієнт тертя кочення валків по прокату, $f = 0,8$ мм;

μ – коефіцієнт тертя ковзання в підшипниках, для підшипників з бронзовими вкладишами $\mu = 0,06-0,08$;

d – діаметр цапфи валка, $d = 100, 125, 150, 200$ мм.

5 Потужність привода машини [4]:

$$N = \frac{M_{KP} \cdot V}{510 \cdot D \cdot \eta}, \text{ кВт}, \quad (3.9)$$

де M_{KP} – загальний крутний момент на валках, Н · м;

V – швидкість вирівнювання машини, м/с;

D – діаметр валків, м;

η – коефіцієнт корисної дії (ККД) привода машини, $\eta = 0,8-0,9$.

Приклад розрахунку

1 Ескіз обичайки (рис. 3.5) і початкові дані:

$D_{вн} = 1\ 100$ мм, $S = 10$ мм, $H = 1\ 000$ мм, матеріал – СтЗпс.

Довжина розгортки обичайки

$$L = \pi \cdot D_{\text{СЕР}} = 3,14 \cdot (1100 + 10) \approx 3486 \text{ мм.}$$

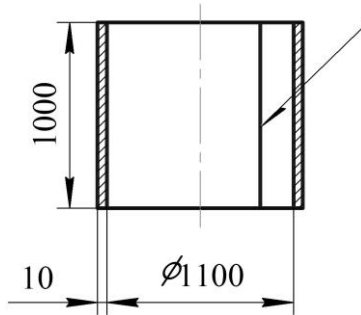


Рисунок 3.5 – Ескіз обичайки

Ескіз розгортки обичайки показано на рисунку 3.6.

Відповідно до ДСТУ 8540:2015 заготовка – лист
Б – ПН – О – 10×1000×3500 ДСТУ 8540: 2015

Ст3пс ДСТУ 2651: 2005

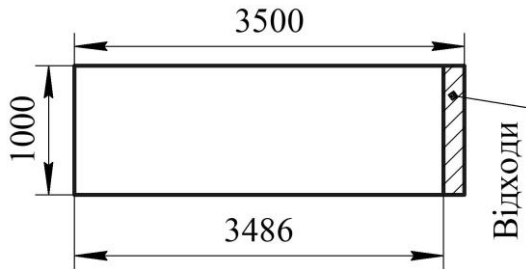


Рисунок 3.6 – Ескіз розгортки обичайки

2 Вибираємо багатовалкову листопривильну машину
типу А

Технічна характеристика	
Відстань між валками, мм.....	200
Число валків.....	9
Діаметр валків, мм.....	180
Швидкість вирівнювання, м/с.....	0,17
Потужність головного привода, кВт.....	80

Товщина вирівнюваного листа, мм.....4–10
 Ширина вирівнюваного листа, мм.....2 500
 3 Відстань між верхніми і нижніми рядами валків за формулою (3.1)

$$L = 10 - 2 \cdot \left[\frac{10 \cdot 20,3 \cdot 10^4}{2 \cdot 240} - \sqrt{\left(\frac{10 \cdot 20,3 \cdot 10^4}{2 \cdot 240} \right)^2 - \left(\frac{200}{4} \right)^2} \right] = 9,4 \text{ мм.}$$

4 Зусилля виправлення за формулою (3.2):

$$P = \frac{1000 \cdot 10^2 \cdot 240 \cdot (5 - 2)}{200} = 360000 \text{ Н.}$$

5 Момент опору поперечного перерізу листа

$$W = \frac{b \cdot S^2}{6}$$

$$W = \frac{1000 \cdot 10^2}{6} = 16666 \text{ мм}^3.$$

Початковий згинальний момент за формулою (3.5):

$$M_o = 1,5 \cdot 16666 \cdot 240 = 5999760 \text{ Н} \cdot \text{мм} \approx 6000 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Середній згинальний момент формулою (3.6):

$$M_{\text{сеп}} = \left(1,5 + \frac{5,8}{60} \right) \cdot 16666 \cdot 240 = 63864112 \text{ Н} \cdot \text{мм} \approx 6386 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Крутні моменти на валках за формулами (3.3, 3.4, 3.7, 3.8):

$$M_{KP}^1 = \frac{(6380 + 6000) \cdot 0,18}{4 \cdot 0,6} = 929 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$M_{KP}^2 = \frac{6000 \cdot 0,18}{2} \cdot \frac{1}{60 \cdot 0,01} \cdot (9 - 3) = 5400 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$M_{KP}^3 = \frac{8 \cdot 6000 \cdot (9 - 2)}{0,2} \cdot \left(0,0008 + \frac{0,1}{2} \cdot 0,07 \right) = 7224 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$M_{KP} = 929 + 5400 + 7224 = 13553 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

6 Потужність привода за формулою (3.9)

$$N = \frac{13553 \cdot 0,17}{510 \cdot 0,18 \cdot 0,85} = 29,5 \text{ кВт},$$

29,5 кВт ≤ 80 кВт. Необхідна потужність виправлення менша від потужності привода машини. Отже, процес виправлення можливий.

7 Кінематична схема привода машини рисунка 3.7 [1]:

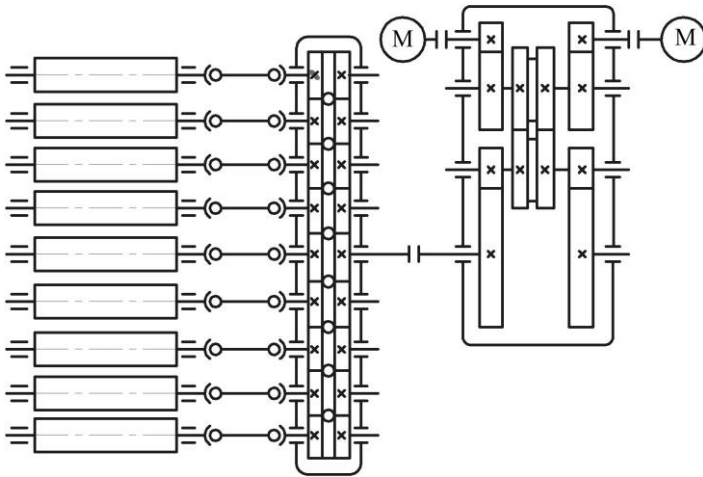


Рисунок 3.7 – Кінематична схема привода

3.3.5 Розмічання деталей та різання металу

3.3.5.1 Види розмічання деталей

Розмічання – це операція нанесення з креслення або зразка на заготовку контурних та осьових ліній, що визначають розміри деталі чи місця, які потрібно обробити, з урахуванням припусків для подальшого оброблення. Розрізняють припуски трьох видів:

- припуски на оброблення;
- припуски на деформацію;
- конструктивні припуски.

Припуски на оброблення враховують глибину оброблення різанням, тобто той шар матеріалу, який необхідно зняти, щоб із хвилястої шорсткої поверхні заготовки одержати рівну і гладеньку поверхню деталі згідно з класом чистоти, зазначеним на кресленні.

Припуски на деформацію повинні враховувати закони зміни форми заготовок під час оброблення тиском (вальцювання, згинання, витягування та інших операцій).

Конструктивні припуски необхідні під час зварювання та паяння, для того щоб одержати міцне з'єднання окремих деталей внапуск, під час склеювання або під час утворення гнутого замка і фальця.

Розмір припусків залежить від потрібної точності й чистоти поверхні, типу обладнання, вибраної технології оброблення та конструкції деталей.

Розрізняють площинне та просторове розмічання.

Площинне розмічання – це процес перенесення розмірів із креслення на поверхню заготовки, тобто це процес нанесення на заготовку перпендикулярних, горизонтальних і вертикальних ліній, кіл, дуг, кутів чи осьових ліній за заданими розмірами. Площинне розмічання виконують методом геометричної побудови, за шаблоном, оптичним методом та за допомогою пристосувань. Розрізняють два методи розмічання: камеральний – перенесення розмірів на матеріал за задалегідь розробленими в технічному бюро ескізами; плазовий – розмічання в натуральну величину на металі, який розміщують на спеціально підготовленій площині – плазі, цей метод застосовують для складних і великогабаритних деталей. Більш прогресивним методом розмічання є оптичний або фотопроекційний, схема якого показана на рисунку 3.8.

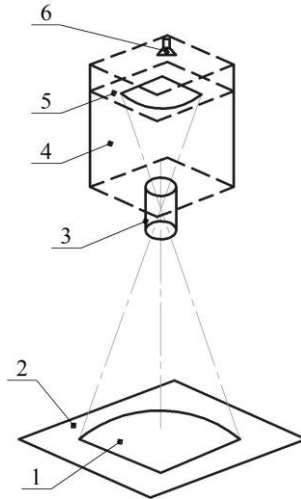


Рисунок 3.8 – Фотопроекційний метод розмічання:
 1 – зображення, що проєктується в натуральну величину;
 2 – лист металу; 3 – об’єктив; 4 – проєктор; 5 – негатив;
 6 – джерело світла

Фотопроекційний (оптичний) метод розмічання дозволяє використовувати як шаблон креслення контур, який фотографують, а потім відтворюють на поверхні деталі через проєкційний апарат, у якому точно виставлено масштаб збільшення. За світловими лініями виконують розмічання. Перед початком розмічання необхідно ретельно очистити заготовку від пилу, бруду та перевірити її на наявність дефектів. Потім необхідно визначити бази заготовки, від яких необхідно відкладати розміри в процесі роботи. У разі площинного розмічання базами можуть бути осьові лінії, які наносять на заготовку першими.

Просторове розмічання застосовують тоді, коли необхідно обробити відразу декілька поверхонь заготовки. Просторове розмічання виконують за просторовими шаблонами за допомогою різних пристосувань комбінованим способом.

Просторове розмічання значно складніше ніж площинне, оскільки розмічальні лінії наносять не в одній, а відразу декількох площинах і під різними кутами. Насамперед заготовку очищають від бруду, пилу, можливих задирок, перевіряють її розміри. Перш ніж розпочати розмічання заготовки, її розміщують на розмічальній плиті. Заготовку краще розмістити на підставках, призмах, домкратах, розмічальних ящиках, а також надати заготовці такого положення, щоб можна було проводити розмічання з усіх боків заготовки.

3.3.5.2 Послідовність виконання розмічання

Перед початком проведення площинного розмічання необхідно:

1 Перевірити справність усіх інструментів для розмічання, а також наявність різних деформацій на заготовці, очистити її від пилу та бруду. За маркуванням листа перевірити відповідність марки матеріалу, довжини, ширини і товщини листа вимогам креслення. Розмістити заготовку на розмічувальному столі. Лист кладеться маркуванням догори.

2 Фарбування поверхонь, що підлягають розмічанню. Для фарбування поверхонь використовують різноманітні фарбники (розчин крейди з додаванням шлюсарного клею або розчину мідного купоросу, фарбування спиртовими лаками або лаками та фарбами, що швидко висихають).

3 Нанесення розмічальних рисок. Під час розмічання необхідно кожного разу розмір відмірювати від однієї точки або лінії, взятої за вимірювальну базу. Розмічальні риси потрібно наносити у такій послідовності: спочатку проводити горизонтальні, потім – вертикальні, після цього – похилі лінії, а останніми – кола, дуги та заокруглення. Прямі риси наносити лише рисувалкою, перпендикулярні риси – за допомогою кутника. Паралельні лінії проводити за допомогою того самого кутника, пересуваючи його на потрібну відстань. Відшукування центрів кіл потрібно здійснювати за допомо-

гою центронамітників та центрошукачів. Розмічання кутів та відхилень виконувати за допомогою транспортирів, штангенциркулів і кутомірів.

Послідовність виконання просторового розмічання:

1 Підготувати заготовку до розмічання. Потім визначити, в яких положеннях заготовку встановлюватимуть на плиті і в якій послідовності будуть наносити розмічальні лінії. Для того щоб правильно обрати послідовність розмічання потрібно чітко знати призначення деталі, її роль у машині.

2 Вибір бази під час розмічування. Правильний вибір бази під час розмічування означає її якість. Бази вибирають керуючись такими принципами: якщо в заготовці є хоча б одна оброблена поверхня, її беруть за базу; якщо зовнішні та внутрішні поверхні не оброблені, за базу найчастіше беруть зовнішню поверхню; якщо обробляють не всі поверхні, то за базу беруть ту поверхню, яку не обробляють. Після того як намітять базу, вибирають порядок розмічання, розміщення й установлення на плиті оброблюваної заготовки.

3 Встановлення заготовки на розмічальній плиті. Перед установленням заготовки на плиті місця, де будуть проводити розмічання, покривають фарбою, крейдою, лаком або розчином мідного купоросу. Потім вибирають перше положення заготовки, це положення необхідно вибирати так, щоб було зручно почати розмічання від прийнятих баз чи поверхонь. Заготовку встановлюють на плиті так, щоб одна з її головних осей була паралельна поверхні розмічальної плити.

Зразок технологічної послідовності розмічання заготовки обичайки на площині:

1 За маркуванням листа перевірити відповідність марки матеріалу, довжини, ширини товщини листа вимогам креслення.

2 Лист покласти маркуванням догори.

3 За допомогою рулетки відкласти на листі довжину розгортки обичайки з урахуванням припусків на механічне

оброблення кромки. За допомогою креслярки провести риску 1 – лінію різання на ножицях (рис. 3.9).

4 За допомогою рулетки відкласти на листі висоту обичайки H з урахуванням припусків на механічне оброблення кромки. За допомогою креслярки провести риску 4 – лінію різання на ножицях (рис. 3.9).

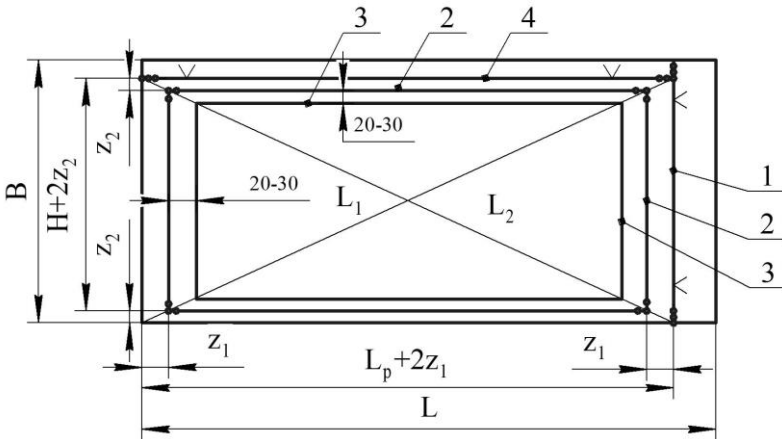


Рисунок 3.9 – Ескіз ромічання обичайки на листі:

1, 4 – лінію різання на ножицях; 2 – лінії контуру розгортки обичайки; 3 – контрольні риси

5 Перевірити різницю діагоналей L_1 і L_2 . Лінії позиції 1 і 4 накернити по краях. Поставити знаки, повернуті гострим кінцем у напрямку розгортки обичайки.

6 На відстані припуску z_1 від ліній 1 і 4 та краю листа провести риси 2 – лінії контуру розгортки обичайки. Лінії 2 накернити по кутах контуру розгортки обичайки.

7 Провести контрольні риси 3 на відстані не менше ніж 20–30 мм від лінії 2.

8 Основний лист та залишки потрібно маркувати.

3.3.5.3 Інструмент для розмічальних робіт

Під час виконання розмічальних робіт використовують різноманітні вимірювальні та спеціальні розмічальні інструменти. Ці інструменти можна поділити на такі групи:

- 1) вимірювальні лінійки, рулетки;
- 2) інструменти для вимірювання деталей і перенесення розмірів із виробу на вимірювальну лінійку (кронциркулі, нутроміри, товщиноміри);
- 3) інструменти для нанесення рисок (рисувалки (голки), рейсмуси, розмічувальні кернери);
- 4) інструменти для розмічання кола (циркулі, штангенциркулі);
- 5) інструменти для проведення вертикальних і похилих ліній (трикутники, виски, малки, транспортири, універсальні кутоміри);
- 6) інструменти для пошуку центра деталей (циркулі, косинці, центрошукачі, внутрішні центрові лінійки).

Під час розмічування невеликих деталей складної конфігурації на поверхню матеріалу рекомендують наносити тонкий шар крейдового розчину, змішаного з маслом льону, клеєм або водним розчином мідного купоросу. На пофарбовані поверхні дуже зручно наносити чіткі й тонкі розмічувальні лінії.

Для покращання видимості розмічувальних ліній необхідно вибивати на них за допомогою кернера на відстані 5–10 мм ряд неглибоких точок.

3.3.5.4 Класифікація способів та обладнання для різання металу

Операція різання полягає у відокремленні частини матеріалу від вихідного листа, прокату або поковок для отримання заготовок, видалення зайвого припуску в деталях чи підготовки їх кромки під зварювання.

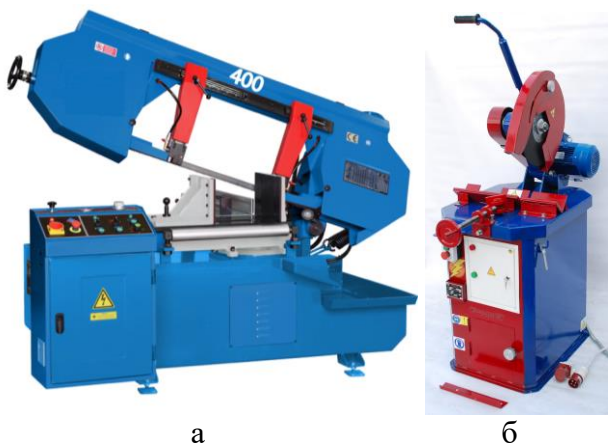
Щодо застосовуваних засобів, усі способи різання можуть бути поділені на три групи: а) механічне; б) газополум'яне; в) електродугове.

Механічне різання. За допомогою механічного різання оброблюють листовий матеріал товщиною до 40 мм і велику частину сортового прокату. Механічне різання може бути двох видів: без зняття стружки і зі зняттям стружки (відрізання різцем, фрезерування, різання дисковою пилюкою, абразивним кругом).

Механічне різання зі зняттям стружки. Для обрізання заготовок і деталей із пруткового, трубного або профільного прокатів часто використовують обладнання механічних цехів: дискові пили, ножівки (рис. 3.10 а), фрезерні, токарні й револьверні верстати, а також фрикційні диски та абразивні круги (рис. 3.10 б). На цих верстатах проводять різання зі зняттям стружки.

Застосування верстатів доцільно в тому разі, якщо одночасно з різанням необхідно обробити краї деталей під зварювання. Оброблення кромek прямокутних листових заготовок проводять на поздовжньо-стругальних, поперечно-стругальних або торцефрезерувальних верстатах.

Механічне різання без зняття стружки. Для різання металу без зняття стружки застосовують різні типи ножиць: гільйотинні, дискові ножиці, стаціонарні пневмовіброножиці, вібраційні електроножиці, кутові, профільні ножиці, пресножиці, ножиці комбіновані.



а
б
Рисунок 3.10 – Відрізні верстати:
а – ножівка; б – абразивний круг

Процес різання на ножицях ґрунтується на створенні ножами зусиль, що перевищують межу міцності матеріалу. На початку процесу відбувається зминання матеріалу, а потім зі збільшенням зусилля різання створюється напруження зсуву, що перевищує допустиме дотичне напруження. Відділення однієї частини від іншої починається під час занурення одного з ножів у матеріал на глибину, що дорівнює 0,2–0,5 товщини заготовки.

Напруження, що виникають під час механічного різання, призводять до появи в зоні розрізу різних дефектів: тріщин, задирок, вм'ятин. У металах змінюється кристалічна структура. Усі вище перелічені недоліки потребують для певної групи деталей подальшого механічного оброблення. Для зварних конструкцій механічне оброблення після різання не обов'язкове.

Механічне різання металів проводять у холодному стані. Під час різання неметалевих матеріалів органічного походження (текстоліт, гетинакс, органічне скло, вініпласт тощо) необхідно проводити попереднє підігрівання. Фібру і

картон перед різанням рекомендують зволожувати.

Гільйотинні ножиці. Гільйотинні ножиці являють собою станину з укріпленими на ній у вертикальній площині двома ножами, одному з яких (зазвичай верхньому) двигун та ексцентрик надають зворотно-поступального руху від двигуна та ексцентрика через кривошипно-шатунний механізм і систему важелів. Необхідний для різання запас енергії акумулюється під час вільного ходу в масивному маховику.

У машинобудуванні широко використовують гільйотинні ножиці з паралельними і похилими ножами (рис. 3.11).

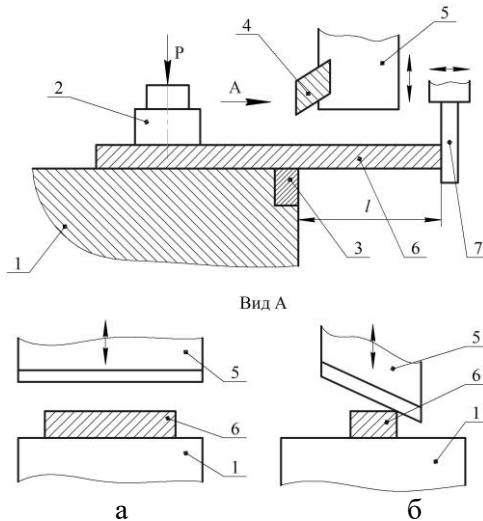


Рисунок 3.11 – Схеми роботи гільйотинних ножиць:
а – з паралельними ножами; б – із похилими ножами;
1 – стіл; 2 – притискачі пневматичні; 3 – нижній ніж;
4 – верхній ніж; 5 – рухома траверса; 6 – заготовка;
7 – упорний брус

У багатьох конструкціях ножиць нижній ніж установлюють горизонтально, а верхній – під невеликим кутом – до 8° . Зазор між ножами не повинен бути більшим ніж один міліметр. Вибір типу ножиць залежить від товщини заготовки

S. Цей геометричний параметр визначає зазор b між ножами [14]:

S до 10 мм – $b = 0,07$ мм;

S від 10 до 20 мм – $b = 0,08$ мм;

S від 20 до 24 мм – $b = 0,1$ мм.

Ножі зазвичай виготовляють цілими з високоякісних інструментальних сталей. Іноді застосовують складені ножі.

Визначення зусилля різання:

$$P = \frac{0,5 \cdot S^2 \cdot \tau_{зр}}{\operatorname{tg} \alpha} \cdot K,$$

де S – товщина листа, мм;

$\tau_{зр} = 0,8\sigma_b$ – тимчасовий опір матеріалу на зріз, МПа;

$K = 1,15-1,5$ – коефіцієнт, що враховує притуплення ножів, сили тертя і зазор між ножами.

Наявність зазору між ножами призводить до вигину заготовки, що, також спричиняє пошкодження металу на краях. Утворюються розвинені тріщини наклепаного шару. Тому після різання передбачається зняття пошкодженого шару на металорізальних верстатах. Припуск на механічне оброблення становить $Z_H = 0,25S$, але не менше ніж 3 мм.

Якщо після різання на ножицях проводять зварювання, то механічне оброблення є необов'язковим, оскільки наклепані кромки проплавляються разом із металом шва.

Дискові ножиці. Дискові ножиці застосовують для різання листового матеріалу по кривій, зняття фасок під час підготовки листів до зварювання, обрізання задирок у деталях, виготовлених із листа штампуванням, і для різання – по прямій. За способом розміщення ножів їх поділяють на три типи (рис. 3.12): з прямим розміщенням ножів (а), з одним похило розміщеним ножом (б), з двома похило розміщеними ножами (в).

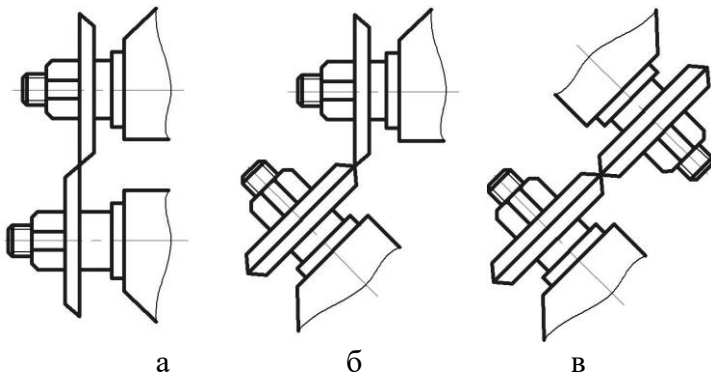


Рисунок 3.12 – Способи розміщення дискових ножів

Зняття на листах кромок можна здійснювати на ножицях із похилими осями, змінюючи зазор між різальними кромками; для цього роблять рухомими як верхній, так і нижній ножі. Верхній ніж дає можливість установлювати необхідний зазор у вертикальній площині, а нижній – у горизонтальній.

Для прямолінійного різання застосовують також ножиці, в яких один ніж прямий, а інший – дисковий. Дводискові одностоякові ножиці (рис. 3.13) мод. НБ-453 з похилими ножами, крім різання, можуть виконувати операції згинання і відбортовки.

Ножиці мають литу станину 3, верхню головку 4 з верхнім ножем, нижню головку 5 із нижнім ножем, привод 2 для обертання ножів та привод 1 для переміщення верхньої головки, пристосування 6 для різання по прямій, пристосування 7 для різання по колу.

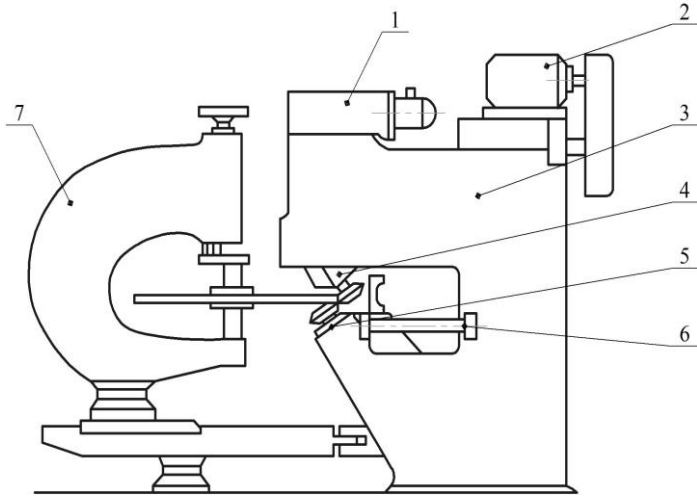


Рисунок 3.13 – Дводискові ножиці мод. НБ-453:
 1, 2 – приводи; 3 – станина; 4 – верхня головка; 5 – нижня
 головка; 6, 7 – пристосування

Зусилля різання на дискових ножицях:

$$P = \frac{0,65 \cdot S^2 \cdot \sigma_{сеп}}{2tg\alpha},$$

де α° – кут захоплення металу ножами, який визначають за формулою

$$\cos\alpha = 1 - (h + s)/D,$$

де $h = 0,3S$ – глибина вдавлювання ножів, мм;

S – товщина листа, мм;

D – діаметр дискових ножів, мм.

Запитання для самоперевірки

- 1 Що таке розмічання?
- 2 Охарактеризуйте площинне і просторове розмічання деталей.
- 3 Яким чином класифікують способи різання металу?

- 4 Які види різання належать до різання зі зняттям стружки?
- 5 Які види різання належать до різання без зняття стружки?
- 6 Які типи ножиць застосовують для різання металу?

3.4 Вибір обладнання для прямолінійного різання

Завдання 3 На основі початкових даних, наведених у пункті 3.2, потрібно:

- 1 Вибрати обладнання для різання заготовки обичайки і зазначити його основні технічні характеристики.
- 2 Визначити зусилля різання.
- 3 Розрахувати величину ходу ножа і роботу різання за один хід ножа.
- 4 Визначити потужність привода ножиць.
- 5 Зобразити кінематичну схему ножиць.

Рекомендації з виконання завдання:

1 Вибір необхідних гільйотинних ножиць здійснюють виходячи з товщини і ширини заготовки згідно з таблицею 3.3.

Ескіз різання на гільйотинних ножицях наведено на рисунку 3.14.

