

Міністерство освіти України  
Дніпропетровський державний університет

---

Д. І. ШЕВЧУК, М. М. УБИЗЬКИЙ, Ю. В. ТКАЧОВ

# **ВИРОБНИЦТВО ПРОФІЛІВ ІЗ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ**

Ухвалено Вченою радою університету  
як навчальний посібник

Дніпропетровськ  
ДДУ  
1999

УДК 621.9:681.14 (075.8)

Ш 37

**Рецензенти:**

голов. технолог ВО «Південний машинобудівний завод» **В.О. Туров**,  
канд. техн. наук, доц. **Є.Ю. Ніколенко**

**Шевчук Д. І., Убизький М. М., Ткачов Ю. В.**

Ш 37

Виробництво профілів із алюмінієвих сплавів: Навч. посіб. —  
Дніпропетровськ: ДДУ, 1999. — 64 с.

Описані властивості алюмінієвих сплавів, широко використовуваних при виробництві й проектуванні виробів ракетно-космічної техніки, що працюють на рідинних компонентах палива, а також технологічні процеси формоутворення металургійних заготовок з них. Викладена методика розрахунків геометричних параметрів поперечного перерізу профілів довільної форми.

Для студентів спеціальностей «Проектування та виробництво РКЛА», «Металорізальні верстати та системи», «Прикладне матеріалознавство» Фізико-технічного інституту ДДУ.

## ВСТУП

Завдяки високому рівню фізико-механічних і експлуатаційних властивостей, а також технологічним характеристикам деформовані алюмінієві сплави та металургійні напівфабрикати з них зайняли монопольне місце при виготовленні силових конструкцій корпусу виробів, які працюють на рідинних компонентах палива. Введення в експлуатацію горизонтальних пресів зусиллям 120 та 200 МН, вертикальних пресів зусиллям до 750 МН забезпечило потреби авіаційної та ракетно-космічної галузей техніки в найбільш великих металургійних напівфабрикатах з алюмінієвих сплавів.

Одним із найбільш значних досягнень металургійної промисловості за останні десятиріччя було створення й промислове освоєння виробництва монолітних оребрених пресованих панелей великої ширини й спеціальних профілів із алюмінієвих сплавів. Широке використання тонкостінних монолітних оребрених панелей, порожнистих і багатополічних профілів складної форми замість поздовжньо-поперечного силового набору й несучих оболонок привело до вдосконалення конструкції корпусу виробів, дозволило знизити її вагу та підвищити технологічність.

## Розділ 1

# АЛЮМІНІЙ

Алюміній — хімічний елемент, який належить до третьої групи періодичної системи Д. І. Менделєєва. Він має температуру плавлення 933,5 К і температуру кипіння — 2740 К. Густина алюмінію дорівнює 2700 кг/м<sup>3</sup>.

Серед металів алюміній займає перше місце за ступенем розповсюдженості в природі. Мала питома вага, високі пластичні й антикорозійні властивості, висока теплопровідність і електропровідність відрізняють його від інших металів. Чистий алюміній має досить низькі механічні характеристики. Його використовують для виготовлення розділових мембран, ущільнювальних прокладок і т. ін. Фізико-механічні властивості алюмінію можна змінювати при легуванні його різними добавками. Тому в техніці він застосовується у вигляді сплавів.

## ХАРАКТЕРИСТИКА АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ

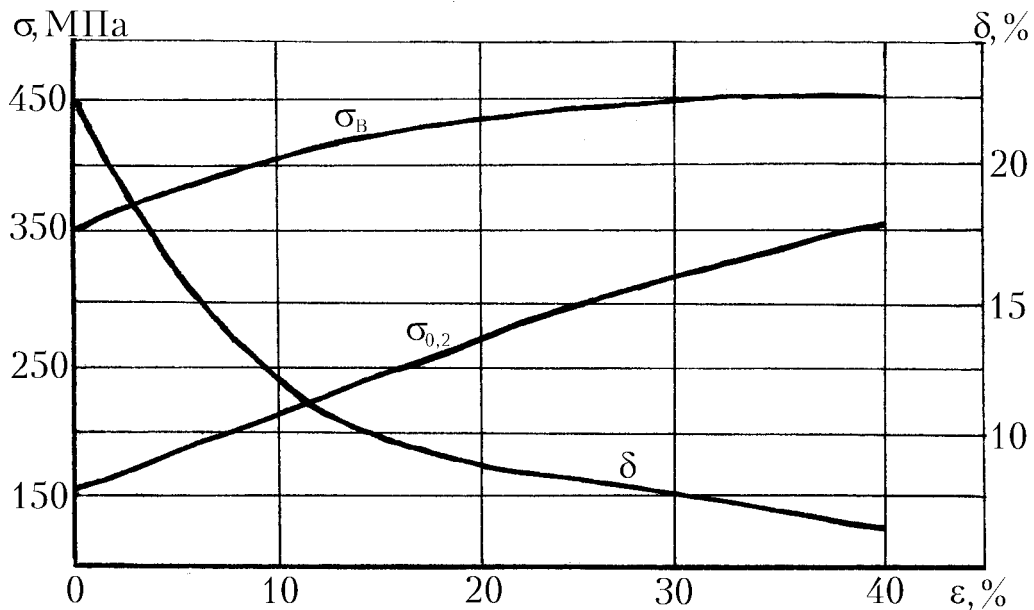
Склад промислових алюмінієвих сплавів, структура й властивості виробів з них в основному визначаються способом виробництва. За способом виробництва алюмінієві сплави можна поділити на дві основні групи: деформовані — для виготовлення обробкою тиском різноманітних напівфабрикатів (листів, плит, прутків, профілів, труб, поковок, штамповок, дроту); ливарні — для виготовлення фасонних відливків.

Залежно від призначення та механічних, корозійних, технологічних, фізичних та інших властивостей алюмінієві сплави поділяються на сплави високої ( $\sigma_B > 450$  МПа) і малої ( $\sigma_B = 300\text{--}400$  МПа) міцності; жаростійкі, криогенні, поковочні, клепокві, зварні та сплави зі спеціальними фізичними властивостями.

Зміцнення деформованих алюмінієвих сплавів, а також зміна фізичних, корозійних, технологічних властивостей здійснюється за допомогою різних методів, а саме: нагартовуванням, термічною обробкою (гартуванням із старінням), зміцненням нерозчинними фазами. За допомогою нагартовування (рис. 1) підвищуються межі міцності та текучості сплавів, особливо тих, які не зміцнюються термічною обробкою, наприклад АМгб. Однак цей спосіб застосовується для зміцнення виробів простої форми (листи, плити), а також для зміцнення матеріалу в зоні зварювання.

Вибір алюмінієвих сплавів для конкретних конструкцій здійснюють

насамперед на підставі характеристик міцності з урахуванням експлуатаційних властивостей. Виходячи з цього, розглянемо найбільш широко застосовувані сплави за категоріями міцності.



**Рис. 1. Механічні властивості сплаву АМг6:**

$\sigma_B$  — межа міцності;  $\sigma_{0,2}$  — межа текучості;  $\delta$  — відносне видовження;  
 $\epsilon$  — ступінь нагартовування

Сплави низької міцності (технічний алюміній) не зміцнюються термічною обробкою, а напівфабрикати з них застосовуються у відпаленому вигляді або після зміцнення в результаті холодної деформації.

Сплави середньої міцності поділяються на дві групи: термічно не зміцнювані — АМг5, АМг6 та ін.; термічно зміцнювані — АК, АК-4, АК4-1, Д19, Д20 та ін. Напівфабрикати зі сплавів другої групи використовуються після гартування й подальшого природного або штучного старіння.

Високоміцні алюмінієві сплави В93, В95, Д16 інтенсивно зміцнюються при термічній обробці. Напівфабрикати сплавів В93, В95 використовуються після гартування й штучного старіння, а сплаву Д16 — як правило, після гартування й природного старіння. Корозійна стійкість сплавів цієї групи невелика, тому доводиться застосовувати спеціальні методи їх захисту (плакування, нанесення лакофарбового покриття).

При зварюванні термічно зміцнюваних алюмінієвих сплавів зварний шов і пришовна зона значно послаблюються, а також знижується корозійна стійкість цієї зони. Тому термічно зміцнювані сплави належать до незварних. Збирання конструкції із цих сплавів здійснюють за допомогою заклепочних, а рідше — болтових з'єднань.

Далі наведені характеристики сплавів, які найбільш часто застосовуються при виготовленні корпусних відсіків виробів ракетної техніки.

## СПЛАВИ АЛЮМІНІЮ З МАГНІЄМ (МАГНАЛІЇ)

Алюмінієво-магнієві сплави належать до групи термічно незміцнюваних сплавів. На практиці застосовуються такі сплави цієї системи, як АМгЗ, АМг5, АМг6. З них виготовляють усі види напівфабрикатів — листи, плити, штамповки, заклепувальний і зварювальний дріт, — які в порівнянні з напівфабрикатами з термічно зміцнених сплавів мають низькі характеристики міцності, але високу пластичність. Усі вони відзначаються високою корозійною стійкістю в атмосфері й у контакті з компонентами палив, добре зварюються всіма видами зварювання.

Алюмінієво-магнієві сплави додатково зміцнюються холодною деформацією, тому листи, труби й деякі види профілів виготовляють не тільки у відпаленому, але й у нагартваному стані. Холодна деформація підвищує межу міцності й особливо різко — межу текучості, але знижує пластичність. Нагартування не зменшує високої корозійної стійкості матеріалу і його доброї зварюваності. При цьому необхідно враховувати, що пришовна зона має властивості, близькі до властивостей відпаленого матеріалу.

Завдяки поєднанню доброї зварюваності й високої корозійної стійкості сплавами системи «алюміній — магній» широко користуються при виготовленні конструкцій паливних систем та інших уварюваних конструктивних елементів корпусу літальних апаратів.

Хімічний склад основних марок сплавів типу магналій, які використовуються в техніці, наведені в табл. 1, механічні властивості листів у відпаленому стані — у табл. 2.

**Таблиця 1**

**Хімічний склад основних марок сплавів типу магналій**

Марка сплаву	Основні компоненти, %				Домішки, %, не більше				
	<i>Mg</i>	<i>Mn</i>	<i>Ti</i>	<i>Si</i>	<i>Be</i> , $\times 10^{-4}$	<i>Cu</i>	<i>Zn</i>	<i>Fe</i>	<i>S</i>
АМгЗ	3,2–3,8	0,3–0,6	2,0	0,5–0,8	—	0,05	0,2	0,5	—
АМг5	4,8–5,8	0,5–0,8	0,02–0,1	—	1–50	0,05	0,2	0,4	0,4
АМг6	5,8–6,8	0,5–0,8	0,02–0,1	—	1–50	0,1	0,2	0,4	—

Сплав АМг6 використовують для виготовлення зварних слабконавантажених конструкцій з хорошою технологічною пластичністю й високою корозійною стійкістю.

**Таблиця 2****Механічні властивості листів у відпаленому стані**

Марка сплаву	$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\delta$ , %
АМг3	200	100	15
АМг5	260	150	15
АМг6	320	160	15

Сплави АМг5, АМг6 належать до найбільш міцних сплавів системи «алюміній – магній». Вони характеризуються високою технологічною пластичністю, а також відносно високою межею міцності й текучості у порівнянні з іншими алюмінієвими сплавами у відпаленому вигляді. Листи із сплавів АМг3, АМг5, АМг6 можна виготовляти у відпаленому й нагартваному вигляді, зберігаючи при цьому високі корозійні властивості й добру зварюваність.

### **Способи підвищення міцності напівфабрикатів із сплавів типу магналій**

Використовуючи різний ступінь нагартування листів із сплаву АМг6, можна одержати потрібні механічні властивості. Деформація на 30–40% різко підвищує характеристики міцності листового матеріалу, але значно знижує його пластичність (табл.3).

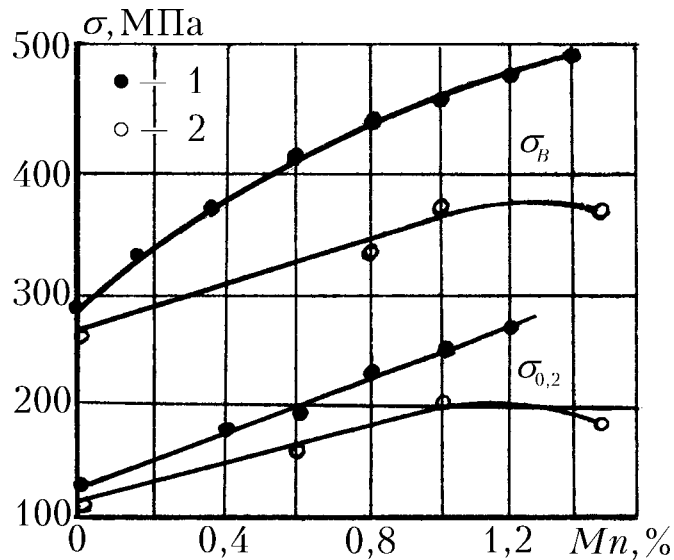
**Таблиця 3****Характеристики сплаву АМг6 залежно від ступеня нагартування**

Марка сплаву	Ступінь нагартування, %	$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\delta$ , %
АМг6	0	320	160	15
АМг6Н	20	380	290	8
АМг6НН	30	420	320	8

Напівфабрикати, зміцнені таким способом, останнім часом порівняно широко використовуються в техніці. Листи зі сплаву АМг6 при виготовленні паливних відсіків використовують з 20 і 30%-м нагартуванням. Зварюваність такого листового матеріалу добра, корозійна стійкість – цілком задовільна.

Іншим способом підвищення міцності сплавів цієї групи є збільшення вмісту марганцю (0,8–1,1 %) у їх складі. Дослідами встановлено, що присадка марганцю сприяє підвищенню характеристик міцності в гарячепресованому матеріалі за рахунок прес-ефекту. Величина прес-ефекту залежить від технологічних параметрів гарячої обробки тиском та термічної обробки зливків, напівфабрикатів тощо. Враховуючи, що сплави типу магналій не зміцнюються термічною обробкою, технологічні параметри виготовлення напівфабрикатів відіграють дуже велику роль у виявленні в них прес-ефекту.

Приріст міцності гарячепресованого матеріалу на відміну від холоднокатаних листів залежить від наявності в сплавах типу магналій марганцю (рис. 2).



**Рис. 2. Міцність сплавів типу магналій залежно від способу виготовлення:**  
1 — пресований матеріал; 2 — катаний матеріал

Як видно з рис. 2, при зміні вмісту марганцю від 0 до 1% міцність пресованого матеріалу збільшується на 120–150 МПа, у той час як у листів з гарячекатаного матеріалу приріст міцності дорівнює 40–50 МПа. Значний вплив на властивості пресованих напівфабрикатів робить режим гомогенізації (створення термообробкою однорідної структури) зливку.

Значно впливає на прес-ефект сплавів типу магналій також ступінь гарячої деформації при пресуванні. Найкраще сполучення властивостей міцності та пластичності спостерігається при ступені деформації в межах 80–95%. При ступені деформації понад 95% знижується міцність і підвищується пластичність пресованого матеріалу.



## КОНСТРУКЦІЙНІ СПЛАВИ ТИПУ ДЮРАЛЮМІН (Д1,Д16,ВД17,Д19)

Сплави системи  $Al-Cu-Mg$  — дюралюміни — являють собою найстарішу й найважливішу за своїм значенням групу сплавів, які широко застосовуються в техніці. Із дюралюміну виготовляють усі види напівфабрикатів, крім поковок і штамповок. Зараз сплав Д16 — основний конструкційний матеріал обшивок клепаних конструкцій корпусу літальних апаратів. Хімічний склад промислових сплавів типу дюралюмін наведений у табл. 4.

**Таблиця 4**

### Хімічний склад основних марок сплавів типу дюралюмін

Марка сплаву	Основні компоненти, %				Домішки, %, не більше			
	<i>Cu</i>	<i>Mg</i>	<i>Mn</i>	<i>Fe</i>	<i>Si</i>	<i>Zn</i>	<i>Ti</i>	<i>Ni</i>
Д1	3,8–4,8	0,4–0,8	0,40–0,60	0,7	0,70	0,3	0,1	0,1
Д16	3,8–4,9	1,2–1,8	0,30–0,90	0,5	0,50	0,3	0,1	0,1
Д19	3,8–4,3	1,7–2,3	0,50–1,00	0,5	0,50	0,1	0,1	—
ВАД-1	3,8–4,5	2,3–2,7	0,35–0,80	0,3	0,20	0,1	—	—
ВД17	2,6–3,2	2,0–2,4	0,45–0,70	0,3	0,30	0,1	0,1	—
В65	3,9–4,5	0,15–0,3	0,30–0,50	0,2	0,25	0,1	0,1	—

Сплави типу дюралюмін ефективно зміцнюються при термічній обробці, яка складається з гартування при температурі 490–525<sup>0</sup>С і старіння при звичайній (природне) або підвищеній (штучне) температурі.

Ці сплави від сплавів інших систем ( $Al-Mg$ ,  $Al-Mg-Si$ ,  $Al-Zn-Mg-Cu$ ) відрізняються підвищеною жароміцністю, тому вони використовуються для роботи при підвищених температурах. При температурах до 100<sup>0</sup>С сплави типу дюралюмін поступаються міцністю високоміцним сплавам на алюмінієвій основі (В96, В95, В93), але їх міцність вища при більш високих температурах, а особливо при довгочасних витримках.

Усі сплави типу дюралюмін схильні до утворення кристалізаційних тріщин і тому належать до категорії сплавів, які не зварюються плавленням. Вони мають знижену корозійну стійкість, тому необхідний спеціальний захист виробів з них від корозії. Для цього листовий матеріал плакують алюмінієм (2–3%) з кожного боку, а потім у більшості випадків анодують і захищають системою лакофарбових покриттів.

Найбільш міцний сплав Д16 у вигляді листів і пресованих напівфабрикатів є основним конструкційним матеріалом для силових елементів ви-

робів відповідного призначення. З нього виготовляють клепанням обшивки сухих відсіків, шпангоути, стрингери, деталі каркасу, призначені для кріплення приладів управління, та інші навантажені деталі. Сплав Д16 застосовується в основному в природно зістареному вигляді. Але якщо вироби з нього підлягають технологічному або експлуатаційному нагріванню до температури 100<sup>0</sup>С і вище, то їх необхідно використовувати в штучно зістареному вигляді, щоб уникнути значного зниження корозійної стійкості під дією короткочасних нагрівань. Механічні властивості природно й штучно зістарених профілів зі сплаву Д16 при різних температурах наведені в табл. 5.

**Таблиця 5**

**Механічні властивості профілів зі сплаву Д16**

Температура випробувань, °С	Механічні властивості		
	$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\delta$ , %
Загартовані, природно зістарені профілі			
20	430	330	19
175	370	300	18
200	350	280	18
250	280	260	10
Загартовані, штучно зістарені профілі			
20	460	410	9
175	410	400	9
200	390	360	10
250	290	270	10

Сплав Д19 використовується для виготовлення тих самих деталей, що й сплав Д16, але в умовах розігрівання до температури 200–250<sup>0</sup>С.

## ВИСОКОМІЦНІ СПЛАВИ АЛЮМІНІЮ СИСТЕМИ *Al–Mg–Zn–Cu* (В93, В95, В96)

Сплави системи *Al–Mg–Zn–Cu* — термічно оброблювані сплави, здатні до старіння як при кімнатній, так і при підвищеній температурі. Високоміцні сплави цієї системи широко застосовуються в техніці при виготовленні сухих відсіків клепанням. З них за допомогою пресування виробляють профілі, полоси, панелі, листи й стрічки, поковки та штамповки.

На відміну від напівфабрикатів зі сплаву Д16, напівфабрикати з В95 виготовляються тільки в загартованому, штучно зістареному вигляді. Це пояснюється тим, що природно зістарений сплав В95 має знижену корозійну стійкість. Напівфабрикати з найбільш високими властивостями міцності одержують в процесі старіння при температурі 135–145<sup>0</sup>С і витримці 16 годин.

Механічні властивості загартованих, штучно зістарених профілів зі сплаву В95 при кімнатній і підвищеній температурах наведені в табл. 6.

**Таблиця 6**

**Механічні властивості профілів зі сплаву В95**

Температура випробувань, °С	Механічні властивості		
	$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\delta$ , %
20	600	550	6
100	530	500	8
150	430	400	7
200	330	310	4
250	160	150	16
300	100	80	23

Сплав В95, як і Д16, при зварюванні плавленням схильний до утворення кристалізаційних тріщин у зоні шва. Тому його використовують тільки для виготовлення відсіків клепаної конструкції.

## КУВАЛЬНІ СПЛАВИ АК6, АК6-1, АК8

Сплави системи *Al–Mg–Cu–Si–Mn* відрізняються високими технологічними й механічними властивостями, вони широко застосовуються в техніці у вигляді поковок, штамповок, а також пресованих напівфабрикатів і листів (зі сплаву АК8).

Сплави АК6, АК6-1 мають високі технологічні властивості при безперервному литті та гарячій обробці тиском (вільному куванні, штампуванні, пресуванні, прокаті). Сплави АК6, АК6-1, АК8 зварюються точковим зварюванням. Вони характеризуються підвищеною схильністю до появи тріщин при зварюванні плавленням. Завдяки високій пластичності в гарячому стані кувальні сплави використовуються при виготовленні дуже складних штамповок – крильчаток, фітингів, корпусів турбо-насосних агрегатів, корпусів клапанів автоматики, шпангоутів тощо.

