

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з дисциплін

"Складально-зварювальне оснащення" і
"Оснащення для наплавлення та напилення"
(частина 1)

для студентів спеціальності 131 "Прикладна механіка"
усіх форм навчання

2016

Конспект лекцій з дисциплін "Складально-зварювальне оснащення" і "Оснащення для наплавлення та напилення" (частина 1) для студентів спеціальності 131 "Прикладна механіка" усіх форм навчання / Укл.: Осіпов М.Ю., Капустян О.Є. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2016 – 66 с.

Укладачі:

Осіпов М.Ю., канд. техн. наук, доцент
Капустян О.Є., ст. викладач

Рецензент:

Куликовський Р.А., канд. техн. наук, доцент

Редактор:

Аверченко І.П., ст. лаб.

Відповідальний за випуск:

Осіпов М.Ю., канд. техн. наук, доцент

Затверджено
на засіданні кафедри ОТЗВ
Протокол №4 від 24.11.2016 р.

Рекомендовано
до видання НМК ІФФ
Протокол №4 від 12.12.2016 р.

ЗМІСТ

1	СКЛАД І ПРИЗНАЧЕННЯ МЕХАНІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЗВАРЮВАННЯ І НАПЛАВЛЕННЯ	4
1.1	Класифікація механічного зварювального устаткування.....	4
1.2	Компонування зварювальних установок з механічного та електротехнічного обладнання.....	6
2	СКЛАДАЛЬНІ ПРИСТРОЇ І ЇХ РОЗРАХУНОК	11
2.1	Електромагнітні стени для листових конструкцій.....	12
2.2	Механічні стени та кондуктори для листових і корпусних конструкцій.....	17
2.3	Механічні стени для балкових конструкцій.....	29
2.4	Складально-зварювальні комбайни.....	37
2.4.1	Згинально-зварювальні або вальцевзварювальні машини.....	37
2.4.2	Складально-зварювальні комбайни для виробництва балок ...	41
3	ВИЗНАЧЕННЯ РОЗРАХУНКОВИХ ЗУСИЛЬ В СКЛАДАЛЬНО-ЗВАРЮВАЛЬНИХ СТЕНДАХ І КОНДУКТОРАХ	42
3.1	Стени для листових конструкцій.....	43
3.2	Стени та кондуктори для балкових конструкцій	54
3.2.1	Розрахунок рівномірно розподілених сил притиску заготовок балки.....	56
3.2.2	Розрахунок зосереджених сил притиску заготовок балки	57
3.3	Складально-зварювальні комбайни.....	62
3.4	Особливості розрахунку складально-зварювальних пристроїв..	62
ЛІТЕРАТУРА	65

1 СКЛАД І ПРИЗНАЧЕННЯ МЕХАНІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЗВАРЮВАННЯ І НАПЛАВЛЕННЯ

За допомогою серійного зварювального устаткування важко (або навіть неможливо) здійснювати комплексну механізацію зварювального та наплавлювального виробництва. Для цього потрібно ще ряд пристроїв і механізмів, що виконують, як допоміжні операції зварювального процесу, так і деякі основні – складальні та зварювальні, тобто потрібно додаткове механічне обладнання для складання, зварювання та наплавлення.

1.1 Класифікація механічного зварювального устаткування

В основу наведеної нижче класифікації (табл. 1.1) покладено принцип функціонального призначення обладнання. За цієї головної ознакою механічне зварювальне обладнання розділене на три основні групи, кожна з яких охоплює кілька типів обладнання.

Група 1. Складальне обладнання призначене для фіксування і закріплення деталей, або її вузлів і забезпечення необхідної точності і якості зібраних виробів і виробів, що зварюються і наплавляються.

Залежно від функціонального призначення обладнання поділяється на власно складальне, в якому виробляються тільки складальні операції, і складально-зварювальне, в якому виробляються не тільки складальні, але і операції зварювання та наплавлення.

Обов'язковими елементами всіх складальних пристроїв є всілякі фіксатори і притискачі. До фіксаторів відносяться:

- упори (постійні, поворотні, відкидні, висувні і зйомні);
- установчі пальці (постійні, вставні і відкидні);
- призми (жорсткі і регульовані);
- шаблони.

До закріплюючих елементів відносяться:

- притискачі з ручним приводом (гвинтові, важільні, важільно-гвинтові, ексцентрикові);

- притискачі з механізованим приводом (пневматичні, гідравлічні і магнітні).

Таблиця 1.1 – Класифікація механічного зварювального устаткування

Група	Функціональне призначення	Тип обладнання
1	Збирання зварних конструкцій і виробів (листових, корпусних, балкових і ін.)	А. Найпростіші переносні складальні пристосування: струбцини, домкрати, універсальні зварювальні пристосування (УСП) і ін. Б. Неповоротні складальні стенди та кондуктори. В. Неповоротні складально-зварювальні кондуктори та стенди. Г. Поворотні складально-зварювальні кондуктори. Д. Збирально-зварювальні комбайни.
2	Установка, поворот і обертання виробів, що зварюються	А. Неповоротні пристрої: стелажі, плити, столи. Б. Кантувачі та позиціонери. В. Зварювальні обертачі і маніпулятори. Г. Роликові стенди. Д. Поворотні столи. Е. Автооператор (маніпулятори для допоміжних робіт, автоматичні багатокординатні механізми)
3	Установка і переміщення зварювальних апаратів (головок та ін.)	А. Несучі підйомно-поворотні колони. Б. Зварювальні візки. В. Спеціальні пристрої для переміщення зварювальної головки: каретки, багатокординатні супорти, контурні, копірні і т. д.

У сучасному механізованому зварювальному виробництві ці затискні пристрої (по табл. 1.1 – група 1, тип А) рідко застосовуються у вигляді окремих, автономно діючих пристосувань. У переважній більшості представники цієї групи устаткування є складовими елементами більш складних комплексних складальних або складально-зварювальних пристроїв і кондукторів.

Група 2. Обладнання, призначене для установки і повороту виробів, що зварюються і наплавляються, об'єднує шість типів, з яких тип А представляють найпростіші неповоротні пристрої у вигляді стелажів, плит, столів та ін. Ці неповоротні пристрої призначені для укладання виробів при складанні, зварюванні, наплавленні, обробці або виправленні. Більш складні поворотні пристрої призначені не тільки для первинної установки деталей що зварюються, але і для їх оперативних поворотів при складанні, зварюванні, наплавленні, обробці, контролі і випробуваннях. Це обладнання розділене за призначенням на маніпулятори, позиціонери, кантувачі, обертачі, роликові стени і поворотні столи.

Група 3. Обладнання, призначене для закріплення і переміщення виконавчого органу зварювальної установки – зварювальної головки або апарату. При цьому переміщення може здійснюватися як з настановної – маршової швидкістю, так і з робочої – зварювальної.

Устаткування цієї групи розділено на три типи залежно від конструкції несучого пристрою і ступеня його універсальності. Типи А і Б об'єднують механічні пристрої універсального призначення, тип В – спеціалізовані пристрої для переміщення зварювальних головок.

1.2 Компонування зварювальних установок з механічного та електротехнічного обладнання

Універсальні зварювальні установки в більшості випадків являють собою комплектування з типового механічного обладнання [1, (табл. 2)] і серійної зварювальної апаратури. Такий метод побудови універсальних, а іноді і спеціалізованих установок найбільш ефективний, оскільки дозволяє різко скоротити терміни проектування і впровадження автоматичного зварювання і наплавлення та зменшити вартість обладнання. Саме для цієї мети, тобто для створення механізованих зварювальних установок методом агрегаткування, і призначене типове механічне зварювальне обладнання.

Для ілюстрації доцільності такого агрегатного комплектування і їх варіаційних можливостей нижче наведені деякі компоновки з окремих пристроїв для електродугового автоматичного зварювання і комплексних зварювальних установок (рис. 1.1).

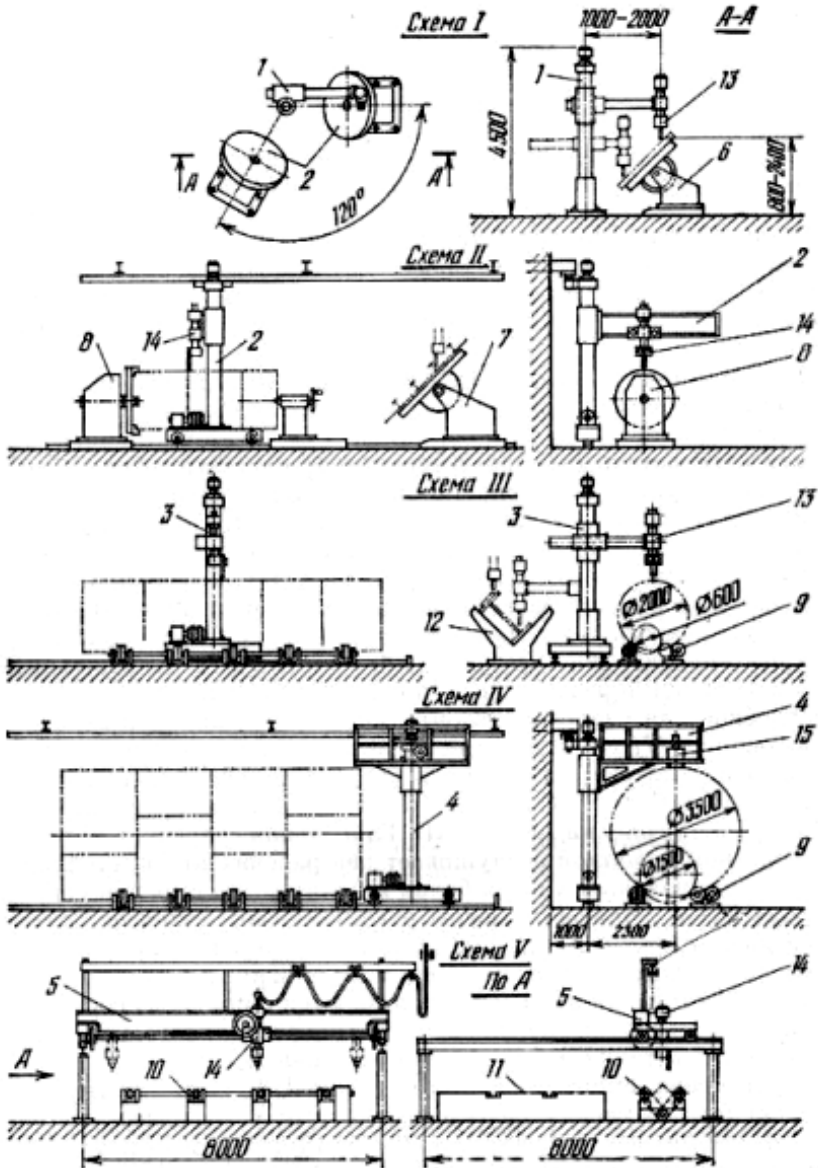


Рисунок 1.1 – Схеми установок для зварювання та наплавлення, скомпонованих з типового механічного та електротехнічного зварювального обладнання

Досить мати декілька типів уніфікованих вузлів, щоб з них можна було скомпонувати багато досить складних зварювальних пристроїв різного призначення, зокрема майже всі механічні пристрої, що несуть на собі зварювальну апаратуру – колони, візки та ін. Кожен з цих пристроїв містить від 6 до 8 уніфікованих вузлів і механізмів. Отже, за відсутності уніфікації для монтажу цих пристроїв замість 11 типів вузлів знадобилося б 87 [1, (табл. 3)]. Такий звичайний ефект агрегування з уніфікованих механізмів і вузлів.