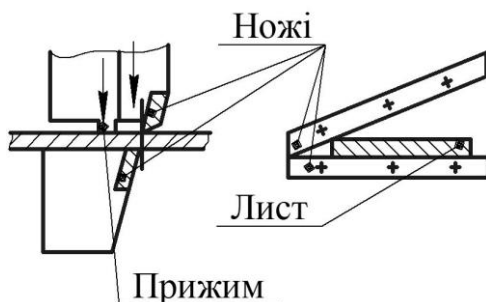


Рисунок 3.14 – Ескіз різання на гільйотинних ножицях

2 Зусилля різання [7]:

$$P = \frac{0,5 \cdot S^2 \cdot \tau_{3P}}{\operatorname{tg} \alpha} \cdot k, \text{ Н}, \quad (3.10)$$

де τ_{3P} – тимчасовий опір матеріалу на зріз, МПа;

$$\tau_{3P} = 0,8 \div 0,86 \cdot \sigma_B;$$

k – коефіцієнт, що враховує притуплення ножів, сили тертя і зазор між ножами, $k = 1,15 - 1,5$;

α – кут нахилу ножа, град., вибирають за рисунком 3.15 і уточнюють за паспортом машини.

Таблиця 3.3 – Характеристики кривошипних листових ножиць із похилим ножем (гільйотинних)

Модель ножиць	Характеристика			
	Найбільша товщина листа, що розрізається, за $\sigma_B = 500$ МПа, мм	Найбільша ширина листа, що розрізається, мм	Число ходів ножа за хвилину	Потужність електродвигуна, кВт
НБ3312	1,6	1 600	100	2,7
НБ3314	2,5	1 600	65	3,0
НВ473	2,5	2 500	65	2,8
НГ474	4,0	2 000	65	5,5
НБ3316	4,0	3 200	65	7,0
НД3318	6,3	2 000	50	9,4
НЗ118	6,3	2 000	60	7,0
НЗ218Б	6,3	2 200	50	8,3
НЗ218В	6,3	3 200	60	14,5
НЗ111	12,5	2 000	30	14,0
НЗ121	12,5	2 000	40	18,5
НЗ221	12,5	3 200	40	16,5
НБ478	16,0	3 200	30	28,6
НЗ222	16,0	3 200	30	28,2
НЗ222А	16,0	3 200	32	27,0
Н481А	20,0	3 200	30	28,6
НЗ223	20,0	3 200	30	41,4
Н482	25,0	3 200	20	40,0
НЗ225	32,0	3 200	22	45,0
Н483	32,0	3200	20	40,6

З Величина ходу ножа згідно з рисунком 3.16:

$$H = a + b = a + L \cdot \operatorname{tg} \alpha, \text{ мм}, \quad (3.11)$$

де $a = S + (5 \div 10)$ – відстань між нерухомим та рухомим ножами, мм;

L – довжина різання, мм.

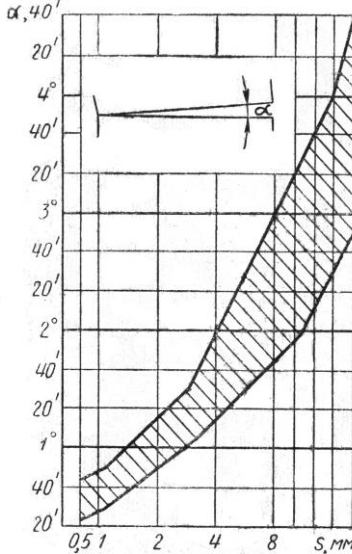


Рисунок 3.15 – Діаграма залежності кута різання від товщини листа [7]

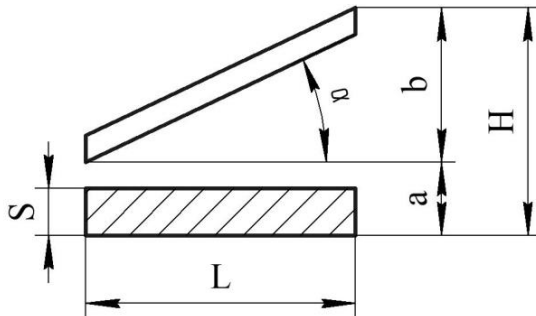


Рисунок 3.16 – Схема до розрахунку величини ходу ножа

Робота різання за один хід рухомого ножа [7]:

$$A = P \cdot H, \text{ Н} \cdot \text{ м.} \quad (3.12)$$

4 Потужність привода машини [8]:

$$N = \frac{A \cdot n}{1020 \cdot 60 \cdot \eta}, \text{ кВт,} \quad (3.13)$$

де n – число ходів ножа за 1 хвилину;
 η – ККД привода ножиць, $\eta = 0,75-0,85$.

Приклад розрахунку

1 Ескіз обичайки (рис. 3.17) і початкові дані
 $D_{вн} = 1100$ мм; $H = 800$ мм; $S = 4$ мм; матеріал – сталь
 12Х18Н10Т.

Для виконання операції прямолінійного різання виби-
 раємо ножиці гільйотинні з верхнім похилим ножем моделі
 НЗ218Б. Ескіз різання на гільйотинних ножицях показано на
 рисунку 3.18.

Технічна характеристика

Найбільша товщина листа, що розрізається, мм ...6,3
 Найбільша ширина листа, що розрізається, м....2 200
 Число ходів ножа за 1 хвилину.....60
 Потужність головного привода, кВт8,3

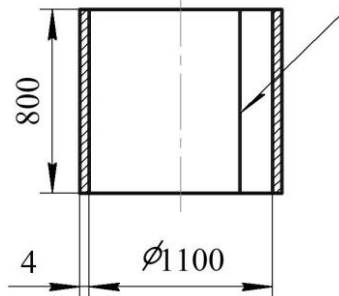


Рисунок 3.17 – Ескіз обичайки

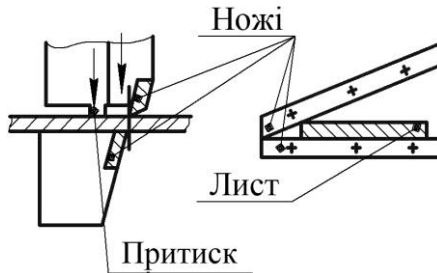


Рисунок 3.18 – Ескіз різання на гільйотинних ножицях

1 Кут нахилу верхнього ножа $\alpha = 1^\circ 30'$ (див. рис. 3.15).
 За формулою 3.10 зусилля різання листа

$$P = \frac{0,5 \cdot 4^2 \cdot 0,8 \cdot 550}{\operatorname{tg} 1^\circ 30'} \cdot 1,5 = 201635 \text{ Н.}$$

2 За формулою 3.11 та згідно з рисунком 3.15 величина ходу ножа, якщо

$$a = S + (5 - 10) = 4 + (5 - 10) = 9 - 14 \text{ мм.}$$

Беремо $a = 9 \text{ мм.}$

$$H = 9 + 800 \cdot \operatorname{tg} 1^\circ 30' = 30 \text{ мм}$$

За формулою 3.12 робота різання за один хід ножа

$$A = 201635 \cdot 0,03 = 6049 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

4 Потужність привода ножиць за формулою 3.13:

$$N = \frac{6049 \cdot 60}{1020 \cdot 60 \cdot 0,8} = 7,4 \text{ кВт.}$$

Розрахункова потужність привода ножиць менша від паспортної. Отже, різання на вибраній моделі гільйотинних ножиць можливе.

5 Кінематична схема ножиць (рис. 3.19) [8]:

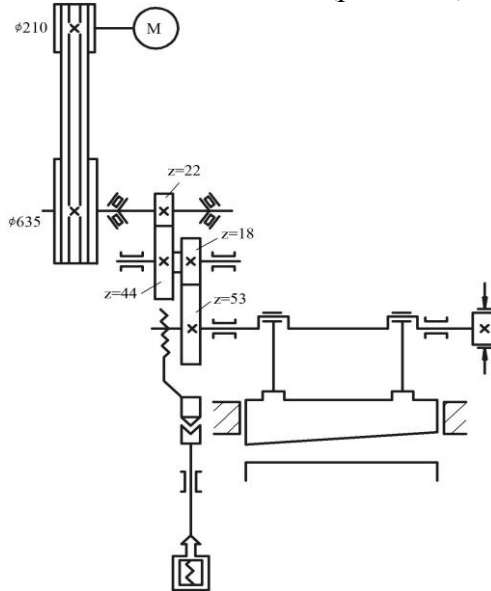


Рисунок 3.19 – Кінематична схема ножиць НЗ218Б

3.5 Вибір обладнання для колового різання

Завдання 4 На основі початкових даних, наведених у додатку В, потрібно:

- 1 Виконати ескіз еліптичного днища.
- 2 Згідно з початковими даними визначити розміри заготовки еліптичного днища.
- 3 Вибрати обладнання для колового різання заготовки еліптичного днища і зазначити його основні технічні характеристики.
- 4 Визначити зусилля різання і крутний момент.
- 5 Визначити потужність привода ножиць.
- 6 Зобразити кінематичну схему ножиць.

Рекомендації з виконання завдання:

1 Вибирають необхідні дискові ножиці, зважаючи на товщину і найбільший діаметр розрізувальної заготовки [1; 7]. Технічна характеристика дискових ножиць наведена в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Технічна характеристика дискових ножиць

Характеристика	Модель ножиць							
	H4412	H450	H4414A	H451	H4528	HБ453	H4420	H4422
Найбільша товщина розрізувального листа S, мм	1,6	2,0	2,5	3,2	6,3	10	10	16
Виліт ножиць (від кромки ножів до станини)	1 000	710	1 000	500	1 000	1 000	1 800	1 250
Швидкість різання, м/хв	2,5–7,5	2; 4,2	2,5; 3,7; 7,5	3,5; 7,0	2,5–7,5	2,5; 3,7; 4,9; 7,5	2,5–7,5	2–6
Діаметр ножів, мм	50	50	70	115	120	160	160	200
Найбільший діаметр вирізуваного кола з квадратного листа	2 000	2 100	2 840	2 100	2 100	2 500	3 200	3 200
Потужність основного привода	0,9	1,0	1,7	1,7	5,0	7,0	12,5	15,0

Розміри заготовки еліптичного днища [7]:

– діаметр розгортки днища

$$D_P = 2 \cdot \sqrt{(D_{BH} + S) \cdot (h_1 + m \cdot \varepsilon_{BH} \cdot (D_{BH} + S))}, \text{ мм}, \quad (3.14)$$

де D_{BH} – внутрішній діаметр днища, мм;

S – товщина днища, мм;

h_1 – висота відбортованої частини днища, мм;

ε_{BH} – коефіцієнт, який залежить від відношення D_{BH}/S і вибирається за графіком (рис. 3.20);

m – коефіцієнт, що залежить від відношення D_{BH}/h_B , $m = 0,345$ за $D_{BH}/h_B = 4$ і $m = 0,318$ за $D_{BH}/h_B = 5$;

h_b – висота опуклої частини днища, мм.

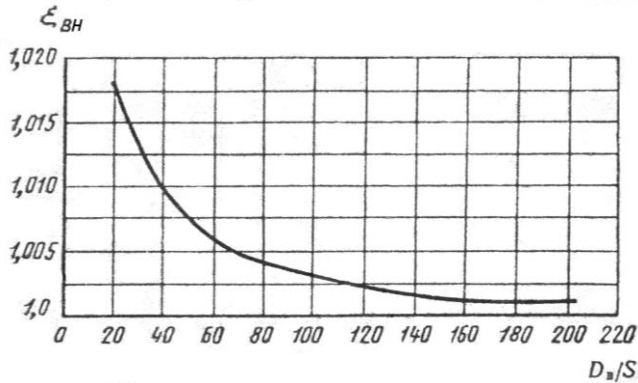


Рисунок 3.20 – Графік зміни коефіцієнта $\epsilon_{вн}$ залежно від $D_{вн}/h_b$

Діаметр заготовки днища

$$D_3 = D_p + 2 \cdot Z_H, \text{ мм}, \quad (3.15)$$

де $2 \cdot Z_H$ – припуск на механічне оброблення,

$$2 \cdot Z_H = (0,02 \div 0,05) \cdot D_p.$$

З Зусилля різання [5; 7]:

$$P = \frac{0,5 \cdot S^2 \cdot \sigma_B}{2 \cdot \operatorname{tg} \varphi}, \text{ Н}, \quad (3.16)$$

де φ – кут захоплення ножів, можна з деяким допущенням прирівняти до кута початку різання, град.;

$$\cos \varphi = 1 - \frac{h + S}{D}, \quad (3.17)$$

де D – діаметр ножів, мм;

$h = 0,3S$ – величина зазору між ножами в горизонтальному напрямку, [8; 14].

Крутний момент [5]:

$$M_{KP} = 0,125 \cdot k \cdot S^2 \cdot \sigma_B \cdot D \cdot \cos \varphi, \quad (3.18)$$

де k – коефіцієнт, що враховує нерівномірність властивостей і товщину матеріалу, $k = 1,2-1,4$.

4 Потужність основного привода ножиць [5]:

$$N = \frac{0,65 \cdot S^2 \cdot \sigma_B \cdot V}{750 \cdot \eta} \cdot 0,736, \text{ кВт}, \quad (3.19)$$

де V – швидкість різання, м/с;

η – ККД ножиць, $\eta = 0,75-0,85$.

Приклад розрахунку

1 Ескіз еліптичного днища і початкові дані подані на рисунку 3.21.

2 Діаметр розгортки днища розраховуємо за формулою 3.14:

$$D_p = 2 \cdot \sqrt{(400+10) \cdot (25+0,345 \cdot 1,008 \cdot (400+10))} = 524 \text{ мм.}$$

Діаметр заготовки днища за формулою 3.15 з урахуванням припуску на механічне оброблення торця днища після штампування

$$D_3 = 524 + (0,02 \div 0,05) \cdot 524 = 534,5 \div 550,2 \text{ мм.}$$

Беремо $D_3 = 542 \text{ мм.}$

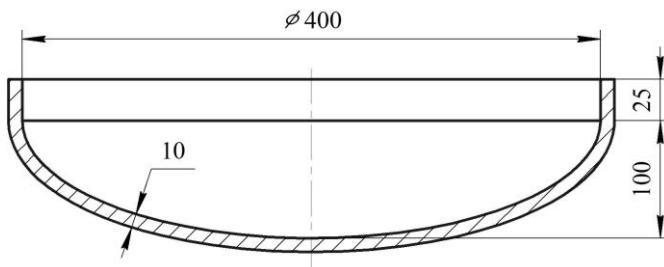


Рисунок 3.21 – Ескіз еліптичного днища

$D_{вн} = 400$ мм; $h_1 = 25$ мм; $h_{в} = 100$ мм; $S = 10$ мм; матеріал – Сталь Ст3пс.

3 Для колового різання листового прокату вибираємо дводискові ножиці з похилими ножами моделі НБ453. Ескіз різання на дискових ножицях із похилими ножами подано на рисунку 3.22.

Технічна характеристика ножиць моделі НБ453

Найбільша товщина розрізуваного листа, що, мм..10

Виліт ножиць, мм1 000

Діаметр ножів, мм160

Швидкість різання, м/хв.....2,5; 3,7; 4,9; 7,5

Найбільший діаметр вирізуваного кола мм2 500

Потужність головного привода, кВт7,0

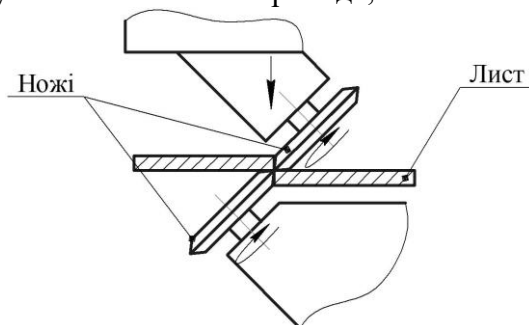


Рисунок 3.22 – Ескіз різання на дискових ножицях із похилими ножами

4 Зусилля різання за формулою 3.16:

$$P = \frac{0,5 \cdot 10^2 \cdot 430}{2 \cdot \operatorname{tg} 23,3^\circ} = 25014 \text{ Н},$$

Кут захоплення ножів за формулою 3.17

$$\cos \varphi = 1 - \frac{0,3 \cdot 10 + 10}{160} = 0,91875.$$

Звідки $\varphi = 23,3^\circ$.

Крутний момент, необхідний для обертання дискового ножа, за формулою 3.18

$$M_{KP} = 0,125 \cdot 1,3 \cdot 10^2 \cdot 430 \cdot 160 \cdot \cos 23,3^\circ = 1027163 \text{ Н} \cdot \text{мм} \approx \\ \approx 1027 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

5 Потужність привода за по формулою 3.19:

$$N = \frac{0,65 \cdot 10^2 \cdot 430 \cdot 7,5}{750 \cdot 0,8 \cdot 60} \cdot 0,736 = 4,3 \text{ кВт}.$$

6 Кінематична схема ножиць НБ453 (рис. 3.23) [8]:

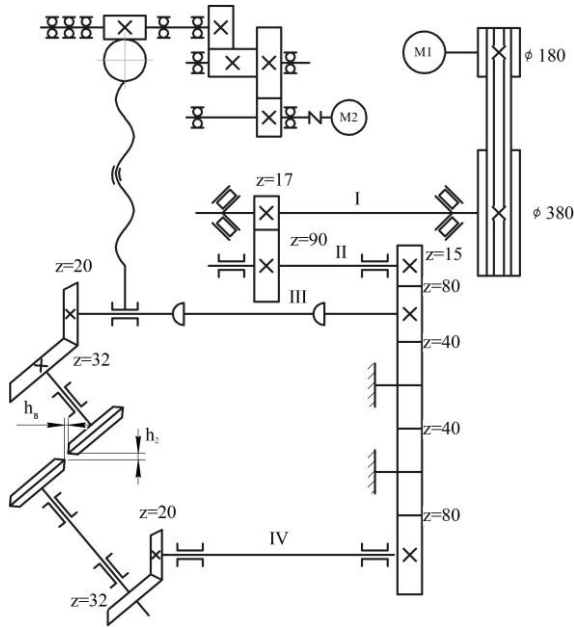


Рисунок 3.23 – Кінематична схема ножиць НБ453

3.6 Технологічне обладнання для згинання і вальцювання

3.6.1 Загальні відомості про процес згинання

У технологічному процесі виготовлення апаратури згинання належить до основних формозмінних операцій. Згинанню підлягають листовий, сортовий прокат і труби. Формозміна під час згинання здійснюється за допомогою пластичного деформування металу. Ця деформація відбувається по-різному з кожного боку заготовки. Шари металу всередині кута згину стискаються і коротшають у поздовжньому і розтягуються й поперечному напрямках. Зовнішні шари розтягуються і подовжуються в поздовжньому і стискаються в поперечному напрямках. Основними розуміннями вибору того чи іншого виду операції є ступінь пластичного

деформування металу під час згинання і необхідна потужність обладнання для виконання цієї операції.

Згинання – це процес зміни форми заготовки під дією зусиль, прикладених в одній або декількох площинах, розміщених під заданим кутом один до одного.

Зона деформації в процесі згинання, обмежується ділянкою, прилеглою до контактних поверхонь, і займає порівняно невелику частку об'єму заготовки. На рисунку 3.24 показаний елемент заготовки, який піддають згинанню. Як бачимо з рисунка, внутрішні шари матеріалу зазнають стиснення, зовнішні – розтягнення. Лінія, на якій матеріал не стискається і не розтягується, називається нейтральною.

Згинання виконують як у холодному, так і в гарячому стані за допомогою пуансонів, плит або валків, що мають округлені поверхні з радіусами, які в кілька разів перевищують товщину заготовки. Згинання в холодному стані допускається за напруження, що не спричиняє руйнування матеріалу.

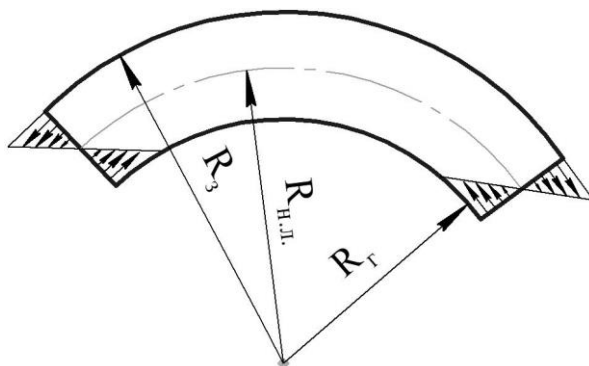


Рисунок 3.24 – Розподіл внутрішніх напружень у металі під час згинання

Мінімальний радіус згинання. Унаслідок того, що в процесі згинання зовнішні волокна згинального матеріалу зазнають напруження розтягнення, на зовнішній поверхні за

надмірного подовження волокон можуть виникнути тріщини. Можливість виникнення тріщин збільшується зі зменшенням радіуса згинання. Величина мінімального радіуса згинання R_r , за якого ще не виникають тріщини, орієнтовно визначається з умов, за яких найбільша деформація розтягнутого волокна спричиняє напруження, що не перевищують $0,8 \sigma_B$ (σ_B – межа міцності під час розтягування).

Кут пружинення. Оскільки під час згинання в холодному стані в матеріалі виникають як пластичні, так і пружні деформації, радіус згинання деталі після проведення операції завжди виявляється більшим від радіуса інструменту. Різниця між величиною кута між площинами деталі після згинання та кутом інструменту називається кутом пружинення (рис. 3.25).

Величина кута пружинення залежить від властивостей матеріалу, від відношення величини внутрішнього радіуса вигину до товщини матеріалу, від величини кута згинання, а також від умов проведення згинання. Розрізняють вільне згинання та згинання з калібруванням.

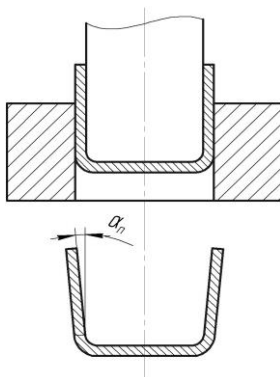


Рисунок 3.25 – Визначення кута пружинення (α_p) під час згинання скоби

3.6.2 Вальцювання обичайок

Вальцювання. Вальцювання є одним із видів згинання, за якого деформується весь об'єм заготовки. Вальцюванням виготовляють труби, обичайки, напівобичайки, конуси, кільця, бандажі та інші деталі, що мають постійний радіус за всією довжиною вигину.

Як інструмент використовують згинальні плити або згинальні та опорні валки різних діаметрів. Радіус згинання змінюється залежно від взаємного розміщення згинального та опорного інструментів, але він не може бути меншим від радіуса опорного валка.

Для деталей апаратів, що працюють під тиском, не рекомендують проводити вальцювання за радіусів згинання менше ніж $20S$, де S – товщина матеріалу. Вальцювання виконують на згинальних машинах, горизонтальних тривалкових і чотиривалкових вальцях, а також на вертикальних згинальних вальцях. Для згинання тонкого (до 5 мм) листа призначають двовалкові машини. На рисунку 3.26 показана схема роботи згинального верстата з упором заданого радіуса.

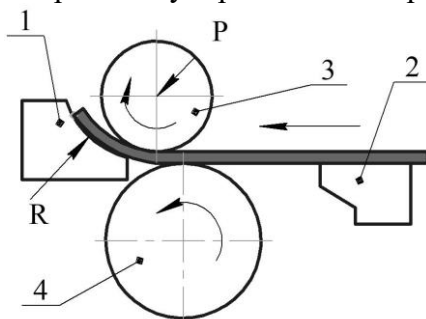


Рисунок 3.26 – Згинання на двовалкових машинах:
1 – згинальний упор; 2 – стіл; 3 – давильний валок;
4 – опорний валок

У конструкції вальців (рис. 3.27) верхній валок меншого діаметра повністю сталевий, а нижній валок більшого діаметра має еластичне покриття.

Як покриття використовують гумування, але частіше поліуретан, тому що на відміну від гуми він не має пористості й не зменшується в об'ємі. Поліуретан має також високу зносостійкість і пружність.

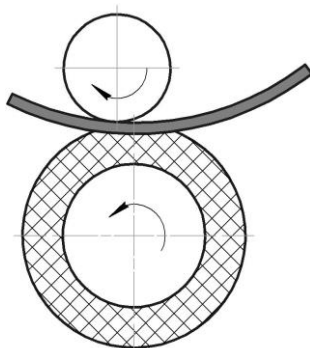


Рисунок 3.27 – Вальці з еластичним покриттям

Різні діаметри обичайок виготовляють за допомогою заміни верхнього валка. Переваги двовалкової машини: простота конструкції, відсутність псування поверхні під час згинання, підгинання кромки без спеціальних пристроїв, згинання листів різної товщини без регулювання валків, висока точність виробів.

Згинання на вальцях. Найпростішим видом вальців є тривалкова симетрична машина (рис. 3.28). Робочий рух передається нижнім валкам із нерухомою віссю обертання. Верхній валок роблять рухомим, це потрібно для одержання необхідного радіуса згинання, що регулюється вертикальним переміщенням верхнього валка, і для зняття заготовки, коли верхній валок виводиться з робочого стану. Заданого радіуса згинання досягають за кілька проходів під час реверсивного руху валків.

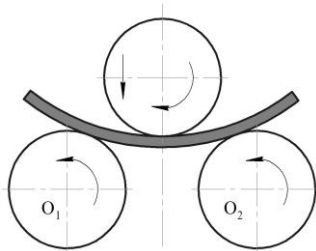


Рисунок 3.28 – Схема тривалкової симетричної машини

Кривизна вигину, що досягається за один прохід, обмежена силою зчеплення приводних валків із заготовкою. Основний недолік тривалкових машин полягає в тому, що кінець заготовки довжиною, що дорівнює приблизно половині міжцентрової відстані нижніх валків ($0,5 O_1O_2$), залишається плоским, оскільки найбільший згинальний момент припадає на середній верхній валок, тобто середину O_1O_2 . Підгинання кінців у цьому разі виконують як самостійну операцію.

Машини з асиметричним розміщенням валків дозволяють проводити практично повне згинання обичайки. Деякі схеми таких машин подані на рисунку 3.29. Для підгинання іншого краю листа заготовку вставляють у вальці з іншого боку.

Набули застосування також машини з регулюванням бічних валків у горизонтальному напрямку і з верхнім переміщувальним валком. Недоліки тривалкових машин усунені в чотиривалкових машинах. Схема однієї з них подана на рисунку 3.30.

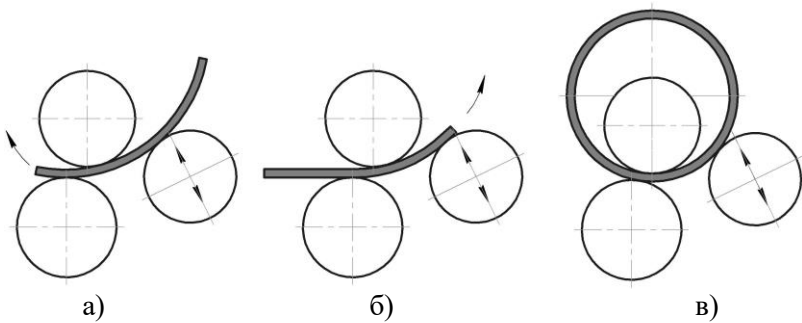


Рисунок 3.29 – Згинання листа на машині з асиметричним розміщенням валків: а) і б) підгинання країв листа; в) колове згинання

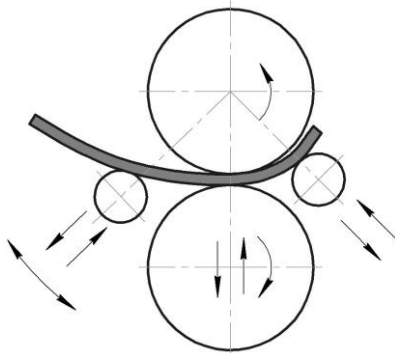


Рисунок 3.30 – Чотиривалкова машина

Середні валки мають примусове обертання. Нижній валок можна встановлювати по висоті залежно від товщини листа. Нижній валок можна встановлювати по висоті залежно від товщини листа.

Бічні валки, переміщуючись, визначають радіус згинання і виконують підгинання кінців заготовок. Водночас можна уникнути підгинання кінців як самостійної операції.

Вальці вибирають за технічною характеристикою залежно від довжини й товщини згинального прокату і відпо-

відно до потужності, необхідної для виконання операції згинання. Зокрема, чотиривалкові машини використовують для згинання листів із товщиною до 80 мм і шириною до 5 м.

Дефекти, утворювані під час вальцювання. Точність заготовки після проведення згинальної операції багато в чому визначає якість готового виробу (обичайки). Тому необхідно розглянути можливі дефекти форми під час згинання із зазначенням причин їх виникнення.