## ВИСОКОМОДУЛЬНІ АЛЮМІНІЄВО-БЕРИЛІЄВІ СПЛАВИ

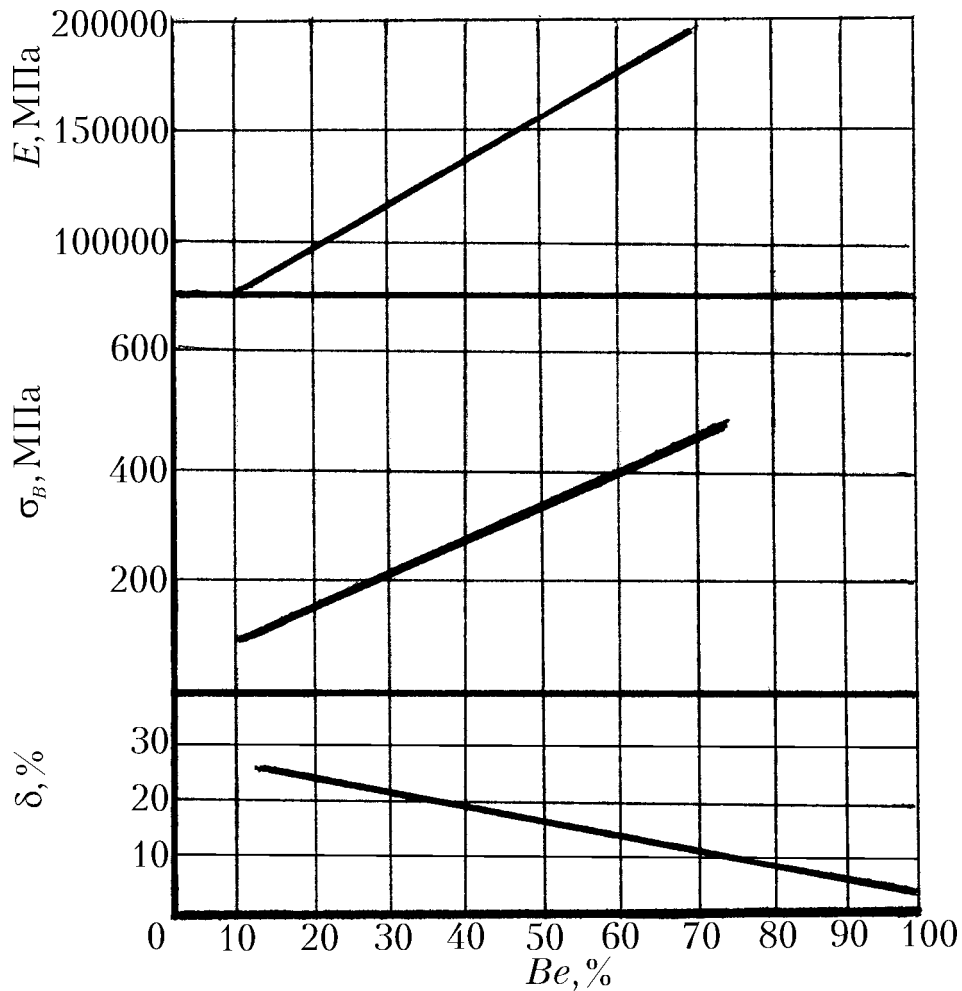
Берилій — один із найновіших матеріалів, що має декілька важливих фізичних характеристик, які дають йому великі переваги в порівнянні з іншими матеріалами. По-перше, він має високу теплоємність, тобто здатний поглинати велику кількість тепла не плавлячись. Другою важливою властивістю цього металу є його мала питома вага ( $1850 \text{ кг/м}^3$ ). На сучасному етапі розробки відносна міцність берилієвих сплавів дорівнює відносній міцності титанових сплавів (при температурі  $500^\circ\text{C}$ ) або трохи перевищує її. Третьою характерною рисою є високий опір пружній деформації та унікальний модуль пружності — приблизно  $300000 \text{ МПа}$ .

Берилій має два суттєві недоліки: токсичність і крихкість. Внаслідок підвищеної крихкості його неможливо деформувати для одержання різноманітних складних профілів або трубопроводів; конструкції з цього матеріалу мають низьку пластичність. У різних країнах ведуться інтенсивні дослідження по покращенню властивостей берилію: легування іншими металами, впровадження удосконалених і контрольованих способів формування.

Одним із головних напрямків застосування берилію в техніці є використання його як легуючого елемента в алюмінієвих сплавах і створення алюмінієво-берилієвих сплавів систем  $Al-Be$  і  $Al-Be-Mg$ . Додаткове легування цих систем здійснюється іншими елементами, які розчинні в алюмінії і здатні зміцнювати алюмінієву матрицю.

Сплави на алюмінієво-берилієвій основі мають цінний комплекс фізичних і механічних властивостей, найважливіша з яких — високий питомий модуль пружності. Як відомо, модуль пружності — адитивна властивість, яка приблизно визначається як середньоарифметична величина модулів пружності компонентів, які входять до складу сплавів. Радикальним способом підвищення модуля пружності алюмінієвих сплавів (модуль пружності алюмінію близько  $70000 \text{ МПа}$ ) є розробка композицій, які вміщують певну кількість берилію.

Сплави на алюмінієво-берилієвій основі не мають властивостей, які б перешкоджали використанню берилію при виготовленні конструкцій або обмежували його використання. Для них характерна більш висока загальна й технологічна пластичність, їх ударна в'язкість у 10–15 разів вища, а чутливість до надрізів приблизно у 3 рази нижча, ніж у кращого, відносно чистого берилію промислового випуску. Наприклад, у сплавах, що містять 70% берилію, втомна міцність і релаксаційна стійкість вища, ніж у чистого берилію. Механічні властивості сплавів із різним вмістом берилію наведені на рис. 3.



**Рис. 3. Механічні властивості сплавів залежно від вмісту берилію**

Аналіз кривих, представлених на рис. 3, показує ріст модуля пружності та межі міцності при збільшенні вмісту берилію в сплаві до 70–90%, але одночасно зменшується відносне видовження від 20% до 5–6%.

Сплави *Al–Be* відрізняються хорошою корозійною стійкістю. Вони не схильні до корозії під напругою й міжкристалітної корозії. Загальна корозійна стійкість сплавів змінюється залежно від вмісту в них берилію, а для сплавів з великим вмістом берилію – відповідає корозійній стійкості кращих алюмінієвих сплавів типу магналій. Захист від корозії здійснюється нанесенням гальванічного та лакофарбового покриття.

Зі сплавів *Al–Be*, *Al–Be–Mg* виробляють деталі будь-якої складності методом гарячого об'ємного штампування. При листовому штампуванні необхідно підігрівати заготовки й обладнання до температури 300–400°C, у таких умовах також можна застосовувати методи витяжки, відбортовки та гнуття. Виготовлення складних штампованих деталей слід проводити з використанням міжопераційного відпалювання при температурі 400°C.

Деталі з'єднують зварюванням, паянням, клепаанням. Ці сплави задовільно зварюються аргонодуговим зварюванням неплавким вольфрамовим електродом з використанням флюсів. Точкове й роликкове зварювання можливе з обов'язковою прокладкою на межі зварювання фольги з м'якого алюмінієвого сплаву. Штампування гнізд під головки потайних заклепок у холодному стані небажане із-за виникнення тріщин по кромках отворів. Механічна обробка алюмінієво-берилієвих сплавів здійснюється так, як і обробка промислових алюмінієвих сплавів.

Плавлення, лиття, аргонодугове й контактне зварювання, а також механічну обробку сплавів слід проводити в спеціальних приміщеннях, обладнаних з урахуванням вимог санітарних правил і інструкцій при роботі з берилієм і його сполуками. Ряд процесів, які не викликають забруднення повітряного середовища (прокатка, пресування, холодне вальцювання, термообробка сплавів з вмістом до 50% *Be*), можна здійснювати в загальних цехових умовах на звичайному обладнанні. У компактному вигляді (заготовки, напівфабрикати, деталі конструкцій) сплави системи *Al-Be-Mg* токсичних властивостей не мають.

Найбільш доречно використовувати сплави *Al-Be-Mg* для створення тонких коротких конструкцій. Особливо хороші результати може дати їх використання в оболонкових конструкціях. Виграш у вазі, у порівнянні зі стандартними алюмінієвими сплавами, становить 30–40%. Підвищена відносно берилію релаксаційна стійкість сплаву, у складі якого 70% *Be*, і добра технологічність робить перспективним його використання в точному приладобудуванні.

У наш час поширюються дослідження по розробці технології виготовлення конструкцій із берилієвих сплавів та визначенню найбільш ефективних галузей їх використання.

## Розділ 2

# ВИГОТОВЛЕННЯ ПРОФІЛІВ З АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ

Пресовані профілі й тонкостінні ребрені панелі з алюмінієвих сплавів є металургійними напівфабрикатами, які найбільш широко використовуються для виготовлення поздовжньо-поперечного силового набору й несучої силової оболонки виробів.

Застосування пресування (видавлювання) як основного способу одержання профілів, труб і панелей з алюмінієвих сплавів для нових галузей техніки пояснюється:

- 1) частою зміною об'єктів виробництва, що зумовлює дрібносерійність виготовлення профілів;
- 2) частою зміною інструменту, що просто здійснити при пресуванні;
- 3) складністю конфігурації поперечного перерізу;
- 4) порівняно низькою в'язкістю алюмінієвих сплавів при підвищених температурах, що зменшує зусилля пресування.

Пресуванням можуть бути одержані заготовки досить точних розмірів практично будь-якої форми, які відрізняються високою якістю поверхні.

Пресовані профілі з алюмінієвих сплавів, особливо високоміцних, мають кращі характеристики міцності, ніж одержані іншими методами. Крім того, при пресуванні значно нижча вартість інструменту й простіша його зміна. Тому при використанні таких профілів не має суттєвого значення розмір замовлення, який є головним лімітуючим показником при сортовому прокаті й штампуванні.

Пресування виробів досить складної форми дозволяє значно зменшити обсяг механічної обробки, а також підвищити експлуатаційні характеристики деталей, особливо з різкими переходами, тому що при їх механічній обробці перерізається волокно металу, що послаблює деталі.

Промисловий сортамент пресованих профілів з алюмінієвих сплавів досить різноманітний, він нараховує понад 9 тис. типорозмірів. Усі профілі, що використовуються в техніці, можна поділити на 4 групи:

- 1) профілі суцільного, постійного за довжиною перерізу;
- 2) профілі із закінцівками;
- 3) порожнисті профілі;
- 4) панелі.

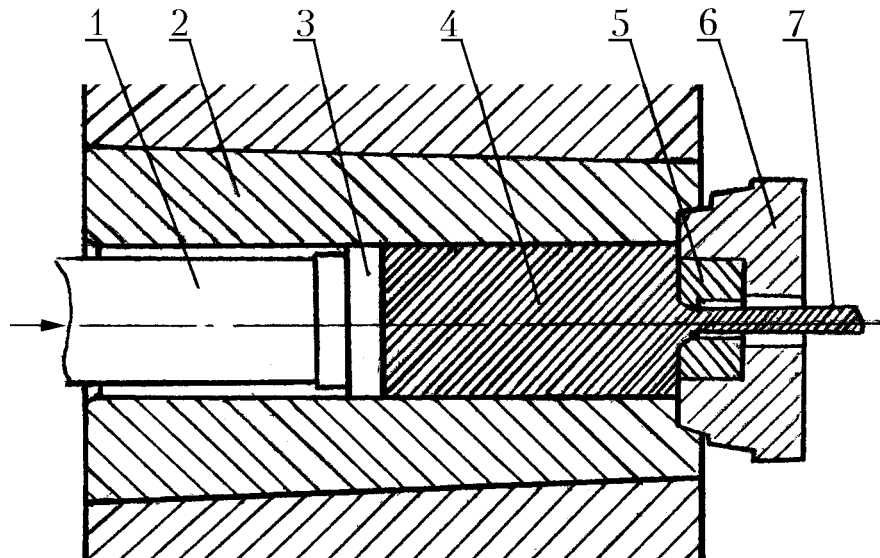
## ПРОФІЛІ СУЦІЛЬНОГО ПЕРЕРІЗУ

Профілі суцільного перерізу – найбільша група, яка становить приблизно 85% усього сортаменту пресованих профілів. Значна частина профілів цієї групи має складну конфігурацію, головними показниками якої є високий ступінь асиметрії перерізу, велике відношення товщини окремих полиць профілю. Пресування таких профілів найбільш складне через складність форми профілю й необхідність забезпечення жорсткості допусків, як за геометрією поперечного перерізу (товщина полиць, кути між полицями), так і за поздовжньою геометрією (відсутність поздовжньої кривизни, закрутки, шаблеподібності). При пресуванні профілів цієї групи користуються трьома головними схемами:

- пресування з прямим витіканням металу;
- пресування зі зворотним витіканням металу;
- пресування за комбінованою схемою.

### Пресування з прямим витіканням металу

Схема пресування профілів суцільного перерізу з прямим витіканням металу представлена на рис. 4.



**Рис. 4. Схема пресування профілів з прямим витіканням металу:**

1 – прес-штемпель; 2 – контейнер; 3 – прес-шайба;  
4 – заготовка; 5 – матриця; 6 – матрицетримач; 7 – профіль

Прес-штемпель при пресуванні в напрямку, вказаному стрілкою, через прес-шайбу передає тиск на заготовку, розміщену в контейнері. При цьому метал заготовки витікає в канал матриці, встановленої в матрицетримачі.



мачі, створюючи профіль, форма й розміри поперечного перерізу якого відповідають формі й розмірам каналу матриці. Під час вказаного процесу напрямок витікання профілю збігається з напрямком руху прес-штемпеля.

Перевагами цього способу є:

- 1) відносна простота;
- 2) висока якість поверхні профілів;
- 3) можливість одержання профілів практично будь-якої конфігурації, розміри перерізу яких обмежуються тільки внутрішнім діаметром втулки контейнера й коефіцієнтом витяжки.

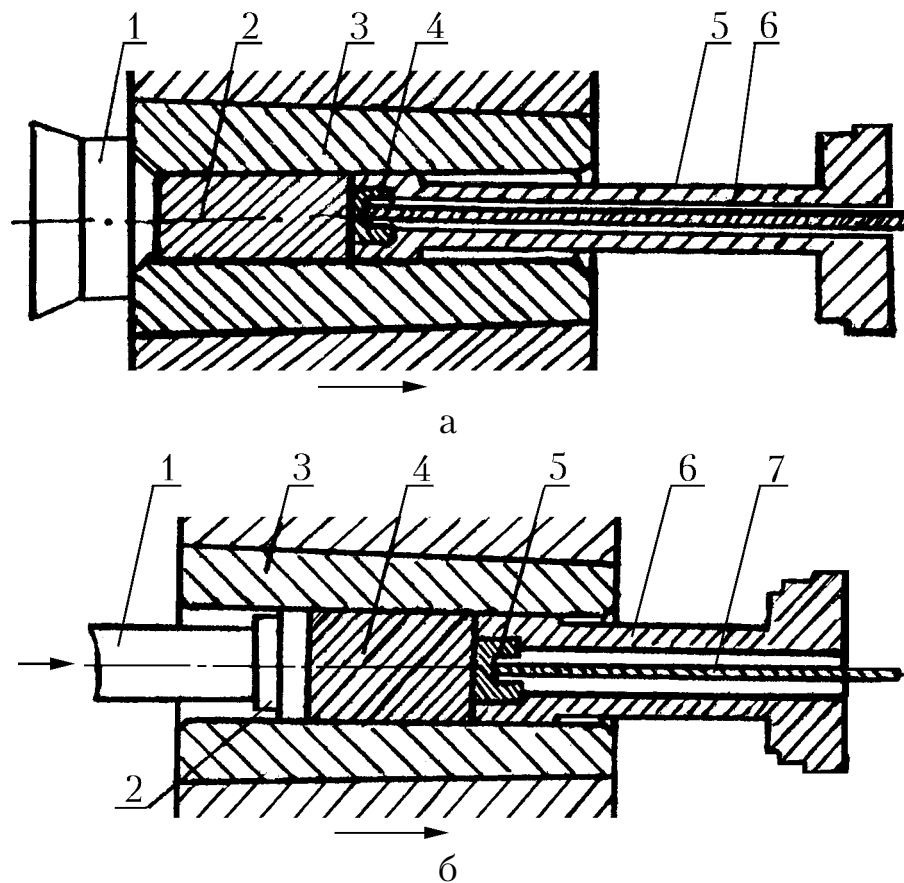
Одночасно цьому способу властивий ряд недоліків:

- 1) високі затрати енергії на подолання тертя металу на внутрішній поверхні контейнера, які можуть становити 40–60% від повного зусилля пресування;
- 2) нерівномірність механічних властивостей і структури за довжиною і перерізом профілю, які зумовлені нерівномірністю деформацій у цих напрямках;
- 3) утворення на профілях під час термічної обробки крупнокристалічного обідка внаслідок високих зсувних деформацій поверхневих шарів;
- 4) поява значних відходів металу.

## **Пресування зі зворотним витіканням металу**

Використовуються два різновиди методу пресування зі зворотним витіканням металу, які відрізняються способом передачі зусилля на заготовку. У першому випадку (рис. 5, а) зусилля на заготовку 2 передається через контейнер 3, який пересувається в напрямку, вказаному стрілкою, прес-штемпелем 1, що запирає контейнер. З другого боку контейнер запирається подовженим матрицетримачем 5, у якому закріплена матриця 4. З переміщенням контейнера переміщується заготовка, і метал витікає в канал матриці, створюючи профіль заданої конфігурації 6.

При використанні другого різновиду методу (рис. 5, б) зусилля на заготовку 4 передається від прес-штемпеля 1 через прес-шайбу 2. При пресуванні прес-штемпеля 1 в напрямку, вказаному стрілкою, разом із заготовкою переміщується контейнер 3, і метал витікає через матрицю 5, вставлену в матрицетримачі 6, створюючи профіль 7. У цих схемах напрямок витікання металу збігається з напрямком руху прес-штемпеля, але відсутнє переміщення заготовки відносно контейнера.



**Рис. 5. Схеми пресування профілю суцільного перерізу зі зворотним витіканням металу:**

а — з передачею зусилля через контейнер;  
 б — з передачею зусилля через заготовку

Пресування зі зворотним витіканням металу має ряд переваг перед пресуванням із прямим витіканням, серед яких:

1) значне зменшення зусилля пресування, яке не залежить від довжини заготовки; це дозволяє пресувати профілі з більш високим коефіцієнтом витяжки;

2) рівномірність структури й механічних властивостей за довжиною профілю й відсутність широкого крупнокристалічного обідка на профілях після термічної обробки;

3) зменшення відходів пресування.

Цьому методу властиві й деякі недоліки:

1) невисока якість поверхні;

2) необхідність використання пресів з великою довжиною ходу контейнера;

3) обмежені габаритні розміри перерізу пресованого профілю, які лімітуються діаметром внутрішньої порожнини у видовженому матрице-тримачі.

Вказані недоліки значно обмежують застосування пресування зі зворотним витіканням металу. У наш час цим способом виготовляють в основному круглі прутки на пресах, що мають значний хід конейнера.

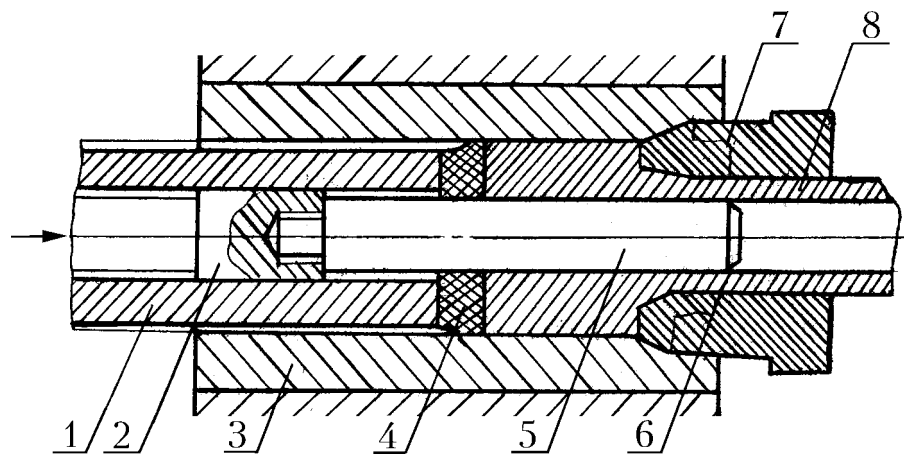
## ПОРОЖНИСТІ ПРОФІЛІ

Залежно від кількості каналів, конфігурації порожнистого профілю, у тому числі від форми перерізу, розмірів і ступеня асиметричності, розташування центра ваги перерізу профілю, його пресування можна проводити двома основними способами:

- 1) трубним способом (з голкою) з суцільних або порожнистих заготовок; в останньому разі процесу пресування передують прошивка заготовки;
- 2) через комбіновану (язичкову) матрицю, у якій голка й матриця виготовлені як одне ціле або зібрані в єдину жорстку конструкцію.