У табл. 1.2 наведено структурний склад установок з рис. 1.1.

Таблиця 1.2 – Компонування установок з типового механічного та електротехнічного зварювального обладнання

Вид обладнання	№ обладнання (по рис. 1.1)	Типове обладнання, що використовується	Кількість обладнання в схемі установок					
			I	II	III	IV	V	Всього
Що несе зварювальну апаратуру	1	Поворотна колона	1	-	-	-	-	1
	2	Велосипедний візок	-	1	-	-	-	1
	3	Глагольний візок	-	-	1	-	-	1
	4	Веловізок з балконом	-	-	-	1	-	1
	5	Катуча балка	-	-	-	-	1	1
Що несе зварювані вироби	6	Маніпулятор	2	-	-	-	-	2
	7	Позиціонер	-	1	-	-	-	1
	8	Кантувач	-	1	-	-	-	1
	9	Роликовий стенд	-	-	1	1	-	2
	10	Ланцюговий кантувач	-	-	-	-	1	1
	11	Електромагнітний стенд	-	-	-	-	1	1
	12	Кутові стелажі	-	-	1	-	-	1
Апаратура для зварювання та наплавлення	13	Підвісна зварювальна головка	1	-	1	-	-	2
	14	Самохідний зварювальний автомат типу А-1416	-	1	-	-	1	2
	15	Зварювальний трактор	-	-	-	1	-	1
Всього:			4	4	4	3	4	19

Число сполучень з різного роду механічних пристроїв і зварювальної апаратури настільки велике, що уявити їх повний

перелік не представляється можливим, і тому обмежимося описом лише п'яти типових прикладів (*схеми I - V*).

Установка (*схема I*) скомпонована з двох типових маніпуляторів і поворотної колони з підвісною зварювальною головою, являє собою карусельний зварювальний верстат. Призначена для дугового автоматичного зварювання або наплавлення кругових швів в різних виробках, переважно тіл обертання (зубчастих і інших коліс, барабанів, складових кілець, корпусів редукторів, інших машинних деталей). Два маніпулятора – для почергової роботи на них по човниковій системі: поки на одному зварюється виріб, на іншому в цей час проводиться укладання або складання наступного виробу. Поворотом колони до заданих упорів-фіксаторів зварювальна головка встановлюється над тим або іншим маніпулятором.

Універсальна установка (*схема II*) призначена для автоматичного зварювання і наплавлення прямолінійних швів у всіляких зварних конструкціях рамного і корпусного типу. Якщо в цій установці замінити кантувач 8 на двостійковий обертач, то вона стає більш універсальною, так як додатково з'являється можливість зварювати не тільки прямі шви, але і кільцеві, а також наплавляти тіла обертання.

Завдяки застосуванню веловізка ВТ-2 з самохідним зварювальним автоматом, на установці можна зварювати як поздовжні шви (робочим рухом візка вздовж фронту установки), так і поперечні (рухом зварювального автомата по консолі веловізка).

Кантувач 8 і позиціонер 7 дають можливість легко і швидко встановлювати всі шви в найбільш зручне для зварювання і наплавлення горизонтальне положення, або "в човник".

Установка (*схема III*) змонтована з чотирьох елементів: роликового стенда Т-30 для зварювання котлів і барабанів, кутових стелажів 12 для зварювання балок, глагольного візка ГТ-1 і закріпленої на ньому зварювальної головки 13 типу А-1416. Глагольний зварювальний візок з поворотною колоною обслуговує два робочих місця: стелаж для зварювання поздовжніх швів балок і роликовий стенд для зварювання поздовжніх і кільцевих швів різних циліндричних судин діаметром від 600 до 2000 мм.

Поворотом колони на 180° головка встановлюється над тим або іншим робочим місцем. Точна її установка над швом проводиться за допомогою відповідних електроприводів підйому і горизонтального

переміщення штанги.

В установці, змонтованій за схемою III, кутові стелажі 12 можуть бути замінені більш досконалим пристроєм, наприклад, будь-яким механізованим кантувачем (двостояковим, ланцюговим або кільцевим).

Установка (*схема IV*) отримала широке поширення на заводах котлобудування і нафтоапаратури, а також на інших підприємствах, що виготовляють судини і котли діаметром до 3,5 м.

У комплекті установки замість трактора можливе застосування самохідного зварювального автомата (наприклад, А-1416), що рухається по рейках, закріпленим на фасадній стороні балкона.

Так як привід пересування балконного веловізка ВТ-3 не має зварювальних швидкостей, а має тільки установчу (маршову) швидкість, то зварювання чи наплавлення прямолінійних поздовжніх швів трактором або автоматом обмежена довжиною балкона (2,5 м).

Установка (*схема V*) призначена для автоматичного зварювання балок і листових конструкцій.

Установки з катучою балкою відрізняються від звичайних більш широкою універсальністю завдяки тому, що зона обслуговування зварювальним автоматом являє собою не одну якусь лінію або вузьку смугу цеху, а широку площу, описану рухом катучої балки. На цій площі можуть бути розташовані найрізноманітніші допоміжні і складальні пристрої, в тому числі і змінні, в залежності від поточної програми цеху та номенклатури зварних конструкцій.

Недоліки *схеми V*:

- діапазон зміни горизонтального рівня зварювання (положення швів, що зварюються по висоті) порівняно невеликий, так як він обмежується невеликим вертикальним ходом головки зварювального автомата;

- можна зварювати або наплавляти прямолінійні шви тільки одного напрямку – паралельно осі катучої балки.

Деякою перевагою, крім загальної універсальності, є доступність обслуговування зварювального автомата прямо з підлоги (не потрібно споруджувати спеціальні містки, підйомні кабіни і балкони для зварника).

У комплект зварювальних установок за *схемами I – V* входять також:

- джерела живлення установки;

- апаратура управління;
- система токопідводу;
- рейкові шляхи для зварювальних візків або катучої балки;
- фундаментні рами і несучі металоконструкції.

Зазвичай колії і фундаментні несучі конструкції виготовляються заводом-споживачем.

2 СКЛАДАЛЬНІ ПРИСТРОЇ І ЇХ РОЗРАХУНОК

Складальні пристрої за функціональним призначенням і характером виконуваних операцій можна розділити на три основні типи:

1. Складальні стенди та кондуктори, в яких виконується збірка виробів на прихватках з подальшою передачею зібраних виробів в інші пристрої для зварювання або наплавлення.

2. Складально-зварювальні кондуктори, в яких виконуються не тільки складальні, а й операції зварювання і наплавлення, в більшості випадків без попередньої постановки прихваток.

3. Складально-зварювальні кондуктори-кантувачі, в яких крім складальних і зварювальних (або наплавлювальних) операцій здійснюються також кантування виробів в зручне положення.

Таким чином, за ознакою функціонального призначення перший тип кондукторів характеризується виконанням робочих операцій лише однієї категорії – складальних, другий – виконанням операцій двох категорій – складальних і зварювальних, третій – виконанням операцій трьох категорій – складальних, зварювальних і кантовочних. Отже, по локальному рівню комплексної механізації робіт найнижче значення мають показники кондукторів першого типу, найвище – третього типу.

При проектуванні цих пристроїв, особливо якщо мова йде про суміщення декількох складально-зварювальних операцій, виникає ряд додаткових вимог і обмежень, що накладаються на конструкцію складального пристрою і в загальному випадку ускладнюють задачу проектування. До таких додаткових умов і обмежень можна віднести наступні:

- а) у разі суміщення операцій складання і зварювання в одному

кондукторі необхідно передбачити можливість наскрізного проходу зварювального автомата над швами, в зв'язку, з чим притиски не повинні перетинати лінії майбутніх автоматичних зварних швів;

б) для можливості автоматичного зварювання в кондуктора всіх швів в нижньому (горизонтальному) положенні повинні бути передбачені відповідні механізми нахилу кондуктора разом з виробом;

в) для зниження трудомісткості складальних операцій слід передбачити можливість складання виробу без постановки електроприхваток (відсутність прихваток, як правило, підвищує якість швів, виконаних АЗФ).

Складальні пристрої, виконані у виді різних стендів, кондукторів та окремих пристосувань, в більшості випадків спеціалізовані для випуску виробів будь-якого одного типу або типорозміру. Дуже мало із складальних кондукторів і стендів можуть бути віднесені до категорії універсальних. Наприклад, деякі електромагнітні стенди-плити для складання і зварювання листових конструкцій.

2.1 Електромагнітні стенди для листових конструкцій

Набули широкого поширення в судно-, вагоно-, резервобудуванні та інших галузях промисловості, де потрібно виготовляти плосколистові і панельні конструкції з поздовжніми і поперечними швами.

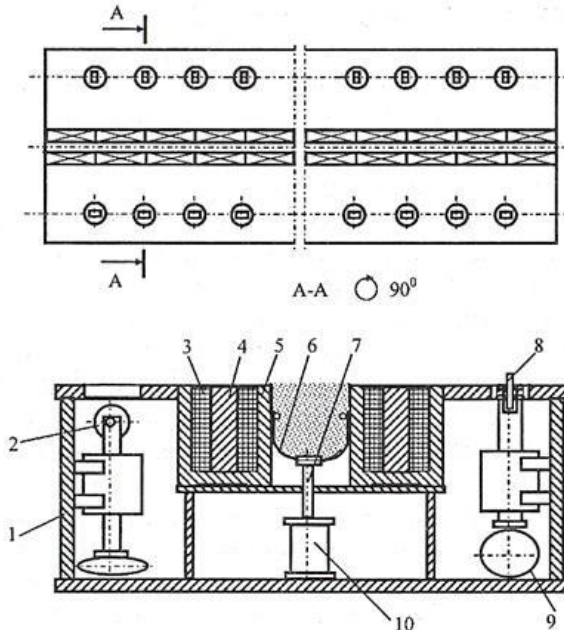
В ІЕЗ ім. Є.О. Патона розроблено електромагнітні стенди декількох типорозмірів (табл. 2.1) [1, табл. 6].