Перекіс кромки одержують у тому разі, коли не додержується паралельність торцевої кромки листа з осями валків під час установа листа у вальцях (рис. 3.31 а). Дефект виправляють зворотним перекосом листа.

Конусність є дефектом верстата і виникає внаслідок непаралельності розміщення осей верхнього і нижнього валків (рис. 3.31 б). Для виправлення дефекту необхідно опустити верхній валок із боку більшого радіуса.

Бочкоподібності з опуклою й увігнутою твірною виникають за надмірного тиску на валки, що викликає викривлення останніх. Опуклу бочкоподібність одержують за меншого вигину листа посередині, а увігнуту (сідлоподібну) – за меншого вигину на кінцях (рис. 3.31 в).

Перегин на радіус, менший від заданого (рис. 3.31 г), відбувається внаслідок надмірного підтискання валків.

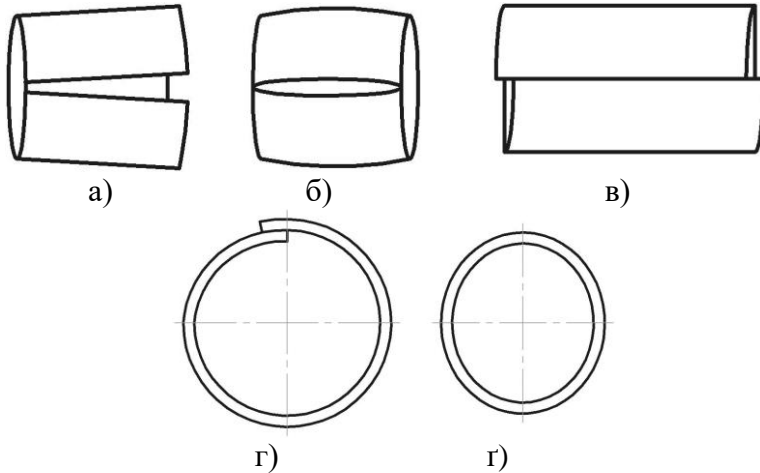


Рисунок 3.31 – Дефекти, утворювані під час вальцювання на вальцях:

- а) перекіс кромок; б) конусність; в) бочкоподібність;
- г) перегин на радіус, менший від заданого; г) овальність

Щоб уникнути перегину, необхідно проводити вальцювання в якомога більшу кількість проходів, щоразу перед початком вальцювання листа, підтискаючи валки на невелику величину. Після кожного проходу необхідно перевіряти радіус вальцювання за шаблоном.

Овальність – різниця між великою і малою віссю овалу, що виникає внаслідок нерівномірності притиснення листа за всією довжиною під час останнього проходу (рис. 3.31 г).

Запитання для самоперевірки

- 1 Що таке згинання заготовок? Дайте стислу характеристику процесу.
- 2 Які є способи холодного згинання?
- 3 Які є способи гарячого згинання?
- 4 Охарактеризуйте процес вальцювання.

3.7 Вибір обладнання для згинання листового прокату

Завдання 5 На основі початкових даних, наведених у додатку В, потрібно:

1 Згідно з початковими даними виконати ескіз обичайки.

2 Вибрати листозгинальну машину для вальцювання заготовки обичайки.

3 Зобразити схему дії сил під час згинання, визначити зусилля на валках.

4 Визначити потужність привода машини.

5 Розрахувати величину прогину заготовки для тривалкової листозгинальної машини із симетричним розміщенням бічних валків.

6 Зобразити кінематичну схему машини.

Рекомендації з виконання завдання:

1 Вибір необхідної листозгинальної машини здійснюють виходячи з товщини і ширини згинальної заготовки, а також найменшого радіуса згину [3; 7; 8]. Технічні характеристики тривалкових симетричних листозгинальних машин наведені в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Технічні характеристики тривалкових симетричних листозгинальних машин

Параметр	Модель машини						
	ИА2212	ИА2214	ИА2216	И2220	ИА2220А	И2222	И2224
1	2	3	4	5	6	7	8
Найбільша товщина листа, згинального, мм	1,6	2,5	4	10	10	16	25
Найбільша ширина згинального листа, мм	2 500	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000	3 150

Продовження таблиці 3.5

Найменший радіус згину, мм	67	85	125	160	170	220	340
Швидкість згинання, м/хв	8	9,5	8,21	7,65	7,65	8,2	7,0
Діаметр валків, мм: середнього, бічних	110 105	135 125	180 150	268 240	230 205	285 240	500 480
Потужність, кВт, головного привода встановлена	— 4,2	— 4,4	— 10,2	7 16,1	— 19,6	— 22,9	— 72,5

1 Схема дії сил під час згинання на тривалковій листо-згинальній машині із симетричним розміщенням бічних валків (рис. 3.32) [2].

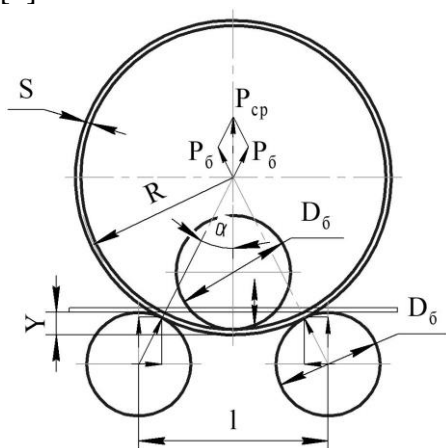


Рисунок 3.32 – Схема дії сил під час згинання на валках

Момент опору листа

$$W = \frac{B \cdot S^2}{6}, \text{ мм}^3, \quad (3.20)$$

де B – ширина листа, мм.

2 За умови рівності згинального моменту під середнім валком (M) сумі моментів вертикальної й горизонтальної складових зусилля на бічних валках (P_B) одержуємо:

$$M = P_B \cdot \left(R + \frac{S}{2} \right) \cdot \sin \alpha, \text{ Н} \cdot \text{ м}, \quad (3.21)$$

де R – радіус згину, мм.

Нехтуючи $S/2$ внаслідок незначної величини порівняно з R , одержуємо:

$$P_B = \frac{M}{R \cdot \sin \alpha}, \text{ Н}, \quad (3.22)$$

$$M = k_1 \cdot W \cdot \sigma_T, \text{ Н} \cdot \text{ м}. \quad (3.23)$$

де k_1 – коефіцієнт профілю, $k_1 = 1,5$;

σ_T – межа текучості матеріалу, МПа.

3 паралелограма сил визначаємо зусилля на середній валок:

$$P_{CEP} = 2 \cdot P_B \cdot \cos \alpha, \text{ Н}.$$

Підставляючи P_B із формули 3.22, одержуємо:

$$P_{CEP} = \frac{2 \cdot M}{R \cdot \text{tg} \alpha}, \text{ Н}.$$

Кут α визначаємо з відношення

$$\sin \alpha = \frac{l}{2 \cdot (R + S / 2 + D_B / 2)} \approx \frac{l}{2 \cdot (R + D_B / 2)}, \quad (3.26)$$

де l – відстань між бічними валками, $l \approx (2-3) \cdot D_B$.

3 Потужність привода [8]:

$$N = \frac{M_{KP} \cdot V}{510 \cdot D_B \cdot \eta}, \quad \text{кВт}, \quad (3.27)$$

де M_{KP} – сумарний крутний момент на валках, Н · м;

V – швидкість згинання заготовки, м/с;

D_B – діаметр бічних валків, м;

η – ККД привода машини, $\eta = 0,8 - 0,85$.

Сумарний крутний момент на бічних валках [2]:

$$M_{KP} = M_{KP}^1 + M_{KP}^2, \quad \text{Н} \cdot \text{м}, \quad (3.28)$$

де M_{KP}^1 – крутний момент, витрачуваний на пластичну деформацію листа;

$$M_{KP}^1 = \frac{M \cdot D_B}{2 \cdot R}, \quad \text{Н} \cdot \text{м}, \quad (3.29)$$

де M_{KP}^2 – крутний момент сил тертя кочення валків по прокату і тертя ковзання в підшипниках валків;

$$M_{KP}^2 = (P_{CP} + 2 \cdot P_B) \cdot \left(f + \mu \cdot \frac{d}{2} \right), \quad \text{Н} \cdot \text{м}, \quad (3.30)$$

де $f = 0,8$ мм – коефіцієнт тертя кочення валків по прокату;

$\mu = 0,6 - 0,08$ – коефіцієнт тертя ковзання в підшипниках, для бронзових вкладишів,

d – діаметр опорної шийки вала, $d = 150, 200, 250$ мм.

4 Величина прогину [7]:

$$Y = R + S + \frac{D_B}{2} - \sqrt{\left(R + S + \frac{D_B}{2} \right)^2 - \frac{l^2}{4}}, \quad \text{мм}. \quad (3.31)$$

Приклад розрахунку

1 Ескіз обичайки (рис. 3.33) і початкові дані:

$D_{\text{вн}} = 2\ 000$ мм, $H = 2\ 000$ мм, $S = 10$ мм, матеріал – Ст3 сп.

2 Для згинання циліндричної обичайки вибираємо тривалкову симетричну листозгинальну машини моделі И2220 [4].

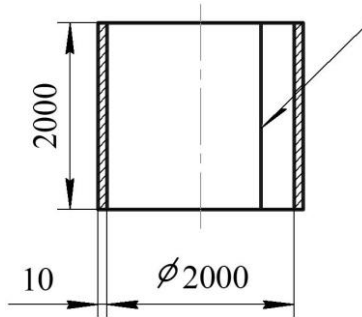


Рисунок 3.33 – Ескіз циліндричної обичайки

Технічна характеристика листозгинальної машини моделі И2220

Найбільша товщина згинального листа, мм10
Найбільша ширина згинального листа, мм2 000
Найменший радіус згину, мм160
Швидкість згинання, м/хв7,65
Діаметр валків, мм:	
середнього.....268
бічних.....240
Потужність головного привода, кВт7,0

3 Момент опору листа за формулою 3.20:

$$W = \frac{2000 \cdot 10^2}{6} = 33333,3 \text{ мм}^3.$$

Припускаючи, що $l = 2 \cdot D_B = 2 \cdot 240 = 480$ мм, визначаємо кут α за формулою 3.26:

$$\sin \alpha = \frac{480}{2 \cdot (1000 + 240/2)} = 0,2143, \rightarrow \alpha = 12,4^\circ,$$

Згинальний момент під середнім валком

$$M = 1,5 \cdot 33333,3 \cdot 230 = 11499988,5 \text{ Н} \cdot \text{мм} \approx 11500 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

За формулами 3.22 і 3.25 зусилля на валках:

$$P_B = \frac{11500}{1 \cdot \sin 12,4^\circ} = 53554 \text{ Н},$$

$$P_{CEP} = \frac{2 \cdot 11500}{1 \cdot \text{tg} 12,4^\circ} = 104610 \text{ Н}.$$

4 Крутні моменти на валках визначаємо за формулами 3.28–3.30:

$$M_{KP}^1 = \frac{11500 \cdot 0,24}{2 \cdot 1} = 1380 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$M_{KP}^2 = (104610 + 2 \cdot 53554) \cdot \left(0,0008 + 0,07 \cdot \frac{0,2}{2} \right) = 1651 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$M_{KP} = 1380 + 1651 = 3031 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Потужність привода машини визначаємо за формулою 3.27.

$$N = \frac{3031 \cdot 7,65}{510 \cdot 0,24 \cdot 0,8 \cdot 60} = 3,95 \text{ кВт}, \quad N \leq N_{ПАСП}, \quad 3,95 \leq 7,0$$

4 Величина прогину визначаємо за формулою 3.31.

$$Y = 1000 + 10 + \frac{240}{2} - \sqrt{\left(1000 + 10 + \frac{240}{2}\right)^2 - \frac{480^2}{4}} = 26 \text{ мм.}$$

6 Кінематичні схеми листозгинальної машини моделі И2220 (рис. 3.34–3.35):

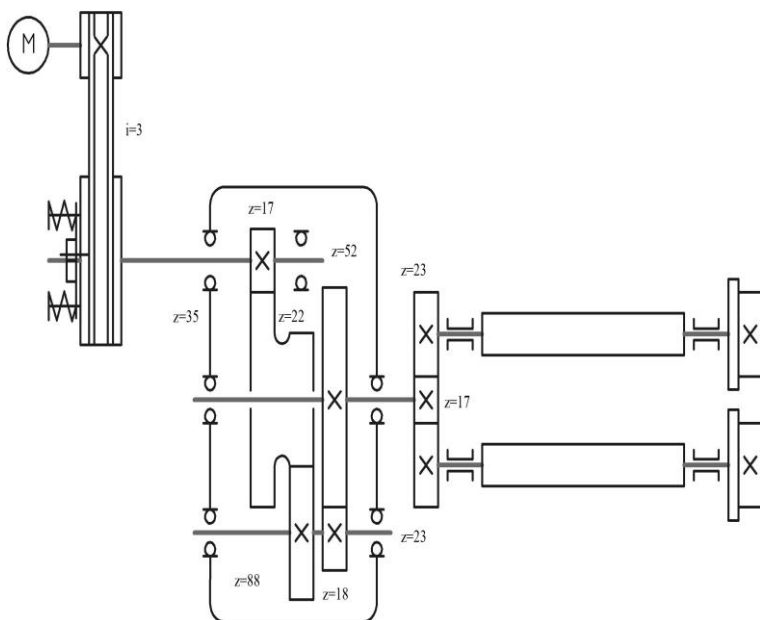


Рисунок 3.34 – Кінематична схема привода обертання нижніх валків листозгинальної машини мод. И2220

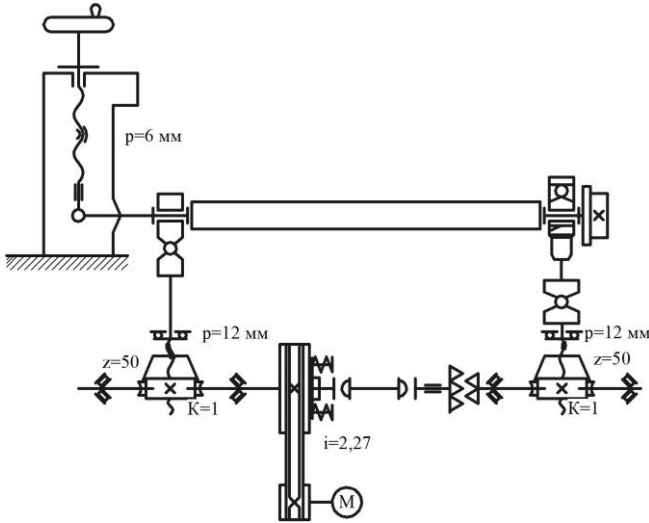


Рисунок 3.35 – Кінематична схема механізму підймання верхнього валка листозгинальної машини мод. И2220

3.8 Обладнання для штампування і витягання деталей

Витяганням називають процес отримання з плоскої заготовки порожнистого тіла, відкритого з одного боку (рис. 3.36). Витягання проводять на пресах у штампах або в спеціальних пристроях.

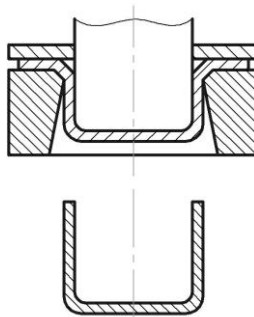


Рисунок 3.36 – Схема процесу витягання і готова деталь

Витягання на пресах може бути проведене без стоншення або і стоншенням стінки. У першому випадку попередні розміри пуансона виконують меншими розмірів від отвору матриці на величину, що перевищує подвійну товщину стінки вихідної заготовки.

У другому випадку зазор між пуансоном і матрицею становить від 0,3 до 0,8 товщини матеріалу, що приводить до зменшення товщини заготовки і збільшення її поверхні. Витягання з потоншенням стінки вимагає великих зусиль, тому його застосовують для виготовлення виробів із пластмас та м'яких металів: алюмінію, міді, латуні. В апаратобудуванні переважно застосовують витягання без стоншення стінки.

Залежно від використовуваного матеріалу, необхідної глибини і діаметра деталей існує декілька способів витягання:

- витягання готових деталей через протяжне кільце на пресах за один хід пуансона;
- витягання на пресах із застосуванням притискача;
- глибоке витягання, проведене за кілька переходів, за яких послідовно збільшується висота виробу за рахунок зменшення його діаметра;
- гідравлічне витягання і витягання гумою;
- витягання з підігріванням, що дозволяє робити нерівномірну деформацію окремих ділянок заготовки.

Витяжка на пресах із застосуванням притискача дозволяє уникнути утворення складок у процесі штампування тонкостінних деталей. Тонкостінними прийнято вважати деталі, в яких відношення товщини стінки до діаметра заготовки менше ніж 0,01.

Глибоке витягання застосовують у тих випадках, якщо відношення діаметра готового виробу до діаметра заготовки менше від рекомендованого *коефіцієнта витягання* – відношення зовнішнього діаметра отриманого виробу до діаметра заготовки.

Коефіцієнт витягання є мірою величини деформацій. Чим менше за величиною значення K , тим сильніше змінюється форма заготовки. Величина коефіцієнта витягання залежить від механічних властивостей матеріалу, його товщини, розмірів виробу, геометрії штампа. Глибоку витяжку необхідно проводити таким чином, щоб коефіцієнт витягання збільшувався від ступеня до ступеня. Глибоке витягання найчастіше проводять із міжопераційним відпалом і подальшим травленням для видалення продуктів окиснення.

Для зменшення зусиль витягання та поліпшення якості поверхні оброблюваних деталей в усіх випадках рекомендують застосовувати змащення інструменту і поверхні заготовки.

Мастило створює на поверхнях міцну масляну плівку. Залежно від використовуваного матеріалу та умов роботи застосовують різні склади мастил. Основними компонентами мастил є жири, тальк, спирт, графіт, крейда, машинне масло, сода, бензин, гліцерин. Під час витягання в гарячому стані рекомендують застосовувати для змащення скляний порошок або волокно.

Обладнання для проведення витягання. Найчастіше витягання виконують на гідравлічних пресах.

Днища і кришки виготовляють на гідравлічних чотиріколонних пресах подвійної дії з верхньою рухомою плитою. Залежно від форми виробу і характеру витягання виготовляють різні пуансони й матриці.

Для виготовлення деталей із плоским днищем рекомендують застосовувати пуансони, що мають радіус округлення робочих крайок у межах $(5-10)S$. Матрицю найкраще виготовляти з конічною вхідною частиною. Під час витягання з потоншенням стінки рекомендовані розміри робочих крайок для пуансона $0,5S$, для матриці – більше ніж $5S$.

Зазор між пуансоном і матрицею може змінюватися через опускання пуансона (сферичне витягання) або залиша-

тися постійним (циліндричне витягання). Найменшу величину зазору вибирають такою, що дорівнює $1,1S$.

Пуансони та матриці виготовляють із якісних високоуглецевих або легуваних сталей. Для штампування м'яких металів і пластмас штампи можна виготовляти з дерева, ебоніту й текстоліту.

Штампуння днищ. Штампуння днищ на гідравлічних пресах здійснюють зазвичай у гарячому стані за один подвійний хід преса. Нагріту заготовку кладуть на протяжне кільце таким чином, щоб краї заготовки, які виходять за стінки кільця, були однаковими. Пуансон, що має форму днища, закріплюють на траверсі внутрішнього повзуна, що є плунжером робочого гідравлічного циліндра. Повільно опускаючись, пуансон простягає заготовку через протяжне кільце, утворюючи за один хід днище.

Штампуння на пресах здійснюють зазвичай у гарячому стані. Заготовку нагрівають і за рольгангом подають до штампа. Штамп складається з протяжного кільця матриці 1 і пуансона, до якого входять «грибок» 2 і формувальне кільце 3 (рис. 3.37).

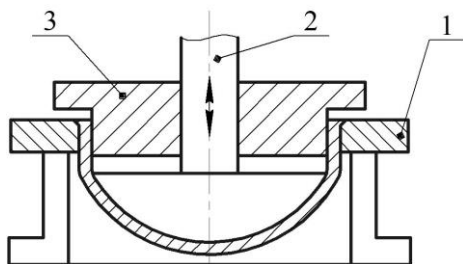


Рисунок 3.37 – Схема гарячого штампування днищ:

1 – протяжне кільце; 2 – «грибок»; 3 – формувальне кільце

Така конструкція дозволяє полегшити зняття напрусованої (за рахунок швидкого охолодження) заготовки під час зворотного ходу пуансона. Проте термічна усадка є основним

недоліком гарячого штампування. До недоліків також належить значний угар металу в процесі нагрівання. Забезпечення необхідної температури заготовки також має велику складність, оскільки під час транспортування і закріплення заготовки в штампі втрачається значна кількість тепла. Як наслідок, висока витрата палива (400÷480 м³ природного газу для 1 т продукції). Застосування спеціальних силікатних покриттів сприяє зниженню окалиноутворення (вдвічі), а також поліпшенню умов тертя під час штампування. Скло за високої температури переходить у в'язкий стан, утворюючи суцільну газонепроникну плівку. Склеєне покриття, діючи як мастило, на 40 % знижує зусилля деформації, необхідне для формування днища.

Штампування днищ у холодному стані простіше щодо реалізації в промислових умовах. Водночас воно потребує більш дорогих сталей для штампувального оснащення (матриця, протяжні кільця), необхідності термічного оброблення після штампування для зняття наклепу, а також подальшої правки після термооброблення.

Основною причиною, що стримує широке використання холодного штампування під час виготовлення днищ апаратів, є високі залишкові напруження, які спричиняють тріщини в металі. Особливо це проявляється в сталях, які мають у своєму складі хром. Підвищенню якості днищ під час штампування сприяє вдосконалення конструкції оснащення.

Метод ротаційного видавлювання. Метод ротаційного видавлювання (спінінгування) полягає в тому, що формування днищ виконується роликми з малою зоною пластичної деформації, локалізованої на незначній частині обертової заготовки. Деформація заготовки здійснюється на універсальних давильних верстатах вертикального й горизонтального виконань. Оснащення (змінне) складається з

оправки 1, притискної шайби 2 і давильних роликів 3 (рис. 3.38).

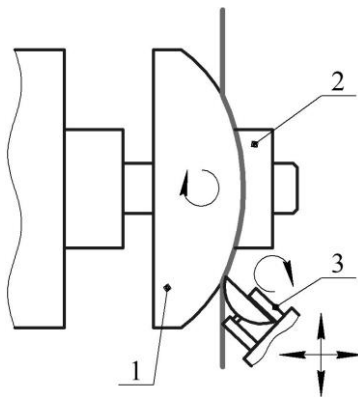


Рисунок 3.38 – Схема давильного верстата в горизонтальному виконанні: 1 – оправка; 2 – притискна шайба; 3 – давильний ролик

Оправки виготовляють для кожного типорозміру литтям, штампуванням, механічним обробленням зі сталі, чавуну, твердого дерева.

Діаметр оправки менший від номінального діаметра на величину $2S$ і подвійний щодо величини пружинення матеріалу після видавлювання 2α . Давильні ролики виготовляють із сталі, капрону (для міді, алюмінію).

Процес видавлювання на давильних верстатах передбачає переміщення давильного ролика від центра до периферії під час обертання оправки із заготовкою. На давильних верстатах передбачена також підрізка крайок днища (токарна операція). Під час формування днищ роликami без нагрівання заготовки її опуклу частину попередньо штамнують на пресі. Неглибокі днища за одиничного виробництва видавлюють без оправлення за допомогою опорного ролика 1, що обертається від самостійного привода. Шпиндель верстата 3 і притискна шайба 2 призначені лише для закріплення заготов-

ки, але не для передавання крутного моменту (рис. 3.39). За такою схемою працюють верстати фірм «Болдріні» (Італія) та «Шляйфенбаум-Стайнлентц» (Німеччина).

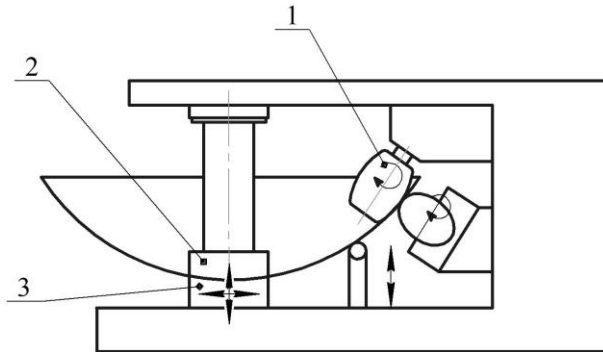


Рисунок 3.39 – Схема безоправкового видавлювання днищ:
1 – опорний ролик; 2 – притискна шайба;
3 – шпиндель верстата

Видавлювання днищ великих розмірів і товщини проводять на важких порталних машинах, поєднуючи цю операцію з гарячим штампуванням. Маршрут оброблення в цьому разі такий: 1) нагрівання заготовки; 2) штампування центральної частини днищ; 3) закачування борта з одночасним завершенням формувань центральної частини; 4) відбортовування днища нерухомим бортувальним 1 і давильним 2 валками.

Основним дефектом під час виготовлення днищ методом ротаційного видавлювання є нерівномірність товщини по перерізу деталі. Використання для зменшення стоншення змінних оправок економічно не вигідне через велику металоємність і трудомісткість виготовлення.

Штампування тонкостінних днищ. Штампування тонкостінних днищ ($S < 2$) ускладнюється здатністю заготовки до складкоутворення та їх низькою механічною міцністю. Тому потрібне попереднє притиснення заготовки 1 по пери-

ферії до матриці 2 притискним кільцем 3 спеціальної конструкції (рис. 3.40).

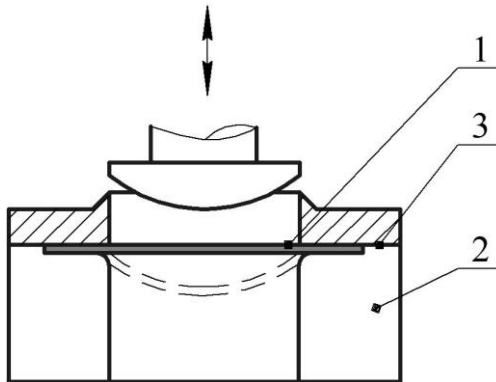


Рисунок 3.40 – Штампування тонкостінних днищ:
1 – заготовка (лист); 2 – периферована матриця;
3 – притискне кільце

Штампування днищ із застосуванням кільця виконують за дві операції: під час першої – кільце кладуть на заготовку плоским боком і здійснюють попереднє штампування сферичної частини; під час другої – кільце перевертають і проводять остаточне витягування заготовки через матрицю. Штмп із двобічним притискним кільцем дозволяє притискати заготовку упродовж усього процесу витягування й унеможливає утворення гофрів, складок, випуклостей та інших видів браку.

Гідравлічне витягання. Витягання великогабаритних днищ із тонкого листового матеріалу на пресах навіть під час застосування притисків не виключає утворення складок на бортах. Складки видаляють за допомогою ручного вибивача, дерев'яної киянки або металевими кувалдами. Процес ручного вибивання є дуже важким і трудомістким і не забезпечує гарної якості виробів. Найбільш досконалим способом виготовлення тонколистових днищ є гідравлічне витягання. На рисунку 3.41

показана схема гідравлічного витягання. Деформування заготовок за гідравлічного витягання відбувається під дією робочої рідини, тиск якої досягає в сучасних конструкціях пресів 400 атм. На цих пресах один робочий інструмент виготовляють у вигляді товстого гумового листа, яким закривають простір із водою. Під час створення тиску лист натягує матеріал рівномірно без утворення складок.

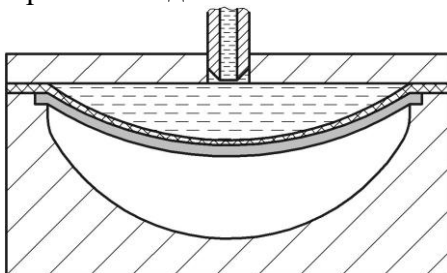


Рисунок 3.41 – Гідравлічне витягання днищ на поверхню пуансона або матриці

Запитання для самоперевірки

- 1 Які є способи зменшення зусиль витягування?
- 2 У чому полягає сутність процесу витягання деталей?
- 3 Якими способами можна проводити витягання деталей?