### Пресування трубним способом

Пресування з голкою можна здійснити з прямим і зворотним витіканням металу. Пресування з пересуванням металу відносно контейнера й голки показано на рис. 6.



**Рис. 6. Схема пресування профілю трубним способом:**

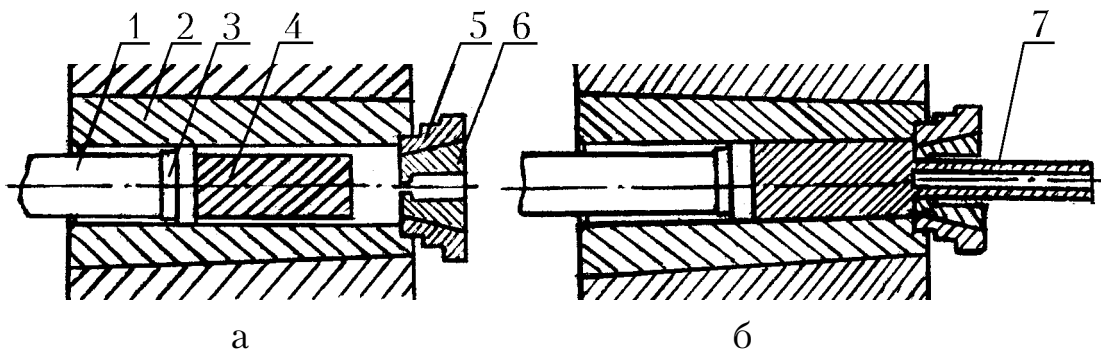
- 1 – прес-штемпель; 2 – голкотримач; 3 – контейнер;  
4 – прес-шайба; 5 – голка; 6 – заготовка;  
7 – матриця; 8 – створений профіль

Пресування за цією схемою здійснюється тільки на пресі з незалежним приводом голки (з прошивною системою). Голка закріплюється в голкотримачі та через порожнистий прес-штемпель виставляється у визначеному положенні відносно матриці, яке не змінюється протягом всього циклу пресування. Прес-штемпель при пересуванні в напрямку, вказаному стрілкою,

через прес-шайбу передає зусилля на заготовку. Метал заготовки пересувається відносно контейнера й нерухомої голки, видавлюється в канал матриці, утворюючи порожнистий профіль заданої конфігурації.

### Пресування через комбіновану матрицю

На відміну від розглянутого вище способу пресування порожнистих профілів, у якому користуються порожнистою заготовкою, при пресуванні через комбіновану матрицю (рис. 7) використовується суцільна заготовка.



**Рис. 7. Схема пресування порожнистого профілю через комбіновану матрицю:**

а — початок підпресовки заготовки; б — процес пресування

При цьому способі заготовка 4 розміщується в контейнері 2. У процесі підпресовки й подальшого пресування під тиском, який передається прес-штемпелем 1 через прес-шайбу 3, заготовка розсікається гребенем матриці 5 залежно від її конфігурації на два чи більше потоки металу. Далі ці потоки під дією високого тиску згортаються в карманах матриці, охоплюючи суцільною масою голку (язичок) матриці, виготовлену як одне ціле з гребенем. В кінці профіль 7 формується в кільцевому зазорі між каналом втулки матриці 6 і голкою. Особливість даного методу полягає в розсіченні заготовки на кілька потоків металу й подальшому їх зварюванні.

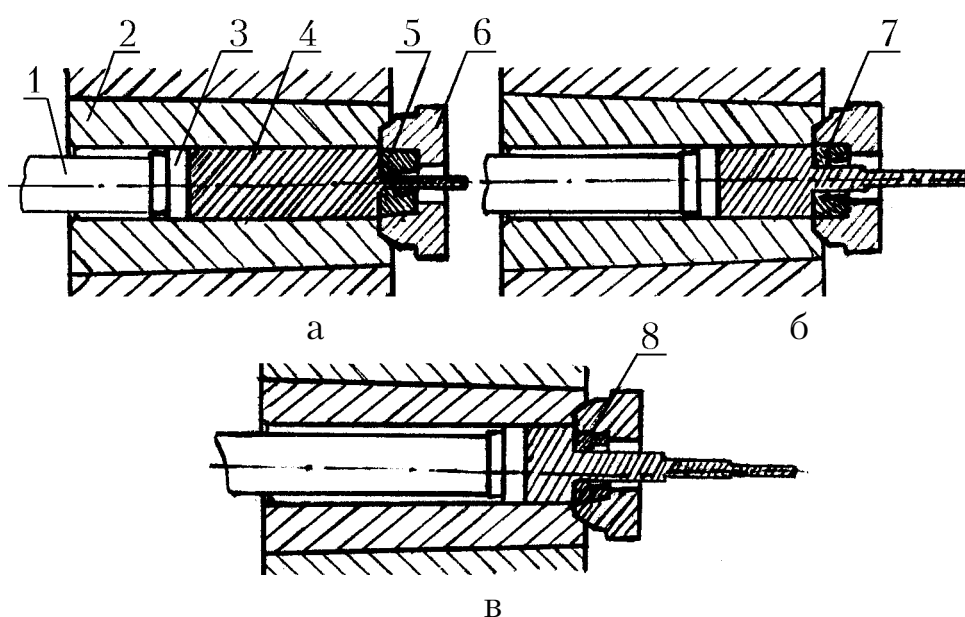
При достатній якості зварювання дефектів у швах або пришовних зонах не утворюється й міцність цих ділянок не нижча міцності металу основного перерізу.

При виборі способу пресування порожнистих профілів конфігурація профілю є найважливішим фактором. Найбільш доречним способом пресування профілів з малим діаметром порожнини, з різко асиметричним розхитуванням каналу чи з порожниною складної конфігурації, особливо в тих випадках, коли конфігурація внутрішнього контуру геометрично не подібна конфігурації зовнішнього контуру, є пресування через комбіновану матрицю.

## ПРОФІЛІ З ЗАКІНЦІВКАМИ

Профілі з закінцівками застосовуються при виготовленні сухих клепанних відсіків літальних апаратів як поздовжній силовий набір (стрингери). Закінцівки відіграють роль фітингів для з'єднання з несучою оболонкою та торцевими шпангоутами, вони доводяться до потрібних розмірів механічною обробкою.

Існує декілька способів пресування профілів з закінцівками. Перший — це спосіб роздільного пресування профільної та закінцівочної частин профілю через кілька розбірних матриць. При цьому кожний переріз профілю пресують через окрему матрицю; після кожної стадії пресування проводять зміну матриць (рис. 8).



**Рис. 8. Схема пресування профілю змінного перерізу через три розбірні матриці:**

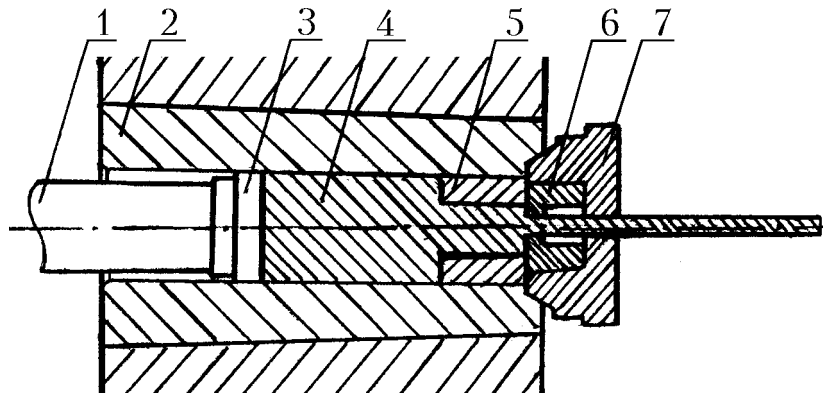
- а — пресування профільної частини; б — пресування перехідної зони;
- в — пресування закінцівочної частини;
- 1 — прес-штемпель; 2 — контейнер; 3 — прес-шайба; 4 — заготовка;
- 5 — матриця для пресування профільної частини; 6 — матрицетримач;
- 7 — матриця для пресування перехідної зони; 8 — матриця для пресування закінцівочної частини

Перед пресуванням у гніздо матрицетримача, відведеного в неробоче положення, встановлюють розбірну матрицю для пресування основного перерізу профілю. Після його пресування на необхідну довжину тиск знижують, матрицетримач відводять у неробоче положення й матрицю розбирають. Потім у гніздо матрицетримача встановлюють нову розбірну матрицю з конфігурацією каналу, яка відповідає перехідній зоні. Зібраний матрицетримач знову встановлюють у робоче положення й пресують перехідну зону

профілю. Після закінчення пресування перехідної зони знімають тиск, матрицю для перехідної зони розбирають, у матрицетримач встановлюють матрицю для пресування закінцівки й пресують закінцівочну частину.

Спосіб роздільного пресування профілів ступінчастого змінного перерізу через кілька розбірних матриць дуже широко використовується в промисловості, він є одним із головних при виготовленні профілів із закінцівками.

Другим поширеним способом є спосіб одночасного пресування профільної і закінцівочної частини профілю за допомогою кількох (або однієї) розбірної матриці (рис. 9).



**Рис. 9. Схема пресування профілю змінного перерізу через дві розбірні матриці без зупинки процесу:**

- 1 — прес-штемпель; 2 — контейнер; 3 — прес-шайба; 4 — заготовка;  
5 — матриця для формування закінцівки; 6 — матриця для пресування профільної частини; 7 — матрицетримач

У контейнері розміщують розбірну матрицю довжиною 100–150 мм для пресування закінцівочної частини, а в матрицетримачі — розбірну матрицю для пресування основного перерізу профілю. Метал, який деформується, спочатку заповнює порожнину закінцівочної частини, а потім запресовується через канал матриці для пресування основного перерізу. Після закінчення процесу пресування з контейнера витискують залишок пресування разом із закінцівочною матрицею, обидві матриці розбирають і прес-залишок відокремлюють пилкою.

Крім викладеного вище способу використовується спосіб пресування з профільного контейнера, профіль поперечного перерізу каналу якого відповідає профілю поперечного перерізу закінцівочної частини профілю.

У наш час промисловістю освоєний випуск великої номенклатури профілів, різноманітних за перерізом.

## СОРТАМЕНТ ПРОФІЛІВ

Як зазначалося вище, усі виготовлені пресуванням профілі поділяються на три види.

Серед профілів першого виду (суцільного перерізу, постійного за довжиною профілю) виділяють прямокутні, косокутні, радіуснодугові та бульбопрофілі. Основні типи таких профілів наведені на рис. 10. За точністю геометрії (допуски на розміри, кути між полицями, поперечна кривизна, хвилястість) профілі постійного за довжиною суцільного перерізу поділяються на дві групи: нормальної й підвищеної точності.

Профілі ступінчасто змінного перерізу класифікуються за конфігурацією профільної частини. За цією ознакою вони поділяються на таврові, двотаврові, швелерні з відбортовкою, зетові й профілі довільного перерізу. Конфігурація закінчювочної частини може бути різною. Закінчювка являє собою моноліт, площа поперечного перерізу якого в 3–10 разів, а інколи й більше перевищує площу поперечного перерізу профільної частини. Основні типи профілів із ступінчастою зміною перерізу наведені на рис. 11.

Порожністі профілі поділяються на такі групи: з одним круглим отвором, з одним квадратним отвором, з двома чи більше отворами довільної форми. Основні типи порожністих профілів представлені на рис. 12. Сортамент профілів плавнозмінного перерізу наведений на рис. 13.

## МЕТОДИ ВИРОБНИЦТВА ОРЕБРЕНИХ ПАНЕЛЕЙ

При виробництві паливних відсіків широко використовуються панелі з поздовжнім оребренням із сплаву АМгб. Вони можуть бути виготовлені різними методами. Основні з них такі: механічна обробка, хімічне фрезерування, контурна обробка, штампування й пресування. Нижче розглянуті особливості вказаних методів, а також вказані раціональні галузі їх застосування.

### Механічна обробка

Основний спосіб виробництва механічно оребраних панелей — фрезерування на спеціальних станках. Заготовками для фрезерування є плити, товсті листи, одержані гарячою чи холодною прокаткою.

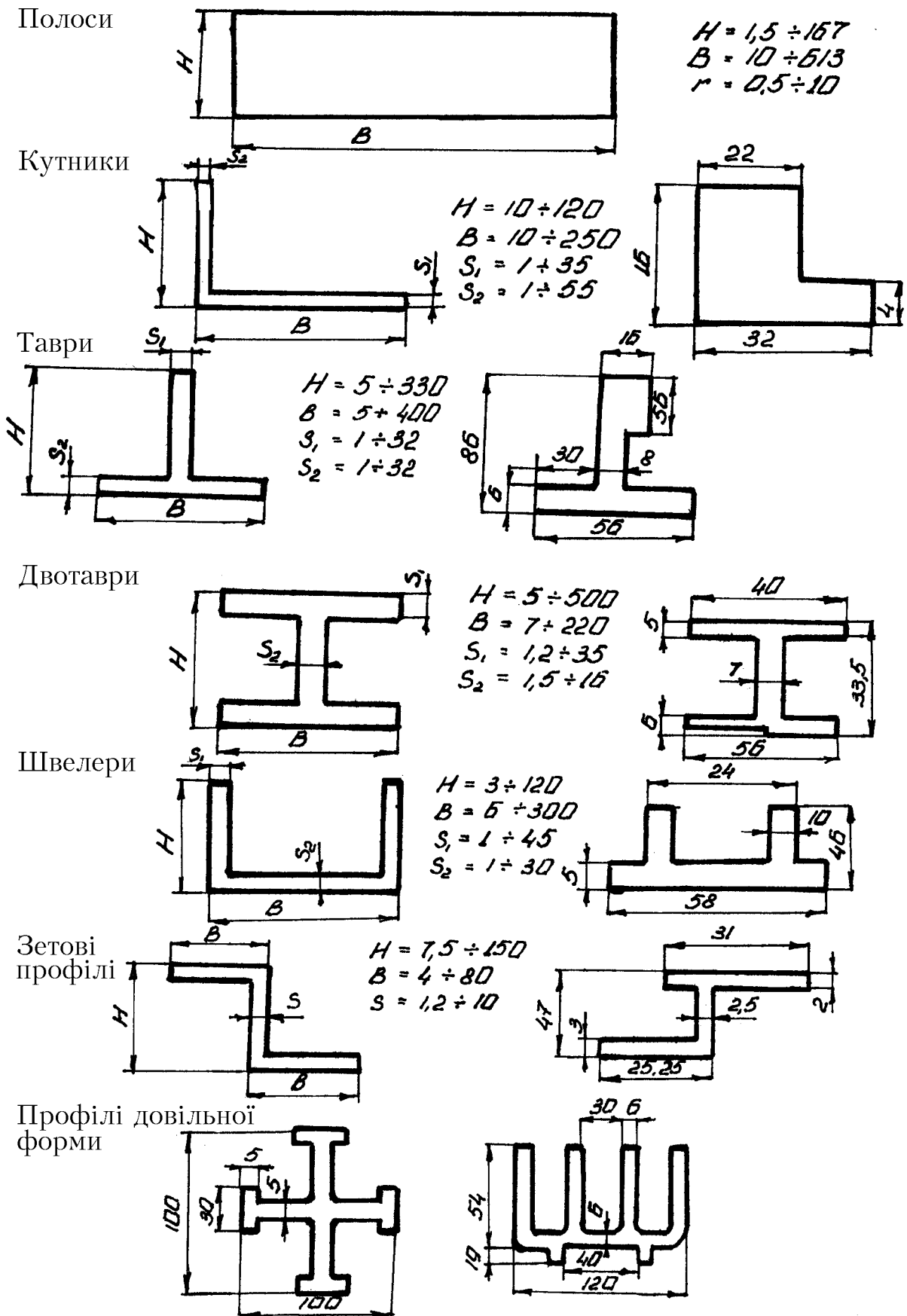


Рис. 10. Сортамент профілів суцільного перерізу  
 (див. також с. 25—31)



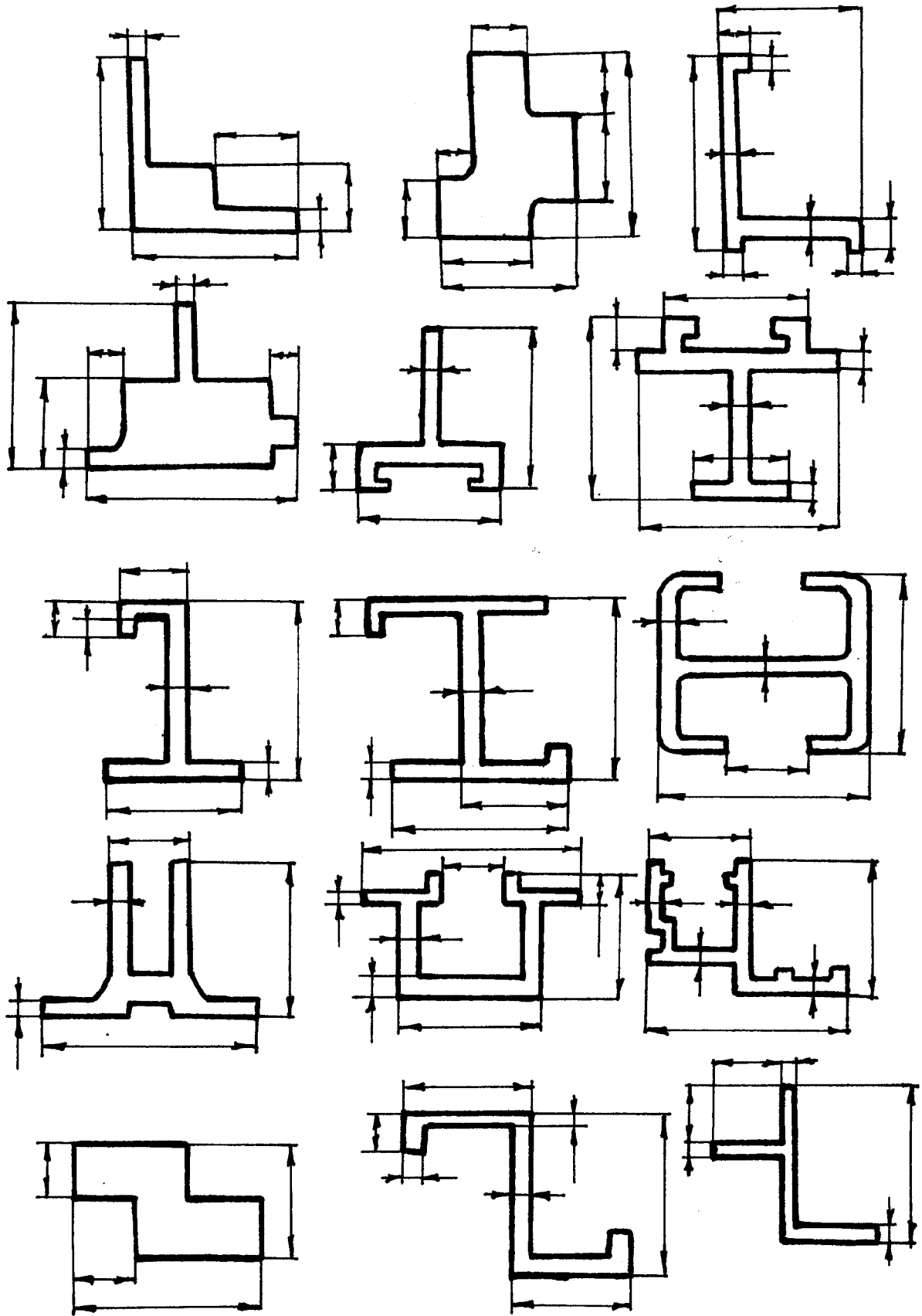
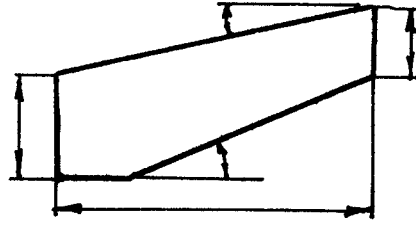
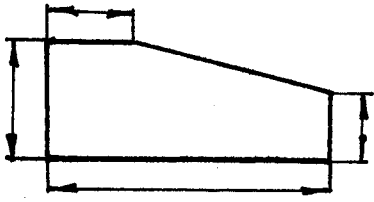
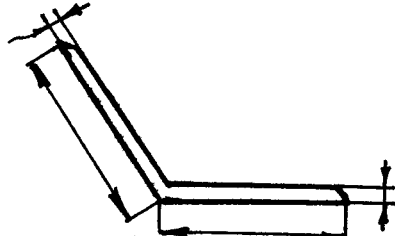
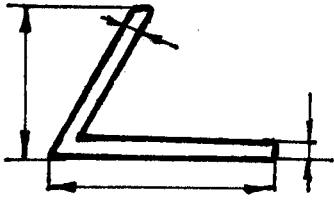


Рис. 10. Продовження

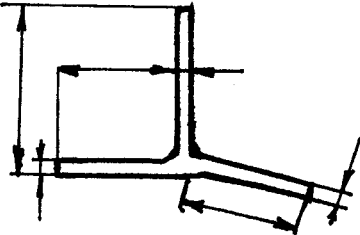
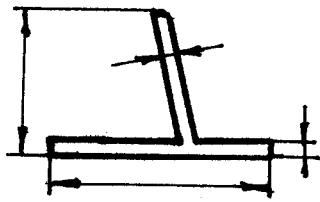
Полоси