Принципова схема електромагнітного стенду представлена на рис. 2.1, загальний вид стенда Р-752 – на рис. 2.2, його поперечний розріз - на рис. 2.3.

Перед зварюванням листи укладаються на опорні ролики і виставляються так, щоб стики були розташовані по осях флюсоподушок. Після цього опорні ролики опускаються, включаються електромагніти, а потім підтискаються флюсоподушки. Після перевірки щільності притиснення листів до магнітів проводиться зварювання або наплавлення поверхні.

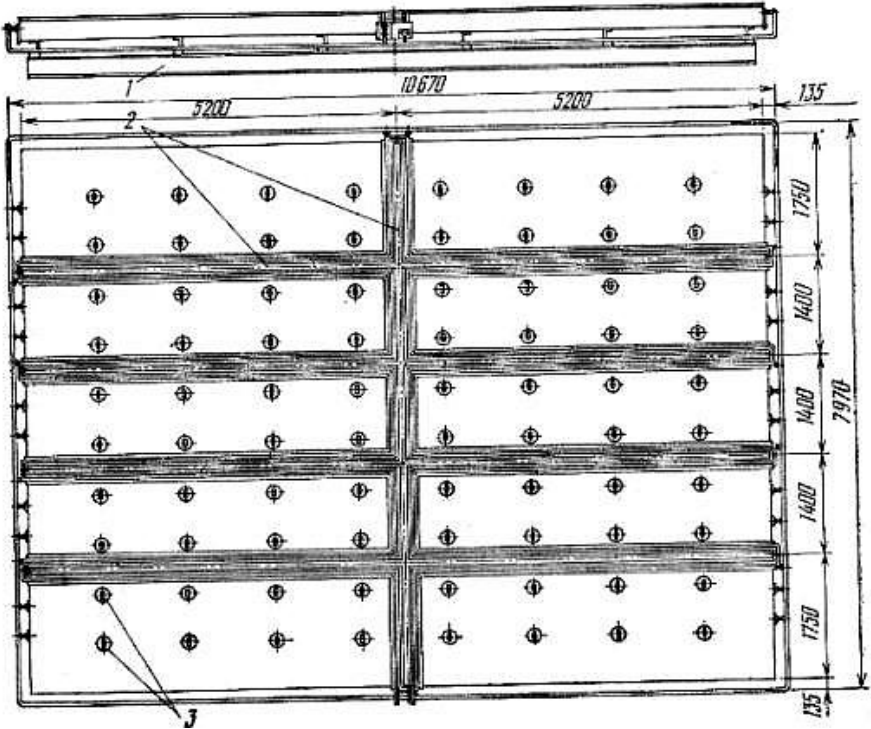
Таблиця 2.1 – Технічна характеристика електромагнітних стендів для складання і зварювання листових полотнищ

Найменування параметру	Марка стенду		
	P-624	P-625	P-752
Товщина зварювальних листів, мм	3-8	3-8	3-20
Кількість листів в полотнище, шт.	До 6	До 8	До 10
Розмір стенда, мм			
довжина	10460	10460	10670
ширина	4 860	6 390	7 970
висота	590	590	790
Сила притягання листів товщиною 5 мм на 1 пог. м стику (на обидві кромки), Н	До 40000	До 40000	До 40000
Потужність генератора живлення електромагнітів постійним струмом, кВт	27	33	
Маса стенду, кг	14300	19100	24000



1 – рама, 2, 8 – опорні ролики, 3 – котушка, 4 – сердечник, 5 – корпус,
6 – жолоб, 7 – шток, 9 – пневмошланг, 10 – пневмоциліндр

Рисунок 2.1 – Принципова схема електромагнітного стенду [2]



1 – фундаментна рама, 2 – флюсова подушка, 3 – опорні ролики

Рисунок 2.2 – Електромагнітний стенд Р-752 для складання і зварювання листових полотнищ [1]

Електромагніти мають подвійне призначення: по-перше, притягати і щільно притискати кромки листів, що стикаються, до складальної плити (точніше, до полюсів магнітів), а по-друге, сприймати реакцію від тиску флюсової подушки.

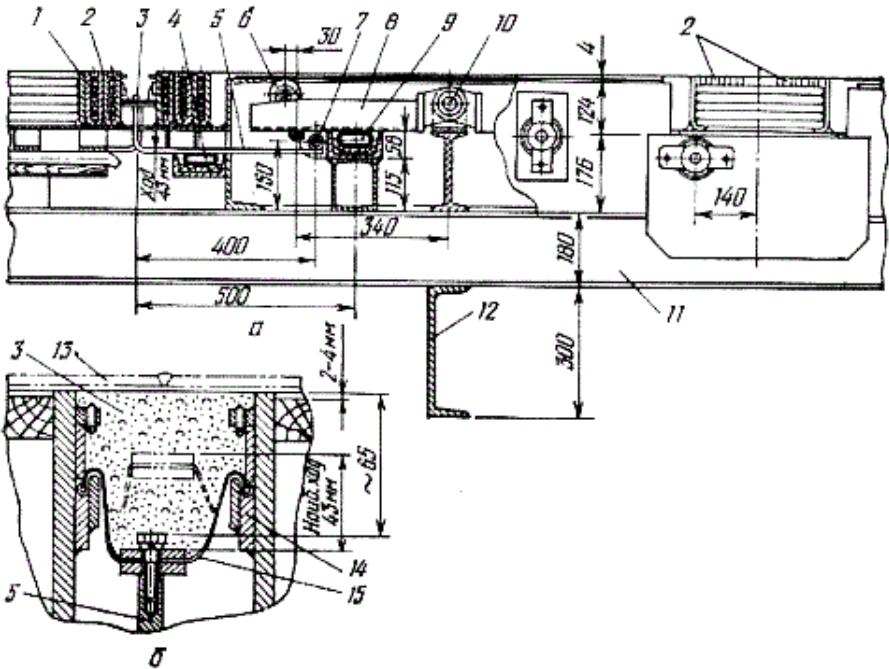
На електромагнітному стенді проводяться наступні операції:

а) збирання листів під зварювання без електроприхваток за допомогою електромагнітів 2 (рис. 2.3), вмонтованих в стендову плиту і розташованих уздовж крайок, що збираються. При включенні електромагнітів кромки листів щільно притискаються до плити із зусиллям до 2 т на 1 пог. м кромки;

б) притиснення флюсової або мідної підкладки знизу до крайок полотнищ для запобігання прожогів шва або протікання рідкого металу в зазор. Флюсоподушка 3 розташована між електромагнітами 2

і піджимається до крайок стику за допомогою пневмошлангу 4;

в) автоматичне зварювання всіх стиків за допомогою зварювального трактора, що рухається безпосередньо по зварюваному полотнищу, або за допомогою самохідного зварювального автомата, що рухається по катучий балці або порталу, розташованому над стендом.



- 1 – обмотка електромагніту, 2 – корпус магніту, 3 – флюсоподушка, 4 – пневмошланг підтиснення флюсоподушки, 5 – важіль, 6 – ролик, 7 – вісь важеля, 8 – важіль ролика, 9 – шланг підйому роликів, 10 – шарнір, 11 – рама стенда, 12 – фундаментні балки, 13 – полотнище що зварюється, 14 – кріплення флюсоподушки, 15 – дно флюсоподушки

Рисунок 2.3 – Електромагнітний стенд Р-752 в поперечному розрізі

Флюсоподушка піджимається до зварюваного полотнища пневмошлангом 4, діючим на ряд пластинчастих важелів 5, до яких прикріплено еластичне дно флюсоподушки 15.

Аналогічна система важелів, які перебувають під дією пневмошланга, застосована і для підйомного рольганга, яким

обладнаний стэнд. Кожен ролик 6, з яких набрано рольганг, закріплений на кінці важеля 8, що повертається навколо осі шарніра 10 під тиском пневмошланга 9. Цей шланг діє на довгий ряд важелів з роликками. Кілька таких рядів утворюють стэндовий рольганг для переміщення листів при складанні та транспортуванні полотнища після зварювання. Всі ролики поворотні самоустановлювальні (типу "гусячих шийок") і тому дозволяють переміщати листи в будь-якому напрямку.

Великою перевагою застосованої тут системи підтискання флюсоподушки і підйому рольганга є її простота і надійність дії. Застосування пневмошлангів (замість поршневих циліндрів) дозволило позбутися від численних пар, які труться, та вимагають мастила і ретельного догляду, що вельми складно в умовах неминучого їх засмічення флюсовим пилом. Система важелів з пневмошланговим приводом настільки проста за своєю конструкцією, що не вимагає ні кваліфікованого виготовлення, ні кваліфікованого догляду.

Недоліком описаного стэнду є його порівняно вузька спеціалізація, так як стэнд розрахований на збирання полотниць з листів тільки однієї, строго певної ширини 1400 мм. Тим часом, в переважній більшості випадків полотнища необхідно набирати з листів різної ширини, і відповідно до цього необхідно налаштувати стэнд на різні розміри листів і полотниць.

З цією метою створена серія більш універсальних стэндів. Універсальність досягається завдяки набору стаціонарних, знімних і пересувних елементів. Вони дають можливість налаштувати стэнд на ширину зібраних листів від 1100 до 1500 мм.

Суттєва перевага таких стэндів – зібрані для зварювання в полотнища листи відкриті зверху і доступні для будь-якого зварювального апарату. При цьому лінії зварних швів не перетинаються з притисками.

Недоліки:

- велика витрата електроенергії;
- обмежений розмір листів під зварювання;
- залежність сили притиснення листів до стэнду від їх товщини, величини зазору між листом і електромагнітом і від сили тиску флюсової подушки.

Чим більше зазор і менше товщина листа, тим менше сила

притиснення. При зварюванні тонких листів збільшення сили притиснення досягається за рахунок розміщення на них додаткових феромагнітних пластин. Однак така додаткова операція укладання пластин вкрай небажана і суперечить загальним тенденціям комплексної механізації складально-зварювальних робіт.