3.9 Вибір обладнання для штампування еліптичного днища

Завдання 6 На основі початкових даних, наведених у додатку В, потрібно:

1 Згідно з початковими даними виконати ескіз еліптичного днища.

2 За розрахованими розмірами заготовки еліптичного днища (див. завдання № 4) призначити температурний режим штампування, вибрати спосіб штампування (з притиском або без притиску) і визначити зусилля штампування.

3 Визначити розміри основних деталей штампу, призначити їх матеріал. Зобразити ескіз схеми штампування днища.

4 Вибрати прес для штампування днища за розрахованим зусиллям.

5 Установити температурний режим термообробленням днища.

Рекомендації з виконання завдання:

1 У серійному виробництві виготовлення днищ штампуванням на гідравлічних пресах – один із найпродуктивніших і економічних способів. Штампування днищ на пресах проводять у гарячому, рідше в холодному стані.

Технологічний процес штампування днищ у гарячому стані полягає в такому [9]. З листа вирізують круглі заготовки і нагрівають їх у газових печах, які розміщені у безпосередній близькості від пресів. Режими гарячого штампування наведені в таблиці 3.6 [15]. Потім заготовки подають до гідравлічного преса, встановлюють на дзеркало матриці 1, притискують спеціальним кільцем 2 фланцеву їх частину до матриці зусиллям Q (іноді без притиску) і за допомогою пуансона 3 проводять штампування (рис. 3.42).

Таблиця 3.6 – Режими гарячого штампування

Марка матеріалу	Режим штампування		
	Температура, °С		Час витримки заготовки за температури початку штампування, хв на 1 мм товщини
	початок	кінець (не нижче ніж)	
Ст3сп, Ст3пс, 20, 16К, 20К, 22К	950–1 050	700	1,5–2,0 (для товщини ≤ 80 мм) 2,0–2,5 (для товщини ≥ 80 мм)
12ХМ, 12МХ, 15ХМ, 15Х5М	1 000–1 050	800	
09Г2С, 10Г2С1, 16ГС	1 050–1 150	700	
08Х18Н10Т, 12Х18Н10Т, 10Х17Н13М3Т, 10Х17Н13М2Т	1 050–1 150	850	1,0

Продовження таблиці 3.6

08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т	1 050–1 080	850	2,0, але не менше ніж 15 хв
08Х13, 12Х13, 12Х17	1 100–1 150	900	1,0–1,5
ХН65МВУ, ХН63МБ	1 150–1 180	950	2,0–2,5
ХН32Т, 03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ	1 050–1 080	850	1,0
ВТ1–0, ВТ1–00	600	550	5 – для товщини 2 мм, 6 – для товщини 3 мм, 8 – для товщини 5 мм, 10 – для товщини 7 мм,
ОТ4–0	700	550	10–15 – для товщини > 7 мм

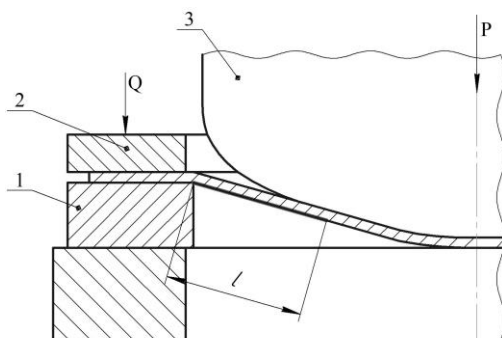


Рисунок 3.42 – Схема штампування днищ із притиском:
1 – матриця; 2 – кільце; 3 – пуансон

Зусилля штампування на пресі:

$$P = P_B + P_{ПР}, \text{ Н}$$

де P_B – зусилля витягання днища, Н;

$P_{ПР}$ – зусилля притиску заготовки, Н. Зусилля притиску в процесі штампування днища рекомендовано брати як 30 % P_B [15].

Зусилля витягання [10; 15]:

$$P_B = \pi \cdot D_{BH} \cdot S \cdot \sigma_B^t \cdot n_1, \text{ Н} \quad (3.32)$$

де n_1 – поправковий коефіцієнт, що залежить від коефіцієнта витягання $m = D_{BH}/D_3$ (таблиця 3.7);

σ_B^t – межа міцності матеріалу за температури штампування, МПа (таблиця 3.8);

D_{BH} – внутрішній діаметр днища, мм.

Таблиця 3.7 – Залежність поправкового коефіцієнта n_1 від коефіцієнта витягання m

m	0,55	0,57	0,6	0,62	0,65	0,67	0,7	0,72	0,75	0,77	0,8
n₁	1,0	0,93	0,86	0,79	0,72	0,66	0,60	0,55	0,5	0,45	0,4

Таблиця 3.8 – Межа міцності матеріалу за температури штампування

Марка матеріалу	Межа міцності матеріалу, кгс/мм ²
Ст3сп, Ст3пс, 20, 16К, 20К, 22К	10,0
12ХМ, 12МХ, 15ХМ, 15Х5М, 09Г2С, 10Г2С1, 16ГС	11,0
08Х18Н10Т, 12Х18Н10Т, 08Х21Н6М2Т	12,0
10Х17Н13М3Т, 10Х17Н13М2Т	13,2
03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ	14,4
ХН65МВУ, ХН63МБ	21,6
ВТ1-0, ВТ1-00, ОТ4-0	7,2

2 Товстостінні днища (відношеннях $D_3/S \leq 80$ – для вуглецевих та низьколегованих сталей, $D_3/S \leq 60$ – для корозійностійких сталей) зазвичай, штампують без притиску фланцевої частини заготовки, використовуючи преси простої дії [15]. Штмп для такого витягування (рис. 3.43) складається з порожнистого пуансона 1, матриці 2, що має форму протяжного кільця і встановлена на стояках 3 на столі преса.

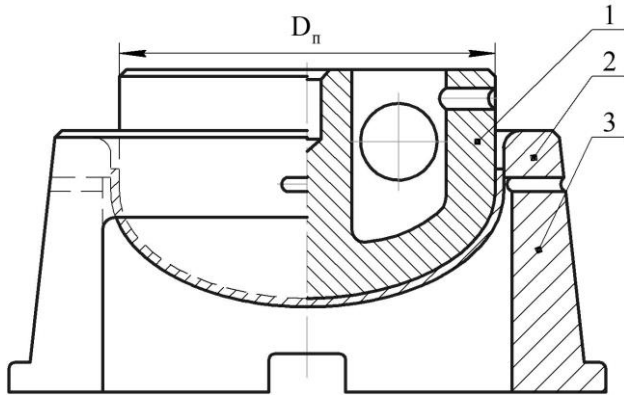


Рисунок 3.43 – Схема штампування днища без притиску:

1 – порожнистий пуансон; 2 – матриця; 3 – стояки.

Торцева поверхня пуансона відповідає необхідній формі днища. До комплекту штампу входить декілька протяжних кілець, призначених для штампування днищ із певною товщиною стінки.

Днища з відношенням $80 \leq D_3/S \leq 200$ для вуглецевих та низьколегованих сталей та $60 \leq D_3/S \leq 160$ для корозійностійких сталей штампують у штампах, у яких передбачені пристрої для притиску фланцевої частини заготовки до верхньої поверхні матриці. Штампування виконують на пресах простої дії в штампах із притиском заготовки або на пресах подвійної дії [15].

На рисунку 3.44 показаний штамп для штампування тонкостінних днищ на пресах простої дії. Нагріту заготовку укладають на протяжне кільце 1, після чого притискне кільце 4, прикріплене ланцюгами до рухомої траверси преса, опускають на заготовку і скріплюють його з протяжним кільцем вручну за допомогою відкидних болтів 2 або клинів. У процесі опускання траверси преса закріплений на ній пуансон 3 протягує заготовку через кільце 1.

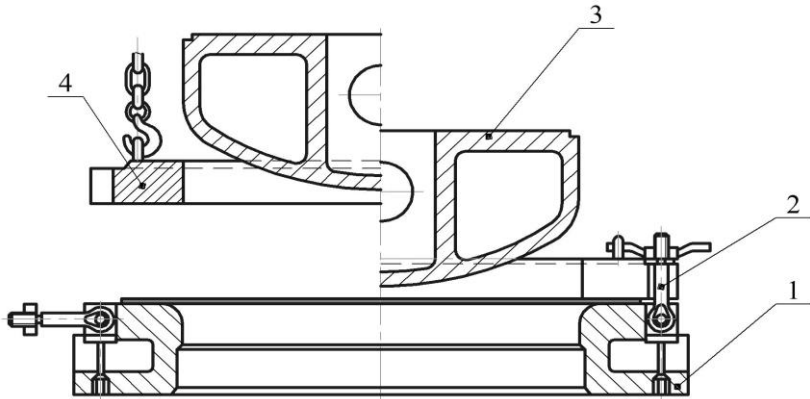


Рисунок 3.44 – Штамп для витяжки днищ з притиском на пресі простої дії: 1 – протяжне кільце; 2 – відкидні болти; 3 – пуансон; 4 – притискне кільце

Також для штампування тонкостінних днищ на пресах простої дії іноді застосовують штампи, на яких проводиться подвійний перегин заготовки (рис. 3.45). Штамп складається з нижнього пуансона 1, знімача 2, нижнього матричного кільця 3 і верхнього формувального кільця 4.

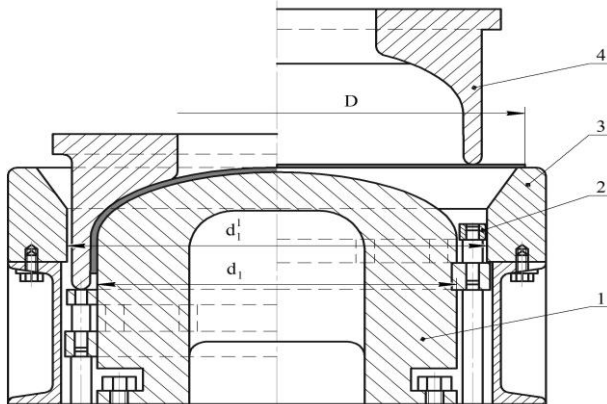


Рисунок 3.45 – Штамп для витягування тонкостінних днищ із подвійним перегином на пресі простої дії: 1 – нижній пуансон; 2 – знімач; 3 – нижнє матричне кільце; 4 – верхнє формувальне кільце

Для штампування тонкостінних днищ більш універсальними і зручними є гідравлічні преси подвійної дії. Вони мають двох повзунів. Зовнішній повзун служить для притиску фланцевої частини заготовки, а внутрішній – для витягування.

Зовнішній повзун починає рухатися вниз першим і в кінці свого ходу притискує заготовку до поверхні матриці притискним кільцем штампа. Потім опускається внутрішній повзун і проводиться операція витягування. На рисунку 3.46 показаний штамп для витягування днищ на пресі подвійної дії. Матриця 5 з протяжним кільцем 8 установлена на стояках 6, одна з яких швидкознімна для видалення відштампованого днища з-під штампа. Відштамповане днище за допомогою знімача 7 стягують із пуансона при його зворотньому ході. Стійки встановлюють на нижню плиту і кріплять болтами. Пуансон 2, що є литою товстостінною деталлю, кріпиться до внутрішньої траверси преса через перехідну плиту 1. Притискне кільце 4 кріпиться до зовнішньої траверси преса тягою 3.

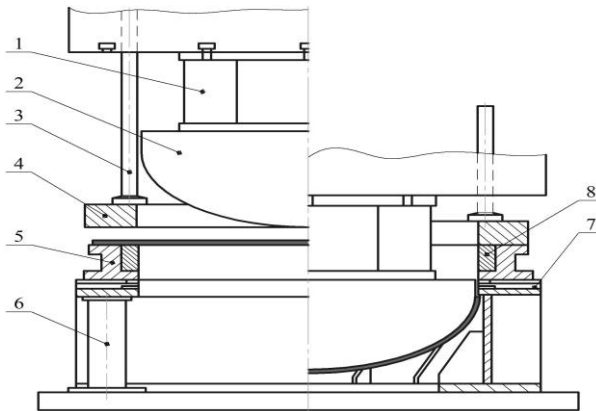


Рисунок 3.46 – Штамп для витягування днищ на пресі подвійної дії: 1 – перехідна плита; 2 – пуансон; 3 – тяга; 4 – притискне кільце; 5 – матриця; 6 – стояки; 7 – знімач; 8 – протяжне кільце;

3 Робочі деталі штампа (пуансон і матриця) зазнають ударного навантаження з сильною концентрацією напруження на робочій поверхні. Тому до матеріалу пуансонів і матриць висувають вимогу високої твердості і зносостійкості, а також вимога підвищеної теплостійкості. Для виготовлення робочих деталей витяжних штампів рекомендується застосовувати такі матеріали: сірі чавуни СЧ18-36 і СЧ21-40, модифікований чавун МСЧ 32-52, леговані інструментальні сталі Х6ВФ, Х12 та Х12Ф1, вуглецева інструментальна сталь У10А.

Для виготовлення таких деталей: плит штампів – чавуни СЧ21-40 або СЧ22-44, сталі 20Л, 40Л, 40 і 50; пуансоно та матрицетримачів – сталі 35, 45; протяжного і притискного кільця – сталь 45; знімачів і виштовхувачів – ст3 [8].

Розмір пуансона

$$D_{II} = D_{BH} \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta t), \text{ мм}, \quad (3.33)$$

де α – коефіцієнт лінійного розширення, для сталей $\alpha = (11 - 18) \cdot 10^{-6} \text{ мм/}^\circ\text{C}$ (менші значення для вуглецевих сталей, більші – для високолегованих);

Δt – різниця температур кінця штампування і температури довкілля (20°C).

Зазор між матрицею і пуансоном

$$t = 1,25 \cdot S, \text{ мм}. \quad (3.34)$$

Радіус закруглення протяжного кільця

$$R = 2,5 \cdot S, \text{ мм}. \quad (3.35)$$

4 Основними критеріями в процесі вибору обладнання для штампування заготовки еліптичного днища є розрахункове зусилля преса і габаритні розміри заготовки.

Гідравлічні листоштампувальні преси простої дії випускають двох типів: рамні та одностоякові. Рамні преси призначені для виконання різних операцій холодного листового штампування. Одностоякові преси застосовують для гарячого і холодного штампування деталей із листового й іншого матеріалу. Технічні характеристики гідравлічних пресів простої дії наведені в таблицях 3.9 і 3.10 [1].

Таблиця 3.9 – Технічні характеристики гідравлічних листоштампувальних рамних пресів простої дії

Параметр	Модель преса		
	ПЗ11	ПЗ13	ПЗ15
Номінальне зусилля, тс	160	250	630
Хід повзуна, мм	530	600	750
Найбільша відстань між столом і повзуном, мм	900	1 060	1 400
Відстань між стояками в світлі, мм	1 500	1 700	2 200
Розміри підштампової плити, мм: довжина; ширина; товщина	1 380; 1 120; 130	1 530; 1 400; 160	2 100; 1 800; 220
Швидкість повзуна, мм/с: за холостого ходу; за робочого ходу; за зворотного ходу	300; 15; 137–345	290; 12; 150	215; 10; 120
Номінальне зусилля гідропіддушки, тс	63	100	250
Хід виштовхувача, мм	250	250	350

Таблиця 3.10 – Технічні характеристики гідравлічних листоштампувальних одностоякових пресів простої дії

Параметр	Модель преса				
	П3228	П3232	П3236	П3239	П3241
Номінальне зусилля, тс	63	160	400	800	1 250
Хід повзуна, мм	500	500	1 200	1 200	1 200
Найбільша відстань між столом і повзуном, мм	710	750	1 800	2 200	2 200
Відстань від осі повзуна до станини, мм	320	400	1 100	1 500	1 900
Розміри столу, мм	630 x 560	800 x 630	2 000 x 2 400	2 600 x 3 600	3 000 x 4 500

Для виготовлення великогабаритних виробів із товстолистового металу, що вимагають глибокого витягування, а також днищ великих діаметрів, застосовують преси гідравлічні листоштампувальні колонні преси подвійної дії. Технічні характеристики гідравлічних пресів подвійної дії наведені в таблиці 3.11 [3].

Таблиця 3.11 – Технічні характеристики гідравлічних листоштампувальних колонних пресів подвійної дії

Параметр		Модель преса		
		П236	П236Б	П4644
Номінальне зусилля траверси, тс	витяжної	1 600	1 600	2 500
	притискної	1 000	1 000	1 600
Хід витяжної траверси, мм		2 500	1 400	2 500
Найбільша відстань між столом і витяжною траверсою, мм		3 900	2 500	3 900
Розміри столу, мм		3 550 x 3 550	3 550 x 3 550	6 000 x 5 500
Швидкість робочого ходу витяжної траверси, мм/с		25	24,4	20

5 Режими термооброблення еліптичних днищ, які штамнують у гарячому стані, необхідно призначати відповідно до таблиці 3.12.

Таблиця 3.12 – Режими термооброблення еліптичних днищ, які штамнують у гарячому стані

Марка матеріалу	Режим термооброблення	Призначення термооброблення
Ст3сп, Ст3пс, 20, 16К, 20К, 22К	Нормалізація: 910–980 °С, витримка – 1,5 хв на 1 мм товщини стінки, охолодження на повітрі	Забезпечення механічних та технологічних властивостей основного металу та металу шва
	Високе відпускання: 600–630 °С, витримка – 2,5 хв на 1 мм товщини стінки, але не більше ніж 1 год за товщини до 25 мм. Охолодження на повітрі або в печі до – 350 °С, далі – на повітрі	Зняття залишкових напружень
12ХМ, 12МХ, 15ХМ	Нормалізація: 910–980 °С, витримка – 1,5 хв на 1 мм товщини стінки, охолодження на повітрі плюс відпускання: 670–710 °С, витримка – 2,5 хв на 1 мм товщини стінки, але не більше ніж 1 год за товщини до 25 мм. Охолодження на повітрі	Забезпечення механічних та технологічних властивостей основного металу та металу шва
	Високе відпускання: 670–710 °С, витримка – 2,5 хв на 1 мм товщини стінки, але не більше ніж 1 год за товщини до 25 мм. Охолодження на повітрі – 2 год плюс 15 хв на кожні 25 мм за товщині більше ніж 50 мм	Зняття залишкових напружень
09Г2С, 10Г2С1	Нормалізація: 920–950 °С, витримка 1,5 хв на 1 мм товщини стінки, охолодження на повітрі	Забезпечення необхідної ударної в'язкості за темпера-

Марка матеріалу	Режим термооброблення	Призначення термооброблення
	Загартування: 900–950 °С, витримка – 1,5 хв на 1 мм товщини стінки, охолодження у воді та відпускання: 620–650 °С, витримка 1,5–2,0 хв на 1 мм товщини стінки, охолодження на повітрі	тури нижче ніж 41 °С
12X18 Н10Т, 08X18Н10Т	Загартування: 1 050–1 100 °С, витримка – 2 хв на 1 мм товщини стінки, охолодження у воді або на повітрі	Усунення схильності до МКК, зняття залишкових напружень
	Стабілізувальний відпал: 870–900 °С, витримка – 2–3 год, охолодження на повітрі	
	Відпал: 870–900 °С, витримка – 2–3 год, охолодження в печі до 300°С, далі на повітрі	Для більш повного зняття залишкових напружень
08X13	Загартування: 980–1 000 °С, витримка – 5 хв + 1 хв на 1 мм товщини стінки, охолодження у воді + відпускання: 680–720 °С, витримка – 30 хв + 1 хв на 1 мм товщини стінки, охолодження на повітрі	Для більш повного зняття залишкових напружень
10X17Н13М3Т, 10X17Н13М2Т	Загартування: 1 050–1 100 °С, витримка – 2 хв на 1 мм товщини стінки, охолодження у воді або на повітрі	Відновлення корозійної стійкості
ВТ1-0, ВТ1-00	Повний відпал: 650–670 °С, витримка – 15–25 хв на 1мм товщини стінки і не більше ніж 1 год за товщини більше ніж 6 мм	Зняття залишкових напружень

Приклад розрахунку

1 Ескіз еліптичного днища (рис. 3.47) і початкові дані:

Двн = 400 мм, S = 10 мм, D₃ = 542 мм, матеріал – сталь Ст3пс.

2 Оскільки $D_3/S \leq 80$, днище можна штампувати в гарячому стані без притиску фланцевої частини заготовки на пресах простої дії (див. рис. 3.48). Для вуглецевої сталі звичайної якості Ст3пс заготовку нагрівають у газових печах до $t_{\text{п}} = 1\ 050\ ^\circ\text{C}$. За температуру кінця штампування беремо $t_{\text{к}} = 700\ ^\circ\text{C}$. Межа міцності матеріалу за температури штампування $\sigma_{\text{в}}^t \approx 100\ \text{МПа}$.

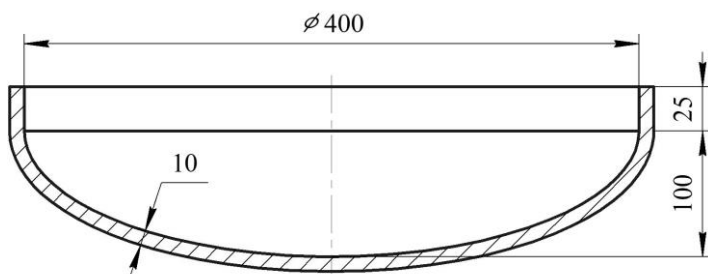


Рисунок 3.47 – Ескіз еліптичного днища:

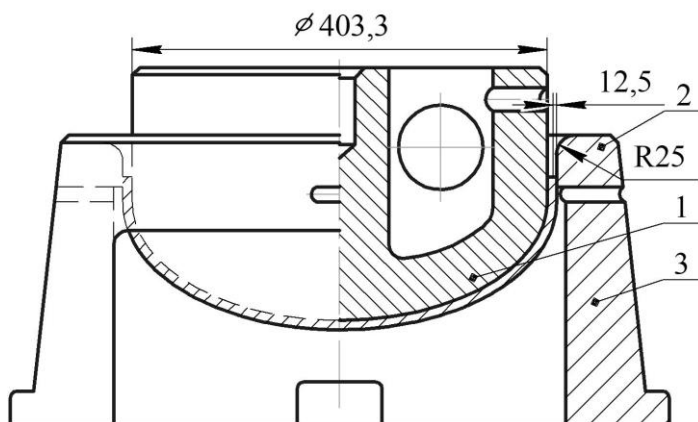


Рисунок 3.48 – Схема штампа: 1 – пуансон; 2 – матриця; 3 – стояки

Зусилля витягання визначають за формулою (3.32), де $n_1 = 0,51$, оскільки коефіцієнт витягання $m = D_{\text{ВН}}/D_3 = 0,74$:

$$P_B = \pi \cdot 400 \cdot 10 \cdot 100 \cdot 0,51 = 640560H = 64 \text{ тс} .$$

3 Діаметр пуансона розраховують за формулою (3.33):

$$D_{II} = 400 \cdot (1 + 12 \cdot 10^{-6} \cdot (700 - 20)) = 403,3 \text{ мм} .$$

Зазор між матрицею та пуансоном за формулою (3.34):

$$t = 1,25 \cdot 10 = 12,5 \text{ мм} .$$

Радіус закруглення протяжного кільця – за формулою (3.35):

$$R = 2,5 \cdot 10 = 25 \text{ мм} .$$

Матеріал основних деталей штампа: пуансон СЧ18-36, матриця СЧ18-36.

4 Зважаючи на одержане зусилля штампування, вибираємо гідравлічний листоштампувальний одностояковий прес простої дії моделі ПЗ232.

Технічна характеристика

Номінальне зусилля, тс	160
Хід повзуна, мм.....	500
Найбільша відстань між столом і повзуном, мм.....	750
Відстань від осі повзуна до станини, мм.....	400
Розміри столу, мм.....	800x630

5 Для забезпечення механічних і технологічних властивостей основного металу днища виконують нормалізацію: нагрівання – до $t = 910 \div 980$ °С, витримка – 15 хв, охолодження на повітрі.

4 ТЕХНОЛОГІЧНІ ОПЕРАЦІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ КОТЕЛЬНО-ЗВАРЮВАЛЬНОЇ ДІЛЬНИЦІ

4.1 Обладнання для складання зварних конструкцій

4.1.1 Складання елементів конструкцій апаратів

Складання зварювальних елементів передує операції зварювання, його проводять для фіксації положення зварювальних елементів у просторі. Наступна операція зварювання остаточно закріплює положення деталей, установлене під час складання. У процесі зварювання під дією зварювальних напружень можлива зміна просторового положення зварювальних елементів. Тому під час здійснення операції складання під зварювання необхідно врахувати зварювальні напруження і деформації. Обов'язковою умовою є також необхідність забезпечення необхідного зварювального зазору.

Із можливих видів складання зварювальних елементів найбільш поширеною є стаціонарне складання.

До операції складання входять такі технологічні переходи:

- 1) установлення зварювальних елементів у складальних пристосуваннях;
- 2) перевірка сполучень крайок і базових поверхонь;
- 3) підгонка елементів;
- 4) фіксація кромок нероз'ємними і роз'ємними способами;
- 5) зварювання і подальше оброблення шва.

На складання надходять деталі після проходження заготівельних операцій. Тому саме тут виявляється якість виконання попередніх операцій, узгодженість функціональних і технологічних допусків.

Основне технологічне завдання складання під зварювання стикованих деталей полягає в забезпеченні допусків на зміщення кромок, величину зварювального зазору, кутових

розмірів. Ретельність пригонки з'єднувальних частин є однією з основних умов забезпечення рівномірності зварних швів.

4.1.2 Складальні пристосування

У практиці апаратобудування для досягнення правильності сполучень обов'язково застосовують пристосування. Останні істотно впливають на ступінь механізації виробничих процесів, продуктивність праці та якість зварних конструкцій. Пристосування необхідні незалежно від серійності виробництва. Усі пристосування можна поділити на дві групи: складальні та складально-зварювальні.

Складальні пристосування. Здебільшого застосовують переносні пристосування ручної дії: струбцини, скоби, стяжки гвинтові, клинові стяжки, розпірки гвинтові, розпірні домкрати, стяжні і розпірні кільця, електромагніти, пневмопритискачі.

Завдання суміщення крайок і фіксації зазорів між ними вирішується під час використання спеціальних струбцин (рис. 4.1).

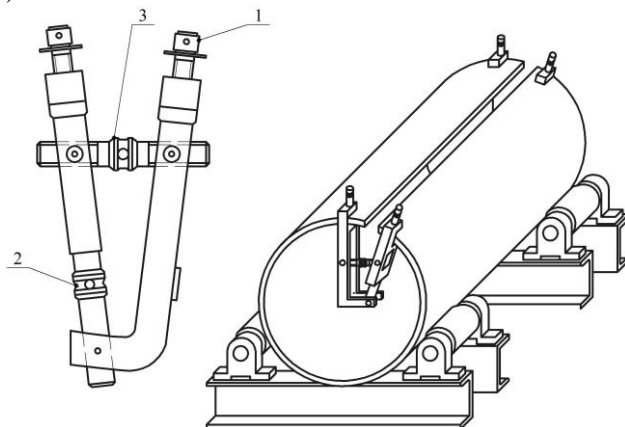


Рисунок 4.1 – Струбцина:

1 – притискні гвинти; 2 – гвинт; 3 – фіксуєчий гвинт

Кромки листа, що закріплюють притискними гвинтами 1 один до одного, вирівнюють гвинтом 2, а просвіт між крайками регулюють і фіксують гвинтом 3.

Для з'єднання крайок однієї обичайки потрібно дві струбцини, які встановлюють з протилежних торцевих сторін обичайки.

Збереження циліндричної форми обичайки під час складання забезпечується застосуванням спеціальних пристроїв, які стягують або, навпаки, розпирають заготовку. Ці пристосування мають декілька (зазвичай 6) домкратів, конструктивно зафіксованих на єдиному кільцевому корпусі (рис. 4.2). На рисунку 4.3 показані конструкції складальних кілець, які використовують замість струбцин під час складання тонколистових і нежорстких обичайок.

За допомогою розпірних домкратів і складальних кілець зберігають під час зварювання строго певний діаметр посудин, регулюють зазор між крайками і створюють кращі умови для оберігання швів від викривлення.