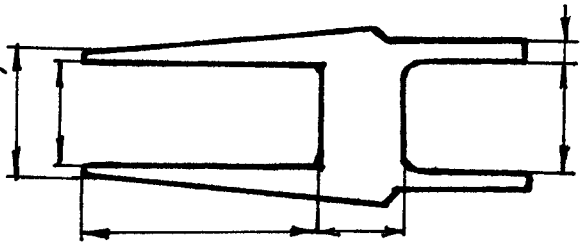
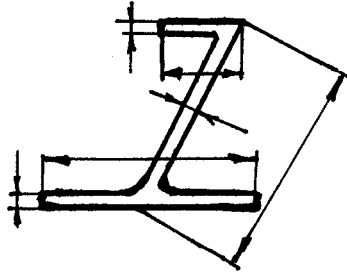
Кутники



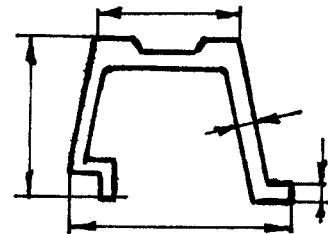
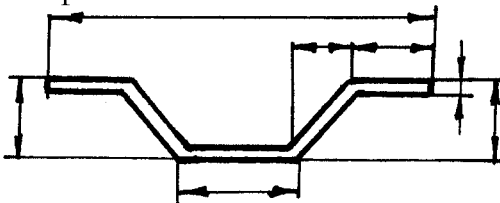
Таври



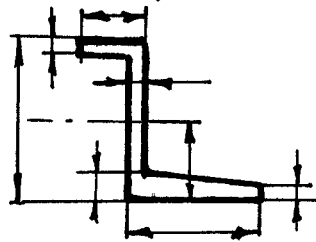
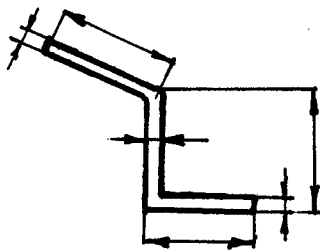
Двотаври



Швелери



Зетові профілі



Профілі довільної форми

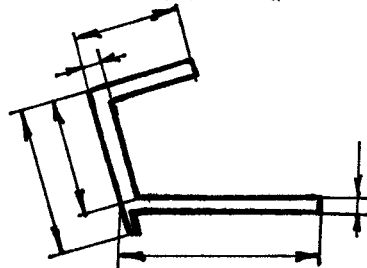
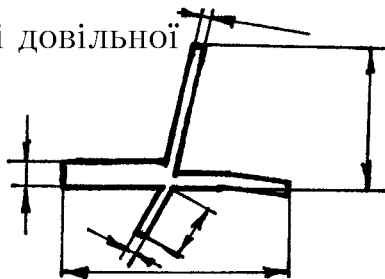