2.2 Механічні стенди та кондуктори для листових і корпусних конструкцій

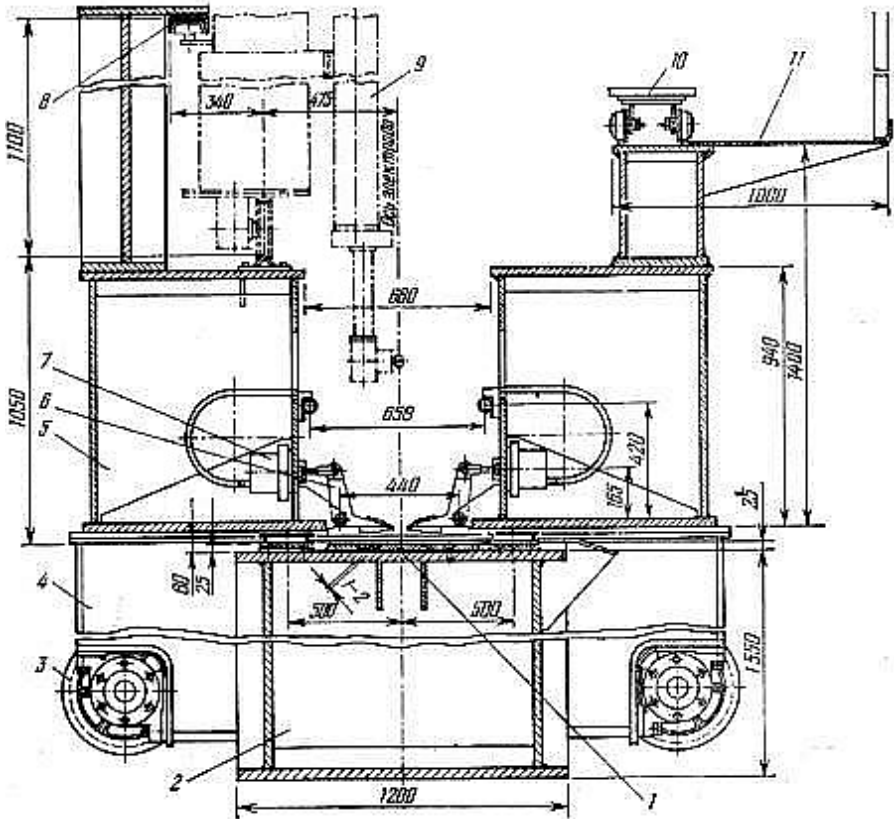
Якщо порівнювати різні системи складальних затискних пристроїв по стабільності і надійності їх дії, зокрема по стабільності створюваного ними притискного зусилля, то слід визнати, що механічні затискні пристрої в порівнянні з електромагнітними більш досконалі і надійні в експлуатації, так як в них зусилля притиснення не залежить ні від товщини зібраних листів, ні від щільності їх прилягання до стенду.

Одна з найбільш поширених конструкцій механічного затискного пристрою представлена на рис. 2.4. У таких пристроях листи притискаються до складальної плити клавішними важелями 6, що перебувають під дією силових пневмо- або гідроциліндрів 7.

Так як хід штоків силових циліндрів порівняно невеликий, то ці циліндри можна замінити більш простими діафрагмовими (мембранними) пневмокамерами (рис. 2.5). Приклад конструкції діафрагмової пневмокамери двосторонньої дії показано на рис. 2.6.

Однак слід мати на увазі відомий конструктивний недолік таких камер, що полягає в їх відносно великому діаметрі D (рис. 2.6) в порівнянні з діаметром еквівалентних пневмо- або гідроциліндрів. Це іноді не дозволяє розташовувати їх в один ряд на досить близькій відстані один від одного з необхідним кроком клавіш.

На рис. 2.7 представлена спрощена конструкція клавішного затискного пристрою, що відрізняється тим, що силові циліндри в ній замінені довгими прогумованими пневмошлангами, укладеними уздовж крайок що збираються. Основний шланг 2 створює робочий тиск на клавіші 7, а допоміжний 5 служить для повернення клавіш у вихідний, неробочий стан.



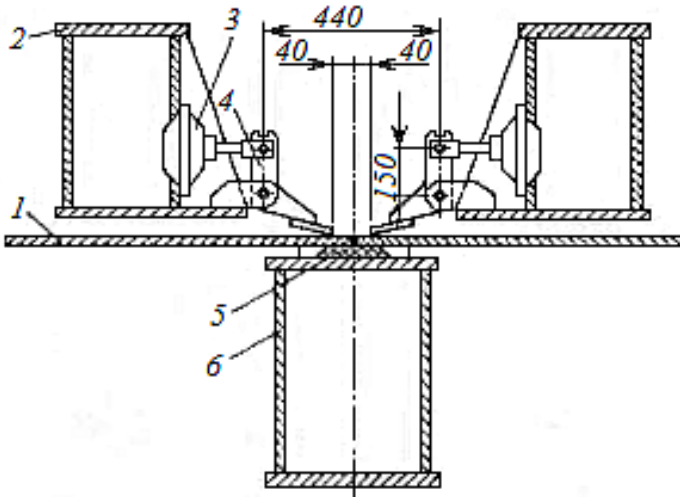
1 – мідна підкладка, 2 – нижня опорна балка, 3 – ходова частина механізму пересування, 4 – поперечна балка, 5 – верхня поздовжня балка, 6 – притисний важіль-клавш, 7 – пневмоциліндр, 8 – рейковий шлях для зварювального автомата, 9 – зварювальний автомат, 10 – каретка-сидіння для зварника, 11 – балкон обслуговування

Рисунок 2.4 – Пневмо-важільний пересувний затискний пристрій

Шланг повернення клавш може бути замінений рядом пружин, як це зроблено в пристрої, показаному на рис. 2.8.

У представлених затискних пристроях нижня опорна балка забезпечена мідною підкладкою, до якої туляться кромки листів, що з'єднуються. Призначення таких технологічних підкладок полягає в тому, щоб під час зварювання оберігти стиковий шов від прожогів і

протікання рідкого металу в зазор, а в окремих випадках (при односторонньому зварюванні) – щоб сформувати зворотний валик шва.



1 – зварювані листи, 2 – верхня несуча балка, 3 – діафрагмова пневмокамера, 4 – притискний важіль-клавіша, 5 – мідна підкладка, 6 – нижня опорна балка

Рисунок 2.5 – Клавішний притискач з діафрагмовими камерами

Замість мідної (або флюсомідної) підкладки в розглянутих стендах часто застосовують флюсові подушки (рис. 2.9), подібну до тих, що використовується в електромагнітних стендах. У силовому аспекті різниця між ними полягає в тому, що реакція від тиску флюсової подушки в електромагнітному стенді сприймається магнітами, розташованими знизу по обидва боки флюсоподушки, а в другому – верхніми клавішними притисками. У механічних пристроях з клавішними притисками тиск флюсової подушки не зменшує силу притиснення клавіш і не залежить від неї.

Флюсова подушка 7 (рис. 2.9) піджимається до стику пневмошлангом 1, який діє від мережі стисненого повітря через регулятор тиску. При зворотному (неробочому) ході з метою швидкого видалення стисненого повітря зі шланга і його сплющуванні, порожнину перемикають на всмоктування, для чого в комунікації пневмошлангу передбачається ежектор, що всмоктує, який діє від тієї ж мережі стисненого повітря. Подібні ежектори

застосовуються в звичайних флюсоапаратах всмокуючої дії.

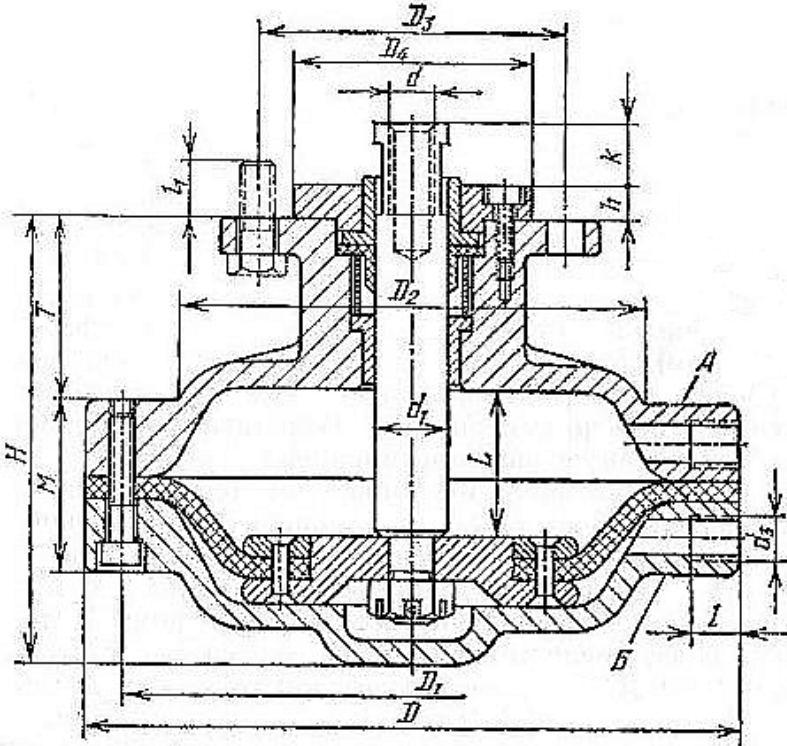
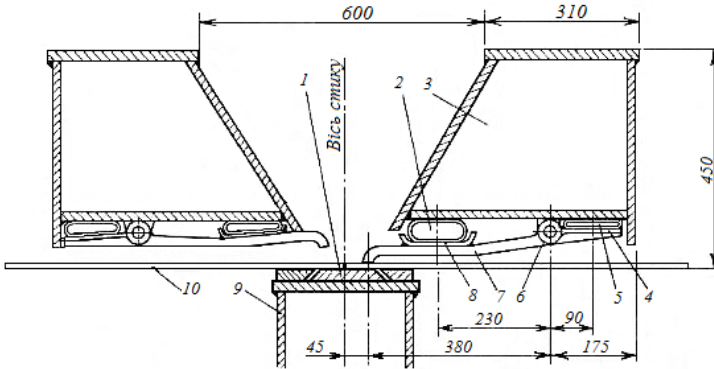


Рисунок 2.6 – Конструкція діафрагмової пневмокамери двосторонньої дії

У механізованих складальних стендах, подібних описаним вище, проводиться не тільки складання листових полотнищ, а й їх зварювання і наплавлення. Тому несуча конструкція таких стендів забезпечена рейковим шляхом для зварювального автомата, змонтованого паралельно осі стику, наприклад, на верхній балці клавішного затискного пристрою (рис. 2.4). Обладнаний таким чином стенд разом зі зварювальним автоматом і його джерелом живлення утворює складально-зварювальну установку.