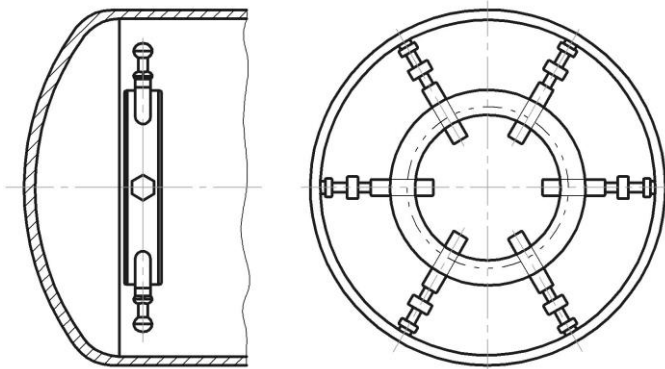


Рисунок 4.2 – Установка розпірних домкратів

Під час складання апаратів значних розмірів застосовують систему стяжних планок та прокладок, побудовану за принципом клинових з'єднань.

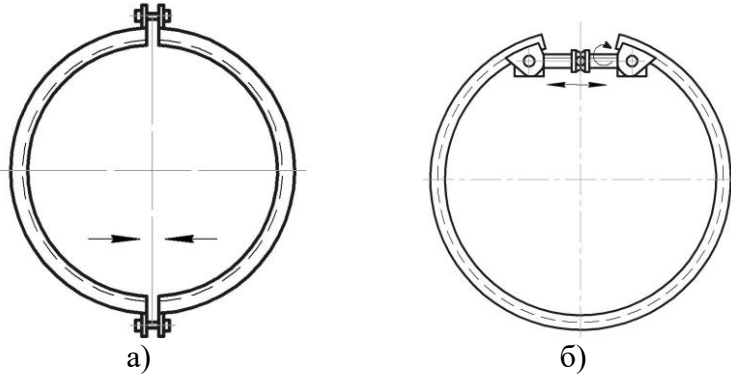


Рисунок 4.3 – Складальні кільця: а) стягувальне; б) розпірне

Зазвичай зазначені пристосування приварюють до основного металу, потім за допомогою болтів або натяжних клинів встановлюють необхідні зазори між двома стикувальними деталями і здійснюють прихватку. Перед зварюванням пристосування розбирають, а приварні частини зрубують за допомогою пневмо- або електрозубила.

Для складання деталей із феромагнітних сплавів рекомендують використовувати електромагніти, що дозволяють міцно й точно утримувати зварювані елементи в процесі зварювання. Для складання листів товщиною до 8 мм застосовують електромагніти з піднімальною силою 500 кг, а для листів товщиною до 35 мм – 25 000 кг.

Складально-зварювальними механізмами та пристосуваннями називають таке обладнання, яке застосовують як під час виконання складальних, так і зварювальних робіт. Основне призначення складально-зварювальних механізмів полягає в безперервній або періодичній зміні позицій деталей щодо базової площини або зварювальної головки. До них належать:

а) роликові стенди – установлювальною базою є циліндрична поверхня, – застосовують для складання і зварювання обичайок, днищ;

б) кільцеві кантувачі, в яких установлювалбною базою є складна криволінійна поверхня: основою пристосування є роликівий стенд;

в) горизонтальні й вертикальні обертачі, торцеві кантовачі з однією або двома планшайбами, в яких установлювальна база – торцева поверхня і вісь обертання (здебільшого горизонтальна);

г) кантувачі з обертовим похилим столом, у яких установлювальною базою є одна торцева поверхня (їх часто називають маніпуляторами або позиціонерами).

Запитання для самоперевірки

- 1 Які технологічні переходи входять до операції складання?
- 2 На які групи поділяють складальні пристрої та механізми?

4.2 Спеціальне зварювальне обладнання

4.2.1 Призначення механічного зварювального обладнання

Механічне зварювальне обладнання (МЗО) є засобом механізації та автоматизації процесів зварювання. Воно призначене для виконання однієї з таких функцій: фіксування зварюваного виробу в зручному для зварювання положенні; повороту зварюваного виробу під час накладання зварних швів у різних площинах; обертання зварюваного виробу зі зварювальною швидкістю, що забезпечує сталість швидкості зварювання під час накладання колових швів; установлення та напрямки самохідних зварювальних автоматів; переміщення зварювальних автоматів у вихідне положення для зварювання; переміщення автоматів зі швидкістю зварювання, що забезпечує сталість швидкості зварювання під час накладання прямолінійних швів і переміщення зварників.

Залежно від призначення розрізняють такі види МЗО: маніпулятори, обертачі, кантувачі, роликівий стенди, столи

зварника, колони, візки, пантографи і майданчики для зварників [11].

Деякі види механічного зварювального устаткування поєднують виконання декількох із перелічених функцій.

4.2.2 Механічне зварювальне обладнання [11]

Маніпулятори. Маніпулятори призначені для автоматичного і напівавтоматичного дугового зварювання. Їх виготовляють двох типів: маніпулятори зі зварювальною швидкістю, що забезпечують обертання зварюваного виробу навколо осі, і маніпулятори з маршовою швидкістю, що забезпечують поворот зварюваного виробу в зручне для зварювання положення. За допомогою обох типів маніпуляторів можна здійснювати також нахил виробу.

Конструктивно маніпулятори виконують зазвичай двох видів: карусельні та консольні.

Маніпулятор карусельного типу має станину, шпindel із приводом обертання, поворотний стіл із приводом нахилу і робочий орган – планшайбу. Замість планшайби іноді встановлюють хрестовину або безпосередньо на шпindel – пристосування для закріплення зварюваного виробу.

Маніпулятор консольного типу має ті самі механізми, але шпindel винесено на поворотну консоль. У консольному маніпуляторі нахил планшайби трансформується в обертання консолі.

Для забезпечення обертання або переміщення планшайби зі зварювальною швидкістю в маніпуляторах застосовують систему привода з електродвигуном постійного струму і тиристорним перетворювачем.

Кратність діапазону регулювання частоти обертання двигуна (відношення найбільшої частоти обертання до найменшої) досягає 50 за постійної швидкості зварювання.

Для повороту або нахилу планшайби з маршовою швидкістю і піднімання виробу застосовують двигун змінно-

го струму з нерегульованою частотою обертання. Піднімання виробу може здійснюватися також за допомогою гідравлічного привода.

Обертачі. Вертикальні обертачі призначені для установавлення і повороту зварюваного виробу навколо вертикальної осі, а також для обертання навколо неї зі зварювальною швидкістю. Вертикальний обертач – це маніпулятор без механізмів нахилу і піднімання планшайби. Їх виготовляють двох типів: зі зварювальної або з маршової швидкості.

Конструктивна схема вертикальних обертачів – карусельна. Основні вузли привода і виконавчих органів вертикальних обертачів і маніпуляторів ідентичні. Обертач має привод обертання, шпindel із планшайбою і станину. Принципові конструктивні та електричні схеми вертикальних обертачів збігаються з аналогічними схемами маніпуляторів. Обертачі забезпечують роботу за тієї самої кратності діапазонів регулювання швидкостей зварювання і частоти обертання, що й аналогічні маніпулятори.

Основними параметрами обертачів є крутний момент на осі обертання планшайби, вантажопідйомність і висота планшайби над рівнем підлоги.

Похилені обертачі за призначенням, конструкцією та іншими показниками аналогічні вертикальним, проте вісь обертання в них спрямована під кутом до вертикалі. Залежно від конструкції зварюваних виробів кут нахилу осі обертання зазвичай становить 30, 45 або 60°.

Горизонтальні обертачі призначені для установавлення і повороту зварюваного виробу навколо горизонтальної осі, а також для обертання навколо неї зі зварювальною швидкістю. Горизонтальні обертачі виготовляють двох типів: зі зварювальною або з маршовою швидкістю.

Горизонтальний обертач складається з двох основних частин: приводної та підтримувальної. Приводна частина – маніпулятор без механізму нахилу, вісь обертання якого

завжди горизонтальна. Підтримувальна частина – рухомий візок. Шпинделі обох частин співвісні. Для автоматичного зварювання довгомірних виробів додатково застосовують рухомі роликоопори, які переміщуються за тими самими напрямними, що й підтримувальна частина, і можуть регулюватися за висотою залежно від діаметра зварюваного виробу.

Вибір необхідного обертача проводять аналогічно вибору маніпулятора, але з моменту відносно опорної площини виробу обертач не перевіряють, оскільки виріб закріплюється в ньому на двох опорах. Необхідність установадження додаткових роликів опор визначається залежно від впливу прогину на якість зварного шва. Керування горизонтальним обертачем аналогічне керуванню маніпулятором.

Кантувачі. Кантувачі призначені для установадження зварюваного виробу і повороту навколо горизонтальної осі, а також для переміщення виробу по вертикалі. Кантувачі не мають зварювальної швидкості. Їх розрізняють за принципом пристрою привода повороту. Найбільш поширені кантувачі центрові, ланцюгові, книжкові, кільцеві.

Центрові кантувачі мають два стояки, на яких змонтовані приводи зі шпинделями й робочими органами. Один зі стійків, зазвичай нерухомий, має привод обертання шпинделя. Другий, рухомий, має механізм переміщення за напрямними. У разі невеликих переміщень замість переміщення всього стояка може висуватися лише шпиндель. Крім того, кожний стояк може мати синхронізований привод підняття центрів, який спрощує роботу під час зварювання рамних конструкцій.

Основними параметрами кантувачів є крутний момент, вантажопідйомність, мінімальна і максимальна висота підняття центрів. Вибір кантувача проводять аналогічно вибору маніпулятора – за вантажопідйомністю і крутним моментом.

Кільцеві кантувачі. Застосовують для повороту об'ємних зварюваних виробів. Кантувач залежно від довжини зварюваних виробів має два або більше кілець для закріплення виробу, роликові опори, на які спираються кільця, та привод. Кільцеві кантувачі можуть мати складені кільця, що розкриваються для устанавлення виробу. Крім описаних конструкцій зварювальних кантувачів, існують й інші конструкції, застосовувані значно рідше.

Ланцюгові кантувачі. Застосовують переважно для кантування балкових конструкцій прямокутного, трикутного чи близьких до них перерізів. Кантувач (рис. 4.4) залежно від довжини зварюваної конструкції має дві або більше стояків із робочими ланцюгами, яким надає руху привод. Зварюваний виріб устанавлюють на ланцюгу та під час його переміщення повертається в потрібне для зварювання положення. Привод може мати один двигун, що передає рух ланцюгами за допомогою трансмісій. Застосовують також синхронізований привод на кожному стояку, що спрощує роботу на кантувача, але ускладнює його електричну схему.

Книжкові кантувачі. Застосовують для повороту плоских зварюваних виробів навколо горизонтальної осі на кут до 180° . Кантувач має поворотну раму, привод повороту, механізм кріплення виробу, станину. Він може працювати без кріплення зварюваного виробу. Для цього кантувач забезпечується двома поворотними рамами. У вертикальне положення виріб устанавлюється за допомогою однієї рами, а інша рама за рахунок гальмівного моменту плавно опускає його.

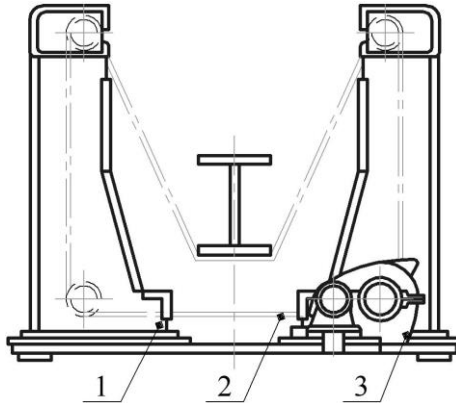


Рисунок 4.4 – Кантувач ланцюговий:
1 – стояк; 2 – робочий ланцюг; 3 – привод

Зварювальні роликові стенди призначені для обертання зварюваних виробів типу тіл обертання, зазвичай циліндричних. Роликові стенди складаються з роликів опор і приводів. Роликові опори можуть об'єднуватися в секції. Роликові опори бувають стаціонарними (рис. 4.5 а), перекидними (рис. 4.5 б), здвоєними балансирними (рис. 4.6).

Стаціонарні опори мають нерухому вісь ролика. Перекидна опора має шарнір для повороту обойми з роликом у різні положення. Варіантом перекидної опори може бути опора, що перевстановлюється та має кілька фіксованих положень. До конструкції балансирних опор входять здвоєні ролики, які самовстановлюються залежно від діаметра зварюваного виробу.

Крутний момент передається від ролика зварюваного виробу за рахунок тертя, тому для кращого зчеплення з виробом контактна поверхня роликів покривається гумою.

Під час навантажень, що перевищують допустимі навантаження на гуму, застосовують комбіновані ролики, в яких чергуються ділянки, покриті гумою, з ділянками відкритого металу. Водночас радіус ділянки, покритої гумою, пере-

вищує радіус металевої ділянки на величину, дещо меншу величину допустимої деформації гуми. Під час роботи гума стискається до рівня металевих ділянок, і надмірне навантаження передається металу.

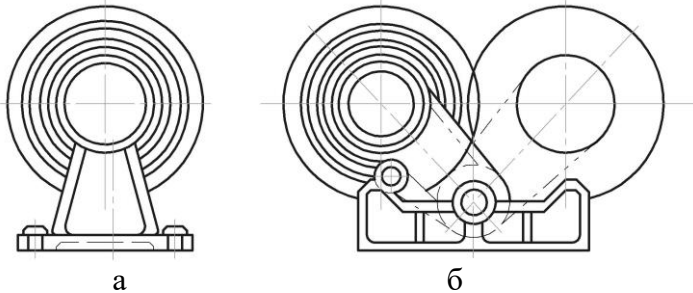


Рисунок 4.5 – Роликові опори: а) стаціонарна; б) перекидна

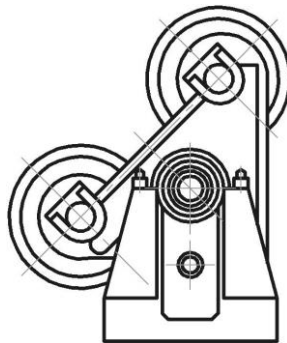


Рисунок 4.6 – Роликова опора балансирна

У разі великих навантажень застосовуються також зблоковані – подовжені ролики. Секції роликових опор – декілька опор однакового або різних типів, які встановлюються на загальній основі. Секції можуть бути стаціонарними (рис. 4.7 а) і пересувними (рис. 4.7 б). Для розширення діапазону діаметрів зварюваних виробів відстань між роликовими опорами в секції може змінюватися.

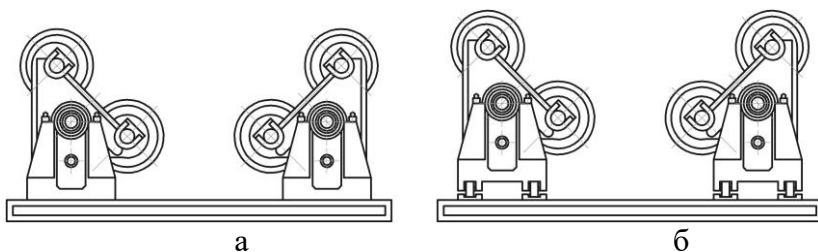


Рисунок 4.7 – Секції роликового стенда:
 а – стаціонарна; б – пересувна

Роликові опори є приводними й холостими. Приводні опори відрізняються від холостих наявністю виведення кінців валів роликів для приєднання до системи привода. Іноді приводні роликові опори випускають разом із приводом і комплектують на стенді разом із холостими опорами без додаткового привода.

На зварювальному роликовому стенді може бути один або два синхронізованих приводи, розміщених у кожному ряду роликів опор. Якщо на стенді встановлено лише привод із зварювальною швидкістю, то маршовою буде максимальна швидкість привода. Якщо цього для маршової швидкості недостатньо, то додатково стенд комплектують приводом із маршовою швидкістю. Якщо зварювання на стенді проводять не в автоматичному режимі, то стенд оснащують лише приводом із маршовою швидкістю.

Крім описаних конструкцій, можна застосовувати приводи з багатошвидкісними електродвигунами змінного струму або приводи зі змінними передачами, що забезпечують обертання зварюваного виробу зі ступінчастим регулюванням зварювальної швидкості.

Під час зварювання легких конструкцій роликові стенди обладнані роликами для притискання виробу до провідних роликів і збільшення сили зчеплення.

Зварювальні колони та візки [11; 18]. Установлення й переміщення зварювальних автоматів і напівавтоматів здійснюють за допомогою зварювальних колон і візків. Колони для зварювальних автоматів виконують поворотними і неповоротними з підйнятною або стаціонарною консоллю. Залежно від призначення (для самохідного або несамохідного автомата) колона може мати висувну або невисувну консоль. Висувна консоль може мати привод зі зварювальною швидкістю. Колони для самохідних зварювальних автоматів мають на консолі напрямні.

Колони для зварювальних напівавтоматів утримують подавальний механізм і бухту зі зварювальним дротом. Їх можна виконувати з поворотними і похилими консолями. Поворотна консоль колони складається з двох шарнірно пов'язаних частин, що дозволяє забезпечувати зварювання практично в будь-якій точці площини, описаного радіусом, таким що дорівнює довжині робочої консолі. Крім того, колона має механізм вертикального переміщення консолі.

Зварювальні візки порівняно з колонами мають ще один ступінь вільності – переміщення за напрямними (рейками). Конструктивно зварювальні візки влаштовані аналогічно колонам і додатково забезпечені механізмами переміщення і платформою на колесах.

За конструктивним оформленням механізму пересування розрізняють зварювальні візки глгольні, велосипедні та порталні.

Глагольні зварювальні візки (рис. 4.8) мають платформу, що переміщується двоколіїним рейковим шляхом, колону, консоль, якою переміщується (або на яку навішується) зварювальний автомат. У велосипедного зварювального візка платформа одноколіїна; у верхній частині є підтримувальний ролик, що переміщується напрямною (рис. 4.9).

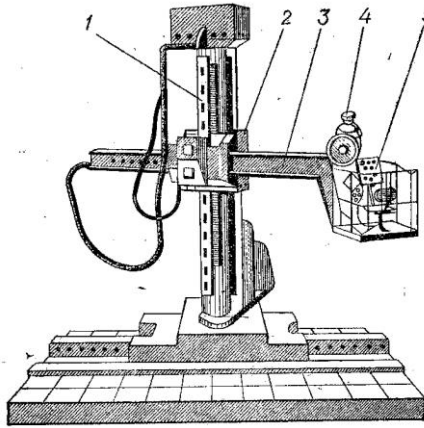


Рисунок 4.8 – Глагольний зварювальний візок:
 1 – стояк; 2 – каретка; 3 – штанга;
 4 – зварювальний апарат; 5 – місце зварника

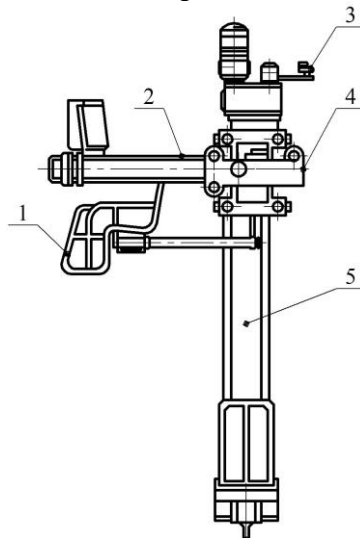


Рисунок 4.9 – Велосипедний зварювальний візок:
 1 – місце зварника; 2 – штанга; 3 – підтримувальний ролик;
 4 – каретка; 5 – стояк

Портальні зварювальні візки мають дві колони, з'єднані у вигляді порталу, які спираються кожна на одноколійну платформу. Вертикально переміщувані візки, мають траверсу, за якою пересувається (або на яку навішується) зварювальний автомат. Портальний візок переміщується рейковим шляхом широкої колії. Між рейками розміщується зварюваний виріб.

Конструкція візка показана на рисунку 4.10.

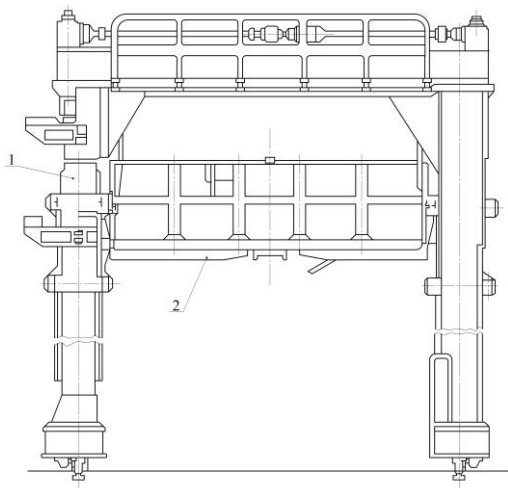


Рисунок 4.10 – Портальний візок:
1 – портал; 2 – траверса з балконом

Зварювальні візки можуть пересуватися вздовж зварюваного виробу зі зварювальною і маршовою швидкістю для зварювання прямолінійних поздовжніх швів; для зварювання прямолінійних поперечних швів візки мають або напрямні, якими переміщується зварювальний автомат, або висувну консоль, яка переміщується зі зварювальною швидкістю. Крім того, візки мають механізм вертикального переміщення консолі (траверси), що дозволяє проводити зварювання на заданій висоті.

Висновки

Зварювальне виробництво – комплексне виробництво, що містить основні операції (складання, зварювання, правку, термооброблення, оброблення зварних конструкцій та ін); допоміжні операції (транспортні, налагоджувальні, контрольні та ін.) та операції обслуговування (ремонтні та ін). Операції, що не пов'язані безпосередньо із зварюванням у зварювальному виробництві, становлять 70–75 % від загальної трудомісткості робіт. Під час здійснення власне зварювальних операцій, зокрема під час застосування механізованих методів зварювання, виконуються допоміжні прийоми із встановлення й кантування виробів під зварювання, зачищення крайок і швів, збирання флюсу, встановлення автомата на початку шва, відведення автомата або переміщення виробу та ін. На виконання цих операцій припадає 30–35 % трудомісткості власне зварювальних операцій. Звідси випливає, що комплексна механізація зварювального виробництва має надзвичайно важливе значення, оскільки механізація лише самого процесу зварювання не може забезпечити високий рівень механізації виробництва зварних конструкцій.

Запитання для самоперевірки

- 1 Для чого призначене механічне зварювальне обладнання?
- 2 Що таке маніпулятор? Його призначення.
- 3 Що таке обертач? Його призначення.
- 4 Які бувають роликові стенди?
- 5 Основні види зварювальних візків?

4.3 Вибір обладнання для встановлення зварювальних виробів

Завдання 7 На основі початкових даних, наведених у додатку Г, потрібно:

- 1 Розрахувати масу апарату в умові гідровипробування.

2 Вибрати роlikоопору за ДСТУ 2875-94 і перевірити дійсне навантаження.

3 Визначити потужність електродвигуна, необхідну для роботи роlikового стенда.

4 Зобразити схему привода роlikового стенда.

Рекомендації з виконання завдання.

1 Розрахунок маси заповненого апарата (рис. 4.11):

$$M = M_O + M_{BO} + 2M_D + 2M_{BD}, \quad (4.1)$$

де M_O – маса порожньої обичайки корпусу, кг;

M_{BO} – маса води, що заповнює обичайку, кг;

M_D – маса порожнього днища за DIN 28013 та DIN 28011, кг;

M_{BD} – маса води, що заповнює днище, кг.

Маса обичайки корпусу, кг:

$$M_O = \pi \cdot D_{BH} \cdot L \cdot S \cdot \rho_M, \quad (4.2)$$

де L – довжина обичайки, м;

ρ_M – густина матеріалу обичайки, $\rho_M = 7800 \text{ кг/м}^3$.

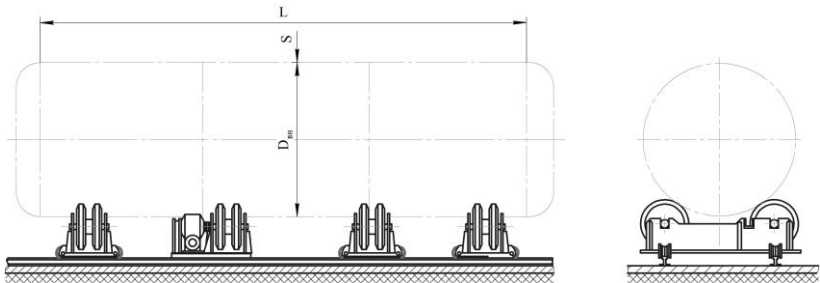


Рисунок 4.11 – Роlikовий стенд

Маса води, що заповнює обичайку, кг:

$$M_{BO} = \frac{\pi \cdot D_{BH}^2}{4} \cdot L \cdot \rho_{H_2O}, \quad (4.3)$$

де ρ_{H_2O} – густина води, $\rho_{H_2O} = 1\ 000\ \text{кг/м}^3$.

Маса води, що заповнює днище, кг:

$$M_{BD} = V_D \cdot \rho_{H_2O}, \quad (4.4)$$

де V_D – об'єм еліптичного днища DIN 28013 та DIN 28011, м^3 .

2 Секції роликів опор є парою опор одного або різного типів, які встановлюються на загальній підставі. Секції можуть бути стаціонарними або пересувними. Для розширення діапазону діаметрів зварюваних виробів відстань між роликівими опорами в секції може змінюватися. Роликові опори виконують приводними і неприводними.

Основними параметрами роликів опор і секцій є допустиме радіальне навантаження на ролик, діаметр ролика і діапазон діаметрів зварюваних виробів.

Для визначення числа роликів опор і відстані між ними необхідно керуватися таким. Відстань А між роликівими опорами по ширині стенда визначається залежно від діаметра виробу так, щоб центральний кут 2α (рис. 4.12) становив $55 \div 115^\circ$.

Відстань між опорами по довжині стенда залежить від необхідного числа опор і довжини виробу.

Число опор розраховують за допущуваним навантаженням на одну опору. Розкладаючи вагу виробу на радіальні складові, одержимо:

$$Q = \frac{G}{n \cdot \cos \alpha}, \quad (4.5)$$

де $G = M \cdot g \approx 10 \cdot M$ – вага виробу, Н;

n – число роликів опор стенда;

α – половина центрального кута, град.

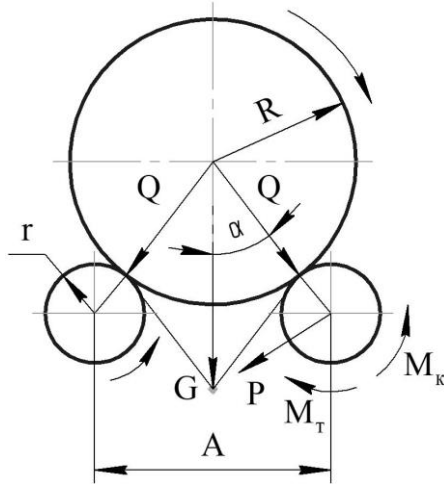


Рисунок 4.12 – Схема до розрахунку роликового стенда

Одержана величина не повинна перевищувати допущене радіальне навантаження на роликоопору (див. табл. 4.1). Для визначення числа роликоопор необхідно враховувати також жорсткість виробу. Якщо виріб має достатню міцність і жорсткість, то необхідно прагнути максимально збільшити відстань між опорами і скоротити їх число до чотирьох.