Рис. 10. Продовження

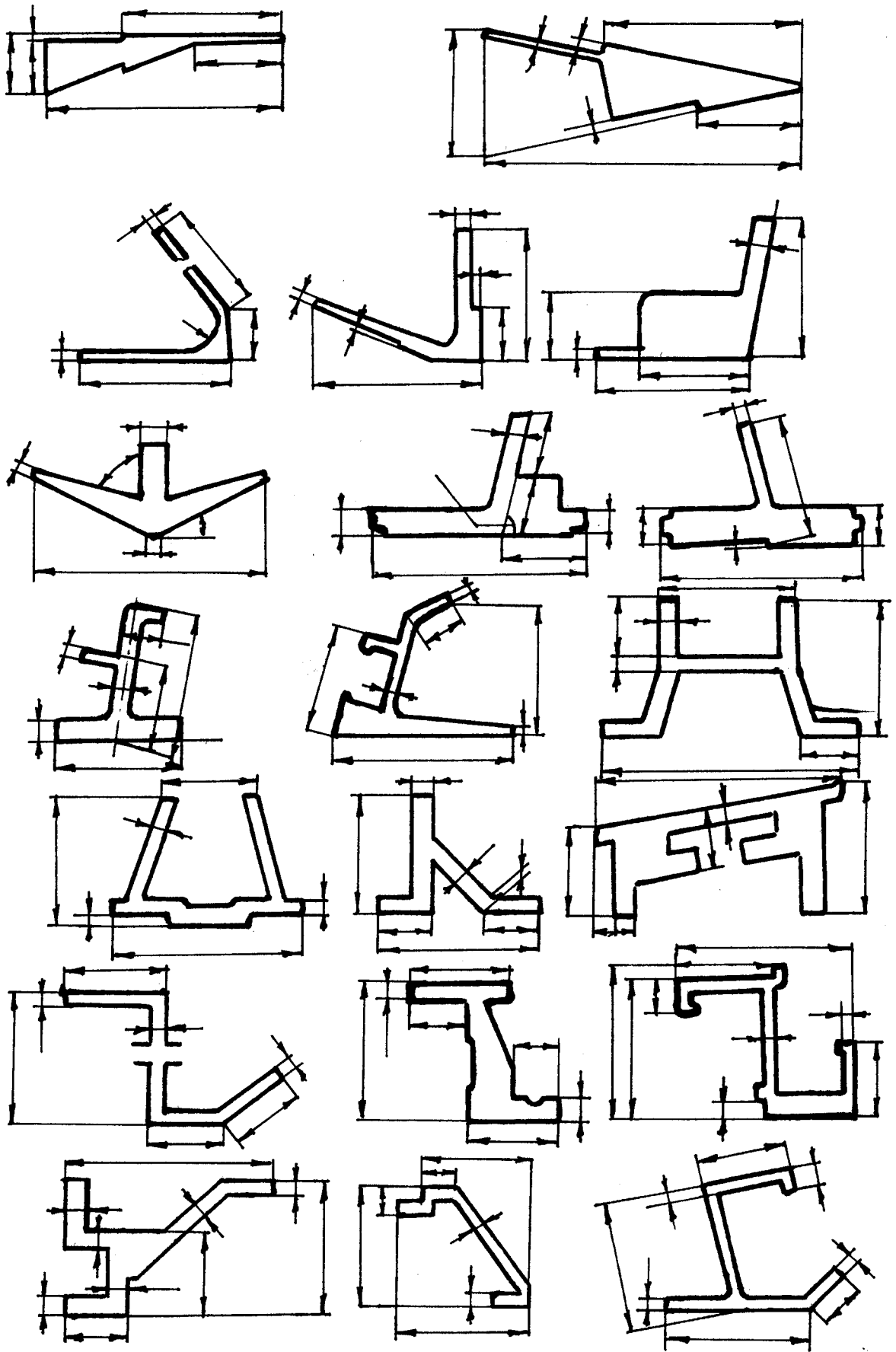


Рис. 10. Продовження

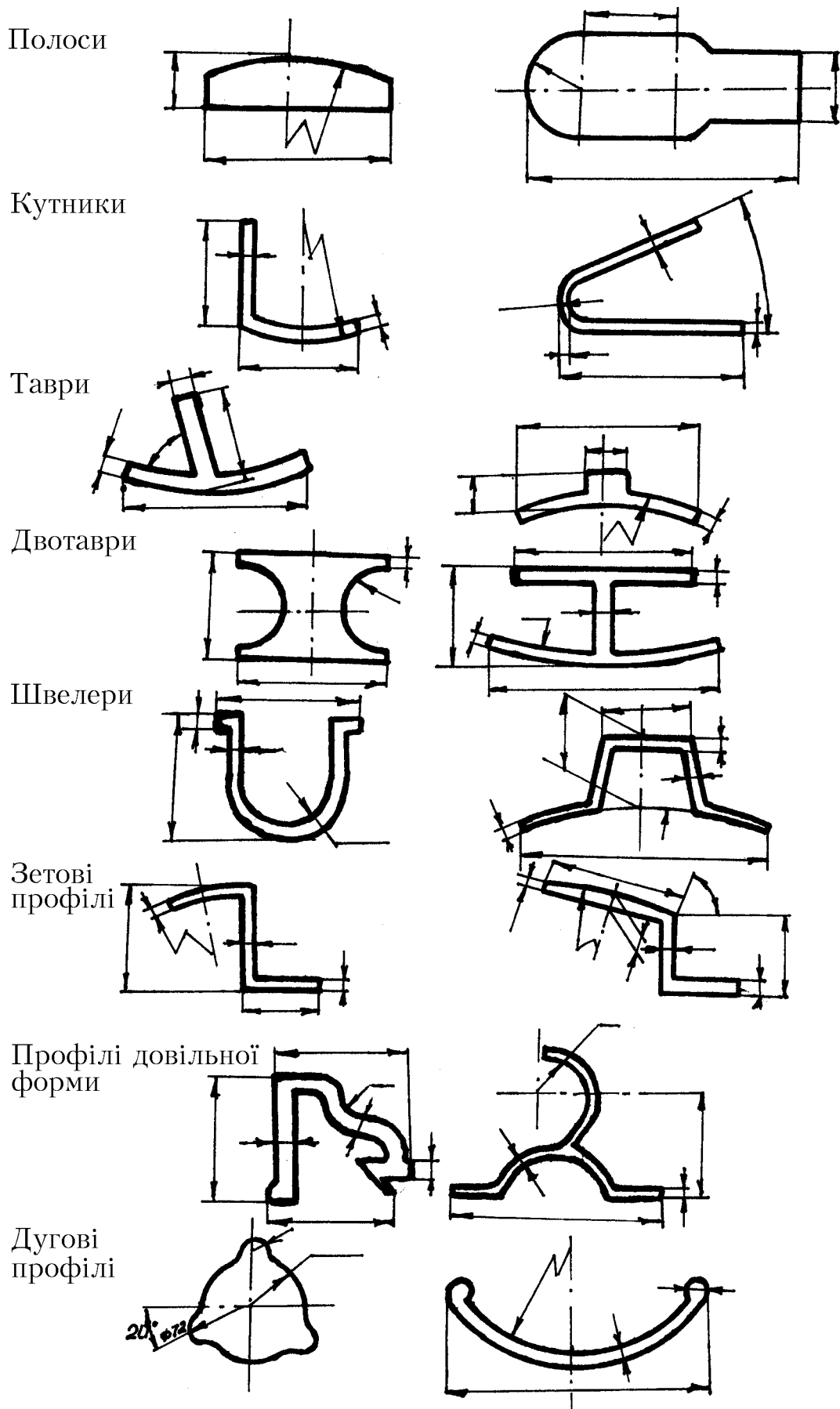


Рис. 10. Продовження

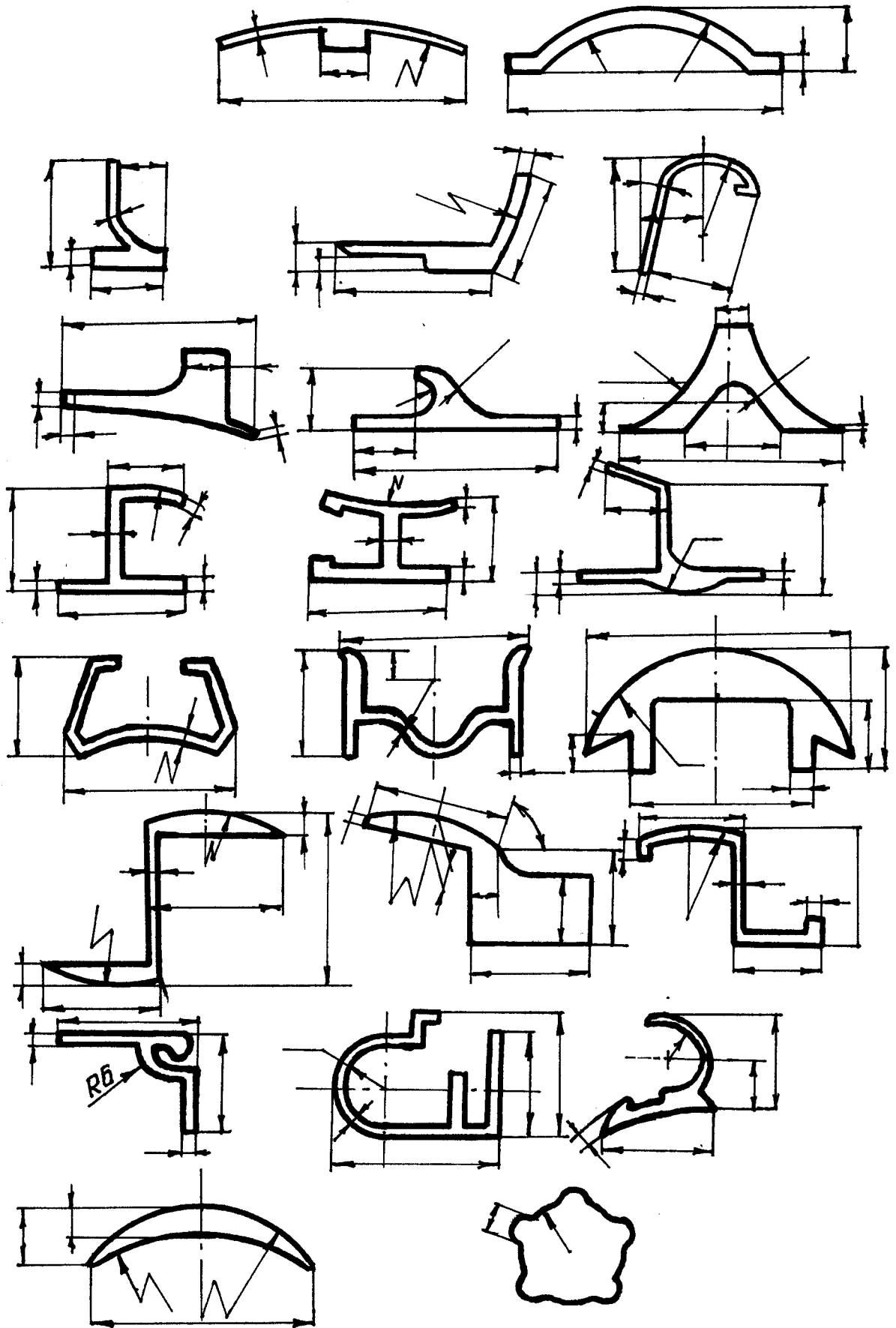


Рис. 10. Продовження

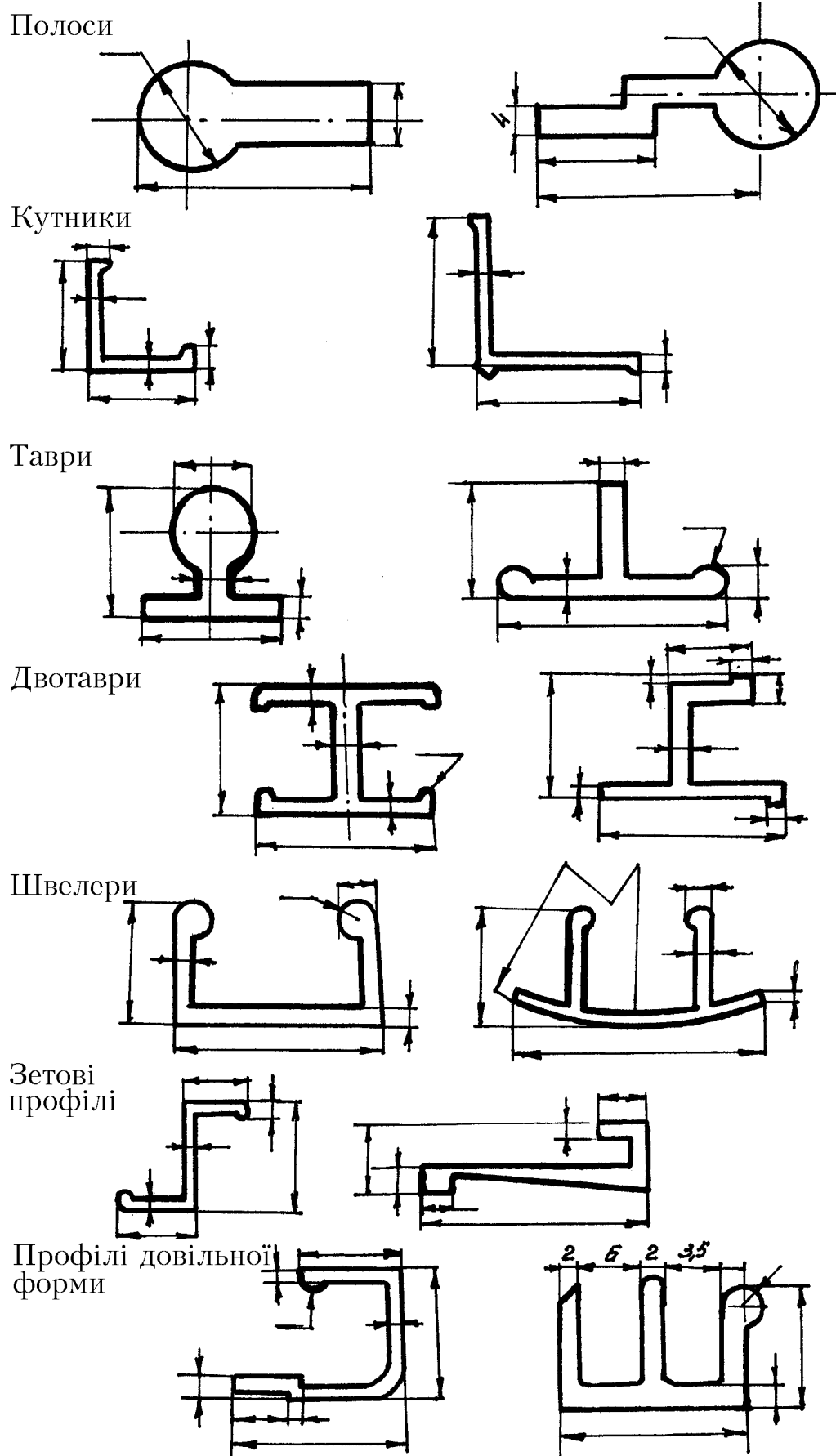


Рис. 10. Продовження

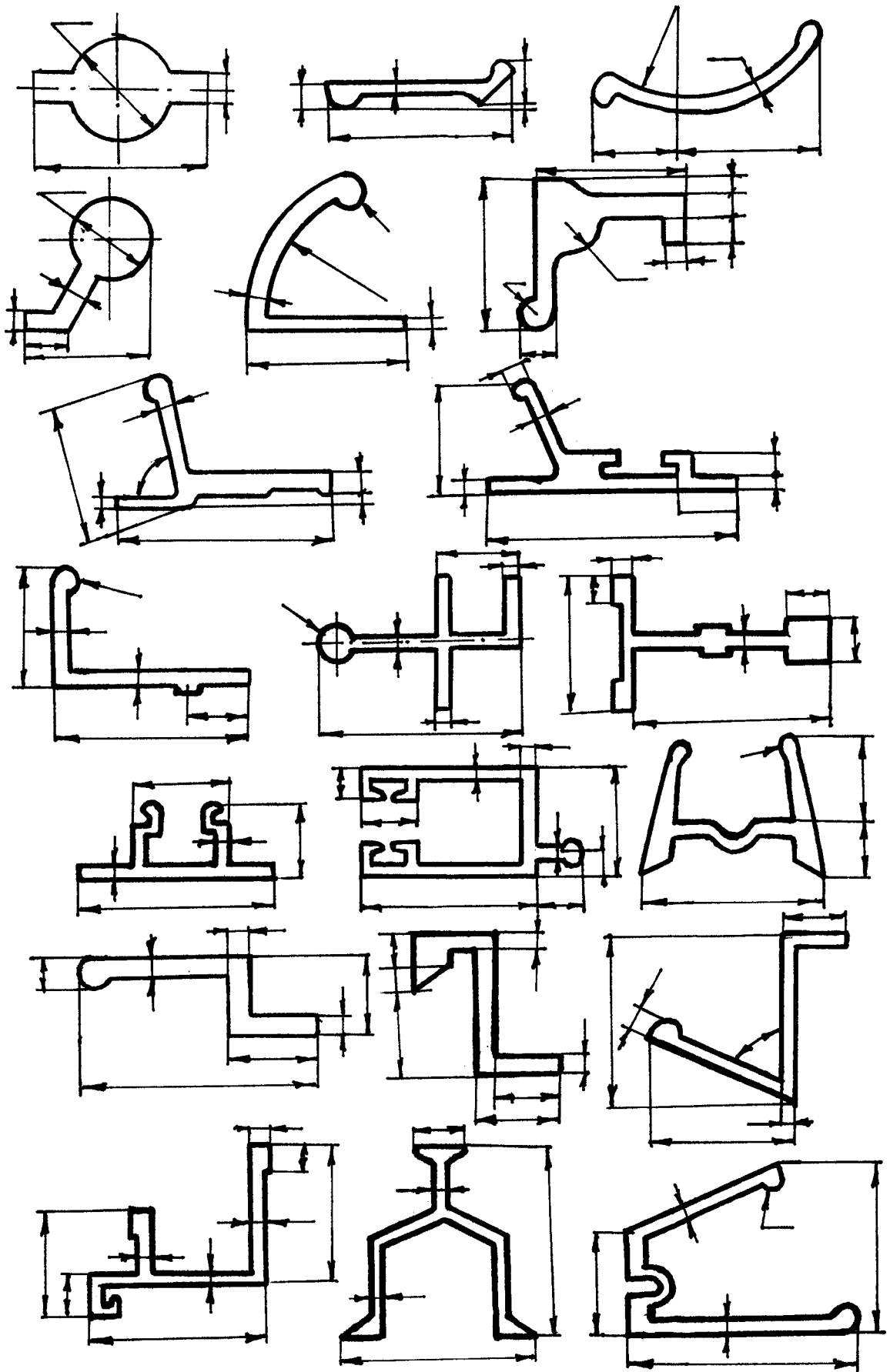
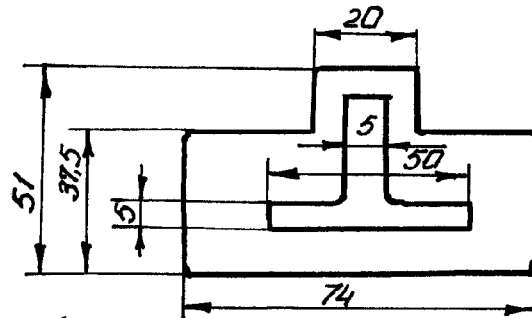
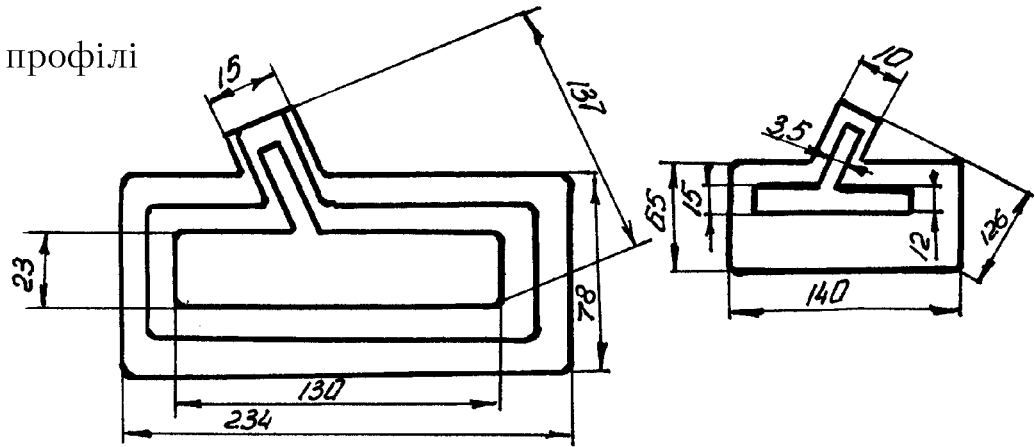
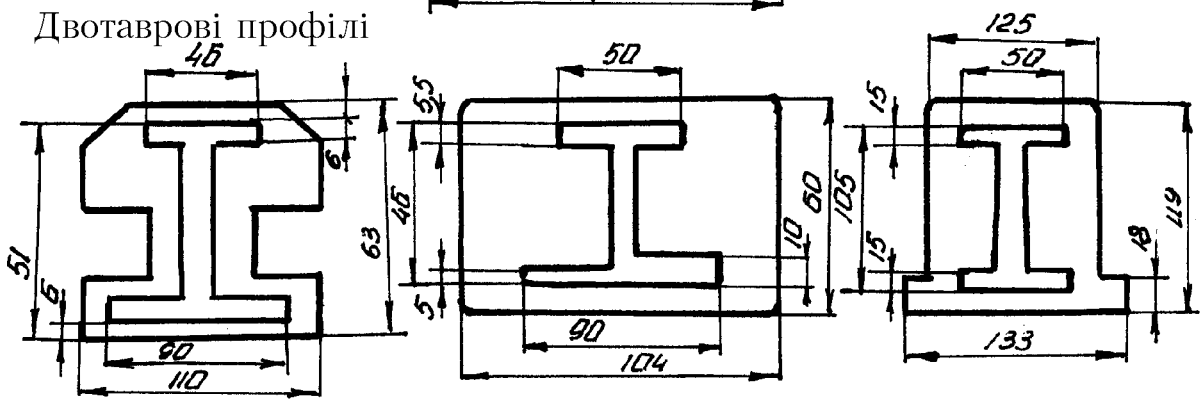


Рис. 10. Закінчення

Таврові профілі



Двотаврові профілі



Швелерні профілі

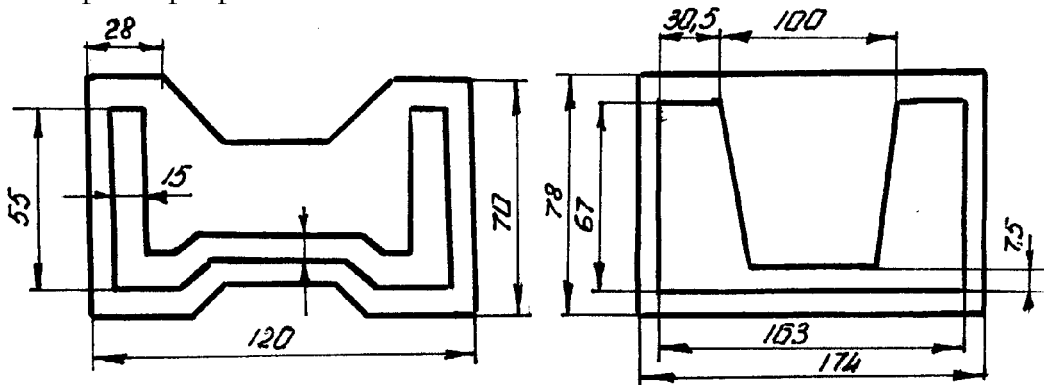
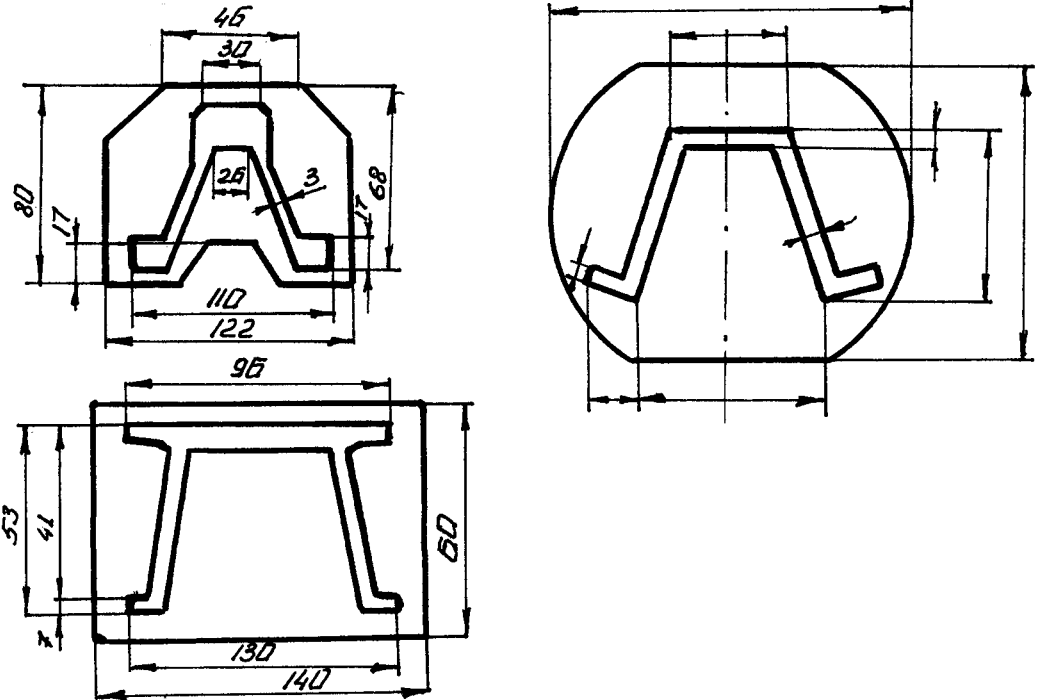


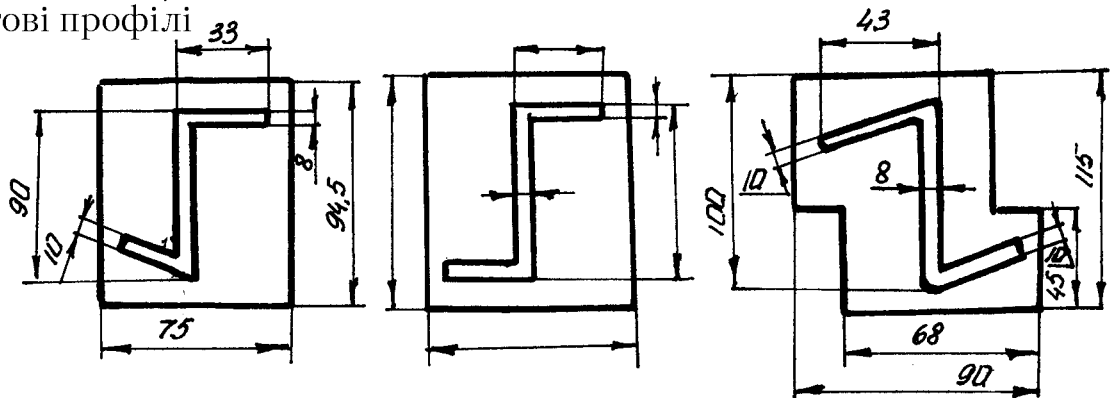
Рис. 11. Сортамент профілів зі ступінчастою зміною перерізу  
(див. також с. 33)



## Швелерні профілі з відбортовкою



## Зетові профілі



## Профілі довільної форми

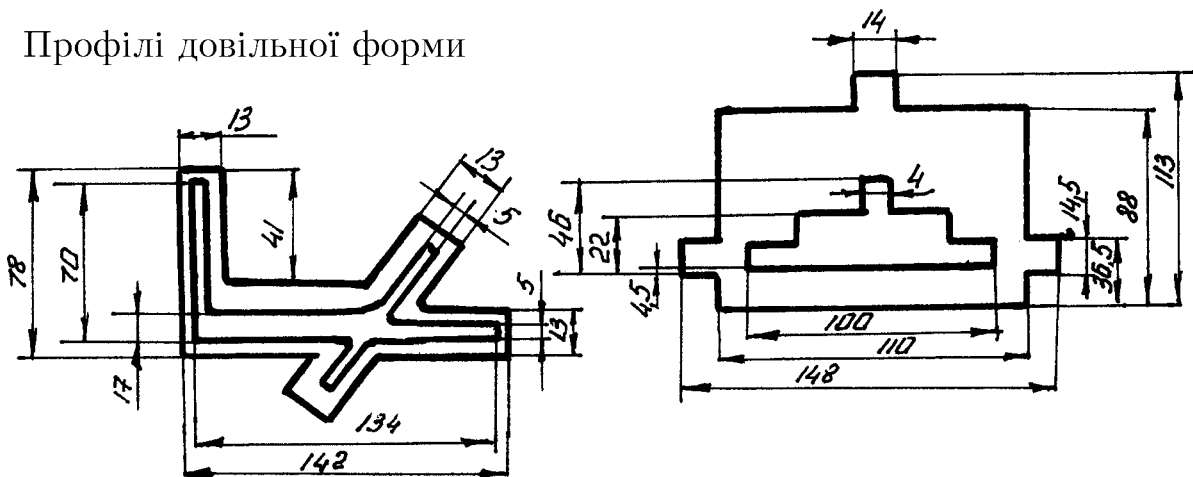
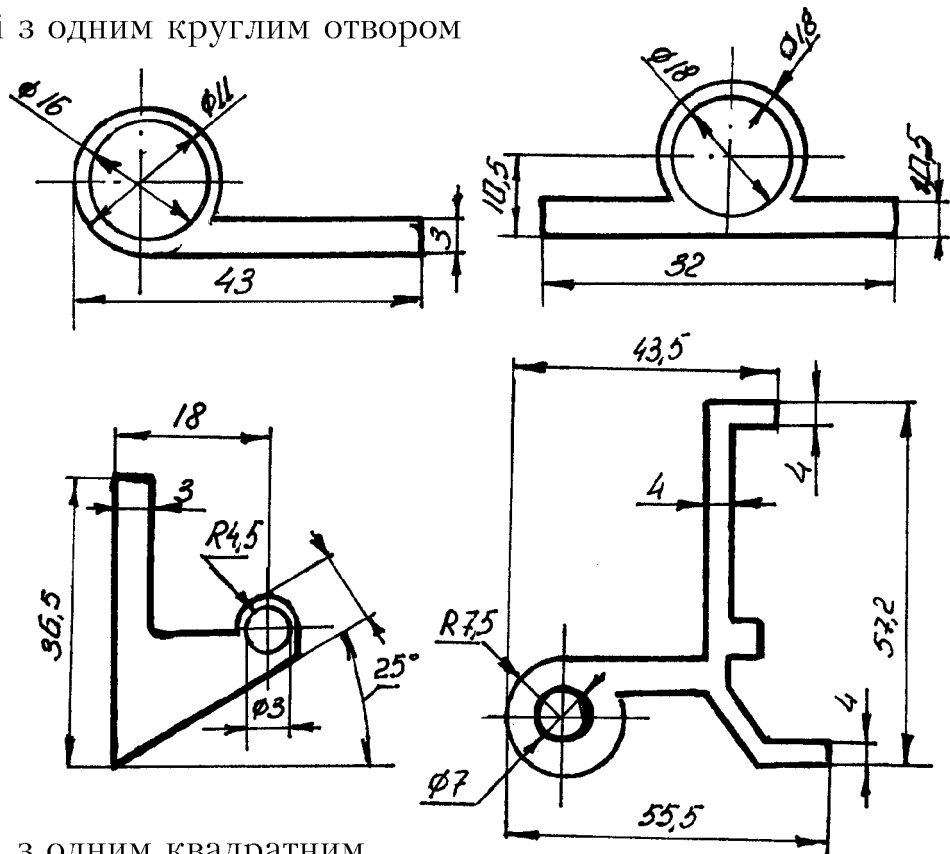


Рис. 11. Закінчення

Профілі з одним круглим отвором



Профілі з одним квадратним або прямокутним отвором

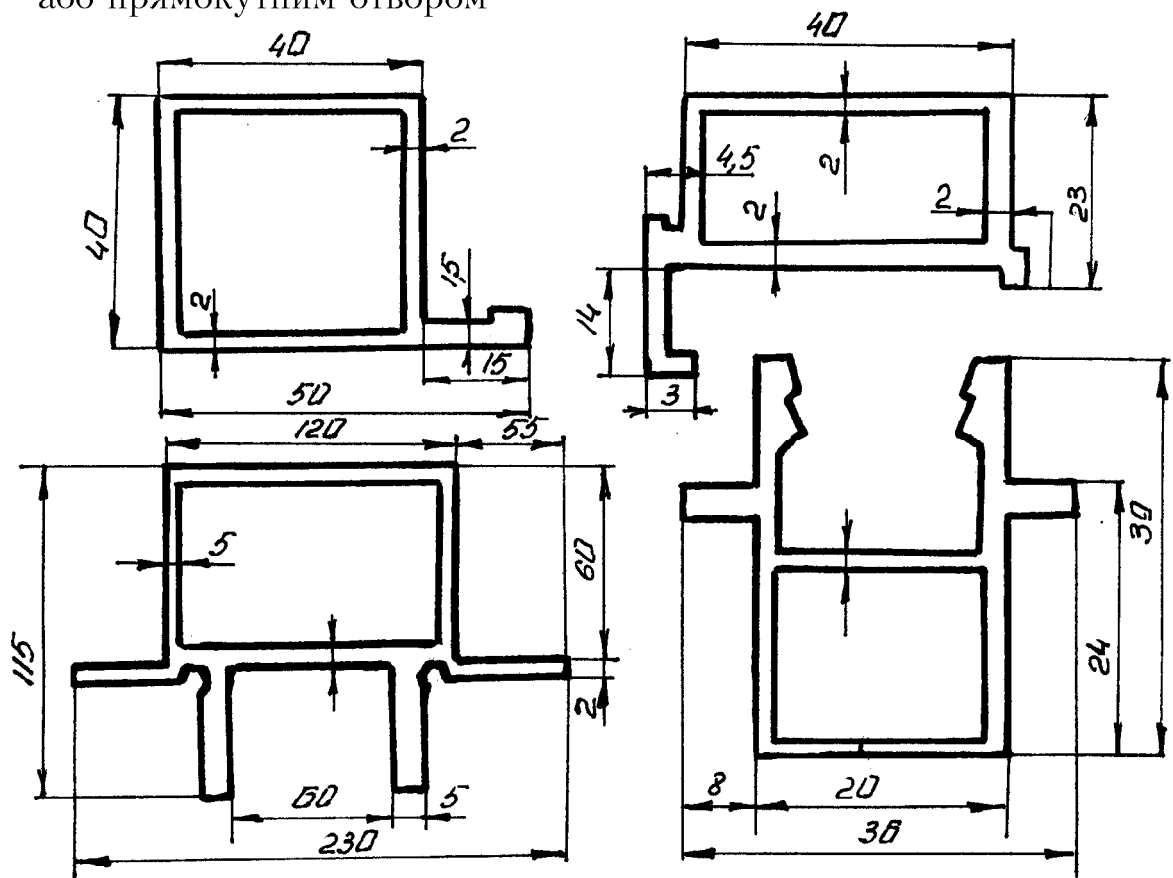
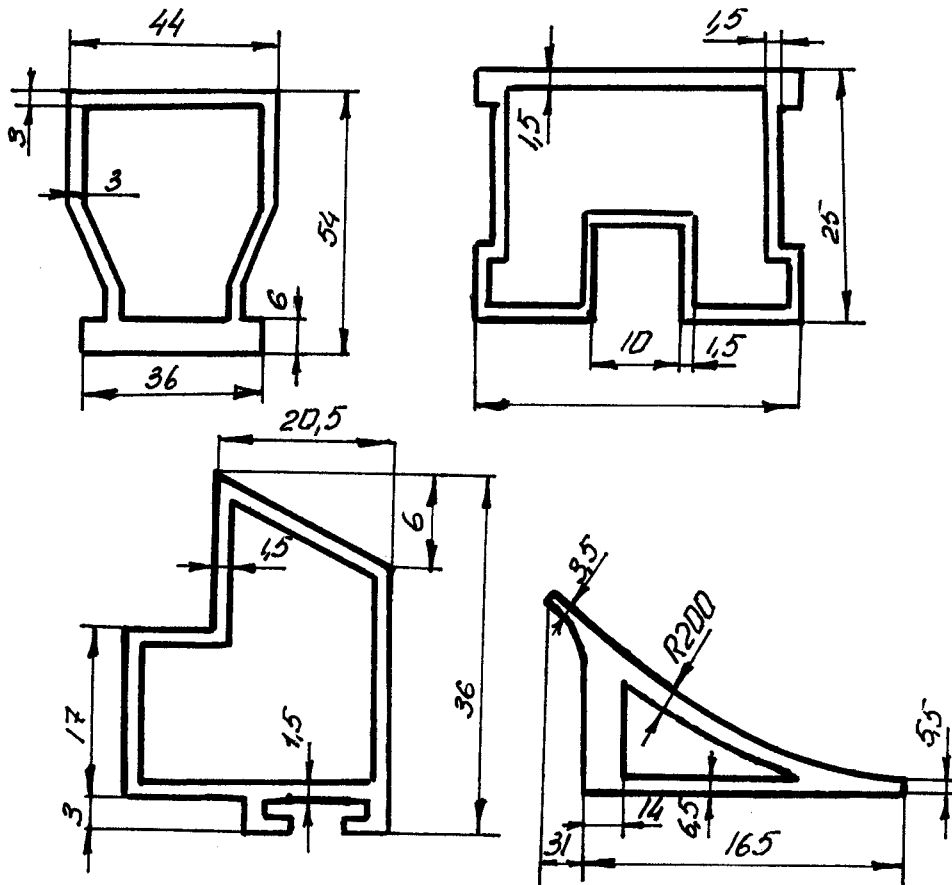


Рис. 12. Сортумент порожнистих профілів  
(див. також с. 35)