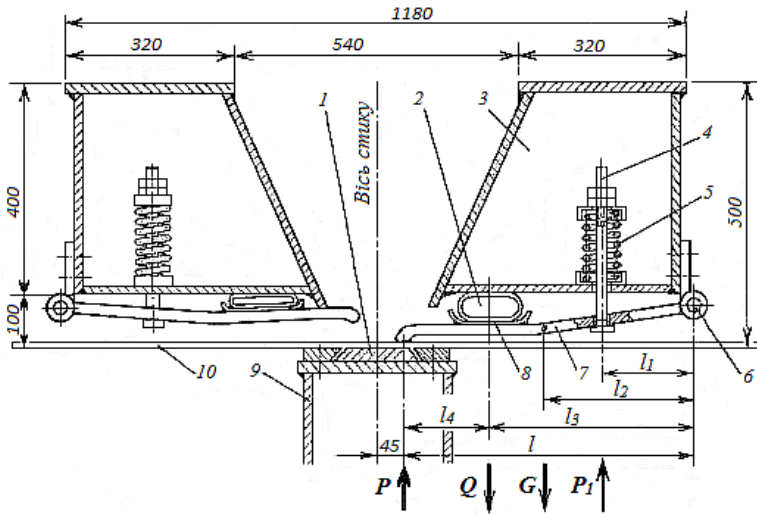
а

б

а – у відключеному стані, б – в робочому стані

1 – мідна підкладка, 2 – притисний шланг, 3 – верхня балка, 4 – підкладка для зворотного шлангу, 5 – шланг звороту, 6 – шарнір клавіші, 7 – притиска клавіша, 8 – підкладка для притисного шлангу, 9 – нижня опорна балка, 10 – листи для нанесення покриттів

Рисунок 2.7 – Клавішний притискач з пневмошланговим приводом



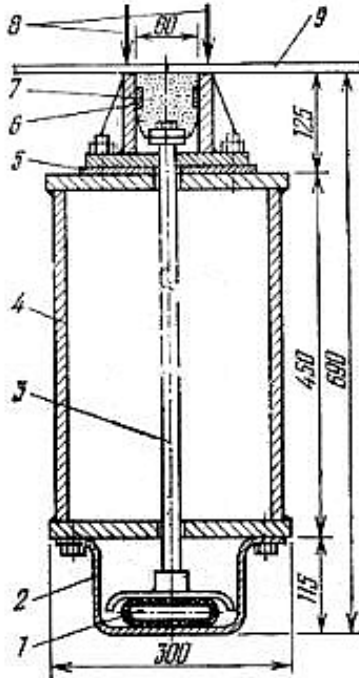
а

б

а – у відключеному стані, б – в робочому стані

1–3 та 6–10 – аналогічно рис. 2.7, 4 – натяжний болт, 5 – зворотна пружина

Рисунок 2.8 – Клавішний притискач зі зворотними пружинами



1 – пневмошланг, 2 – корпус пневмошлангу, 3 – штовхач, 4 – нижня опорна балка, 5 – регулювальна прокладка, 6 – корпус флюсової подушки, 7 – флюсова подушка з еластичним дном, 8 – верхні притиски, 9 – листи, що зварюються

Рисунок 2.9 – Флюсова подушка до затискних пристроїв, виконаних за рис. 2.4, 2.5, 2.7, 2.8.

Для складання поздовжніх стиків обичайок невеликого діаметра можуть застосовуватися складально-затискні пристрої, подібні до того, що представлено на рис. 2.10.

Їх призначення полягає в тому, щоб поєднати і з'єднати кромки стику, а також притиснути їх до технологічної мідної підкладки, яка захищає шов від прожогів або протікання рідкого металу всередину. На станині 1 затискного пристрою розміщені важільні притискачі 3, що знаходяться під дією пневмоциліндрів 2, і опорний ложемент 4, на який укладається обичайка, що підлягає зварюванню.

Прийнята тут система "ламких" важелів 3 дозволяє створити на притискачі 3 дуже великий тиск при порівняно малому зусиллі на штоку пневмоциліндра. В осьовому напрямку положення обичайки визначається торцевим упором 5. При подачі стисненого повітря в

циліндри притискачі з обох сторін обжимають обичайку по зовнішньому діаметру, поєднуючи при цьому кромки поздовжнього стику і притискаючи їх до технологічної підкладки.

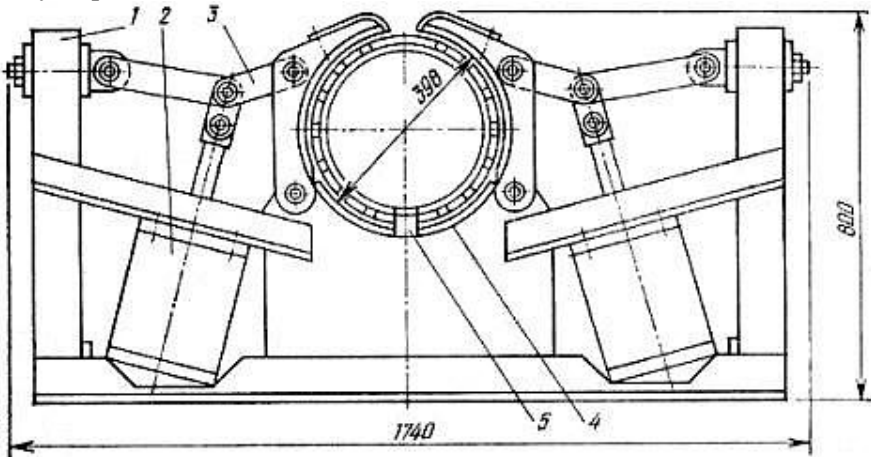


Рисунок 2.10 – Важільний затискний пристрій для складання і зварювання обичайок малого діаметра

У верстатах для складання і зварювання поздовжніх стиків обичайок з успіхом можуть застосовуватися клавішні затискні пристрої з пневмошланговим приводом. Один з таких пристроїв представлено на рис. 2.11. Позитивною рисою, що відрізняє його від описаного вище пристрою, є універсальність, яка виражається в тому, що він розрахований на порівняно широкий діапазон зібраних обичайок (діаметром 360-570 мм), в той час як пристрій, представлений на рис. 2.10, вузько спеціалізований для обичайок тільки одного діаметру (400 мм). Недоліком описуваного пристрою є відсутність в ньому пристосувань для бокового обтиску обичайки і зближення кромки (якщо ці операції потрібні за умовами збирання).

Пневмошлангові клавішні пристрої дуже прості по своїй конструкції, портативні і при порівняно невеликих розмірах можуть розвивати дуже великі зусилля на притискачах. Так, при тиску повітря в шлангу 5 ати зусилля притиснення в пристрої по рис. 2.11 досягає 20 кН на 1 пог. м кромки. Клавіші 7 в цьому пристрої виконані безшарнірними. Під тиском робочого шланга 2 вони повертаються навколо опорної точки на задній пластині 5, прикріпленою болтами до стінки несучої балки 3. Завдяки такій системі кріплення клавіш

вдалося уникнути численних шарнірів і пар, що труться, які, як правило, ускладнюють і здорожують конструкцію пристрою і вимагають до того ж мастила і уважного догляду в умовах неминучого засмічення флюсовим пилом, кіптявою, парами або газами, що конденсуються та ін. Обидва шланга змонтовані всередині несучої порожнистої балки 3, що забезпечує їх непошкодженість і в той же час дозволяє оформити всю конструкцію в закритому виконанні.

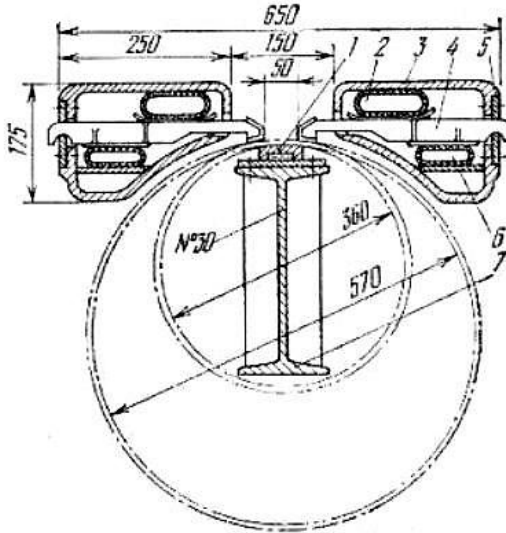


Рисунок 2.11 – Клавійний затискний пристрій для складання і зварювання поздовжніх швів обичайок

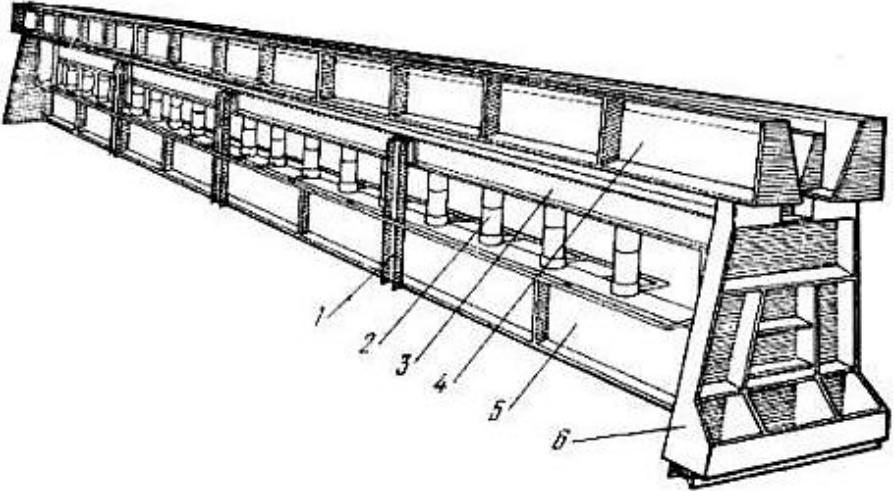
У розглянутих затискних пристроях не виключена можливість і доцільність застосування флюсової подушки замість мідної підкладки.

Клавійну систему складально-затискного пристрою з частим розташуванням клавій рекомендується застосовувати для притиснення порівняно гнучких елементів (схильних до хвилястості).

Якщо потрібно притиснути будь-який жорсткий елемент до іншого жорсткого елементу або до складальної плити, то застосування клавійної системи затискного пристрою з її порівняно частим розташуванням притисків і великою кількістю шарнірів недоцільно. Наприклад, для притиснення жорсткого двотавру до стенду досить мати лише кілька рідко розставлених притисків, можливо, навіть тільки по кінцях і посередині двотаврової балки.

Для складання і зварювання листів порівняно великої товщини

(10-20 мм) також може виявитися більш ефективною і вигідною конструкція бесклавішного затискного пристрою (рис. 2.12).