1 Потужність привода [8; 13]:

$$N = \frac{M_{кр} \cdot n}{9740 \cdot \eta} \quad (4.6)$$

де $M_{кр}$ – крутний момент привода роликового стенда, $M_{кр} = 1,2 - 1,3 \cdot M_{тр}$, Н · м;

$M_{тр}$ – сума моментів тертя кочення роликів стенда по виробу $M_{тр}'$ і тертя на цапфах у підшипниках роликів $M_{тр}''$ [2], Н · м;

$$M'_{TP} = \frac{G}{\cos\alpha} \cdot \frac{f}{r} \cdot (R+r), \quad (4.7)$$

де f – коефіцієнт тертя кочення, для сталі по сталі $f = 0,001-0,005$ мм;

R, r – радіус відповідно виробу і ролика, мм;

Таблиця 4.1 – Основні параметри і розміри роликів опор та секцій зварювальних роликів обертачів (за ДСТУ 2875-94) [10]

Діаметр ролика, мм	Допустиме навантаження на ролик, Н									Діаметр оброблюваного виробу, мм	
	315	630	1 250	2 500	5 000	10 000	20 000	40 000	80 000	Найменший	Найбільший вибирають із ряду
60	+	+	-	-	-	-	-	-	-	125	400, 630
100	+	+	+	-	-	-	-	-	-	160	1 000, 1 600, 2 500
160	-	+	+	+	-	-	-	-	-	200	
250	-	-	+	+	+	-	-	-	-	250	
320	-	-	-	+	+	+	-	-	-	320	2 500, 3 150, 4 000, 5 000
400	-	-	-	-	+	+	+	-	-	400	
500	-	-	-	-	-	+	+	+	-	500	
630	-	-	-	-	-	-	+	+	+	630	4 000, 5 000, 6 300
800	-	-	-	-	-	-	-	+	+	800	

Примітка. Знак «+» означає, що відповідний діаметр ролика для даного допустимого навантаження застосовний, а знак «-» – непридатний

$$M''_{TP} = \frac{G}{\cos\alpha} \cdot \mu \cdot \frac{r_1}{r} \cdot R, \quad (4.8)$$

де μ – коефіцієнт тертя ковзання, для бронзових вкладишів $\mu = 0,07$;

r_1 – радіус цапф осей роликів, для роликів із діаметром 400 мм $r_1 = 175$ мм;

n – частота обертання зварюваного виробу, об/хв;

$$n = \frac{1000 \cdot V}{60 \cdot \pi \cdot D_H}, \quad (4.9)$$

де V – швидкість зварювання, для середніх умов автоматичного зварювання $V = 10\text{--}50$ м/год;

D_H – зовнішній діаметр апарата, мм;

η – ККД системи передач від вала приводної роlikоопори до вала двигуна, $\eta = 0,7\text{--}0,8$.

Необхідна умова обертання виробу роliками стенда – відсутність проковзування на приводних роliках:

$$\frac{M_{KP}}{R} < \frac{G}{2 \cdot \cos \alpha} \cdot Z_0, \quad (4.10)$$

де Z_0 – коефіцієнт зчеплення між виробом і приводними роliками (див. табл. 4.2).

2 Роликові обертачі (стенди), які використовують у виробництві, складаються з комбінацій різних типів роlikоопор і приводів, з'єднаних між собою системами валів. У зварювальному роlikовому стенді можуть бути один або два синхронізовані приводи. Якщо на стенді встановлений лише привод із зварювальною швидкістю, то маршовою буде максимальна швидкість привода. Технічні характеристики зварювальних роlikових обертачів, які випускаються в промисловості, наведені в таблиці 4.3 [11].

Таблиця 4.2 – Коефіцієнти зчеплення між виробом і роликками

Ролик	Значення Z_0 для поверхні	
	сухий	вологий
Сталевий	0,20–0,25	0,15–0,20
Прогумований	0,25–0,35	0,2

Таблиця 4.3 – Технічна характеристика зварювальних роликкових обертачів (стендів)

Модель	Вантажо-підйомність, кг	Діаметр роликів, мм	Діаметр зварювальних виробів, мм	Частота обертання	
				робоча	маршева, м/хв
T-30M	12 000	410	300–4 000	12–90 м/год	13,4
70СД	12 260	400	400–4 000	0,06–3,0 об/хв	–
70СД-1	11 350	400	400–5 000	0,06–3,0 об/хв	–
70СДА	13 650	400	400–4 000	0,06–3,0 об/хв	–
60СД-1	19 400	400	500–4 800	4,4–220 м/год	3,7

Приклад розрахунку

Підібрати роликковий стенд для зрівноваженого циліндрового виробу діаметром $D_{вн} = 1\ 100$ мм, товщиною $S = 6$ мм і довжиною циліндрової частини $L = 5$ м для зварювання його вузлів і випробування.

1 Маса порожньої обичайки (формула (4.2)):

$$M_o = \pi \cdot 1,1 \cdot 5 \cdot 0,006 \cdot 7800 = 808 \text{ кг.}$$

Маса води, що заповнює обичайку (формула (4.3)):

$$M_{во} = \frac{\pi \cdot 1,1^2}{4} \cdot 5 \cdot 1000 = 4749 \text{ кг.}$$

Маса порожнього днища за DIN 28013 та DIN 28011:

$$M_d = 66,7 \text{ кг.}$$

Маса води, що заповнює днище (формула (4.4)):

$$M_{вд} = 0,1972 \cdot 1000 = 197,2 \text{ кг.}$$

Маса всього апарата (формула (4.1)):

$$M = 808 + 4749 + 2 \cdot 66,7 + 2 \cdot 197,2 = 6085 \text{ кг.}$$

Вага апарата $G = 60\,850 \text{ Н}$.

2 Беремо мінімальне число роликоопор $n = 5$. Водночас на кожну роликоопору припадає навантаження $60\,850/5 = 12\,170 \text{ Н} \approx 12,2 \text{ кН}$. За ДСТУ 2875-94 вибираємо роликоопору $\varnothing 400 \text{ мм}$ із допустимим радіальним навантаженням до $20\,000 \text{ Н}$ (20 кН).

Беремо центральний кут $2\alpha = 60^\circ$, водночас відстань між опорами – $A = 550 + 6 + 200 = 756 \text{ мм}$.

Перевіряємо дійсне радіальне навантаження на опори за формулою (4.5):

$$Q = \frac{60850}{5 \cdot \cos \alpha} = 14\,050 \text{ Н} = 14 \text{ кН.}$$

Таким чином, дійсне навантаження менше від допустимого.

3 Для складання, зварювання і випробування апарата беремо роликовий стенд моделі Т-30М.

Технічна характеристика

Вантажопідйомність, кг	12 000
Діаметр роликів, мм	410
Діаметр зварюваних виробів, мм	300–4 000
Частота обертання:	
робоча, м/год.....	12–90

маршова, м/хв.....13,4

Момент тертя кочення роликів стенда за виробом (формула (4.7)):

$$M'_{TP} = \frac{60850}{\cos 30^\circ} \cdot \frac{0,0007}{0,205} \cdot (0,550 + 0,205) = 181 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Момент тертя на цапфах у підшипниках роликів (формула (4.8)):

$$M''_{TP} = \frac{60850}{\cos 30^\circ} \cdot 0,07 \cdot \frac{0,175}{0,205} \cdot 0,550 = 2309 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$M_{TP} = 181 + 2309 = 2490 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$M_{KP} = 1,3 \cdot 2490 = 3237 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Умова обертання виробу (формула (4.10)):

$$\frac{3237}{0,55} < \frac{60\ 850}{2 \cdot \cos 30^\circ} \cdot 0,25.$$

5 885 < 8 783. Умова виконується.

Потужність електродвигуна за $V_{ЗВ} = 45$ м/год (формула (4.6)):

$$n = \frac{45 \cdot 1000}{60 \cdot 3,14 \cdot 1112} = 0,21 \text{ об/хв}.$$

$$\text{Тоді } N = \frac{3237 \cdot 0,21}{9740 \cdot 0,75} = 0,1 \text{ кВт.}$$

4 Кінематична схема привода роликового стенда (рис. 4.13).

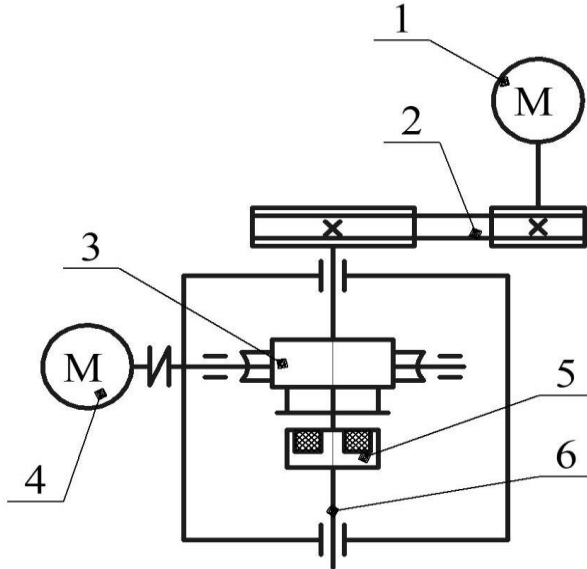


Рисунок 4.13 – Кінематична схема привода:
 1 – асинхронний електродвигун; 2 – клинопасова передача;
 3 – черв'ячна передача; 4 – електродвигун постійного струму;
 5 – електромагнітна муфта; 6 – вихідний вал

5 ПРИКЛАДИ ВИКОНАННЯ КОМПЛЕКСНИХ ЗАВДАНЬ

Завдання 1

Тема. Визначення діаметра заготовки пелюсткового еліптичного днища з внутрішнім базовим діаметром та розмірів пелюстки.

Мета роботи – ознайомитися з методикою розрахунку пелюсткового еліптичного днища.

Завдання:

1 Згідно з початковими даними визначити розміри заготовки пелюсткового еліптичного днища.

2 Виконати ескіз пелюсткового еліптичного днища та пелюстки.

3 Вибрати листовий прокат для виготовлення пелюсткового еліптичного днища.

4 Виконати розкрій листового прокату та визначити коефіцієнт використання матеріалу.

Рекомендації з виконання завдання

Згідно з вихідними даними виконуємо розрахунок заготовки пелюсткового еліптичного днища.

Методика виконання

1 Розрахунок заготовки днища [7]:

Для еліптичних відбортованих днищ із внутрішніми базовими розмірами діаметр розгортки

$$D_p = 2\sqrt{(D_{\text{вн}} + s) \cdot [h_1 + m \cdot \varepsilon_{\text{вн}} (D_{\text{вн}} + s)]} \text{ мм}, \quad (1)$$

де $D_{\text{вн}}$ – внутрішній діаметр днища, мм;

s – товщина стінки днища, мм;

h_1 – висота циліндричної частини днища, мм;

$\varepsilon_{\text{вн}}$ – коефіцієнт, який вибирають за графіком рисунка 1 залежно від відношення $D_{\text{вн}}/S$ днища;

m – коефіцієнт, який залежить від відношення D_{BH}/h_B , $m = 0,345$ за $D_{BH}/h_B = 4$ і $m = 0,318$ за $D_{BH}/h_B = 5$; h_B – випукла частина днища.

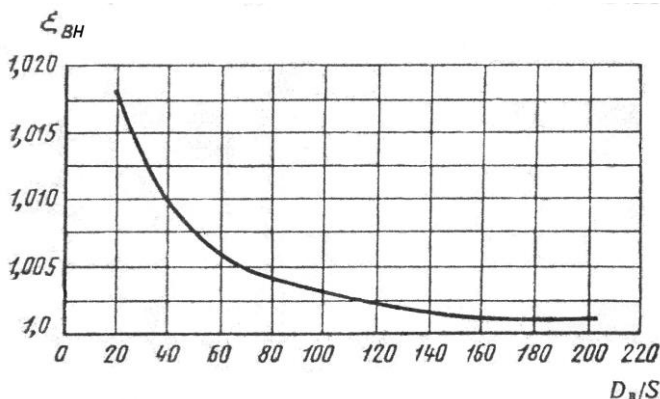


Рисунок 1 – Графік зміни коефіцієнта ϵ_{BH} залежно від D_{BH}/h_B

Визначаємо діаметр заготовки днища за формулою

$$D_3 = D + 2 \cdot z_H, \quad (2)$$

де $2 \cdot z_H$ – технологічний припуск на оброблення,

$$2 \cdot z_H = (0,02 - 0,05) \cdot D.$$

Для пелюсткового еліптичного днища розміри розгортки пелюстки визначаємо так.

Обчислюємо висоту пелюстки (сектора) по лінії симетрії за формулою

$$L = l + l_0 + l_1, \quad (3)$$

де l – величина, яку визначають за формулою

$$l = D_{BH} \cdot (0,125 \cdot K_e - 0,2), \quad (4)$$

де K_e – коефіцієнт, що залежить від співвідношення $b/a = 2 \cdot h_B/D_{BH}$, що для всіх еліптичних днищ дорівнює 0,5

(відповідно до DIN 28013 та DIN 28011). Для цього випадку $K_e = 4,84$.

У промисловості допускається застосування еліптичних днищ із співвідношенням $2 \cdot h_v/D_{вн}$ не меншим ніж 0,4. Значення коефіцієнта K_e залежно від співвідношення напівосей еліпса будуть такими

відношення $b/a = 2 \cdot h_v/D_{вн}$	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
значення K_e	4,6	4,64	5,1	5,4	5,7	6,0

Значення відбортованої частини днища з урахуванням припуску

$$l_1 = h_1 + z_n = h_1 + (0,02 - 0,05) \cdot D_{вн}. \quad (5)$$

Висоту стрілки сектора визначаємо за формулою

$$l_0 = l_T \cdot R_d, \quad (6)$$

де l_T – табличне значення величини стрілки, що визначається згідно з таблицею 1, мм;

R_d – радіус центрального диска, який обчислюємо за формулою

$$R_d = 0,2 \cdot D_{вн}. \quad (7)$$

Підставивши одержані значення у формулу (3), одержимо висоту пелюстки.

Визначаємо ширину заготовки сектора в різних її перерізах:

– за найбільшим значенням заготовки

$$a_0 = \frac{\pi \cdot D_3}{n}, \quad (8)$$

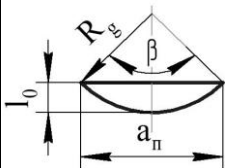
– визначаємо ширину сектора в інших перерізах:

$$a_i = \frac{2\pi \cdot R \cdot K}{n} \quad (9)$$

де R – середній радіус днища, $R = D_{\text{вн}}/2 + s$;

K – коефіцієнт форми днища, який визначаємо згідно з таблицею 2.

Таблиця 1 – Значення стрілки сектора l_T і довжини хорди a залежно від числа секторів днища

Ескіз	Число секторів днища n	Центральний кут одного сектора, град. $\beta = \frac{360}{n}$	Кут β , рад.	Стрілка l_T	Длина хорди a
	5	72	1,256637	0,191	1,1756
	6	60	1,047198	0,134	1,0
	8	45	0,785398	0,0761	0,7654
	9	40	0,698132	0,0603	0,684
	10	35	0,628619	0,0489	0,6180

Таблиця 2 – Значення коефіцієнта форми K

Розміщення-відрізків сектора	Співвідношення напівосей еліпса $b/a = 2 \cdot h_B/D_{\text{вн}}$				
	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0
a	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0
a_1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
a_2	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97
a_3	0,82	0,835	0,85	0,87	0,89
a_4	0,69	0,705	0,72	0,74	0,76
a_5	0,55	0,56	0,57	0,58	0,59
a_6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4

Робимо ескіз еліптичного пелюсткового днища і розгортку його пелюстки (рис. 2).

Для побудови розгортки пелюстки висоту сектора l графічно ділимо на п'ять рівних відрізків і відкладаємо перпендикулярно до осі симетрично праворуч і ліворуч половину їх величини, яку обчислили за формулою (9).

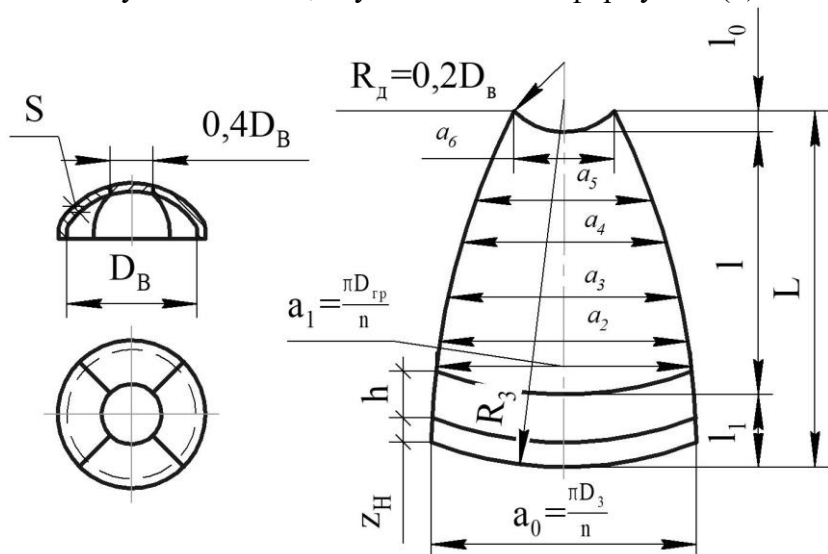


Рисунок 2 – Еліптичне пелюсткове днище і розміри розгортки його пелюстки

2 Вибір листового прокату. Розкрій

Вибір листового прокату робимо за ДСТУ 8540:2015.

Вибираємо два листи з урахуванням припусків на оброблення та ширини розрізання. На першому листі розміщуємо заготовки пелюсткового днища в один ряд, а на другому листі – у два ряди.

Визначаємо коефіцієнт використання матеріалу $K_{\text{ВМ}}$.

Коефіцієнт використання матеріалу $K_{\text{ВМ}}$ визначаємо за формулою 10:

$$K_{\text{ВМ}} = (F_3 / F_{\text{Л}}) \cdot 100 \%, \quad (10)$$

де F_3 – загальна площа заготовок пелюсткового днища й центрального диска;

F_L – площа вибраного листового прокату.

Площу центрального диска визначаємо за формулою,

$$F_{нд} = 0,785D^2, \text{ м}^2 \quad (11)$$

Площу пелюсток еліптичного днища визначимо за формулою

$$F_{пел} = n \cdot \frac{L}{2} (a_0 + a_6), \quad (12)$$

де n – загальне число пелюсток еліптичного днища. Загальна площа, яку займають заготовки днища (пелюстки і центральний диск), дорівнює

$$F_3 = F_{пел} + F_{нд}, \text{ м}^2 \quad (13)$$

Приклад виконання обов'язкового домашнього завдання 1

Тема. Визначення діаметра заготовки пелюсткового еліптичного днища з внутрішнім базовим діаметром та розмірів пелюстки.

Мета роботи – ознайомитися з методикою розрахунку пелюсткового еліптичного днища.

Завдання

1 Згідно з початковими даними визначити розміри заготовки пелюсткового еліптичного днища.

2 Виконати ескіз пелюсткового еліптичного днища та пелюстки.

3 Вибрати листовий прокат для виготовлення пелюсткового еліптичного днища.

4 Виконати розкрій листового прокату та визначити коефіцієнт використання матеріалу.

Вихідні дані

Число пелюсток, шт.....	6
Товщина стінки днища, мм.....	8
Внутрішній діаметр, мм.....	1 200
Висота відбортованої частини, мм.....	25
Висота опуклої частини днища, мм.....	300
Матеріал днища.....	Сталь 20К

1 Розрахунок заготовки

Для еліптичних відбортованих днищ із внутрішніми базовими розмірами діаметр розгортки

$$D_p = 2\sqrt{(D_{ен} + s) \cdot [h_1 + m \cdot \varepsilon_{ен} (D_{ен} + s)]}, \text{ мм},$$

де $D_{вн}$ – внутрішній діаметр днища, $D_{вн} = 1\ 200$ мм;

s – товщина стінки днища, $s = 8$ мм;

h_1 – висота циліндричної частини днища, $h_1 = 25$ мм;

$\varepsilon_{вн}$ – коефіцієнт, який вибирають за графіком рисунка 1, або [7, рис. 50, с. 89] залежно від відношення $D_{вн}/S$ днища,

$\varepsilon_{вн} = 1,0015$;

$m = 0,318$ – для днищ зі співвідношенням $D_{вн}/h_в = 5$.

$$D_p = 2\sqrt{(1200+8) \cdot [25 + 0,318 \cdot 1,001 \cdot (1200+8)]} = 1407 \text{ мм}.$$

Визначаємо діаметр заготовки за формулою

$$D_з = D_p + 2 \cdot z_н,$$

де $2 \cdot z_н$ – технологічний припуск на оброблення,

$$2 \cdot z_н = (0,02 - 0,05) \cdot D,$$

$$2 \cdot z_н = (0,02 - 0,05) \cdot 1\ 407 = 28 - 70,35 \text{ мм, беремо } 2 \cdot z_н = 28 \text{ мм}$$

$$D_3 = 1\,407 + 28 = 1\,435 \text{ мм.}$$

Визначаємо висоту пелюстка (сектора) по лінії симетрії за формулою

$$L = l + l_0 + l_1,$$

де l – величина, яку визначають за формулою

$$l = D_{\text{вн}} \cdot (0,125 \cdot K_e - 0,2),$$

де K_e – коефіцієнт, що залежить від співвідношення $b/a = 2 \cdot h_b/D_{\text{вн}}$, що для еліптичних днищ дорівнює 0,5 відповідно до DIN 28013 та DIN 28011. Для цього випадку $K_e = 4,84$.

$$l = 1200 \cdot (0,125 \cdot 4,84 - 0,2) = 486 \text{ мм.}$$

Значення відбортованої частини днища з урахуванням припуску

$$l_1 = h + z_n = h + (0,02 - 0,05) \cdot D_{\text{вн}};$$

$$l_1 = 28 + 25 = 53 \text{ мм.}$$

Висоту стрілки сектора визначаємо за формулою

$$l_0 = l_T \cdot R_D,$$

де l_T – табличне значення величини стрілки, визначаємо згідно з таблицею 1 для прийнятої кількості секторів днища, $l_T = 0,134$ мм;

R_D – радіус центрального диска, який обчислюють за формулою

$$R_D = 0,2 \cdot D_{\text{вн}};$$

$$R_{\text{д}} = 0,2 \cdot 1\,200 = 240 \text{ мм},$$

$$l_0 = 0,134 \cdot 240 = 32,16 \text{ мм}.$$

Підставивши одержані значення, одержимо

$$L = 486 + 53 + 32,16 = 571,16 \text{ мм}.$$

Визначаємо ширину заготовки сектора в різних її перерізах:

– за найбільшим значенням заготовки

$$a_0 = \frac{\pi \cdot D_3}{n},$$

$$a_0 = \frac{3,14 \cdot 1435}{6} = 749,4 \text{ мм},$$

– визначаємо ширину сектора в інших перерізах:

$$a_i = \frac{2\pi \cdot R \cdot K}{n},$$

де R – середній радіус днища, $R = D_{\text{вн}}/2 + s = 1200/2 + 8 = 608 \text{ мм}$;

K – коефіцієнт форми днища, вибирають згідно з таблицею 2.

$$a_1 = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 608 \cdot 1}{6} = 636,7 \text{ мм},$$

$$a_2 = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 608 \cdot 0,94}{6} = 598,5 \text{ мм},$$

$$a_3 = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 608 \cdot 0,835}{6} = 531,6 \text{ мм},$$

$$a_4 = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 608 \cdot 0,705}{6} = 448,8 \text{ мм},$$

$$a_5 = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 608 \cdot 0,56}{6} = 356,6 \text{ мм},$$

$$a_6 = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 608 \cdot 0,4}{6} = 254,7 \text{ мм}.$$

Ескізи розгорнення пелюстки і пелюсткового еліптичного днища наведені відповідно на рисунках 3–4.

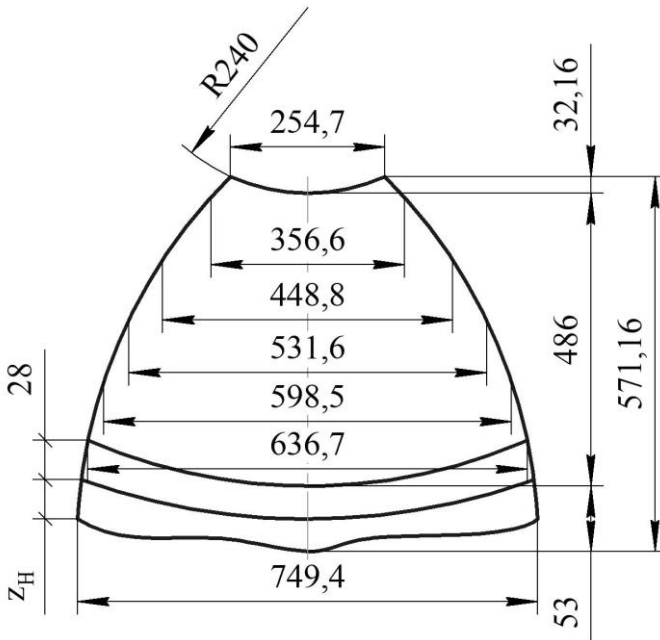


Рисунок 3 – Ескіз розгорнення пелюстки

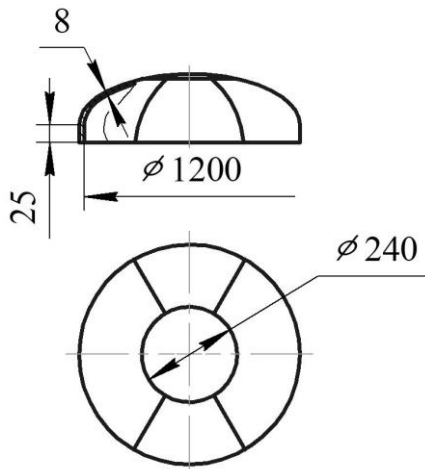


Рисунок 4 – Еліптичне пелюсткове днище

2 Вибір листового прокату. Розкрій

Вибір листового прокату виконуємо за ДСТУ 8540:2015.

Вибираємо два листи з урахуванням припусків на оброблення та ширини розрізання. Стандартні листи мають такі розміри:

$$\text{лист } \frac{B - ПН - О - 8 \cdot 700 \cdot 4500 \text{ ДСТУ 8540: 2015}}{20К \text{ ДСТУ 8804: 2018}},$$

$$\frac{B - ПН - О - 8 \cdot 1000 \cdot 2500 \text{ ДСТУ 8540: 2015}}{20К \text{ ДСТУ 8804: 2018}}.$$

Розкрій листового прокату зображено на рисунку 5.

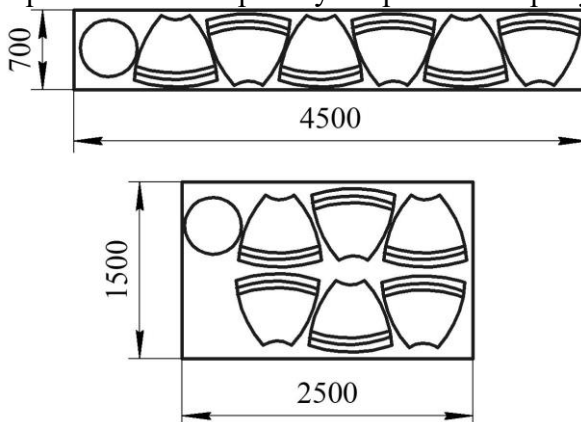


Рисунок 5 – Розкрій листового прокату

Визначаємо коефіцієнт використання матеріалу $K_{\text{вм}}$.
Площа листа:

$$F_{\text{л1}} = 0,7 \cdot 4,5 = 3,15 \text{ м}^2,$$

$$F_{\text{л2}} = 1,4 \cdot 2,5 = 3,5 \text{ м}^2.$$

Площу пелюстки еліптичного днища визначаємо за формулою 12:

$$F_{\text{пел}} = n \cdot \frac{L}{2} (a_0 + a_6),$$

$$F_1 = 6 \cdot \frac{571,16}{2} (749,4 + 254,7) = 2,1 \text{ м}^2,$$

$$F_{\text{пел}} = F_1 \cdot 6 = 0,245 \cdot 6 = 2,1 \text{ м}^2.$$

Площа центрального диска

$$F_{\text{цд}} = 0,785 \cdot 0,24^2 = 0,18 \text{ м}^2.$$

Сумарна площа, яку займають заготовки (пелюстки й центральний диск), дорівнює

$$F_3 = F_{\text{пел}} + F_{\text{цд}} = 2,1 + 0,18 = 2,28 \text{ м}^2.$$

Коефіцієнт використання матеріалу $K_{\text{вм}}$ визначаємо за формулами:

$$K_{\text{вм}} = (F_3 / F_{\text{л}}) \cdot 100 \%,$$

$$K_{\text{вм1}} = (2,28/3,15) \cdot 100 \% = 72,4 \%,$$

$$K_{\text{вм2}} = (2,28/3,75) \cdot 100 \% = 60 \%.$$

Можна зробити висновок, що під час розкрою листа $8 \times 700 \times 4500$ коефіцієнт $K_{\text{вм}}$ за розрахунками одержали вищим, тому більш раціонально його використовувати в процесі виготовлення цього днища.

Розрізання листа проводимо механічним способом, вид різання – дисковими ножицями; метод різання – парнодисковий

(двома похилими ножами); різновид різання – прямолінійне, наскрізне, різання великої довжини і вирізання на вихід, замкнене вирізання і вирізання кілець, а також фігурне різання. Доцільність застосування за матеріалами і товщиною металу: для вуглецевої, низьколегованої, легованої, високолегованої сталі, біметалів, алюмінію та його сплавів, міді, латуні, титану, товщиною менше ніж 40 мм, згідно з [1, с. 34].