## Профілі з одним отвором довільної форми



## Профілі з декількома отворами

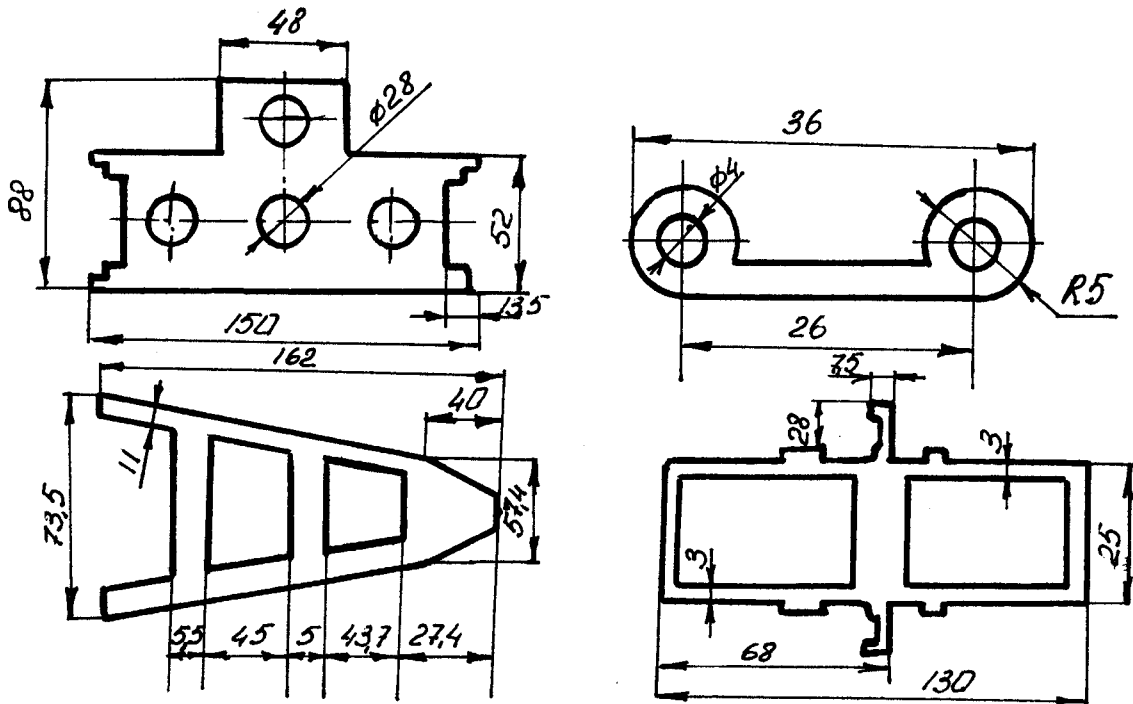


Рис. 12. Закінчення

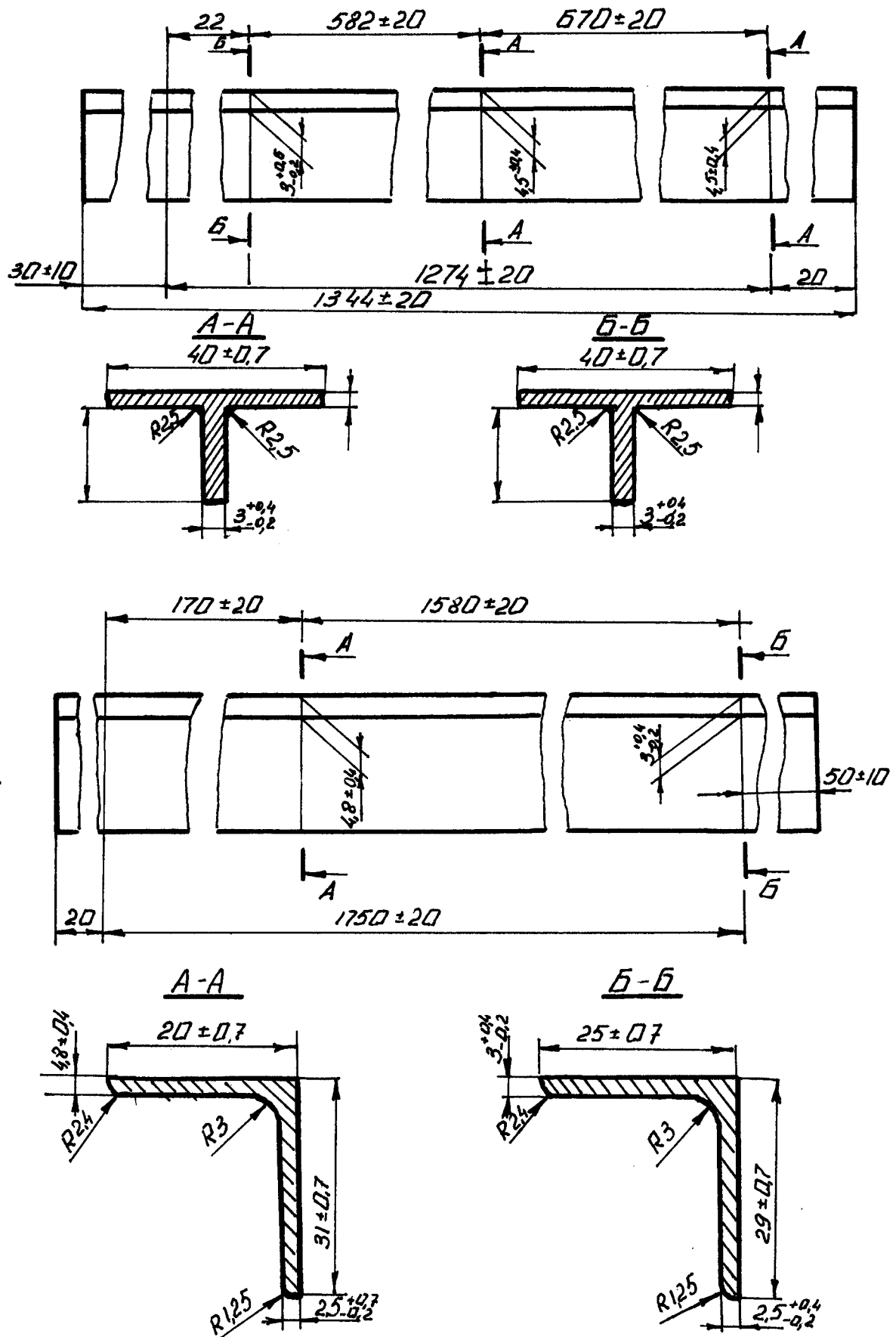


Рис. 13. Сортомат профілів плавномітного перерізу  
(див. також с. 37)

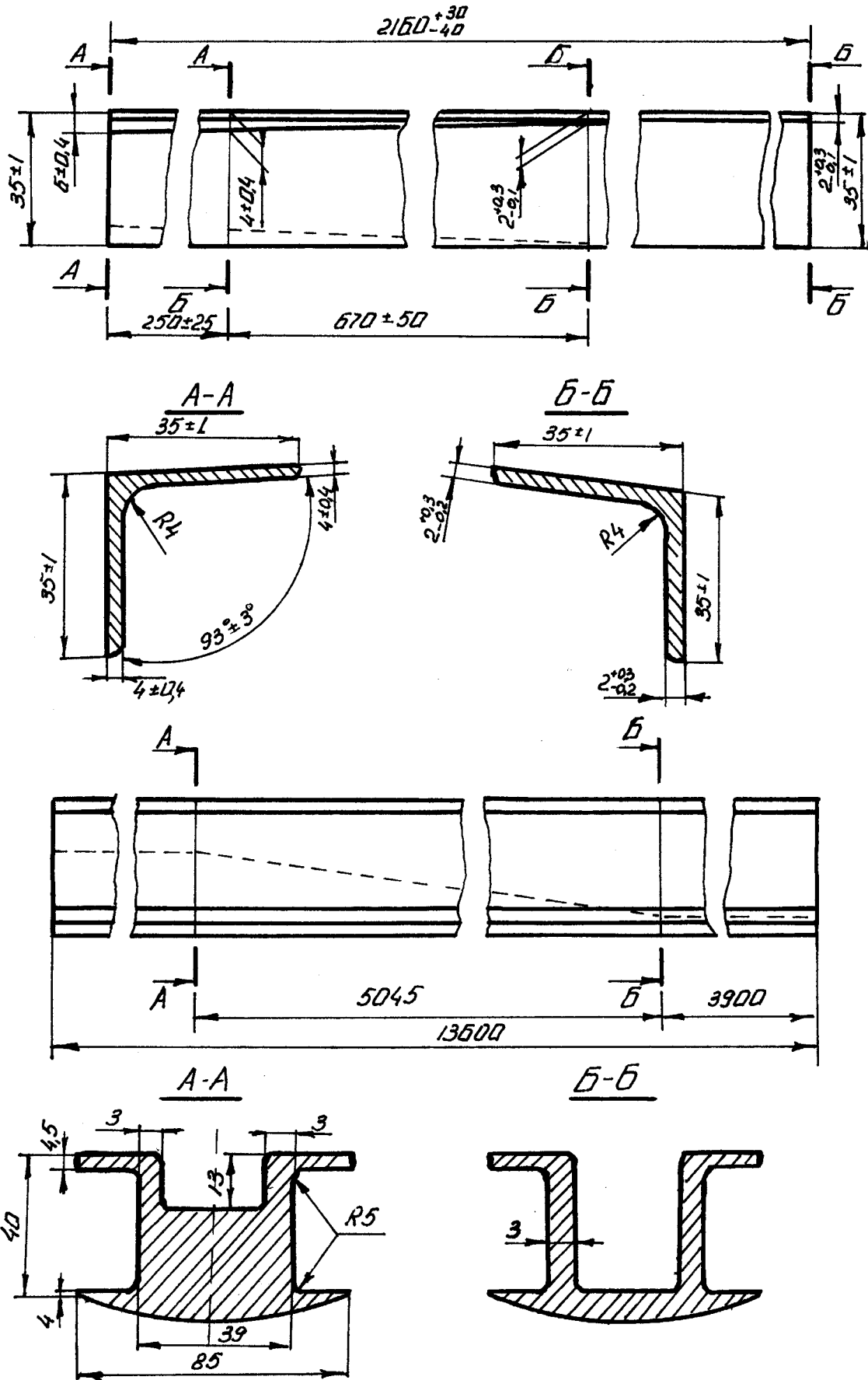


Рис. 13. Закінчення

До переваг цього методу належать можливість одержання панелей практично будь-якої конфігурації (з поздовжнім та поперечним оребренням) і використання для їх виробництва нагартованих листів з великим ступенем попередньої деформації, які мають підвищені характеристики міцності. Як правило, обробка таких панелей здійснюється на станках з числовим програмним управлінням. Але вказані характеристики в механічно оброблених панелях зі сплавів Д16, В95 значно нижчі, ніж у пресованих, внаслідок того, що при виробництві останніх проявляється прес-ефект. Крім того, при фрезеруванні панелей спостерігається деяке їх ослаблення, особливо при виготовленні різких переходів, тому що перерізається волокно металу.

До недоліків цього методу можна віднести недостатню точність обробки по полотну, що потребує доводки хімічним фрезеруванням; зниження характеристик міцності при виготовленні панелей з термічно зміцнюваних сплавів; порівняно низький коефіцієнт використання металу.

Виробництво фрезерованих панелей широко розповсюджене в США й Англії. Максимальна ширина фрезерованих панелей дорівнює ширині товстостінних прокатних плит (2500 мм). В Україні методами механічного фрезерування виготовляють в основному панелі з поздовжньо-поперечним оребренням (вафельні конструкції). Створені спеціальні багатопиндельні поздовжньо-фрезерні станки КУ221 та ін. з вакуумними столами, що значно підвищило швидкість обробки.

Механічне фрезерування металу доречно використовувати при виготовленні панелей з поздовжньо-поперечним або променевим оребренням з термічно незміцнюваних сплавів.

## **Хімічне фрезерування**

Хімічне фрезерування, або розмірне глибоке травлення, широко застосовується в галузі ракетно-космічної техніки. Цей процес є універсальним, він дає можливість виготовляти деталі різноманітної форми — одинарної або подвійної кривизни, ступінчастого або плавномінного перерізу.

Перед хімічним фрезеруванням на поверхню заготовки наносять захисне лакофарбове покриття, яке обмежує контур, що підлягає травленню. Травлення ведеться у 12–17%-му розчині їдкого натру при температурі 80–90°C.

Основні недоліки хімічного фрезерування — безповоротна втрата металу, а також порівняно невисока точність. Травлення металу проходить

як вглибину, так і вбік — під захисне покриття. Останнє призводить до нерівномірності витравлювання за висотою стрингера, а також до неможливості одержання панелей з фасонними (*T*-подібними, *G*-подібними та ін.) стрингерами.

Хімічне фрезерування доречно використовувати тільки для виготовлення оребрених панелей з невеликою висотою стрингерів з товстих листів. Воно успішно застосовується для одержання необхідних для зварювання закінцівок або бокових потовщень на панелях, виготовлених іншими методами.

## **Контурна прокатка**

Суть методу полягає в заповненні металом гравюри штампа під дією тиску прокатки. Застосовуються такі способи прокатки:

- 1) прокатка між гладким неприводним валком і рухомим штампом, у якому вифрезерована гравюра оребрення панелі;
- 2) прокатка між гладким приводним валком і рухомим штампом з гравюрою.

Основною перевагою контурної прокатки є висока продуктивність, значне зменшення відходів металу й підвищення механічних властивостей панелей внаслідок орієнтованого розташування волокон металу по контуру оребрення панелі.

Недолік методу — розмірні обмеження, що викликані відповідними габаритами штампа, виготовлення якого тим складніше, чим більша площа гравюри. Внаслідок обмеженої величини питомих тисків важко одержати високе оребрення, тому контурну прокатку використовують для виготовлення панелей з поздовжньо-поперечним оребренням довжиною не більшою 1500 мм та шириною не більшою 800 мм.

## **Штапування**

Штапуванням можна виготовити складну як односторонню, так і двосторонню гравюру, поєднуючи елементи різноманітної геометрії. З допомогою цього методу формують високі ребра трапецієподібного й прямокутного перерізу. Штаповані панелі виготовляють плоскої форми й різної кривизни, внаслідок чого відпадає необхідність в їх подальшому гнутті й формуванні. Але штапуванню властиві деякі недоліки, що лімітовані потужністю преса, це обмежує використання даного способу при виготовленні панелей.

Необхідний тиск при штампуванні ребристих панелей залежить головним чином від товщини заготовки, температури її нагрівання й величини штампувального нахилу. Так, при штампуванні панелей сплаву Д16 із заготовки товщиною 10 мм із закінченням процесу при  $400^{\circ}\text{C}$  для одержання ребра висотою 25 мм з нахилом  $5^{\circ}$  необхідний питомий тиск не менший 300 МПа. При зменшенні кута нахилу твірної ребра й температури нагрівання заготовки потрібний ще більший тиск. На найбільшому в світі вітчизняному пресі зусиллям 700 МН можна відштампувати панелі площею не більше  $2,3\text{ м}^2$ , а площа панелей для відсіків корпусу виробів повинна бути значно більшою.

При штампуванні панелей неможливо одержати ребра складної форми (таврові, Г-подібні тощо). Штамповані панелі практично не виправляються розтяганням. Вони мають залишкові напруження, які при подальшій обробці інколи призводять до короблення панелей. Виходячи з цього, штампувати на пресах доречно панелі обмеженої площі з поздовжньо-поперчним чи променевим оребренням, виготовлення яких іншими методами не доцільно.

За останні роки освоєний новий спосіб виготовлення штампованих великогабаритних панелей з легких сплавів на малогабаритних пресах зусиллям 150 та 300 МН. Потужні одноплунжерні малогабаритні преси дозволяють вести штампування повним зусиллям з питомим тиском 600–900 МПа. У штампі вифрезерована гравюра оребрення панелі. Локальне штампування (рис. 14) здійснюється за допомогою «гнучкої» частини штампа й вузького натискного бойка. Пакет, який складається з нижньої та верхньої частини штампа із заготовкою, вкладеною між ними, встановлюється на столі преса й приводом столу поступово подається для натискування повним зусиллям преса в наперед розрахованих зонах за довжиною заготовки. Процес здійснюється за 2–4 переходи.

Основні технологічні параметри:

- питомий тиск 600–900 МПа;
- товщина полотна штамповки не менше 5 мм;
- довжина штамповки до 3000 мм;
- різнотовщинність полотна 1,0 мм;
- коефіцієнт використання металу 0,5.



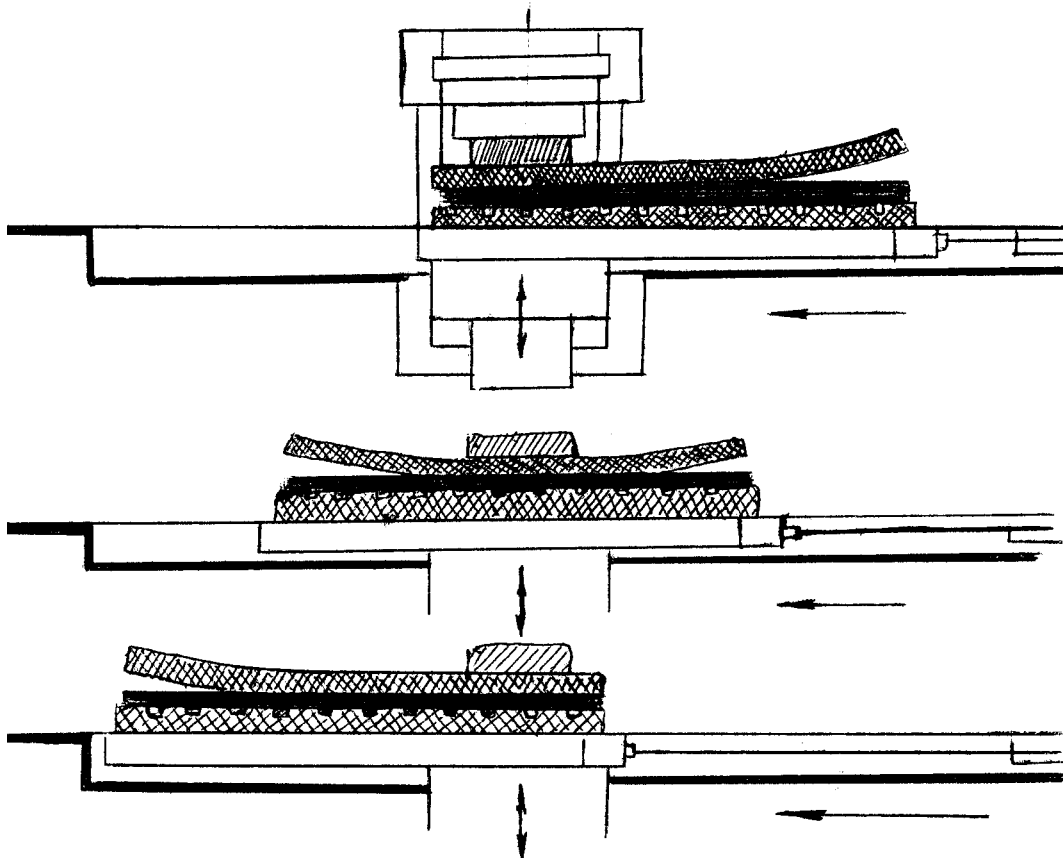


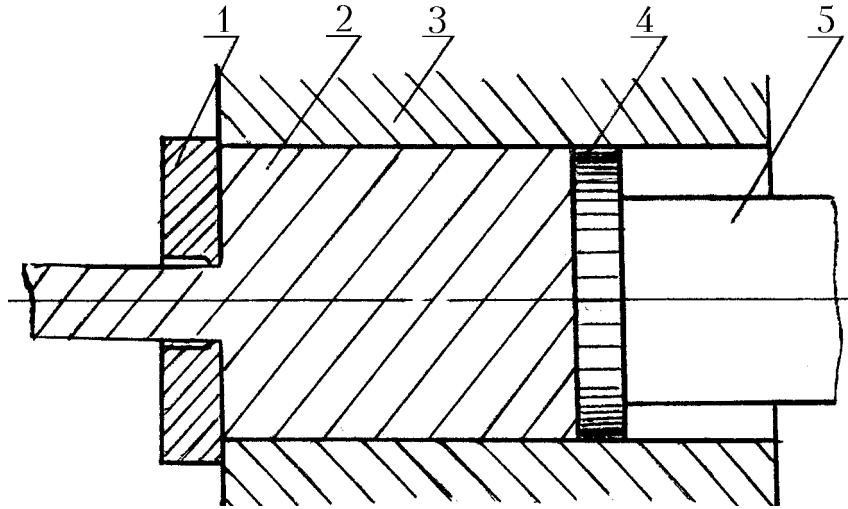
Рис. 14. Схема локального штампування

## Пресування

Процес пресування (витискування), представлений на рис. 15, полягає в такому: зливки або заготовки 2, нагріту до температури гарячої обробки, розміщують у контейнері преса 3. Контейнер закритий з одного боку матрицею 1, яку від пересування стримує матрицетримач, з другого — прес-шайбою 4, через яку тиск прес-штемпеля передається на злинок. При робочому ході прес-штемпеля, з'єднаного з головним плунжером преса, починається витікання металу зливка через матрицю, робочий отвір (канал) якої зроблений відповідно до конфігурації виробу, що пресується.

Пресування не має ряду недоліків, властивих іншим методам виготовлення панелей. При пресуванні довжина панелей лімітується тільки довжиною заготовки й величиною коефіцієнта витягання; вона може бути значно більшою, ніж при інших методах. Висота й форма стрингерів практично не обмежені. З допомогою цього методу виготовляють панелі із потовщеними краями, а також із закінцівками. Відходи металу при пресуванні нижчі, а продуктивність вища, ніж при механічному й хімічному фрезеруванні. Характеристики міцності панелей, пресованих з термічно зміцнюваних алюмінієвих сплавів (Д16, В95), значно вищі, ніж при ви-

робництві їх іншими методами. Зі сказаного випливає, що пресування — найбільш досконалий метод виробництва монолітних панелей з поздовжнім оребренням.



**Рис. 15. Схема пресування:**

1 — матриця; 2 — заготовка; 3 — контейнер;  
4 — прес-шайба; 5 — прес-штемпель

У наш час розроблені прогресивні методи пресування (наприклад, пресування ребристих труб) і створені потужні горизонтальні гідравлічні преси зусиллям 120 і 200 МН. На них можна виготовляти панелі шириною до 2300 мм.