1 – напрямні стояки, 2 – гідроциліндри, 3 – нижня затискна балка, 4 – верхня опорна балка, 5 – фундаментна балка, 6 – кінцеві стояки

Рисунок 2.12 – Бесклавішний затискний пристрій для листових полотниць

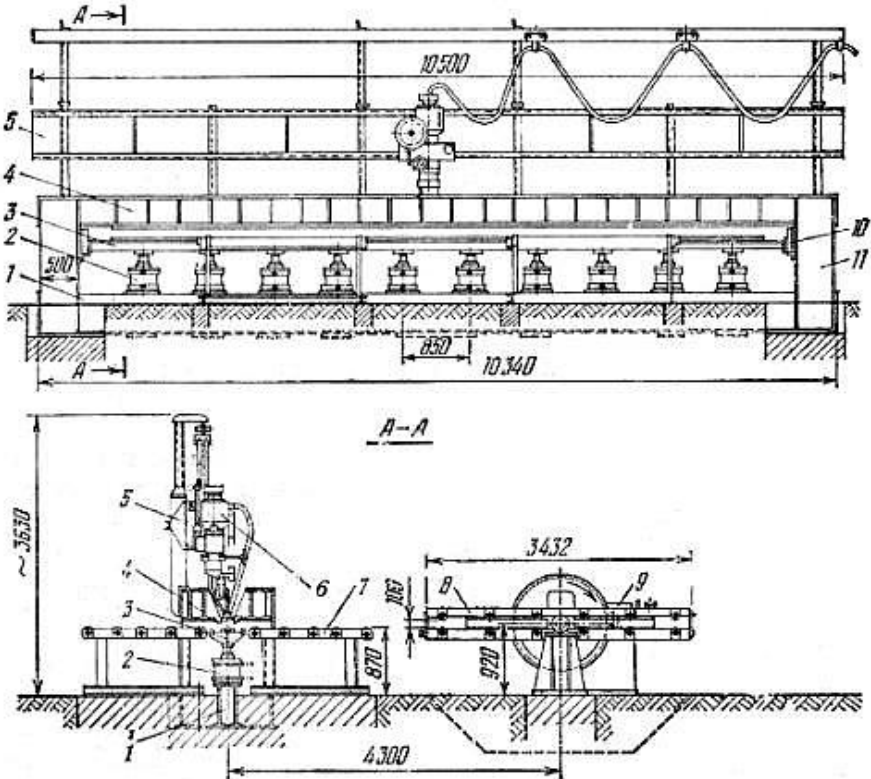
Так як верхні і нижня опорні балки пов'язані між собою кінцевими стояками, то всі зусилля затиснення листів (зусилля гідроциліндрів) є для даної системи внутрішніми силами, що замикаються в самій системі і не передаються на основний фундамент затискного пристрою. Завдяки цьому фундамент розвантажений від зусиль затиснення і сприймає тільки власну вагу пристрою.

На аналогічному принципі побудована конструкція затискного пристрою в автозварювальній установці Р-678 (рис. 2.13).

Установка забезпечена транспортним рольгангом 7 і кантувачем касетного типу 8 з електроприводом 9 для його обертання навколо горизонтальної осі. За допомогою цього кантувача полотнище з двох або трьох листів, що зварене з одного боку, можна перевернути на 180° і знову подати його по рольгангу в затискний пристрій для зварювання швів із зворотного боку.

На рис. 2.14 представлена конструкція бесклавішного жорсткого пристрою для затиснення і зварювання стиків обичайок діаметром 350-1000 мм, довжиною до 1500 мм і товщиною стінки до 10 мм, а

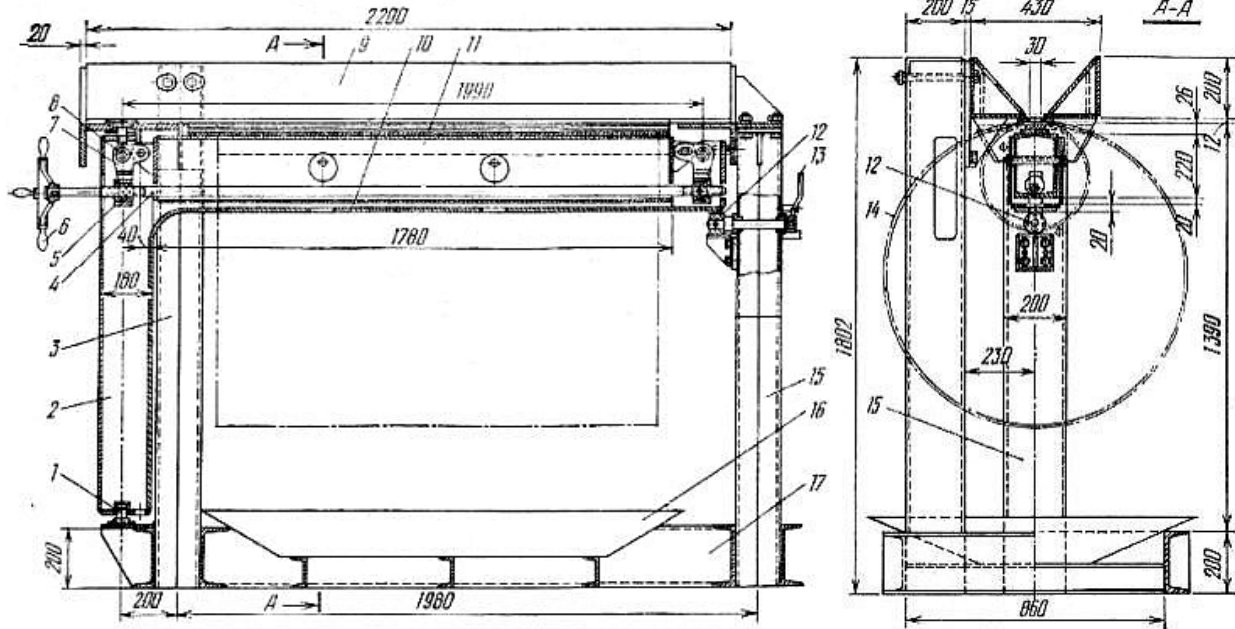
також для складання і зварювання стиків плоских листів шириною до 1500 мм. В останньому випадку пристрій забезпечується відповідним стелажем-рольгангом.



- 1 – фундаментна балка, 2 – пневмоциліндри, 3 – нижня балка, 4 – верхні балки,
 5 – рейковий шлях для зварювального автомата, 6 – зварювальний автомат,
 7 – рольганг, 8 – кантувач касетного типу, 9 – електропривід кантувача,
 10 – кінцеві напрямні, 11 – стояки

Рисунок 2.13 – Автозварювальна установка з безклавішним затискним пристроєм

Пристрій складається з двох основних частин: стаціонарної частини з верхніми контрбалками 9 і поворотної частини 10 з підйомною балкою 11 і механізмом затискання 4-7. Поворотна частина являє собою колону 2 з горизонтальною консоллю 10, всередині якої підвішена підйомна балка 11. Остання забезпечена технологічної підкладкою, мідної або флюсомідною.



1 – колонка, 2 – поворотна колонка, 3 – колонка, 4 – гвинт, 5 – гайки з лівим і правим різьбленням, 6 – маховик, 7 – важелі, 8 – нерухомі осі, 9 – верхні контрбалки, 10 – поворотна частина, 11 – підйомна балка, 12 – поворотна опора, 13 – рукоятка, 14 – обичайка, 15 – колонка, 16 – піддон-флюсозбірник, 17 – фундаментна рама

Рисунок 2.14 – Безклавішний затискний пристрій для обичайок і листових секцій

Дія затискного пристрою відбувається наступним чином. Для закладки обичайки консоль повертається навколо осі колонки 1 на кут 30-90 °. Обичайка нанизується на цю консоль, після чого повисає на підйомно-поворотній балці 11, спираючись на мідну підкладку. Потім зворотним поворотом балки консоль повертається в робоче положення (рис. 2.14). За допомогою рукоятки 13 вільний кінець консолі підпирається поворотною опорою 12, яка представляє собою ексцентриковий кулачок.

Обертанням маховичка підйомного механізму 6 балка 11 разом з обичайкою підводиться і щільно піджимається до верхніх контрбалок 9, після чого виріб готовий до зварювання.

Механізм підйому балки і затиснення обичайки діє таким чином. При обертанні маховичком гвинта 4, забезпеченого правої і лівої нарізкою по кінцях, обидві гайки 5 зближуються, повертають важелі 7 навколо нерухомих осей 8 і піднімають балку 11, підвішену на цих важелях. Самоустановлювання цієї балки і рівномірність її притиснення по довжині забезпечується завдяки тому, що гвинт 4 має свободу осьового переміщення – плаває.

Відмінною особливістю жорстких затискних пристроїв з самогальмуючим механізмом затискання (гвинтовим або клиновим) є те, що в них не потрібно створювати початкове зусилля затиснення, рівне максимально можливому при виникненні зварювальних деформацій. Достатньо лише забезпечити первинне щільне прилягання сполучених деталей. Однак конструкція затискного пристрою, безумовно, повинна бути розрахована на міцність під дією цих максимальних зусиль, що виникають в процесі зварювання і охолодження швів.

Методи визначення необхідних зусиль на притискачі і розрахунок затискних пристроїв на міцність розглянемо пізніше.

Відомим недоліком описаних вище механічних затискних пристроїв в порівнянні з електромагнітними стендами є деяка захаращеність верхньої, робочої зони зварювання, що утрудняє обслуговування зварювального автомата і спостереження за процесом зварювання.

2.3 Механічні стени для балкових конструкцій

Існують два, принципово різних, способи механізованого виробництва зварних балок і, відповідно, два види складально-зварювального устаткування:

а) спосіб поштучного виготовлення балок за допомогою механізованих складально-зварювальних стендів і кондукторів періодичної дії;

б) спосіб поточного виробництва балок з рулонної смугової сталі за допомогою валкових складально-зварювальних станів безперервної дії (так званих зварювальних комбайнів).

Валкові стани – комбайни, як правило, значно складніші звичайних механізованих стендів, як за своєю конструкцією, так і за експлуатацією. Тому вони виправдовують себе лише на заводах серійного і масового виробництва балок.