Список літератури

(Подаємо список літератури, яку використовували під час виконання цієї розрахункової роботи).

Вихідні дані для розрахунку еліптичного пелюсткового днища з внутрішнім базовим діаметром наведені в додатку Є.

Завдання 2

Тема. Підбирання заготівельного обладнання для виготовлення обичайки.

Мета роботи – ознайомитися з методикою розрахунку й вибору технологічного обладнання для виготовлення обичайки.

Завдання

1 Згідно з початковими даними визначити розміри заготовки для виготовлення корпусу циліндричної ємності.

2 Вибрати листовий прокат для виготовлення обичайки.

3 Виконати розкрій листового прокату та визначити коефіцієнт використання матеріалу.

4 Вибрати листоправильну машину для виправлення заготовки заданого виробу.

5 Визначити відстань між верхніми й нижніми рядами валків.

6 Розрахувати зусилля виправлення.

7 Вибрати обладнання для різання заготовки обичайки та зазначити його основні технічні характеристики.

8 Визначити зусилля різання.

9 Розрахувати величину ходу ножа і роботу різання за один хід ножа та визначити потужність привода ножиць.

10 Вибрати листозгинальну машину для вальцювання заготовки обичайки.

11 Розрахувати величину прогину заготовки для тривалкової листозгинальній машини із симетричним розміщенням бічних валків.

12 Визначити потужність привода роликowego станда для виконання складальних операцій.

Методика виконання

1 Розрахунок заготівки

На основі вихідних даних визначаємо розміри й форму заготовки. Визначаючи розміри розгортки, необхідно врахувати властивості матеріалу і припуски на подальше оброблення деталі.

Довжина розгортки циліндричної обичайки висотою H [2]:

$$L_3 = \pi \cdot D_{н.л} = \pi(D_g + S) ,$$

де $D_{н.л}$ – діаметр нейтральної лінії, мм;

D_g – внутрішній діаметр, мм;

S – товщина стінки обичайки, мм.

Згідно з ДСТУ 8540:2015 вибираємо листи в необхідній кількості та необхідних розмірів і наводимо схему розкорою листа.

Потім розраховуємо коефіцієнт використання металу:

$$K_{BM} = \frac{S_3}{S_L},$$

де S_3 – площа заготовки, m^2 ;
 S_L – площа листа, m^2 .

Коефіцієнт використання металу повинен бути більшим за 65 %. Схема розкрою листового прокату показана на рисунку 6.

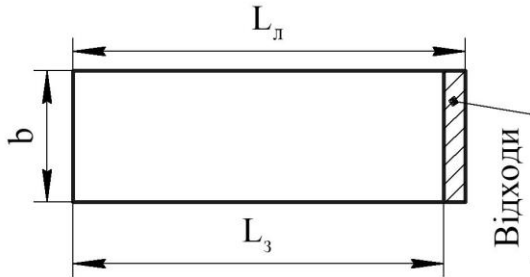


Рисунок 6 – Схема розкрою листового прокату:
 L_L – довжина листа згідно з ДСТУ 8540:2015, мм;
 L_3 – довжина заготовки (розгортки), мм;
 b – висота обичайки дорівнює ширині листа, мм

2 Вибір листопральної машини

2.1 Визначення відстані між верхніми й нижніми валками листопральної машини під час виправлення листа заданої товщини [7, с.31]:

$$L = S - 2 \left[\frac{SE}{2\sigma_T} - \sqrt{\left(\frac{SE}{2\sigma_T}\right)^2 - \left(\frac{t}{4}\right)^2} \right],$$

де S – товщина листа, м;

E – модуль нормальної пружності матеріалу листа, МПа;

σ_T – межа текучості, МПа;

t – відстань між валками (крок), яку вибирають залежно від товщини листа, м.

Схема правки листового прокату наведена на рисунку 7.

2.2 Зусилля, виправлення на верхньому або нижньому ряді валків [7, с. 31]:

$$P = \frac{b \cdot S^2 \cdot \sigma_r \cdot (n-2)}{t},$$

де b – ширина листа, м;

n – число верхніх валків, шт. (щоб визначити число верхніх валків, потрібно до загальної кількості валків машини додати ще один і суму поділити на два, а знайдена частка і буде дорівнювати числу верхніх валків).

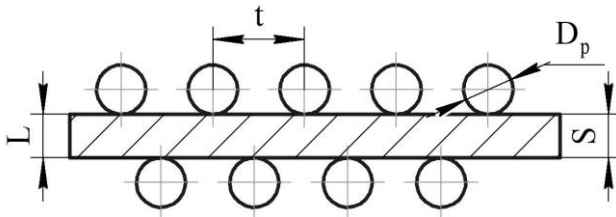


Рисунок 7 – Схема правки листового прокату

На підставі вихідних даних підбирають роликову листоправильну машину та записуємо її технічні характеристики, наведені в таблиці 3.1 або [7, с. 30, табл. 15].

3 Вибір гільйотинних ножиць із похилим ножем

4.1 Для вибору типу ножиць попередньо розрахуємо величину ходу ножа (рис.8):

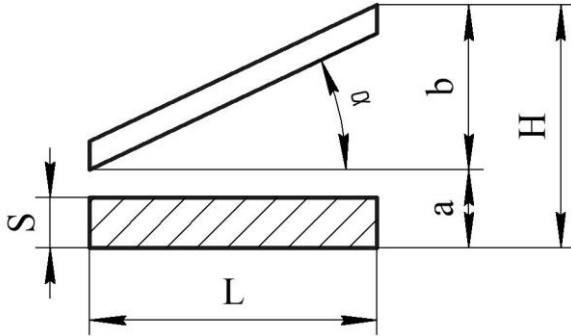


Рисунок 8 – Схема розрахунку ходу ножа:

H – хід ножа, мм; b – висота нахилу верхнього ножа, мм; a – відстань від нижнього ножа до нижнього обрізу верхнього ножа, мм; α – кут нахилу верхнього ножа

$$H = a + v = a + L \cdot \operatorname{tg} \alpha ,$$

де $a = S + (5 - 10)$, мм;

L – довжина різі (найбільша ширина розрізувального металу), мм;

α – кут нахилу ножа (рис. 3.15 або [7, с. 36, рис. 9]).

3.2 Визначення зусилля різання:

$$P = \frac{0,5 \cdot S^2 \cdot \tau_{зр}}{\operatorname{tg} \alpha} \cdot k ,$$

де S – товщина листа, мм;

$\tau_{зр}$ – тимчасовий опір матеріалу на зріз, МПа;

$K = 1,15 - 1,5$ – коефіцієнт, що враховує затуплення ножів, сили тертя й зазор між ножами.

3.3 Робота різання за один хід на ножицях із похилими ножами дорівнює

$$A = P \cdot H , \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

3.4 Потужність привода ножиць, кВт, обчислюють за формулою

$$N = \frac{A \cdot n \cdot 10^{-6}}{60 \cdot \eta},$$

де n – число ходів ножів за 1 хвилину [7, с. 36, рис. 10];

$\eta = 0,75-0,85$ – ККД ножиць.

На підставі розрахунків вибираємо модель ножиць та записуємо їх характеристику [7, с. 36, табл. 20].

4 Розрахунок процесу колового згинання циліндричної обичайки

4.1 Визначення прогину заготовки під час колового згинання (вальцювання) [7, с. 49, рис. 33]:

$$y = R_{\Gamma} + S + \frac{D_{\delta}}{2} - \sqrt{\left(R_{\Gamma} + S + \frac{D_{\delta}}{2}\right)^2 - \frac{l^2}{4}},$$

де R_{Γ} – радіус згинання обичайки за умовою завдання;

D_{δ} – діаметр бічних (нижніх) валків, мм (табл. 3.5 або [7, с. 46, табл. 29]);

$l = (2 - 3) D_{\delta}$ – відстань між осями валків;

S – товщина листа, мм.

4.2 Для вирішення питання про можливість вигину листа (схема згинання наведена на рис. 9) максимальної товщини S_{max} за заданих ширини листа b , радіуса вигину $R_{01} = R_{\Gamma}$ (за умовою завдання) і марки металу заготовки застосовують формулу [2, с. 50]:

$$S_{max} = S^{\frac{m+2}{m_1+2}} \cdot \left[2^{m_1-m} \cdot \frac{A}{A_1} \cdot \frac{R_{01}^{m_1+1}}{R_0^{m+1}} \cdot \frac{(1+nR_0^{1-m})^{1+m}}{(1+n_1R_{01}^{1-m})^{1+m_1}} \times \right. \\ \left. \times \frac{\operatorname{tg} \alpha_1}{\operatorname{tg} \alpha} \cdot \frac{m_1+2}{m+2} \cdot \frac{b^2}{b_1(2b-b_1)} \right]^{\frac{1}{m_1+2}}$$

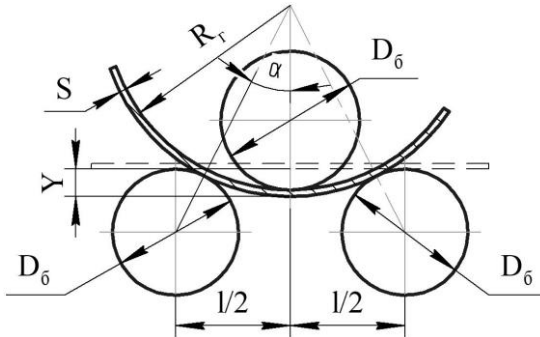


Рисунок 9 – Схема згинання

Позначення з індексом у цій формулі відносять до даних за умовою завдання, а без індексу – до шуканих величин. Величини n , m , A (константи кривої зміщення) подані в праці [7, с. 32, табл. 17 або додаток Д]. У цій формулі S і b – це найбільша товщина та ширина листа, що може вигинатися на вибраній машині (технічні характеристики тривалкових машин із симетричним розміщенням валків для згинання листового прокату наведені в таблиці 3.5.

Кути α і α_1 розраховують із таких співвідношень:

$$\sin \alpha = \frac{l}{2 \left(R_r + \frac{D_0}{2} \right)},$$

$$\sin \alpha_1 = \frac{l}{2 \left(R_n + \frac{D_0}{2} \right)},$$

де $R_0 = R_n = (0,8 - 0,9) R_r$ – радіус виправлення, мм.

5 Розрахунок привода роликів стенда

Для розрахунку потужності електропривода роликів опор можна рекомендувати метод поелементного розрахунку, що враховує особливості конструкції й роботи пари роликів опора - апарат. Точність цього методу залежить від правильності вибору коефіцієнтів тертя ковзання й кочення. Для розрахунку необхідної потужності використовують метод тягових зусиль, за яких сили вважають прикладеними до зовнішньої поверхні валів (рис. 10).

5.1 Потужність, необхідна для подолання сили тертя в підшипниках роликів [4].

Момент тертя в підшипниках роликів, нм, дорівнює

$$M_{\text{тер}} = \frac{G}{\cos \alpha} \cdot f_{\text{пр}} \cdot \frac{d_{\text{ц}}}{2},$$

де $f_{\text{пр}} = 0,1-0,12$ – зведений коефіцієнт тертя;

$d_{\text{ц}} = 100-200$ – діаметр цапфи, мм;

α – кут між осями обичайки й ролика, $\alpha = 45 \div 70^\circ$;

G – навантаження на підшипники (вага апарата G_a плюс вага усіх роликів G_p), Н.

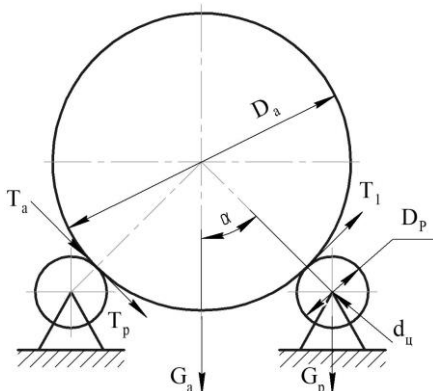


Рисунок 10 – Схема до розрахунку потужності привода роликів стенда

Кількість пар роликів опор вибирають залежно від довжини апарата й умови забезпечення необхідної жорсткості (рис. 11). У нашому випадку можна підставляти одну опору під одну обичайку (ширина ролика – $b_p = 80\text{--}200$ мм).

Рухливий момент $M_{\text{рух}}$, створюваний зусиллям T_1 , прикладеним до зовнішнього діаметра ролика D_p , дорівнює

$$M_{\text{рух}} = \frac{T_1 \cdot D_p}{2},$$

$$M_{\text{рух}} = M_{\text{тер}},$$

$$\frac{T_1 \cdot D_p}{2} = \frac{G}{\cos \alpha} \cdot f_{np} \frac{d_u}{2},$$

$$T_1 = \frac{G}{\cos \alpha} \cdot f_{np} \frac{d_u}{D_p}.$$

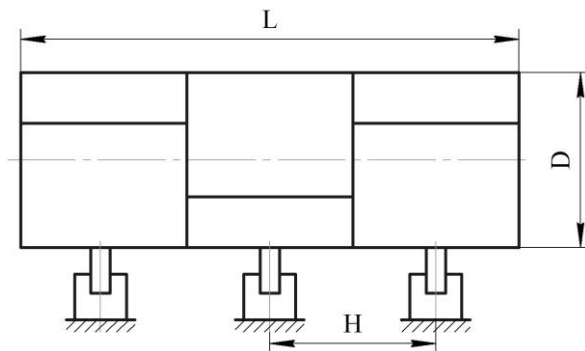


Рисунок 11 – Схема розміщення роликів на стенді

Потужність, Вт, необхідна для подолання сили тертя в підшипниках роликів:

$$N_1 = T_1 \cdot v = \frac{G \cdot f_{np} \cdot d_u \cdot v}{D_p \cdot \cos \alpha},$$

де v – колова швидкість ролика (швидкість зварювання), м/с;

$D_p = 0,5$ – зовнішній діаметр ролика, м.

5.2 Потужність, необхідну для подолання сил тертя між роликами і корпусом, визначаємо з рівності рушійних моментів для ролика й апарата та моментів тертя кочення.

Для ролика момент тертя кочення дорівнює

$$M_{\text{тр}}^p = k \frac{G_a \cdot D_p}{\cos \alpha},$$

де $k = 0,05$ – коефіцієнт тертя кочення;

G_a – вага апарата, Н;

D_p – зовнішній діаметр апарата, м.

Тягове зусилля T_p , яке повинне бути прикладене до ролика для подолання сил тертя кочення між роликами й апаратом, що рухає момент, обчислюємо за формулою

$$M_{\text{дв}} = T_p \cdot \frac{D_p}{2}.$$

Якщо $M_{\text{тр}}^p = M_{\text{дв}}^p$, то $T_p = \frac{2 \cdot k \cdot G_a}{\cos \alpha}$.

Аналогічно для обертового апарата тягове зусилля T_a дорівнює

$$T_a = \frac{2k \cdot G_a \cdot D_p}{D_a \cos \alpha}.$$

Загальне зусилля T_2 , яке необхідно прикласти до ролика й апарата для подолання сили тертя кочення між ними, дорівнює

$$T_2 = T_p + T_a = \frac{2k \cdot G_a}{\cos \alpha} \cdot \left(\frac{1}{D_p} + \frac{1}{D_a} \right).$$

Потужність, необхідна для подолання сили тертя кочення між роликами й апаратом, розраховуємо за формулою

$$N_2 = T_2 v = \frac{k \cdot G_a \cdot v}{\cos \alpha} \cdot \left(\frac{1}{D_p} + \frac{1}{D_a} \right)$$

Потужність, Вт, необхідна для подолання сил тертя під час обертання апарата на роликоопорах, дорівнює

$$N = N_1 + N_2 = \frac{v}{\cos \alpha} \left[\frac{G \cdot f_{np} \cdot d_{\psi}}{D_p} + 2k \cdot G_a \left(\frac{1}{D_p} + \frac{1}{D_p} \right) \right].$$

Для визначення потужності, яка необхідна для пуску роликових опор, необхідно знати пусковий момент для подолання інерційних сил і момент для подолання сил тертя спокою.

Пусковий момент

$$M_n = M_{ин} + M_T,$$

де $M_{ин}$ – пусковий момент для подолання інерційних сил;
 M_T – момент для подолання сил тертя спокою.

Через складність визначення M_T за попередніх розрахунків на підставі результатів випробувань беруть кратність пускового моменту стосовно нормального розрахункового моменту такою, що дорівнює

$$K_n = \frac{M_n}{M} = \frac{T_n}{T} = \frac{N_n}{N} = 1,2 - 1,3.$$

З урахуванням коефіцієнта корисної дії η системи передач від вала приводної роликкоопори до вала двигуна потужність електродвигуна $N_{\text{дв}}$ для обертання виробу, розміщеного на роликкоопорах, дорівнює

$$N_{\text{дв}} = \frac{K_n \cdot N}{\eta},$$

де $\eta = 0,88$ – ККД системи;

N – потужність, необхідна для подолання сил тертя під час обертання апарата, Вт.

Список літератури

(Подаємо список літератури, яку використовували під час виконання цієї розрахункової роботи).

Вихідні дані для виконання розрахункової роботи 2 наведені в додатку Ж.

Приклад виконання обов'язкового домашнього завдання 2

Тема. Підбирання заготівельного обладнання для виготовлення обичайки.

Мета роботи – ознайомитися з методикою розрахунку і вибору технологічного обладнання для виготовлення обичайки.

Завдання

1 Згідно з початковими даними визначити розміри заготовки для виготовлення корпусу циліндричної ємності.

2 Вибрати листовий прокат для виготовлення обичайки.

3 Виконати розкрій листового прокату та визначити коефіцієнт використання матеріалу.

4 Вибрати листоправильну машину для виправлення заготовки заданого виробу.

5 Визначити відстань між верхніми й нижніми рядами валків.

6 Розрахувати зусилля виправлення.

7 Вибрати обладнання для різання заготовки обичайки та зазначити його основні технічні характеристики.

8 Визначити зусилля різання.

9 Розрахувати величину ходу ножа і роботу різання за один хід ножа та визначити потужність привода ножиць.

10 Вибрати листозгинальну машину для вальцювання заготовки обичайки.

11 Розрахувати величину прогину заготовки для тривалкової листозгинальної машини із симетричним розміщенням бічних валків.

12 Визначити потужність привода роликів стенда для виконання складальних операцій.

1 Визначити зусилля, що діє на верхній валок під час правки обичайки.

Вихідні дані

Висота корпусу апарата H , мм.....7 300;

Товщина листа S , мм8;

Радіус вигину R_r , мм1 100;

Марка сталі12ХМ;

Константи зміцнення:

$$A_1 = 63,5; m_1 = 0,216; n_1 = 0,0077;$$

Швидкість обертання корпусу на роликах
(швидкість зварювання) V , м/год 110

Розв'язання

1 Визначаємо механічні властивості й константи зміцнення для сталі 12ХМ (7, табл. 17, с. 32 або додаток Д):

$\sigma_T = 240$ МПа – межа текучості;

$\sigma_s = 450$ МПа – межа міцності;

$\delta = 0,23$ % .

Константи зміцнення: $A = 56,7; m = 0,149; n = 0,0062$.

2 На підставі вихідних даних визначаємо розміри заготовки згідно з ДСТУ 8540:2015, вибираємо розміри стандартних листів прокату для розміщення на них заготовки обичайки. Виконуємо ескіз розкрою на листі (рис. 12) і визначаємо коефіцієнт використання матеріалу.

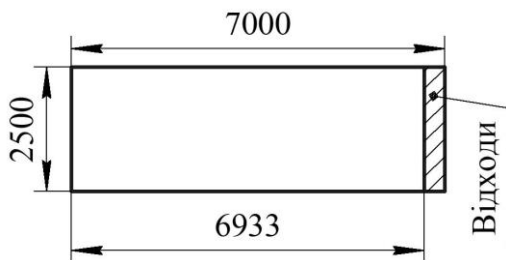


Рисунок 12 – Схема розкрою листа

Довжина розгортки циліндричної обичайки

$$L_{роз} = \pi \cdot D_{н.л} = \pi(D_s + S),$$

де $D_{н.л}$ – діаметр нейтральної лінії, мм;

$D_B = 2R_r$ – внутрішній діаметр, мм;

S – товщина стінки обичайки, мм.

$$L_{роз} = 3,14 \cdot (2200 + 8) = 6933 \text{ мм.}$$

Для виготовлення обичайок вибираємо такий листовий прокат:

лист $\frac{B - ПН - О - 8 \cdot 2500 \cdot 7000 \text{ ДСТУ 8540: 2015}}{12XM \text{ ГОСТ } 20072-74}$ – 2 листи,

лист $\frac{B - ПН - О - 8 \cdot 2300 \cdot 7000 \text{ ДСТУ 8540: 2015}}{12XM \text{ ГОСТ } 20072-74}$ – 1 лист,

де B – нормальної точності;

$ПН$ – нормальної площинності;

$О$ – з обрізною кромкою.

Коефіцієнт використання матеріалу

$$K_{в.м} = \frac{S_3}{S_l} n,$$

де S_3 – площа заготовки;

S_l – площа листа;

n – число обичайок на листі.

$$K_{в.м} = \frac{7250 \cdot 6933}{(2500 + 2500 + 2300) \cdot 7000} \cdot 1 = 0,97.$$

3 Вибір листопрямильної машини

Правку листового прокату в хімічному апаратобудуванні переважно виконують на листопрямильній роликівій машині. Правку здійснюють для зменшення або усунення кривизни, коробуватості. Правка на листопрямильних машинах

являє собою процес багаторазового знакозмінного пластичного вигину в оброблюваному матеріалі за напруг, що переважають межу плинності (текучості). Лист виправляється за лишковою деформацією, що утворюється за багаторазового згинання листа під час його проходження між роликками в прямому і зворотному напрямках (рис. 13).

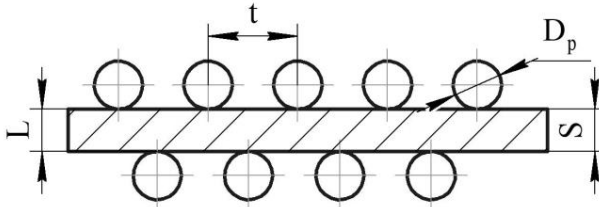


Рисунок 13 – Схема правки листа

Ураховуючи габаритні розміри листового прокату вибираємо роликкову листопрямую машину типу А.

Технічна характеристика машини

Крок роликів t , мм	250
Число роликів n , шт.	9
Діаметр роликів D_p , мм	230
Швидкість правки $V_{пр}$, м/с	0,13
Потужність привода $N_{пр}$, кВт	65
Лист, що випрямляється:	
товщина S , мм	65–16
ширина B , мм	2 500

Визначимо відстань між верхнім і нижнім валками правильної машини під час правки листа заданої товщини:

$$L = S - 2 \left[\frac{S \cdot E}{2\sigma_T} - \sqrt{\left(\frac{S \cdot E}{2\sigma_T} \right)^2 - \left(\frac{t}{4} \right)^2} \right],$$

де S – товщина листа, мм;
 t – крок роликів, мм;

$\sigma_T = 240$ МПа – межа текучості;

$E = 2,168 \cdot 10^5$ МПа – модуль нормальної пружності.

$$L = 8 - 2 \left[\frac{8 \cdot 2,05 \cdot 10^5}{2 \cdot 240} - \sqrt{\left(\frac{8 \cdot 2,05 \cdot 10^5}{2 \cdot 240} \right)^2 - \left(\frac{250}{4} \right)^2} \right] = 6,85 \text{ мм.}$$

Зусилля правки на нижньому ряду валків під час виправлення листа із розмірами $8 \times 2500 \times 7000$ (мм)

$$P = \frac{b \cdot S^2 \cdot \sigma_T (n - 2)}{t}, \text{ Н,}$$

де b – ширина листа, мм;

n – кількість верхніх валків, шт. (щоб знайти кількість верхніх валків, необхідно до загальної кількості валків машини додати ще один і суму поділити на два, а знайдена частка й буде дорівнювати числу верхніх валків).

$$P = \frac{2 \cdot 500 \cdot 8^2 \cdot 240 \cdot (5 - 2)}{250} = 460 \, 800 \text{ Н.}$$

3 Вибір гільйотинних ножиць із похилим ножем

3.1 Для вибору типу ножиць попередньо розрахуємо величину ходу ножа. Схема розрахунку ходу ножа наведена на рисунку 14.

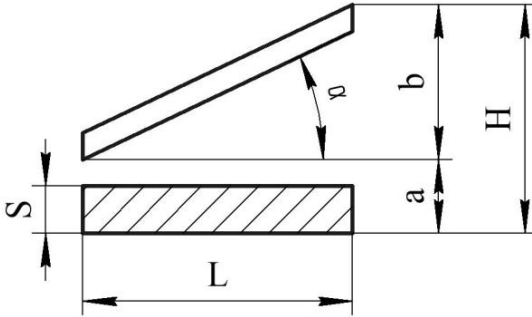


Рисунок 14 – Схема розрахунку ходу ножа:

H – хід ножа, мм; b – висота нахилу верхнього ножа, мм;
 a – відстань від нижнього ножа до нижньої кромки
верхнього ножа; $\alpha = 3^\circ$ – кут нахилу верхнього ножа, град.,
вибирають за рисунком 3.15 і уточнюють за паспортом ма-
шини

Визначимо величину ходу верхнього ножа:

$$H = a + b = a + L \cdot \operatorname{tg} \alpha ,$$

де $a = S + (5 - 10)$, мм.

Тоді $a = 8 + 5 = 13$ мм,

Звідки

$$H = 13 + 2\,500 \cdot 0,0524 = 144 \text{ мм.}$$

3.2 Визначаємо зусилля, необхідне для розрізання листа:

$$P = \frac{0,5 \cdot S^2 \cdot \tau_{зр}}{\operatorname{tg} \alpha} \cdot k, \text{ Н,}$$

де $\tau_{зр}$ – тимчасовий опір матеріалу на зріз, МПа;

$$\tau_{зр} = 0,8 - 0,86 \cdot \sigma_B;$$

k – коефіцієнт, що враховує затуплення ножів, сили тертя і
зазор між ножами, $k = 1,15 - 1,5$;

α – кут нахилу ножа.

$$P = \frac{0,5 \cdot 8^2 \cdot 0,8 \cdot 450 \cdot 1,15}{0,0524} = 252\,824 \text{ Н.}$$

Схема різання наведена на рисунку 5.15.

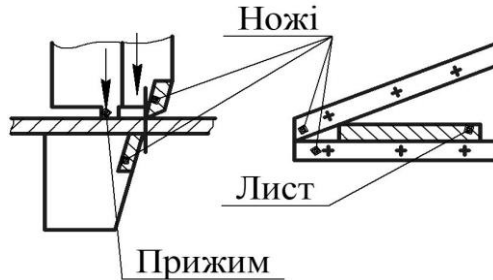


Рисунок 15 – Схема різання

3.3 Робота верхнього ножа за один хід

$$A = P \cdot H, \text{ Н} \cdot \text{мм},$$

$$A = 252\,824 \cdot 144 = 36\,406\,656 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

3.4 Потужність привода ножиць

$$N = \frac{A \cdot n \cdot 10^{-3}}{60\eta}, \text{ кВт},$$

де n – число ходів ножа за 1 хвилину;

$\eta = 0,75\text{--}0,85$ – КПД ножиць.

$$N = \frac{36\,406\,656 \cdot 25 \cdot 10^{-6}}{60 \cdot 0,85} = 17,85, \text{ кВт}.$$

Для розрізання заготовки за таблицею 3.3 вибираємо гільйотинні ножиці моделі Н407.

Технічна характеристика ножиць:

Найбільша товщина розрізувального листа, мм..	12,5
Найбільша ширина розрізувального листа, мм ...	500
Число ходів ножа за 1 хвилину	25
Потужність основного привода, кВт	20

4 Розрахунок процесу колового згинання циліндричної обичайки

Керуючись розмірами обичайок для вальцювання вибираємо тривалкову машину із симетричним розміщенням валків фірми «Сертом» (Італія), моделі Н9 [7, с. 46, табл. 29].