Панелі можуть бути відпресовані:

- 1) з суцільного круглого зливка —;  $\nabla$ ;  $U$ ;  $\diamond$ ;  $\square$  — форми;
- 2) з плоского контейнера —;  $\square$ ;  $\nabla$  — форми;
- 3) з круглого порожнистого зливка, у вигляді ребристих труб з незамкнених кільцевих профілів.

Коефіцієнти ширини панелей залежно від їх форми наведені нижче.

Форма панелей:	—	$\nabla$	$U$	$\diamond$	$\square$
Коефіцієнт ширини:	1,0	1,6	2,0	2,2	2,35

Нижче коротко розглянемо процес виробництва вузьких панелей з суцільного круглого зливка, з плоского контейнера й панелей великої ширини з круглого порожнистого зливка.

## Пресування панелей із суцільного круглого зливка

Як видно з табл. 7, ширина плоских панелей дуже мала. Вони випускаються металургійною промисловістю головним чином для авіаційної техніки.

**Таблиця 7**

### Ширина панелей зі сплаву Д16, які пресують із суцільного круглого зливка при температурі 400°С

Потужність преса, МН	Діаметр контейнера, мм	Максимальний тиск, МПа	Максимальна довжина панелі, мм	Максимальна ширина панелі залежно від форми, мм				
				—	∨	U	◇	◇
50	360	490	12000	320	510	640	700	750
120	570	470	20000	520	830	1040	1140	1220
200	730	480	30000	670	1070	1340	1470	1575

## Пресування панелей із плоского контейнера

Панелі з плоского контейнера в основному пресують із термічно зміцнених алюмінієвих сплавів В95 і Д16. У наш час також освоєний процес виготовлення панелей зі сплавів АМг6 і АД31.

При пресуванні з плоского контейнера найбільш навантаженими деталями інструментальної оснастки є контейнер і матриця. Необхідний тиск на метал при коефіцієнтах витягання в межах 10–30% повинен бути не менший 450–500 МПа. Забезпечення міцності контейнера при вказаних тисках здійснюється шляхом створення багатошарових конструкцій з великими натягами між втулками контейнера.

Контейнери, як правило, виготовляються з високоміцних сталей 5ХНЦ і 3Х28 з межею текучості не меншою 1200 МПа при робочій температурі 400–450°С. Панелі пресують з плоских заготовок, одержаних механічною обробкою із зливків безперервного лиття. Плоскі заготовки перед пресуванням нагрівають в електричних печах з повітряною циркуляцією або в індукційних печах промислової частоти, а контейнер нагрівають до температури 380–450°С в спеціальній печі або на пресі при увімкненому індукційному нагрівачі. У процесі пресування метал під тиском прес-штемпеля витікає в канал матриці, закріпленої в мундштуці, формуючи панель заданої конфігурації.

Швидкість витікання металу при пресуванні панелей залежно від сплаву, який пресується, наведена нижче.

Сплав	Д16	В96	АМГ6	В92
Швидкість витікання металу, м/хв	0,3–0,5	0,2–0,4	0,4–0,7	0,8–1,5

Менші значення швидкості витікання використовуються при пресуванні панелей з більш високим ступенем асиметрії, а також панелей, у яких товщина полотна й стрингерів різко відрізняється.

Технологія пресування монолітних ребристих панелей з потовщеними кінцями аналогічна технології пресування профілів із закінцівками. При цьому, якщо стрингери панелей мають відкриту форму, потовщення можна одержати як з боку полотна, так і з боку стрингерів. При закритій (*T*- і *G*-подібній) формі стрингерів потовщення можуть бути сформовані тільки з боку полотна.

Порожнисті панелі пресують через матриці з вмонтованою язичковою голкою. Можна одержувати плоскі відпресовані панелі з деяким радіусом кривизни.

### **Пресування ребристих труб**

Потреба галузей нової техніки в розробці способу й технології пресування ребристих труб великого діаметра була викликана необхідністю одержання ребристих панелей великої ширини (до 2300 мм) з товщиною полотна 3 мм, які не можна виготовити з плоского (щілинного) контейнера. Внаслідок того, що ребристі труби після пресування підлягають розгортці, практично немає різниці, з якого боку труби (зовнішнього чи внутрішнього) будуть сформовані стрингери при пресуванні.

Для пресування труб із внутрішнім поздовжнім оребрінням необхідно використовувати голки з поздовжніми пазами довжиною, яка дорівнює довжині ходу голки. Це створює труднощі при виготовленні голки й у процесі її експлуатації. Крім того, внаслідок значної протяжності зони тертя металу на поверхні стрингерів спостерігаються ризики та надриви. Тому для пресування приймається схема з використанням гладкої голки й фасонної матриці.

Пресуванням ребристих труб з порожнистого зливка можна виготовляти достатньо тонкостінні труби, які потім потрібно розрізати вздовж по твірній і розгортати в плоску монолітну панель.

Максимальна ширина панелей, коефіцієнт витягання й максимальні питомі тиски пресування наведені в табл. 8.

**Таблиця 8**

**Характеристики панелей, що виготовлені з ребристих труб**

Потужність преса, МН	Діаметр контейнера, мм	Внутрішній діаметр труби, мм	Ширина розгортки панелі, мм	Площа перерізу зливка, мм <sup>2</sup>	Максимальний питомий тиск, МПа	Площа перерізу панелі, мм <sup>2</sup>	Коефіцієнт витягання
50	420	310	970	63000	790	3600–12000	5,7–17,5
120	650	520	1620	119400	1000	6000–20000	6–20
200	1000	820	2500	282700	700	15000–30000	9,5–18,9

Недоліком пресування панелей у вигляді ребристих труб слід вважати деяке погіршення якості гладкої поверхні внаслідок пресування із змазуванням голки, а також різностінність пресованих труб, яка спричиняє різновтовщинність панелей.

## Розділ 3

# ПРОМИСЛОВА ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА ОРЕБРЕНИХ ПАНЕЛЕЙ ВЕЛИКОЇ ШИРИНИ ЗІ СПЛАВУ АМг6

Процес виготовлення широких тонкостінних панелей складається з двох основних етапів:

- одержання ребреної труби пресуванням;
- одержання плоскої панелі з трубної заготовки шляхом розрізання по твірній, розгорнення й виправлення.

## ТЕХНОЛОГІЯ ПРЕСУВАННЯ

Заготовками для пресування ребристої труби є порожнисті круглі гомогенізовані зливки, які перед пресуванням ріжуть на мірні довжини, обточують по зовнішній і розточують по внутрішній поверхнях. Для пресування ребристих труб заготовки нагрівають в індукційних печах до температури 400–490<sup>0</sup>С. Ребристі труби пресують на пресах зусиллям 50, 120, 200 МН.

Для формування зовнішнього ребреного контура труби наладка має профільовану матрицю, яка закріплюється в головці преса. При пресуванні контур ребристої труби формується в кільцевому зазорі між матрицею і головкою. Контейнер нагрівають у печі до 400–450<sup>0</sup>С.

Швидкість пресування залежить від сплаву; вона знаходиться в межах 0,5–8 м/хв, для АМг6 становить 0,5–1,5 м/хв.

Технологічна схема виготовлення ребрених панелей з трубної заготовки така:

- 1) виправлення ребристої труби розтяганням;
- 2) розріз труби по твірній;
- 3) розгорнення ребристої труби;
- 4) виправлення розгорнутої панелі;
- 5) термічна обробка;
- 6) обробка панелей (травлення та анодування).

Трубним методом виготовляють панелі, які мають рівнотовщинне полотно й прямі стрингери, у той час як таких обмежень для панелей, пресованих з плоского контейнера, не існує. З допомогою цього методу виготовляють панелі з термічно зміцнених сплавів. Необхідно використовувати

спеціальні пристрої та широкі розтяжні й роликівиправні машини, шахта печі повина мати великий переріз.

**Виправлення панелей з ребристих труб.** Пресовані ребристі труби часто мають поздовжню кривизну, яка ускладнює їх розріз і подальшу обробку. Для усунення поздовжньої кривизни труби виправляють розтяганням на розтяжних машинах зусиллям 7,5–15 МН.

**Розріз труб по твірній.** При пресуванні ребристої труби на ній формується поздовжня канавка, яка визначає лінію розрізу труби по твірній. Розріз здійснюється на спеціальному станку дисковою фрезою діаметром 100 мм і товщиною 1,5–2,0 мм, закріпленою на валу електромотора. Обертаючись, вона прорізає трубу, що насувається.

**Розгорнення труб.** Розгорнення труб здійснюється на спеціальній машині конструкції НДІ МетМАШ, яка складається з окремих секцій. Секція має два крюки, які обертаються на осях, закріплених у шарнірах.

Для розгорнення труб заданого профілю використовують дерев'яні столи, на які можуть нашиватися дошки з будь-яким необхідним кроком пазів (залежно від кроку ребер на трубі). Налагодження столу проводять за допомогою розгорнутого темплета, взятого від труби, що підлягає розгорненню.

Перед розгорненням трубу, розрізану по твірній, кладуть краном на стіл машини розрізом догори. При цьому необхідно, щоб центральне ребро труби було точно вкладено у відповідний паз столу. В отвори, зроблені в крюках крайнього циліндра, вставляють спеціальні штирі, на які насовується труба.

При роботі машини крюки розходяться вбік і штирями розводиться розріз труби. У трубу заводять розпірну колодку, яка не дозволяє трубі закриватися внаслідок пружинення. Потім крюки зводять і виймають з них штирі. Трубу із закладеною в неї розпірною колодкою пересувають вздовж столу машини так, щоб можна було вставити в розріз крюки. Далі всіма секціями трубу максимально можливо (щоб не було заламу кромки) розгинають. Так закінчується попереднє розгорнення труби. Після зведення крюків трубу встановлюють у положення для кінцевого розгорнення. Під крюки підкладають спеціальні бруски з твердих порід дерева, які дозволяють більш повно розгортати трубу, притиснувши кромки до столу без їх пошкоджень від згинання в місцях дотику з крюком. Внаслідок пружинення розгорнута труба залишається коритоподібною.

**Виправлення на валкових і роликівиправних машинах.** Для зменшення поздовжньої й поперечної кривизни панелі виправляють на се-

мивалковій машині. При налагоджуванні машини набірні валки знімають і проводять зміну роликів з набором профілю валка, що відповідає перерізу панелі, яка підлягає виправленню.

Для зручності подачі у валки один кінець панелі виправляють до плоского стану на пресі місцевої правки. Панель вкладають на рольганг машини й виправленим кінцем заводять у подавальні валки; верхній набірний валок спускають, притискуючи панель до нижнього гладкого валка; вмикають привід валків, і панель подається в машину. Далі вона потрапляє в кліті робочих валків, розташованих у шаховому порядку, які виправляють поздовжню кривизну панелі за допомогою гнуття з перегинанням. Поперечна кривизна панелі зменшується з 130 до 40–50 мм.

Після виправлення на семивалковій правильній машині загальна поздовжня кривизна панелей становить 4–5% від ширини панелі, а поперечна кривизна панелей між стрингерами — 3–4% від міжстрингерової відстані.

Для зменшення поперечної кривизни панелі виправляють на роликів правильних машинах з консольною підвіскою роликів, які, як правило, мають від 3 до 6 пар приводних роликів. Виправлення закінчується обкаткою міжстрингерових ділянок панелей між роликами. За 3–4 проходи місцева поперечна кривизна зменшується до 0,7–0,9% від міжстрингерової відстані. При цьому загальна поперечна кривизна знижується до 0,5–0,6% від ширини панелі.

**Виправлення панелей розтягом.** Після виправлення на валкових і роликів машинах панелі довжиною 6–8 м мають місцеву поздовжню кривизну 10–15 мм на погонний метр й загальну поздовжню кривизну до 80–100 мм. Ці значення набагато перебільшують допустимі за технічними вимогами. Крім того, на окремих панелях спостерігається шаблеподібність, хлопуні, які перевищують допустимі величини. Щоб уникнути вказаних дефектів, панелі виправляють розтягом на спеціальних розтяжних машинах потужністю 3,5–25 МН. Розтяг панелей, як правило, здійснюють поетапно з деформацією 0,5–0,8% за етап, сумарна ступінь деформації становить 1,5–2,5%.

Основні геометричні параметри панелей, які виготовляють з ребристих труб, наведені в табл. 9.

**Виправлення панелей прокаткою в плитах.** При обробці панелей великої ширини виправлення на валкових правильних машинах, як правило, змінюється прокаткою в плитах на валкових правильних машинах або прокатних станах.

Під час прокатки на валкових правильних машинах на них встановлюють гладкі суцільні валки. Плити виготовляють зі сплавів Д16 або АМг6



товщиною від 70 до 130 мм. Глибина пазів у плитах на 2–3 мм більша, ніж висота стрингерів панелі; ширина пазів у плитах при прокатці панелей з прямими стрингерами на 7–9 мм більша товщини стрингера, а при прокатці панелей з фасонними стрингерами на 5–7 мм більша ширини верхньої полиці стрингера.

Прокатку здійснюють у 2–4 проходи. Місцева поперечна кривизна панелей на міжстрингеровій відстані після прокатки в плитах, як правило, не перевищує 1–2 мм.

**Таблиця 9****Геометрія панелей з ребристих труб**

Геометричний параметр	Допустиме значення параметра
Товщина полотна, мм	4,0–5,2
Різновтовщинність полотна, мм	0,8
Товщина стрингера, мм	4
Висота стрингера, мм	26±1
Відстань між осями стрингерів, мм	188 <sup>+1,5</sup> <sub>-2,5</sub>
Відстань між осями крайніх стрингерів, мм	752 <sup>+2,0</sup> <sub>-4,0</sub>
Загальна поперечна кривизна, %	0,3
Поздовжня кривизна на один погонний метр, мм	1,0
Шаблеподібність на один погонний метр, мм	1,0

**Термічна обробка панелей.** Залежно від сплаву й стану поставки панелі підлягають одному з видів термічної обробки, таких як: гартування з природним старінням, гартування з штучним старінням, відпалювання.

Під час гартування, як правило, використовують вертикальні печі, у яких підвішують загартовувані вироби. Печі розташовують над водяним баком для скорочення часу переносу нагрітих виробів з печі у воду. Гартуванням у вертикальному положенні довгих виробів складної конфігурації можна значно зменшити їх короблення, яке спостерігається при звичайному гартуванні в горизонтальному положенні. Час витримки при нагріванні під час гартування визначається максимальною товщиною еле-

ментів панелі. Залежність часу витримки від максимальної товщини елементів панелі наведена нижче:

Найбільша товщина, мм	5,1–10,0	10,1–20,0	20,1–30,0
Час витримки, хв	35	40	50

Після гартування панелі зі сплаву Д16 підлягають природному старінню, а зі сплаву В95 – штучному старінню. Штучне старіння необхідно проводити не пізніше 6 діб після гартування. Режими старіння наведені в табл. 10.

**Таблиця 10**

**Режими старіння панелей з різних сплавів**

Сплав	Ступінь	Температурні інтервали старіння, °С	Час витримки, год
В95	—	135–145	16
В93	1	115–125	3
	2	160–170	4
АВ	—	155–165	10

Відпалюванню підлягають в основному панелі зі сплаву АМг6, його проводять для підвищення стійкості матеріалу проти корозії під напругою і міжкристалітної корозії. Для відпалювання часто використовують шахтні печі з горизонтальним розташуванням виробів. Воно здійснюється за режимом: температура нагрівання —  $320^{+15}_{-10}$  °С, час витримки — 1 год при максимальній товщині елементів панелі до 6 мм, 2 год — від 6 до 60 мм, 3 год — при товщині більше 50 мм; охолодження панелі до нормальної температури — на повітрі.

**Обробка панелей.** Щоб підвищити корозійну стійкість панелей, надати їм товарного вигляду, а іноді щоб створити основу для подальшого нанесення лакофарбового покриття здійснюють операцію обробки панелей, яка складається з двох основних процесів — травлення й анодування (анодного оксидування). Крім того, травлення й анодування є ефективними контрольними операціями — завдяки ним виявляються дефекти матеріалу (запресовування металу й графіту, наявність включень, дефекти прокатування й т. ін.), які важко помітити на необробленій поверхні. Травлення панелей проводять або перед анодуванням, або як самостійний процес.

Технологічний процес травлення панелей включає операції знежирю-

вання, лужного травлення, кислотного освітлення, промивання в теплій і холодній воді, сушіння. Хімічне знежирювання здійснюють у водяних розчинах технічного тринатрійфосфату ( $Na_3PO_4 \cdot 12H_2O$ ) з різними домішками. Найчастіше застосовуються водні розчини такого складу:

- 1) тринатрійфосфат 20–70 г/л, їдкий натр 8–12 г/л, рідке скло 25–35 г/л;
- 2) тринатрійфосфат 50–70 г/л, рідке скло 25–35 г/л, рідке мило 3–5 г/л.

Загальна лужність ванни в перерахунку на  $NaOH$  становить 1,6–2,5%. Температура знежирювання дорівнює 70–85°C, час знежирювання – 35 хв. Хімічне знежирювання може бути замінено знежирюванням органічними розчинниками (бензин, уайт-спірит). Після знежирювання панелі промивають у проточній теплій воді.

Травлення здійснюють у розчині їдкого натру при температурі 50–70°C з концентрацією 170–200 г/л. Час травлення становить 3–5 хв. Після травлення панелі промивають у теплій проточній воді. Освітлення проводять в азотній кислоті для усунення з панелей темного нальоту, який утворюється при травленні. Концентрація кислоти – 200–500 г/л. Далі здійснюють промивання в холодній та гарячій воді. Сушіння панелей проводиться в сушильних камерах при температурі 60–80°C або з допомогою обдування стисненим повітрям.

Технологічний процес анодування панелей складається з операцій знежирювання, травлення, промивання, освітлення, анодування, сушіння, наповнення анодної плівки.

Знежирювання здійснюють або хімічним методом у водних розчинах тринатрійфосфату, або з допомогою органічних розчинників.

Травлення під анодування відрізняється від травлення, як кінцевої операції, використанням менш концентрованих лужних розчинів.

Використовуються розчини такого складу:

- 1) їдкий натр 40–60 г/л;
- 2) їдкий натр 10–15 г/л, вуглекислий натрій 12–15 г/л, азотнокислий натрій 5–10 г/л.

Температура розчинів становить 45–60°C, час витримки – 2 хв. Далі проводять промивання у теплій та холодній проточній воді.

Освітлення під час анодування не відрізняється від даного процесу при травленні, тільки концентрація азотної кислоти знижується до 20–30%. Після освітлення панелі промивають у холодній воді. Анодування здійснюють у розчині сірчаної кислоти з концентрацією 180–200 г/л (див. табл. 11).

## Режим анодування панелей

Параметр	Величина
Анодна густина струму, А/дм	0,8–1,5
Температура електроліту, °С	13–25
Напруга в шинах ванни, В	13–22
Питома витрата енергії, А·хв/дм	20
Тривалість анодування, хв	15–25

Панелі після анодування промивають спочатку в холодній, потім у гарячій воді й сушать у сушильних камерах при температурі 60–70°С протягом 10–15 хв.

## СТРУКТУРА Й ВЛАСТИВОСТІ ПАНЕЛЕЙ

Головна вимога до якості панелей, які виготовлені з ребристих труб — мінімальні розбіжності у розмірах як у поздовжньому, так і в поперечному напрямках; структура й механічні властивості таких панелей є найважливішими їх характеристиками.

Численні дослідження, проведені в процесі освоєння промислового випуску панелей, свідчать про достатню рівномірність механічних властивостей у поздовжньому напрямку, які, як правило, контролюються поштучно на зразках з обох кінців панелі. Механічні властивості пресованих панелей зі сплавів В95, Д16 і АМг6 децю вищі відповідних характеристик катаного листа за рахунок прес-ефекту (див. табл. 12).

Таблиця 12

Механічні властивості пресованих панелей,  
гарантовані технічними умовами

Сплав	Поздовжній напрямок			Поперечний напрямок		
	$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\delta$ , %	$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\delta$ , %
В95	550	450	6	520	—	4
Д16	450	320	10	400	—	8
АМг6	320	160	15	320	160	15

У термічно зміцнених сплавах В95, Д16 спостерігається деяка анізотропія властивостей у поздовжньому й поперечному напрямках, а в термічно незміцненому сплаву АМгб ці властивості в поздовжньому й поперечному напрямках знаходяться на однаковому рівні.

## **ПРОМИСЛОВИЙ СОРТАМЕНТ ПРЕСОВАНИХ ПАНЕЛЕЙ**

Промисловістю освоєний випуск понад 200 видів пресованих панелей з алюмінієвих сплавів. Класифікація таких панелей, як правило, проводиться за конфігурацією перерізу, за способом виробництва та за зміною перерізу за довжиною панелі.

Так як конфігурація полотна панелей не вносить вагомих змін у технологію пресування й подальшої обробки, в основу класифікації панелей за конфігурацією перерізу покладена форма стрингерів. Виготовляють панелі з такими формами стрингерів:

- прямокутною,
- трикутною,
- трапецієподібною,
- Г-подібною,
- тавроподібною (Т-подібною),
- хрестоподібною,
- довільною.

За способом виробництва їх класифікують на панелі, які пресуються з плоского контейнера та панелі, заготовки для яких пресуються з круглого контейнера у вигляді ребристих труб. Промисловістю освоєно виробництво панелей з плоского контейнера шириною до 530 мм на пресі зусиллям 50 МН, до 830 мм—на пресі зусиллям 120 МН і до 1000 мм—на пресі зусиллям 200 МН.