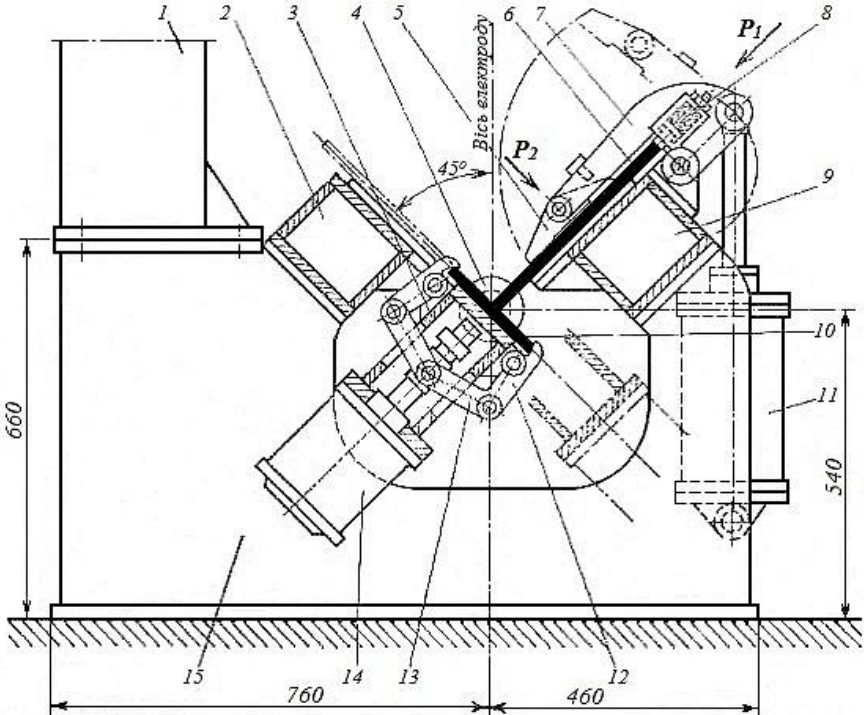
Для поштучного механізованого збирання-зварювання профільних балок застосовуються найрізноманітніші конструкції складально-зварювальних стендів і кондукторів. Як типовий приклад розглянемо одну з них, призначену для складання і зварювання в кондукторі таврових балок довжиною до 6 м (рис. 2.15).

Тут вироби збираються без прихоплень, зварювання автоматичне під шаром флюсу в самому складальному кондукторі з поворотом зварюваної балки на 90° для можливості зварювання "в човник".

Дія складально-зварювального кондуктора відбувається в наступному порядку. На опорні планки поворотної балки 3 вкладається поясний лист 10 зібраного тавра і затискається кліщовими захопленнями 12. Останні приводяться в дію пневмо циліндрами 14 через систему "ламких" важелів 13, яка забезпечує синхронність зближення кліщів і, отже, точне центрування пояса щодо осі тавра, що збирається. Робоча поверхня кліщів загартована і шліфувана, скошена під деяким кутом, завдяки чому забезпечується не тільки бічне затискання пояса, але і притиснення його до опорної балки кондуктора 3.

Після центрування і первинного затиснення пояса балки, що збирається в кондуктор укладається її стінка 6 і притискається одночасно до поясу і бічної опорної балки кондуктора 9 поворотними

важелями 7 подвійної дії.



1 – колона з рейковим шляхом для зварювального автомата, 2, 9 – опорні балки кондуктора, 3 – кондуктор-катувач, 4 – вісь повороту катувача, 5 – шарнірний балансір, 6 – стінка балки, 7 – поворотний важіль подвійної дії, 8 – регульована пружина, 10 – поясний лист балки, 11 – хитний гідроциліндр, 12 – кліщі захвату, 13 – "ламкий" важіль, 14 – пневмоциліндр, 15 – станина

Рисунок 2.15 - Кондуктор-катувач для складання і зварювання таврових балок

Незважаючи на гадану статичну невизначеність такого подвійного притиснення, спеціальна конструкція важеля забезпечує дозований розподіл зусилля затиснення між двома точками його прикладення: тиск P_1 на верхню кромку листа через пружини 8 для щільного притиснення стінки до поясу тавра і тиск P_2 на бічну площину стіни через балансір 5 для притиснення її до опорної балки кондуктора 9. Наявність регульованих пружин 8 дозволяє регулювати величину зусилля притиснення стінки до поясу P_1 .

Можна отримати аналогічний ефект дозованого розподілу

зусилля, якщо пружини в важелі розташувати немає над кромкою листа (під силою P_1), а на кінці важеля (під силою P_2).

У розглянутій конструкції кожен важіль 7 забезпечений двома пружинними склянками 8, розташованими по обидва боки корпусу важеля. Для правильної фіксації стінки і щільного притиснення її до площини опорної балки важіль 9 на своєму кінці забезпечений шарнірним балансиrom 5, який розподіляє зусилля P_1 порівну на дві точки – по $0,5P_2$.

Важіль повертається і притискається до стінки тавра за допомогою хитного гідроциліндра 11.

На цьому закінчується власне збірка таврової балки і починається зварювання першого шва «в човник» зварювальним автоматом. Після закінчення зварювання першого шва верхні притиски важелі 7 відкидаються за допомогою гідроциліндрів 11, звільняючи, таким чином, стінку тавра від затиснення. Потім опорна балка кондуктора-кантувача 3 разом із закріпленням виробом повертається на 90° навколо осі 4, і зварювальна балка встановлюється в положення «човник» для зварювання другого шва, спираючись при цьому на ліву балку кондуктора 2. Після зварювання другого шва готова таврова балка повністю звільняється від затискачів і видаляється з кондуктора.

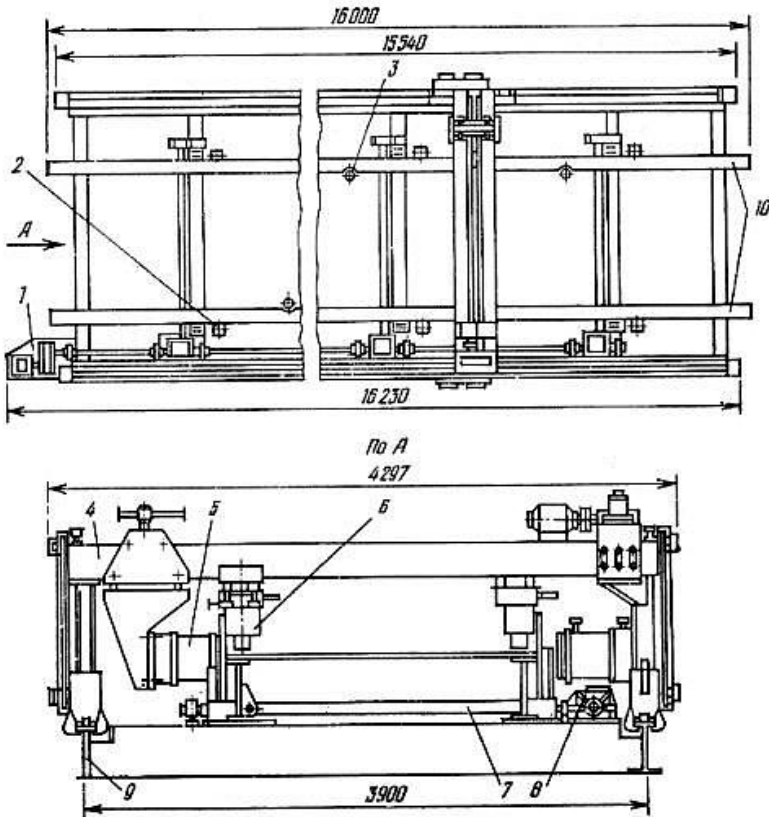
Вісь повороту кантувача 4 розташована так, що лінія зварювання швів не змінює свого геометричного положення при повороті. Завдяки цьому при переході від першого шва до другого не потрібно перестановки зварювальної головки, що істотно скорочує допоміжні настановні операції і, крім того, дозволяє використовувати для автоматичного зварювання простий серійний зварювальний автомат типу А-1416.

Одна з поширених складальних установок для збірки двотаврових балок представлена на рис. 2.16.

Установка призначена для збирання на прихопленнях двотаврових балок довжиною до 15 м, висотою 460-2000 мм, шириною пояса до 600 мм і товщиною пояса до 50 мм.

Установка складається з двох основних частин: стаціонарного стелаж-стенду, на якому укладаються і збираються елементи балки, і пересувного порталу з пневмоприжимом для збирання двотавру. Стенд складається з фундаментної рами 9 і двох поздовжніх балок 10, які є опорою для стінки двотавру, що збирається.

Одна з опорних балок може пересуватися по рамі паралельно самій собі і встановлюватися відповідно до висоти збирається двотаврової балки. Пересування опорної балки проводиться декількома горизонтальними гвинтами 7, які приводяться в обертання електродвигуном через редуктор 1, поздовжній вал і конічні передачі 8. Автомобільний складальний портал забезпечений двома вертикальними пневмоприжимами 6 для притиснення пояса двотавру до опорних балок 10 і двома горизонтальними пневмоприжимами 5 для притиснення поясів до стінки двутавра.



- 1 – редуктор, 2 – опорні гвинти, 3 – пневмоштовхачі, 4 – портал,
5 – горизонтальні пневмоприжими, 6 – вертикальні пневмоприжими,
7 – гвинти, 8 – конічна передача, 9 – фундаментна рама, 10 – опорні балки

Рисунок 2.16 – Стенд для збирання двотаврових балок з прихопленнями

Один вертикальний пневмоприжим і один горизонтальний встановлені на порталі нерухомо, а інші два підвішені до кареток і можуть пересуватися по ригелю порталу 4 для установки на необхідний розмір двотавру, що збирається. Портал пересувається по рейковому шляху, змонтованому на рамі, за допомогою електроприводу кранового типу зі швидкістю 30 м/хв. Для зручності зняття зібраної балки передбачені спеціальні пневмоштовхачі 3.

При складанні двотавру його стінка укладається на опорні балки, а пояса – уздовж цих балок на опорні гвинти 2, встановлені на певну висоту. Портал, пересуваючись уздовж виробу, що збирається, зупиняється проти місць прихоплень, включаються притиски, і проводиться прихоплення зібраних елементів. Потім притиски відводять, портал підводиться до місця наступних прихоплень і цикл повторюється.

Аналогічні складальні портали застосовуються на кранобудівних заводах для збирання коробчастих балок, а також в мостобудуванні для збирання балок мостових прогонових будов та ін.

Недолік таких стендів – неможливість автоматичного зварювання без попередньої постановки електроприхоплень, так як лінії швів захарашені пневмоприжимом 6. У цих складальних кондукторів балка збирається на прихопленнях, потім витягується з кондуктора і переноситься до місця зварювання. При цьому розміри і розташування прихоплень повинні забезпечувати достатню жорсткість і міцність зібраної балки при транспортно-підйомних операціях.

Постановка складальних прихоплень є вельми трудомісткою ручною операцією, що істотно знижує ефективність виробництва зварних балок. Крім того, прихоплення, як правило, знижують якість швів, так як в місцях їх переплавлення основним швом можливі дефекти у вигляді пір і не проварів.

За всіма цими міркуваннями, безумовно, краще такі автоматизовані стенди, в яких збирання здійснюється без постановки електроприхваток і відразу ж після затиснення зібраної балки проводиться автоматичне зварювання двох швів (хоча б з одного боку). При такій організації робіт тривалість операції збирання скорочується в кілька разів, особливо якщо в кондукторі виконується затискання зібраних елементів одночасно по всій довжині балки.