Характеристики машини

Найбільша ширина листа, мм	3 000
Найбільша товщина листа, мм	30
Швидкість згинання, м/хв.	4
Діаметр згинання валка, мм	
верхнього	460
нижнього	400
Потужність головного привода, кВт	40

4.1 Визначення прогину заготовки під час колового згинання (вальцюванні) [7, с. 49, рис. 33]:

$$y = R_{\Gamma} + S + \frac{D_{\delta}}{2} - \sqrt{\left(R_{\Gamma} + S + \frac{D_{\delta}}{2}\right)^2 - \frac{l^2}{4}},$$

де R_{Γ} – радіус згинання обичайки за умовою завдання;
 D_{δ} – діаметр бічних (нижніх) валків, мм [7, с. 46, табл. 29];
 $l = (2 - 3) D_{\delta} = 800$ мм – відстань між осями валків;
 S – товщина листа, мм.

$$y = 1100 + 8 + \frac{400}{2} - \sqrt{\left(1100 + 8 + \frac{400}{2}\right)^2 - \frac{800^2}{4}} = 9,98 \approx 10 \text{ мм.}$$

Для вирішення питання про можливість вигину листа (схема згинання наведена на рис. 16) максимальної товщини S_{max} за заданих ширини листа b_l , радіуса вигину $R_{01} = R_r$ (за умовою завдання) і марки металу заготівки застосуємо формулу

$$S_{max} = S^{\frac{m+2}{m_1+2}} \left[2^{m_1-m} \cdot \frac{A}{A_1} \cdot \frac{R_{01}^{m_1+1} (1+nR_0^{1-m})^{l+m}}{R_0^{m+1} (1+n_1R_{01}^{1-m_1})^{l+m_1}} \cdot \frac{tg \alpha_1}{tg \alpha} \cdot \frac{m_1+2}{m+2} \cdot \frac{b^2}{b_1(2b-b_1)} \right]^{\frac{1}{m_1+2}}, \text{ мм},$$

де S – товщина листа за паспортними даними машини;

$R_n = R_0 = (0,8-0,9) R_r$ – радіус виправлення, мм.

$$R_n = R_0 = 0,8 \cdot 1100 = 880 \text{ мм.}$$

Кути α і α_1 визначаємо зі співвідношень:

$$\sin \alpha = \frac{l}{2 \left(R_z + \frac{D_B}{2} \right)}, \quad \sin \alpha_1 = \frac{l}{2 \left(R_n + \frac{D_B}{2} \right)},$$

$$\sin \alpha = \frac{800}{2 \cdot \left(1100 + \frac{400}{2} \right)} = 0,192, \quad \alpha = 11^\circ,$$

$$\sin \alpha_1 = \frac{800}{2 \cdot \left(880 + \frac{400}{2} \right)} = 0,231, \quad \alpha_1 = 13^\circ.$$

$$S_{max} = 30^{\frac{0,149+2}{0,216+2}} \cdot \left[2^{0,216-0,149} \cdot \frac{56,7}{63,5} \cdot \frac{1100^{0,216+1}}{880^{0,149+1}} \cdot \frac{(1+0,0074 \cdot 880^{1-0,149})^{+0,149}}{(1+0,0077 \cdot 1100^{1-0,216})^{+0,216}} \cdot \frac{tg 13^\circ}{tg 11^\circ} \right]^{\frac{1}{0,216+2}} \times \frac{0,216+2}{0,149+2} \cdot \frac{3000^2}{2500 \cdot (2 \cdot 3000 - 2500)} = 38,84 \text{ мм.}$$

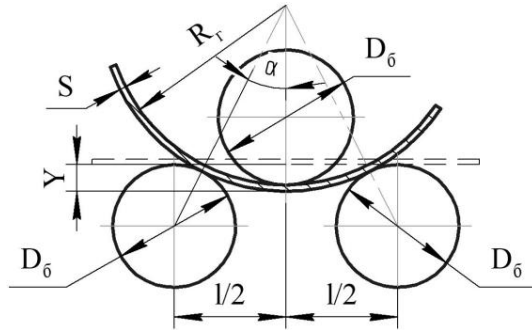


Рисунок 16 – Схема згинання

5 Розрахунок привода роликів стэнда

Для розрахунку споживаної потужності привода скористаємося методом тягових зусиль, за якого сили вважаються доданими до зовнішньої поверхні валів. Розрахункова схема наведена на рисунку 17. Потужність, необхідну для подолання сили тертя в підшипниках роликів, визначаємо з умови рівності моментів тертя і руху [4]:

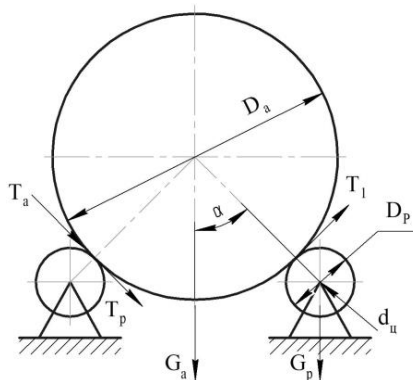


Рисунок 17 – Схема до розрахунку потужності привода роликів стэнда

$$M_{\text{тер}} = M_{\text{пyx}} \text{ або } \frac{T_1 \cdot D_p}{2} = \frac{G}{\cos \alpha} f_{\text{нр}} \frac{d_u}{2}.$$

Визначення потужності привода

$$N_1 = T_1 \cdot V = \frac{G \cdot f_{\text{нр}} \cdot d_u \cdot V}{D_p \cdot \cos \alpha}, \text{ Вт,}$$

де $G = G_a + G_p$ – загальна вага роликів та апарата.

Потужність, необхідну для подолання сил тертя між роликами і корпусом, визначаємо з рівності рушійних моментів для ролика й апарата та моментів тертя кочення.

Для ролика момент тертя кочення дорівнює

$$M_{\text{тр}}^p = k \frac{G_a \cdot D_p}{\cos \alpha},$$

де $k = 0,05$ – коефіцієнт тертя кочення;

G_a – вага апарата, Н;

D_p – зовнішній діаметр апарата, м.

За тягового зусилля T_p , що повинне бути прикладене до ролика для подолання сил тертя кочення між роликами й апаратом, що рухає момент, обчислюємо за формулою

$$M_{\text{дв}} = T_p \cdot \frac{D_p}{2}.$$

Якщо $M_{\text{тр}}^p = M_{\text{дв}}^p$, то $T_p = \frac{2 \cdot k \cdot G_a}{\cos \alpha}$.

Аналогічно для обертового апарата тягове зусилля T_a дорівнює

$$T_a = \frac{2k \cdot G_a \cdot D_p}{D_a \cos \alpha}.$$

Загальне зусилля T_2 , яке необхідно прикласти до ролика й апарата для подолання сили тертя кочення між ними, дорівнює

$$T_2 = T_p + T_a = \frac{2k \cdot G_a}{\cos \alpha} \cdot \left(\frac{1}{D_p} + \frac{1}{D_a} \right).$$

Потужність, необхідна для подолання сили тертя кочення між роликами й апаратом, розраховуємо за формулою

$$N_2 = T_2 v = \frac{k \cdot G_a \cdot v}{\cos \alpha} \cdot \left(\frac{1}{D_p} + \frac{1}{D_a} \right).$$

Потужність, Вт, необхідна для подолання сил тертя під час обертання апарата на роликоопорах, дорівнює

$$N = N_1 + N_2 = \frac{v}{\cos \alpha} \left[\frac{G \cdot f_{np} \cdot d_{\psi}}{D_p} + 2k \cdot G_a \left(\frac{1}{D_p} + \frac{1}{D_a} \right) \right],$$

де $V = 110$ м/год – швидкість обертання апарата під час зварювання;

$\alpha = 45\text{--}70^\circ$ – кут торкання роликів та апарата;

$G = G_a + G_p$ – загальне навантаження на підшипники;

G_a – вага апарата;

G_p – вага всіх роликів;

$d_{\psi} = 0,1\text{--}0,2$ м – діаметр цапфи;

$f_{np} = 0,1-0,12$ – наведений коефіцієнт тертя;

$K = 0,05$ – коефіцієнт тертя кочення сталі по сталі.

6.1 Визначимо вагу роликів та апарата

Вага ролика

$$G_{p1} = V_p \cdot \rho \cdot g = \left(\frac{\pi \cdot d_p^2}{4} - \frac{\pi \cdot d_u^2}{4} \right) b_p \cdot \rho \cdot g ,$$

де d_p – діаметр ролика, $d_p = 0,25-0,5$ м;

d_u – діаметр цапфи, $d_u = 0,1-0,2$ м;

b_p – ширина ролика, $b_p = 0,1-0,2$ м.

$\rho = 7,85 \cdot 10^3$ кг/м³ – густина металу;

$g = 9,81$ м/с² – прискорення вільного падіння.

$$G_{p1} = \left(\frac{3,14 \cdot 0,4^2}{4} - \frac{3,14 \cdot 0,2^2}{4} \right) \cdot 0,2 \cdot 7850 \cdot 9,81 = 1470 \text{ Н.}$$

Корпус складається з трьох обичайок, беремо 3 пари роликів. Схема роликового стенда наведена на рисунку 5.18.

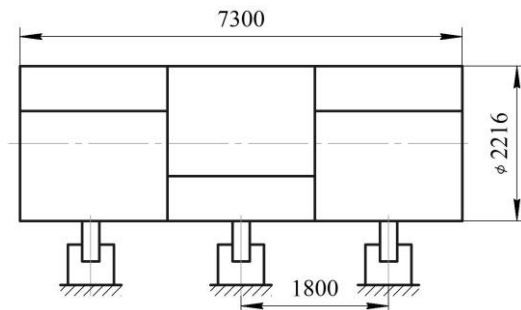


Рисунок 18 – Схема роликового стенда

Вага всіх роликів

$$G_P = 6 \cdot G_{P1} = 6 \cdot 1470 = 8820 \text{ Н.}$$

Вага апарата

$$G_a = S \cdot H \cdot L_{роз} \rho \cdot g ,$$

де H – висота апарата, м;

S – товщина листа, м;

$L_{роз}$ – довжина розгортки обичайки, м.

$$G_a = 8 \cdot 10^{-3} \cdot 7,3 \cdot 6,933 \cdot 9,81 \cdot 7850 = 30981,2 \text{ Н.}$$

Загальна вага

$$G = 30981,2 + 8820 = 39801,2 \text{ Н.}$$

Тоді

$$N = \frac{110}{3600 \cdot \cos 60} \left[\frac{39801,2 \cdot 1,1 \cdot 0,15}{0,5} + 2 \cdot 0,05 \cdot 30981,2 \left(\frac{1}{0,5} + \frac{1}{2,016} \right) \right] = 248,4 \text{ Вт.}$$

6.2 Потужність електродвигуна для обертання апарата на роликах

Потужність, необхідна для пуску роликів опор.

Пусковий момент

$$M_n = M_{ін} + M_{тр} ,$$

де $M_{ін}$ – момент для подолання інерційних сил;

$M_{тр}$ – момент для подолання сил тертя спокою.

Зважаючи на складність визначення $M_{тр}$ за попередніх розрахунків на підставі результатів випробувань беруть кратність пускового моменту щодо нормального розрахункового моменту

$$K_n = \frac{M_n}{M} = \frac{T_n}{T} = \frac{N_n}{N} = 1,2 - 1,3.$$

З урахуванням коефіцієнта корисної дії η системи передач від вала приводної роликів опори до вала двигуна потужність електродвигуна $N_{\text{дв}}$ для обертання виробу, розміщеного на роликів опорах:

$$N_{\text{дв}} = \frac{K_n \cdot N}{\eta},$$

де $\eta = 0,8$ – ККД системи;

N – потужність, необхідна для подолання сил тертя під час обертання апарата, Вт;

K_n – кратність пускового моменту беремо $K_n = 1,25$.

$$N_{\text{дв}} = \frac{1,25 \cdot 248,4}{0,8} = 381,2 \text{ Вт.}$$

Список літератури

(Подаємо список літератури, яку використовували під час виконання цієї розрахункової роботи).

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Альбом оборудования для заготовительных работ в производстве сварных конструкций / А. Д. Гитлевич, И. Н. Сухов, Д. В. Быховский, И. Д. Кутана. – Москва : Высшая школа, 1977. – 250 с.

2. Кузмак Е. М. Основы технологии аппаратостроения / Е. М. Кузмак. – Москва : Недра, 1967. – 468 с.

3. Кузнечно-прессовое оборудование. Номенклатурный справочник. – Москва : НИИМАШ, 1980.

4. Механизация технологических процессов изготовления химических машин и аппаратов / Д. Т. Логанов и др. – Москва : Машиностроение, 1978. – 159 с.

5. Малов А. Н. Технология холодной штамповки / А. Н. Малов. – Москва : Оборонгиз, 1969. – 568 с.

6. Мікульонок І. О. Виготовлення, монтаж та експлуатація обладнання хімічних виробництв : підруч. для студ. вищ. навч. закл. / І. О. Мікульонок. – Київ : НТУУ «КПІ», 2012. – 419 с.

7. Никифоров А. Д. Типовые технологические процессы изготовления аппаратов для химических производств : атлас / А. Д. Никифоров, В. А. Беленький, Ю. В. Поплавский. – Москва : Машиностроение, 1979. – 280 с.

8. Новиков В. А. Оборудование и средства механизации сборочных цехов / В. А. Новиков. – Москва : Машиностроение, 1982. – 265 с.

9. Опарин В. И. Механизация производства химической и нефтяной аппаратуры / В. И. Опарин, Г. П. Ткаченко, В. П. Лукьянов. – Москва: Машиностроение, 1973. – 224 с.

10. Поплавский Ю. В. Технология химического машиностроения / Ю. В. Поплавский. – Москва : Машгиз, 1961. – 287 с.

11. Прох Л. Ц. Справочник по сварочному оборудованию / Л. Ц. Прох, Б. М. Шпаков, Н. М. Яворская. – Киев : Техника, 1978. – 152 с.
12. Романовский В. П. Справочник по холодной штамповке / В. П. Романовский. – Ленинград : Машиностроение, 1971. – 520 с.
13. Таубер Б. А. Сборочно-сварочные приспособления и механизмы / Б. А. Таубер. – Москва : Машгиз, 1951. – 410 с.
14. Ткачев А. Г. Технология аппаратостроения / А. Г. Ткачев. – Москва : Машиностроение, 2001. – 205 с.
15. СТО 00220256-001-2005. Горячая штамповка и термообработка эллиптических днищ сосудов и аппаратов. ОАО «НИИХИММАШ». – 22 с.
16. Справочник сварщика / под ред. В. В. Степанова. – 3-е изд. – Москва : Машиностроение, 1975. – 520 с.
17. Шабрацький В. І. Експлуатація і обслуговування механізмів і машин : навчальний посібник / В. І. Шабрацький. – Рубіжне : ІХТ СНУ ім. Володимира Даля, 2008. – 243 с.
18. Обладнання ремонтно-механічних цехів хімічних та нафтопереробних виробництв : конспект лекцій / укладач С. М. Яхненко. – Суми : Сумський державний університет, 2020. – 217 с.

ДОДАТОК А

Таблиця 1 – Варіанти практичної роботи 1

Варіант	Висота апарата (смності), мм	Базовий діаметр D _{вн} , мм	Товщина стінки S, мм	Матеріал
1	7 200	2 400	10	Ст3сп
2	12 200	1 800	9	09Г2С
3	5 000	1 600	8	10Г2С1
4	4 000	1 500	7	12ХМ
5	3 600	1 400	6	15К
6	12 000	1 200	5	16ГС
7	8 640	1 000	4	10Х17Н13М2Т
8	12 800	800	6	Ст3пс
9	9 000	1 450	12	12Х18Н10Т
10	8 800	1 000	10	20К
11	3 000	1 200	4	Ст3сп
12	4 500	1 400	5	09Г2С
13	5 400	1 550	6	10Г2С1
14	9 600	1 600	8	12ХМ
15	7 250	250	5	15К
16	3 800	300	4	16ГС
17	4 400	350	6	10Х17Н13М2Т
18	5 100	400	4	Ст3пс
19	4 800	500	12	12Х18Н10Т
20	6 900	600	10	20К
21	3 150	700	9	Ст3сп
22	2 700	800	8	09Г2С
23	2 850	900	7	10Г2С1
24	2 100	1 000	5	12ХМ
25	4 400	1 200	10	15К

ДОДАТОК Б

Таблиця 1 – Варіанти практичних робіт 1, 2, 5

Варіант	Двн, мм	S, мм	Н, мм	Матеріал
1	400	5	500	Ст3сп
2	500	4	800	09Г2С
3	600	6	1 000	10Г2С1
4	800	6	1 200	12ХМ
5	1 000	6	400	15К
6	1 200	10	800	16ГС
7	1 400	8	600	10Х17Н13М2Т
8	1 550	10	800	Ст3пс
9	1 600	12	400	12Х18Н10Т
10	1 800	14	350	20К
11	2 000	16	500	Ст3сп
12	2 200	18	600	09Г2С
13	2 500	16	550	10Г2С1
14	400	6	1 000	12ХМ
15	500	8	1 200	15К
16	600	4	800	16ГС
17	800	10	1 200	10Х17Н13М2Т
18	1 000	8	650	Ст3пс
19	1 200	12	800	12Х18Н10Т
20	1 400	10	1 000	20К
21	1 550	12	950	Ст3сп
22	1 600	10	700	09Г2С
23	1 800	14	500	10Г2С1
24	2 000	18	450	12ХМ
25	2 200	16	550	15К
26	2 500	20	400	16ГС
27	400	8	1 200	10Х17Н13М2Т
28	500	6	1 000	Ст3пс
29	600	8	1 100	12Х18Н10Т
30	800	8	1 250	20К
31	900	10	850	Ст3сп
32	1 000	12	450	09Г2С

ДОДАТОК В

Таблиця 1 – Варіанти практичних робіт 4, 6

Варіант	D _{вн} , мм	S, мм	h ₁ , мм	h _в , мм	Матеріал
1	250	4	25	62	Ст3сп
2	300	5	25	75	09Г2С
3	350	8	25	88	10Г2С1
4	400	10	25	100	12ХМ
5	500	6	25	125	15К
6	600	4	25	150	16ГС
7	700	8	25	175	10Х17Н13М2Т
8	800	6	25	200	Ст3пс
9	900	12	40	225	12Х18Н10Т
10	1 000	10	25	250	20К
11	1 200	14	40	300	Ст3сп
12	1 400	14	40	350	09Г2С
13	1 550	10	40	388	10Г2С1
14	1 600	8	40	400	12ХМ
15	250	5	25	62	15К
16	300	4	25	75	16ГС
17	350	6	25	88	10Х17Н13М2Т
18	400	4	25	100	Ст3пс
19	500	5	25	125	12Х18Н10Т
20	600	8	25	150	20К
21	700	6	25	175	Ст3сп
22	800	10	25	200	09Г2С
23	900	6	25	225	10Г2С1
24	1000	8	25	250	12ХМ
25	1 200	10	40	300	15К
26	1 400	16	40	350	16ГС
27	1 550	12	40	388	10Х17Н13М2Т
28	1 600	10	40	400	Ст3пс
29	250	6	25	62	12Х18Н10Т
30	300	8	25	75	20К
31	350	4	25	88	Ст3сп
32	400	6	25	100	09Г2С

ДОДАТОК Г

Таблиця 1 – Варіанти практичної роботи 7

Варіант	L, мм	D _{вн.} , мм	S, мм	Матеріал
1	4 500	400	5	Ст3сп
2	5 500	500	4	09Г2С
3	5 700	600	6	10Г2С1
4	6 000	800	6	12ХМ
5	6 200	1 000	6	15К
6	6 500	1 200	10	16ГС
7	7 000	1 400	8	10Х17Н13М2Т
8	7 800	1 550	10	Ст3пс
9	5 200	1 600	12	12Х18Н10Т
10	4 500	1 800	14	20К
11	4 800	2 000	16	Ст3сп
12	5 000	2 200	18	09Г2С
13	8 000	2 500	16	10Г2С1
14	4 500	400	6	12ХМ
15	4 900	500	8	15К
16	5 300	600	4	16ГС
17	5 800	800	10	10Х17Н13М2Т
18	10 000	1 000	8	Ст3пс
19	12 000	1 200	12	12Х18Н10Т
20	7 000	1 400	10	20К
21	8 500	1 550	12	Ст3сп
22	9 800	1 600	10	09Г2С
23	4 500	1 800	14	10Г2С1
24	5 600	2 000	18	12ХМ
25	6 500	2 200	16	15К
26	6 900	2 500	20	16ГС
27	3 900	400	8	10Х17Н13М2Т
28	4 700	500	6	Ст3пс
29	9 000	600	8	12Х18Н10Т
30	10 500	800	8	20К
31	13 000	900	10	Ст3сп
32	16 000	1 000	12	09Г2С

ДОДАТОК Д

Таблиця 1 – Механічні властивості та константи кривої, найбільш поширені в апаратобудуванні сталей (за температури 20 °С)

Марка сталі	Механічна властивість			Константа			
	σ_T , МН/м ²	σ_B , МН/м ²	δ_5 , %	A (a)	M (m)	N (n)	N'
Ст3	230	430	0,26	47,7	0,41	0,057	10,1
16ГС (3н)	300	480	0,21	56,9	0,113	0,0071	12,5
09Г2С	310	470	0,21	54,5	0,098	0,007	12,1
08Х13	240	450	0,25	55,5	0,146	0,0067	11,7
10Г2С1	350	490	0,21	54,7	0,084	0,0072	12,4
12Х18Н9Т	200	550	0,4	67,0	0,2	0,0071	13,4
10Х17Н13М2Т	220	530	0,4	65,2	0,188	0,0075	13,1
08Х18Н12Б	180	520	0,4	63,5	0,216	0,0071	12,2
15Х5М	220	400	0,2	50,6	0,143	0,0062	10,7
12ХМ, 12МХ	240	450	0,23	56,7	0,149	0,0074	11,9
08Х18Н10Т	200	540	0,38	67,8	0,206	0,0076	13,3
12Х18Н10Т	200	550	0,4	67,0	0,2	0,0071	13,4
04Х18Н10	180	500	0,45	60,7	0,208	0,0069	11,9
08Х18Н12М2Т	220	540	0,35	67,6	0,19	0,0078	13,6
10Х17Н13М3Т	240	540	0,37	64,1	0,171	0,0076	13,1
08Х17Н16М3Т	200	520	0,4	64,5	0,195	0,0074	12,9
06ХН28МДТ	220	520	0,35	67,2	0,183	0,0073	12,8
20Х23Н18	270	550	0,3	67,6	0,162	0,0081	18,8
08Х22Н6Т	300	650	0,3	80,2	0,174	0,0094	16,3
08Х21Н6М2Т	350	650	0,2	83,8	0,157	0,01	17,5
15К	220	880	0,27	44,7	0,122	0,0056	9,7
20К	240	410	0,26	48,0	0,122	0,06	10,4

ДОДАТОК Е

Таблиця 1 – Вихідні дані для розрахунку еліптичного пелюсткового днища з внутрішнім базовим діаметром

Варіант	$D_{\text{вн}}$, мм	S , мм	N , мм	Сталь	h_1 , мм	$h_{\text{в}}$, мм
1	1 350	11	9	08X13	25; 40	325
2	1 350	10	6	Ст3пс	25; 40	325
3	1 250	10	6	09Г2С	25; 40	300
4	1 200	10	6	20К	25; 40	300
5	1 600	12	8	16К	25;40	400
6	1 700	12	8	16ГС	40; 60	425
7	1 300	8	5	16ГС	25; 40	325
8	1 500	12	8	08X13	25; 40	375
9	1 200	8	6	10Г2С1	25; 40	300
10	1 200	6	6	20К	25; 40	300
11	1 300	10	6	10Г2С	25; 40	325
12	1 100	7	5	12Х18Н10	25; 40	275
13	1 400	10	6	16К	25; 40	350
14	1 000	6	8	15К	25; 40	250
15	1 100	8	9	09Г2С	25	275
16	1 200	6	6	Ст3сп	25	300
17	1 200	12	5	20К	25	300
18	1 400	12	10	12Х18Н10	25	350
19	1 250	6	6	15К	25	300
20	1 150	10	10	22К	25	275
21	1 350	10	9	10Г2С1	25	325
22	1 300	8	8	16ГС	25; 40	325

Примітка: $D_{\text{вн}}$ – внутрішній діаметр днища, мм; S – товщина стінки, мм; N – число пелюсток, мм; h_1 – висота відбортованої циліндричної частини днища, мм; $h_{\text{в}}$ – випукла частина днища, мм

ДОДАТОК Ж

Таблиця 1 – Вихідні дані для виконання домашнього завдання 2

Номер варіанта	Висота апарата H, мм	Товщина листа S, мм	Радіус згинання R, мм	Швидкість зварювання V, м/год	Сталь	Межа міцності сталі σ_s , Н/мм ²	Const зміцнення сталі		
							A	m	n
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	7 200	12	1 200	45	16ГС	480	60	0,18	0,0074
2	12 800	10	900	65	16ГС	480	60	0,18	0,0074
3	5 000	12	1 200	75	08Х13	450	60	0,2	0,007
4	4 000	6	800	50	08Х13	450	60	0,2	0,007
5	3 600	10	1 100	70	16ГС	480	60	0,18	0,0074
6	12 000	8	900	75	08Х13	450	60	0,2	0,007
7	8 640	10	1 000	75	08Х13	450	60	0,2	0,007
8	12 800	10	900	65	16ГС	480	60	0,18	0,0074
9	9 000	10	1 800	60	12ХМ	450	63,5	0,216	0,0077
10	8 800	8	1 300	50	16ГС	480	60	0,18	0,0074
11	3 000	6	800	75	08Х13	450	60	0,2	0,007
12	4 500	8	1 000	45	12ХМ	450	63,5	0,216	0,0077
13	5 400	5	1 000	50	12ХМ	450	63,5	0,216	0,0077
14	9 600	12	1 400	70	08Х13	450	60	0,2	0,007
15	7 250	8	1 100	55	12ХМ	450	63,5	0,216	0,0077
16	8 400	8	1 000	75	08Х13	450	60	0,2	0,007
17	4 500	6	1 200	45	16ГС	480	60	0,18	0,0074
18	4 000	6	1 300	57	16ГС	480	60	0,18	0,0074
19	5 200	10	900	60	12ХМ	450	63,5	0,216	0,0077
20	3 600	10	1 100	70	12ХМ	450	63,5	0,216	0,0077
21	9 600	12	1 400	70	08Х13	450	60	0,2	0,007
22	4 400	8	800	70	12ХМ	450	63,5	0,216	0,0077
23	4 500	8	900	75	08Х13	450	60	0,2	0,007
24	6 600	9	900	45	12ХМ	450	63,5	0,216	0,0077
25	6 000	7	1 000	55	08Х13	450	60	0,2	0,007
26	3 750	11	1 000	40	12ХМ	450	63,5	0,216	0,0077
27	9 000	11	1 250	30	08Х13	450	60	0,2	0,007
28	5 700	8,5	800	40	12ХМ	450	63,5	0,216	0,0077

Номер варіанта	Висота апарата Н, мм	Товщина листа S, мм	Радіус згинання R _r , мм	Швидкість зварювання V, м/год	Сталь	Межа міцності сталі σ _c , Н/мм ²	Const зміцнення сталі		
							A	m	n
29	4 200	8	900	25	08X13	450	60	0,2	0,007
30	4 500	7,5	800	45	12XM	450	63,5	0,216	0,0077

Примітка. Модуль нормальної пружності для сталі брати в діапазоні $E = 1,9\text{--}2,2 \cdot 10^5$ МПа/м²

Навчальне видання

Яхненко Сергій Михайлович,
Скиданенко Максим Сергійович,
Піддубний Євген Михайлович

**ОБЛАДНАННЯ ЗАГОТІВЕЛЬНИХ
ТА КОТЕЛЬНО-ЗВАРЮВАЛЬНИХ ДІЛЬНИЦЬ
РЕМОНТНО-МЕХАНІЧНИХ ЦЕХІВ
ХІМІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ**

Навчальний посібник

Художнє оформлення обкладинки О. В. Бруєвої
Редактори: Н. З. Клочко, С. М. Симоненко
Комп'ютерне верстання М. С. Скиданенка

Формат 60×84/16. Ум. друк. арк. 9,98. Обл.-вид. арк. 7,75. Тираж 300 пр. Зам. №

Видавець і виготовлювач
Сумський державний університет,
вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3062 від 17.12.2007.