За зміною перерізу за довжиною панелі їх поділяють на панелі постійного перерізу та панелі періодично змінного перерізу (в основному з закінцівками).

## Розділ 4

# ВИЗНАЧЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОПЕРЕЧНОГО ПЕРЕРІЗУ ПРОФІЛЮ ДОВІЛЬНОЇ ФОРМИ

Оцінюючи традиційні методи розрахунку та проектування технологічних процесів формоутворення заготовок, потрібно в деяких випадках констатувати їхнє відставання від вимог сучасного виробництва й невідповідність зрослому рівню забезпечення підприємств обчислювальними ресурсами. У розрахунках процесів формозмінення використовуються головним чином табличні й емпіричні співвідношення параметрів залежно від розмірів і властивостей заготовки. Такого роду залежності не враховують особливостей виготовлення різноманітних деталей; часто вони виявляються надто приблизними, що породжує прийняття неоптимальних або невірних рішень при оцінюванні граничного ступеня формозміни заготовки, врахуванні пружинення тощо, а в підсумку це призводить до невиправданих матеріальних втрат.

Приблизні методи технологічних розрахунків у свій час стали узвичаєними, так як інші, точніші методи були занадто трудомісткими, тому що вимагали виконання великого обсягу обчислень. Враховуючи сучасний рівень розвитку інформаційних технологій, коли фактор трудомісткості обчислень у значній мірі втратив колишнє значення, слід переходити до широкого практичного використання накопичених знань, включаючи до повсякденних обов'язків технологів проведення складних теоретичних розрахунків. Зрозуміло, що не в усіх випадках потрібно відмовлятися від приблизних методів на користь більш точних.

Впровадження чисельних методів дозволяє оперувати складними багатofакторними моделями процесів, які відповідають вимогам адекватного математичного моделювання. Похибки дискретного представлення об'єкта, що моделюється, зменшуються відповідно до збільшення ступеня дискретності. У принципі, вони можуть бути як завгодно малими. Головна перевага чисельних методів — можливість розв'язання складних задач завдяки заміні диференціальних співвідношень алгебраїчними.

У даному розділі розглянута методика чисельного визначення геометричних параметрів перерізу довільного профілю, а саме площі й моментів інерції поперечного перерізу. Дана задача є актуальною як для технолога, який розраховує режими й технологічні параметри формозмінних операцій, так і для конструктора, який визначає критерії міцності й тривалості конст-

руктивних елементів виробів, що проектуються не тільки в галузі ракетно-космічної техніки.

Задання контура поперечного перерізу довільного профілю для розрахунку на ЕОМ може бути приблизним. Воно здійснюється апроксимацією криволінійних ділянок контура ламаними лініями. Похибка апроксимації, яка не перевищує допуски на розміри поперечного перерізу, вважається в даному разі допустимою.

У загальному випадку поперечний переріз профілю обмежено більше ніж одним замкнутим контуром (рис. 16), кожний з яких задають, як і контур многокутника, упорядкованою множиною координат вершин ( $x_i; y_i$ ).

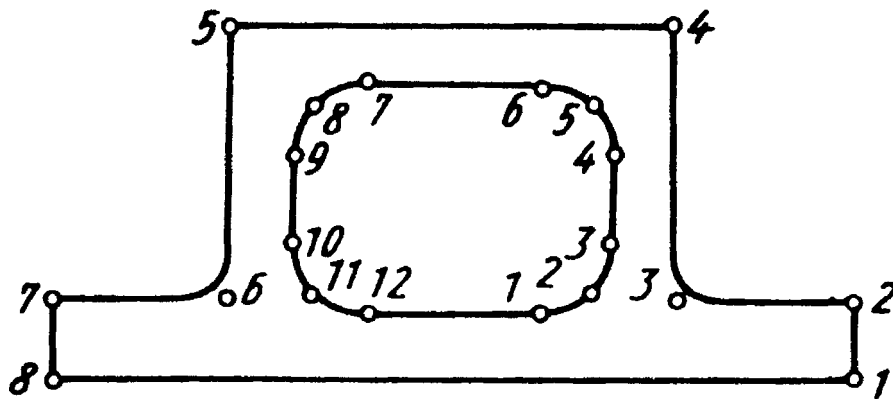


Рис. 16. Приблизне задання контура поперечного перерізу профілю множиною точок

Після цього вибирають напрямок нумерації вершин ( $i=1, 2, \dots, n$ ) – звичайно проти годинникової стрілки. Початок системи координат можна розташовувати довільно, але для визначеності вважають, наприклад, що вісь  $Y$  паралельна площині згинання й спрямована від центра кривизни профілю, що згинається. Для виконання подальших обчислювальних процедур, у тому числі чисельного інтегрування за площею поперечного перерізу, необхідно розбити переріз профілю на матеріальні шари однакової висоти  $\Delta H$  (рис. 17).

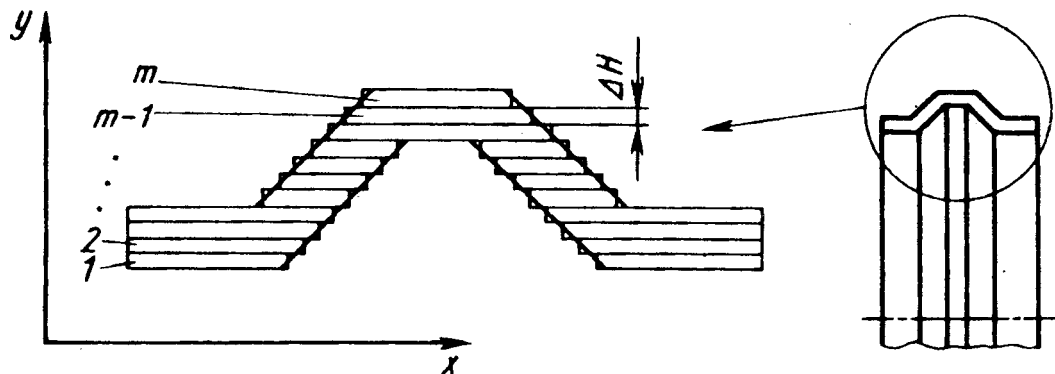


Рис. 17. Представлення поперечного перерізу профілю множиною матеріальних шарів (1, 2, ..., m)

Рекомендується число шарів  $m$  призначати в діапазоні від 50 до 200, що гарантує одержання результатів з прийнятною точністю. Матеріальний шар може складатися з однієї або декількох частин. Наприклад, на рис. 17  $m$ -й шар складається з однієї частини, а 1-й — з двох, поділених западиною профілю. Поперечні перерізи частин шарів для спрощення розрахунків замінюються прямокутниками. Бічні сторони прямокутників дорівнюють висоті  $\Delta H$ , вони збігаються з контуром поперечного перерізу або перетинають його в точках, крізь які проходить пересічна (середня) лінія прямокутників. Значення параметра  $\Delta H$  можна дістати із співвідношення:

$$\Delta H = \frac{y_{max} - y_{min}}{m},$$

де  $y_{max}$  і  $y_{min}$  — відповідно максимальна й мінімальна ординати контура поперечного перерізу профілю, які визначаються простим перебором вершин;  $m$  — число шарів.

Таким чином, поперечний переріз профілю перетворюється в множини прямокутників автоматично, для цього використовують рівняння прямих, які збігаються з пересічними лініями прямокутників:

$$y = y_j = y_{min} + (j - 0,5)\Delta H,$$

де  $j$  — номер шару в напрямку осі ординат.

Кожна пряма  $y = y_j$  має спільні точки з контуром поперечного перерізу. Число означених точок, які належать конкретній прямій  $y = y_j$ , рідко перевищує чотири, воно завжди парне. Їх визначають шляхом перевірки розташування кожної пари сусідніх вершин контура відносно пересічної лінії.

Якщо  $y_i > y_j > y_{i+1}$  або  $y_i < y_j < y_{i+1}$ , це означає, що  $i$ -та та  $(i+1)$ -ша вершини контура розташовуються з різних сторін від прямої  $y = y_j$ , і вона перетинає відрізок, що з'єднує вказані вершини.

Нескладний прийом дозволяє виключити збіг прямих  $y = y_j$  з вершинами контура поперечного перерізу профілю, а отже, й з відрізками контура, які паралельні осі  $X$ . Для цього значення ординат вершин контура округляють, наприклад, до 0,1 мм як при заданні, так і після перерахунку, якщо проводиться розворот поперечного перерізу відносно координатних осей. Округляють також значення  $y_j$ , а після цього збільшують на 0,01 мм.

При програмуванні задачі необхідно задати двовимірний масив. Нехай масив  $A$  має вимірність  $(m \times 10)$ . Розмір 10 дозволить з достатнім запа-



сом розмістити в пам'яті ЕОМ абсциси всіх точок перетинання контура поперечного перерізу профілю з прямими, що проходять через середини матеріальних шарів. Алгоритм формування цього масиву показаний на рис. 18, де  $x_{1,i}$ ,  $y_{1,i}$  — координати  $x$ ,  $y$  вершин зовнішнього контура поперечного перерізу профілю,  $n_1$  — кількість вершин. Параметри  $x_{2,i}$ ,  $y_{2,i}$ ,  $n_2$  аналогічним чином задають внутрішній контур порожнистих профілів. Різне позначення одних і тих самих координат прийняте тому, що вони входять у різні масиви. На спрощеній схемі циклічних обчислень (див. рис. 18) кожний цикл, включаючи його заголовок і всі процедури, що виконуються, обмежений рамкою. Кожний стовпчик масиву  $A_{j,l}$  ( $l = 1, 2, \dots, 10$ ) після формування підлягає упорядкуванню за зростанням так, що  $A_{j,l} \geq A_{j,l-1}$  для кожного  $j$ -го рядка. Незаповнені значеннями абсцис точок контура елементи масиву  $A$  дорівнюють нулю.

У результаті обчислень, проведених за викладеною методикою, поперечний переріз профілю, заданий координатами вершин, виявляється перетвореним до дискретного вигляду — множини прямокутників надто малої висоти  $\Delta H$ . Абсциси крайніх точок пересічних ліній прямокутників зведені в упорядкований масив  $A_{m,10}$ . Ширина прямокутників на відміну від висоти може бути різною і становить  $A_{j,2} - A_{j,1}$ ,  $A_{j,4} - A_{j,3}$  і т. д. Загальна ширина всіх прямокутників поперечного перерізу  $j$ -го матеріального шару в загальному випадку підраховується як різниця сум  $\sum A_{j,k}$  та  $\sum A_{j,k-1}$  з парними індексами  $k = 2, 4, \dots, 10$ . Дискретне представлення поперечного перерізу дає можливість розраховувати геометричні характеристики профілю за допомогою простих циклічних обчислень.

Площа  $j$ -го матеріального шару обчислюється за формулою:

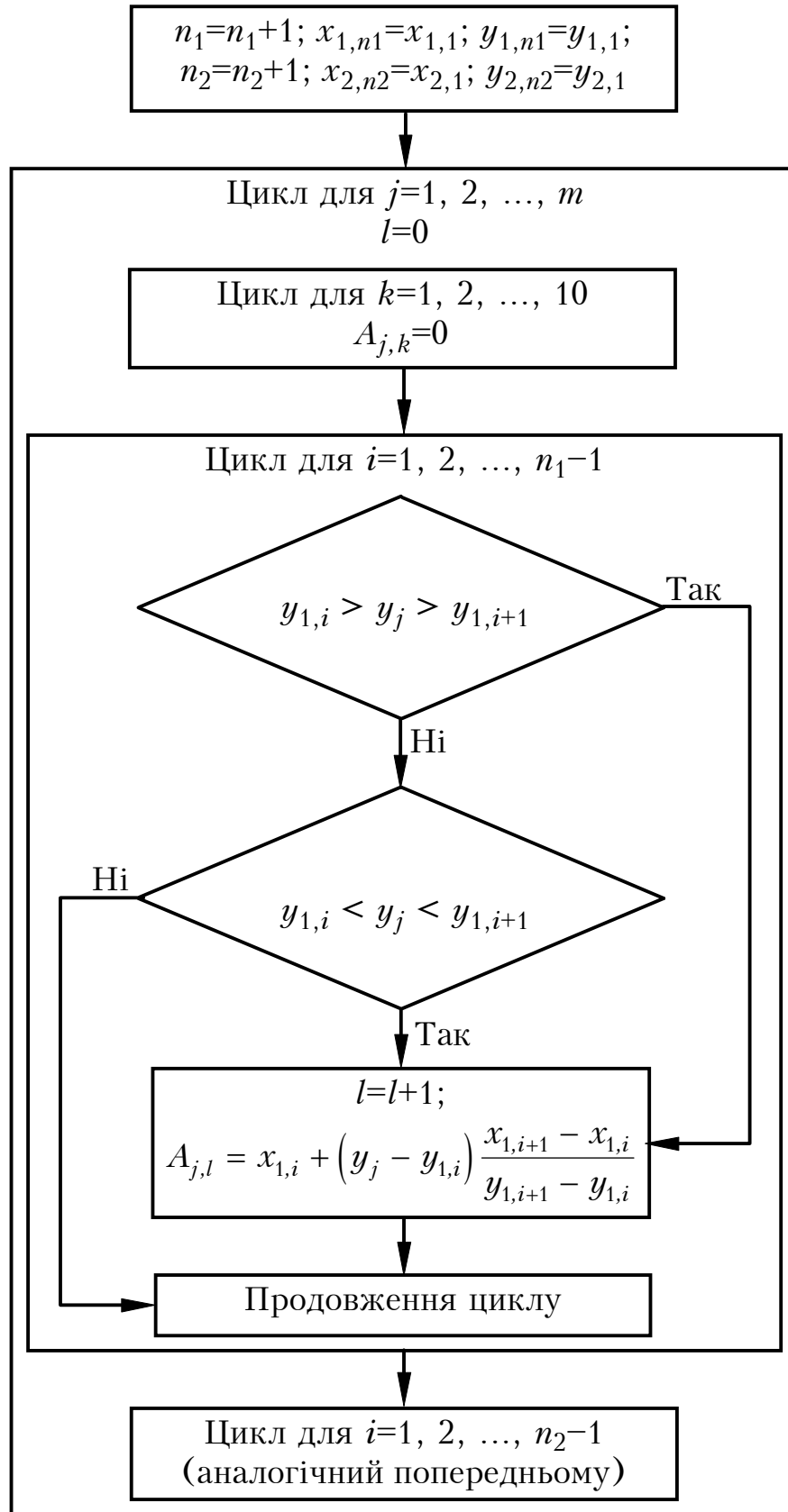
$$f_j = \Delta H \sum_{k=2}^{10} (A_{j,k} - A_{j,k-1}), \quad k = 2, 4, \dots, 10,$$

тоді загальна площа поперечного перерізу профілю дорівнює:

$$F = \sum_{j=1}^m f_j .$$

Далі послідовно обчислимо всі геометричні характеристики перерізу:  
— ордината центра ваги поперечного перерізу профілю:

$$y_0 = \frac{1}{F} \sum_{j=1}^m f_j y_j ;$$



**Рис. 18.** Алгоритм формування масиву абсцис точок перетинання контура з пересічними лініями матеріальних шарів

– абсциса центра ваги поперечного перерізу для  $j$ -го шару:

$$C_j = \frac{\Delta H}{2f_j} \sum_{k=2}^{10} (A_{j,k}^2 - A_{j,k-1}^2);$$

– абсциса центра ваги поперечного перерізу профілю:

$$x_0 = \frac{1}{F} \sum_{j=1}^m C_j f_j;$$

– власний момент інерції поперечного перерізу шару відносно прямої  $x=C_j$ :

$$I_j = \frac{\Delta H}{4} \sum_{k=2}^{10} \left[ \frac{(A_{j,k} - A_{j,k-1})^2}{3} + (A_{j,k} + A_{j,k-1} - 2C_j)^2 \right] (A_{j,k} - A_{j,k-1});$$

іншим власним моментом інерції нехтуємо, зважаючи на малу висоту шару  $\Delta H$ ;

– центральний момент інерції відносно координатної осі  $X=x-x_0$ :

$$I_X = \sum_{j=1}^m f_j (y_j - y_0)^2;$$

– центральний момент інерції відносно координатної осі  $Y=y-y_0$ :

$$I_Y = \sum_{j=1}^m \left[ I_j + f_j (C_j - x_0)^2 \right];$$

– центральний момент інерції поперечного перерізу профілю:

$$I_{XY} = \sum_{j=1}^m f_j (y_j - y_0) (C_j - x_0).$$

Таким чином, ми дістали геометричні характеристики поперечного перерізу профілю довільної форми, потрібні для розрахунків технологічних параметрів формоутворення.

## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

Вдовин С. И. Методы расчета и проектирования на ЭВМ процессов штамповки листовых и профильных заготовок. — М.: Машиностроение, 1988. — 160 с.

Вульф Б. Н., Ромадин К. П. Авиационное материаловедение. — М.: Машиностроение, 1967. — 350 с.

Горбунов М. Н. Технология заготовительно-штамповочных работ в производстве самолетов. — М.: Машиностроение, 1981. — 225 с.

Ермолюк М. З., Фейгин В. И. Производство профилей из алюминиевых сплавов. — М.: Машиностроение, 1972. — 142 с.

Курдюмов А. В., Пикунов М. В., Чурсин В. М. Литейное производство цветных и редких металлов. — М.: Металлургия, 1972 — 180 с.

Малинин Н. Н. Прикладная теория пластичности и ползучести. — М.: Машиностроение, 1975. — 399 с.

Малинин Н. Н. Технологические задачи пластичности и ползучести. — М.: Высш. шк., 1979. — 120 с.

Попилов Л. Я. Электрофизическая и электрохимическая обработка металлов. — М.: Машиностроение, 1973. — 436 с.

Попов Е. А. Основы теории листовой штамповки. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 1977. — 278 с.

Прогрессивные технологические процессы холодной штамповки / Под общ. ред. А. Г. Овчинникова. — М.: Машиностроение, 1985. — 184 с.

Промышленные деформируемые, спеченные и литейные алюминиевые сплавы / Под ред. Ф. И. Квасова, Н. Н. Фриндландера. — М.: Машиностроение, 1972. — 420 с.

Романовский В. П. Справочник по холодной штамповке. — Л.: Машиностроение, 1979. — 520 с.

Теория пластических деформаций металлов / Под общ. ред. Е. П. Ункова, А. Г. Овчинникова. — М.: Машиностроение, 1983. — 598 с.

Тетерин Г. П., Полухин П. И. Основы оптимизации и автоматизации проектирования технологических процессов горячей объемной штамповки. — М.: Машиностроение, 1979. — 284 с.

# ЗМІСТ

<b>Вступ</b> .....	3
<b>Розділ 1. Алюміній</b> .....	4
Характеристика алюмінієвих сплавів .....	4
Сплави алюмінію з магнієм (магналії) .....	6
Способи підвищення міцності напівфабрикатів із сплавів типу магналій .....	7
Конструкційні сплави типу дюралюмін (Д1, Д16, ВД17, Д19) .....	9
Високоміцні сплави алюмінію системи <i>Al-Mg-Zn-Cu</i> (В93, В95, В96) .....	10
Кувальні сплави АК6, АК6-1, АК8 .....	11
Високомодульні алюмінієво-берилієві сплави .....	12
<b>Розділ 2. Виготовлення профілів з алюмінієвих сплавів</b> .....	15
Профілі суцільного перерізу .....	16
Пресування з прямим витіканням металу .....	16
Пресування зі зворотним витіканням металу .....	17
Порожнисті профілі .....	19
Пресування трубним способом .....	19
Пресування через комбіновану матрицю .....	20
Профілі з закінцівками .....	21
Сортамент профілів .....	23
Методи виробництва оребрених панелей .....	23
Механічна обробка .....	23
Хімічне фрезерування .....	38
Контурна прокатка .....	39
Штапування .....	39
Пресування .....	41
Пресування панелей із суцільного круглого зливка .....	43
Пресування панелей із плоского контейнера .....	43
Пресування ребристих труб .....	44

<b>Розділ 3. Промислова технологія виробництва оребрених панелей великої ширини зі сплаву АМг6 .....</b>	<b>46</b>
Технологія пресування .....	46
Структура й властивості панелей .....	52
Промисловий сортамент пресованих панелей .....	53
<b>Розділ 4. Визначення геометричних характеристик поперечного перерізу профілю довільної форми .....</b>	<b>54</b>
<b>Список рекомендованої літератури .....</b>	<b>60</b>

Темплан 1999, поз. 99

Навчальне видання

Дмитро Іванович Шевчук  
Микола Миколайович Убизький  
Юрій Валентинович Ткачов

## **ВИРОБНИЦТВО ПРОФІЛІВ ІЗ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ**

Навчальний посібник

Редактор О.О. Кайдаш  
Техредактор Л.В. Куценко  
Коректор Л.В. Рожко

---

Підписано до друку 25.10.99. Формат 60×84/16. Папір друкарський.  
Друк плоский. Ум. друк. арк. 3,7. Обл. – вид. арк. 3,8.  
Тираж 100 пр. Зам. №1962.

---

Редакційно–видавничий відділ ДДУ, 320625, МСП,  
м. Дніпропетровськ–10, пр. Гагаріна, 72.  
Ротапринт ДДУ, 320060, м. Дніпропетровськ, вул. Козакова, 4б.