Прикладом такого складально-зварювального пристрою може

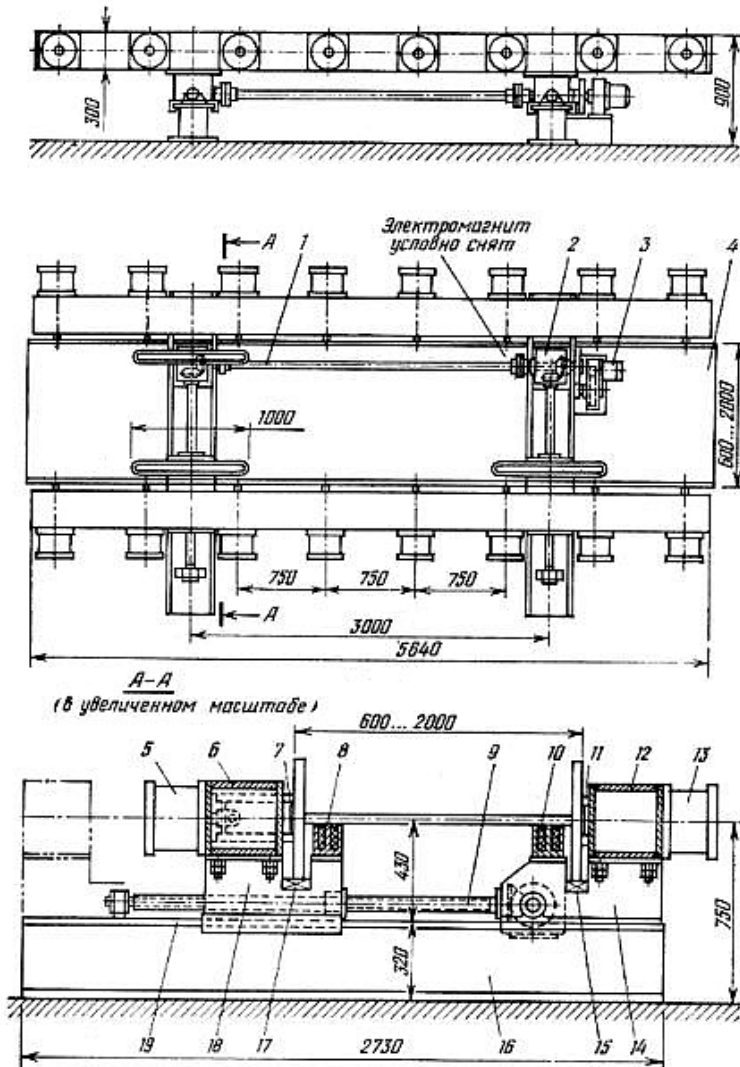
служити стенд для виготовлення крупнопрофільних балок – двотаврових і таврових, з симетричним або несиметричним розташуванням поясів (рис. 2.17). На ньому можуть збиратися балки висотою від 600 до 2000 мм, з шириною поясів від 160 до 600 мм при товщині поясів до 50 мм. Стенд набирається з декількох послідовно розташованих уніфікованих секцій, кількість яких визначається довжиною виготовлених балок. На рис. 2.17 представлена одна така секція, яка розрахована на збирання балок довжиною до 6 м. Для виготовлення балок довжиною 12 м стенд набирається з двох секцій, 18 м – з трьох секцій, 24 м (максимально допустимої довжини для транспорту по залізницях) – з чотирьох секцій.

Стенд-секція складається з двох опорних балок – рухомої 6 і нерухомої 12, на яких змонтовані пневмоциліндри 5 і 13 з притисками 7 і 11. Рухому опорну балку 6 встановлюють на потрібній відстані від нерухомої відповідно до висоти виготовлених двотаврів. Переміщення опорної балки 6 по напрямних 19 (закріплених на фундаментній рамі 16) проводиться двома гвинтами, що синхронно обертаються 9. Ці ходові гвинти при своєму обертанні пересувають одночасно два супорти 18, на яких закріплена опорна балка 6. Гвинти приводяться в обертання електродвигуном 3 через циліндричний зубчастий редуктор, поздовжній вал 1 і дві пари конічних передач 2.

Нерухома опорна балка 12 прикріплена до фундаментної рами 16 за допомогою кронштейнів 14, які одночасно служать корпусами для конічних зубчастих редукторів 2. Обидва кронштейна і обидва супорта 18 забезпечені електромагнітами 10 і 8, на які укладається і потім фіксується стінка двотавру.

Для настройки стенду на задану ширину поясів служать змінні заставні сухарі 15 і 17, на яких укладаються пояса двотавру 4. Притискні пластини 7 і 11, пов'язані з силовими пневмоциліндрами, переміщуються в напрямних, що забезпечують строгу вертикальність лінії притиску пояса до стінки двотавра, а також їх взаємну перпендикулярність.

За допускам При збиранні двотаврових балок відхилення площині пояса від номіналу повинно бути не більше ± 1 мм на кожні 10 мм ширини пояса. Розміри заставних сухарів 15, 17 мають бути витримані з такою точністю, щоб можливе зміщення осі симетрії пояса щодо осі стінки не перевищувало ± 2 мм (за тими ж допусками на зварні двотаври).



- 1 – поздовжній вал, 2 – дві пари конічних передач, 3 – електродвигун, 4 – пояс двотавру, 5 і 13 – пневмоциліндри, 6 – рухлива балка, 7 і 11 – притиски, 8 і 10 – електромагніти, 9 – гвинт, 12 – нерухома балка, 14 – кронштейн, 15 і 17 – сухарі, 16 – фундаментна рама, 18 – супорт, 19 – напрямна

Рисунок 2.17 – Стенд для складання і зварювання двотаврових балок без прихоплень

Пневмоприжими розташовані уздовж балки на рівних відстанях (750 мм). Зусилля, що розвивається кожним притиском при тиску стисненого повітря в циліндрі 0,5 МПа, становить 2000 кгс.

В даному стенді (рис. 2.17) опорні базові планки для зібраного двотавру закріплені на нерухомій балці стенду 12. Тому при монтажі стенду необхідно ретельно вивірити паралельність лінії опорних планок з лінією рейкового шляху для зварювального автомата.

Щоб зварні шви також були паралельні відносно рейок, складання двотавру рекомендується проводити в наступному порядку. В стенд укладається стінка двотавра і включаються магніти 8 і 10. Потім на опорні сухарі 15 і 17 подаються і укладаються пояса двотавру. Після цього включаються пневмоприжими лівої – рухомої балки стенду. Під дією пневмоциліндрів 5 і пластин 7 двотавр переміщується вправо і щільно притискається своїм правим поясом до опорних планок нерухомої балки 12. При цьому стінка двотавра прослизає по магнітам, долаючи силу тертя об сталь магнітопроводу. Ця сила тертя, принаймні, в десять разів менше сумарного зусилля, що розвивається пневмоциліндрами 5. Після цього включаються пневмоприжими правої – стаціонарної балки стенду.

Вони розвивають кілька менше зусилля, ніж раніше включені ліві, і тому не можуть подолати зустрічну дію правих і зрушити весь двотавр назад вліво, тим більше, що цьому протидіє і сила тертя стінки двотавра по магнітах. Однак в місцях викривлень (угнутістей) кромки стінки гнучкий пояс під дією притисків 11 буде згинатися, і притискатися до крайки стінки, копіюючи її кривизну. Таким чином, правий пояс виявиться притиснутим до опорних – базових планок стаціонарної балки 12 лише в місцях найбільших виступів кромки, можливо тільки в двох місцях, що визначають середню лінію шва.

Пневмоциліндри стенду 5 і 13 уніфіковані і мають однакові розміри, в тому числі однаковий внутрішній діаметр 250 мм. Різниця в зусиллях лівих і правих циліндрів створюється в результаті тиску стисненого повітря: в ліві циліндри 5 подається повітря тиском 0,5 МПа, а в праві – 0,4 МПа, що забезпечує зусилля відповідно 2000 і 1600 кгс на кожному циліндрі. Тиск регулюється редукційним клапаном або іншим регулятором тиску.

2.4 Складально-зварювальні комбайни

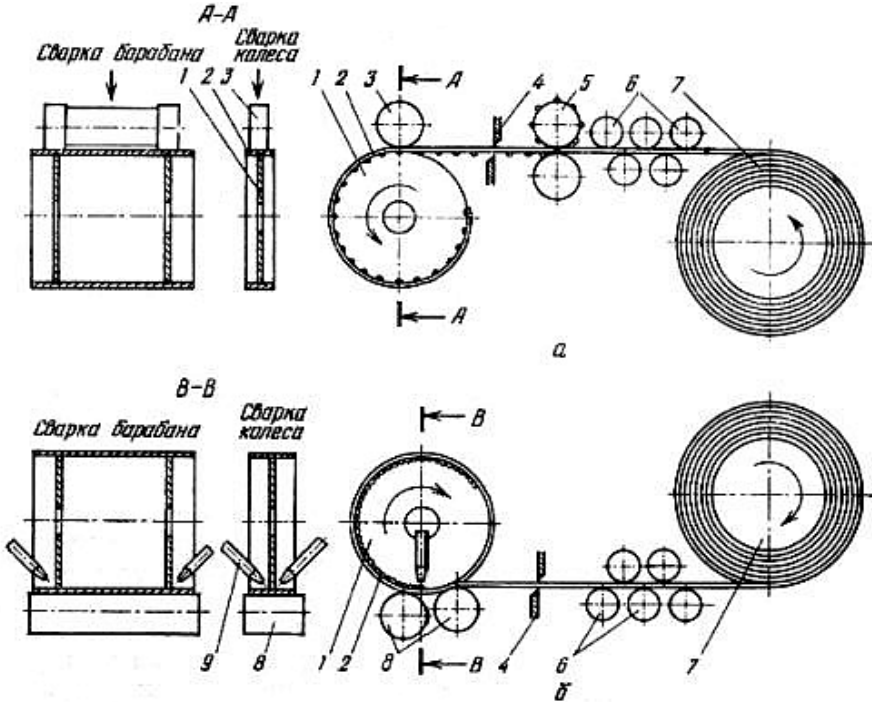
У комбінованих складальних пристроях – комбайнах – операції збирання здійснюються одночасно з формувальними – згинальними або штампувальними. Як приклади таких комбайнів можна привести вальцезварювальні верстати для виробництва кузовів шахтних вагонеток або гальмівних автомобільних колодок, трубозварювальні стани для виробництва прямошовних і спірально-шовних труб, штампувально-зварювальні машини різного призначення.

2.4.1 Згинально-зварювальні або вальцезварювальні машини

Характерним для цих машин є процес вигину будь-якої плоскої заготовки методом її вальцювання і обгортання навколо сполученої деталі з одночасним їх збиранням і зварюванням. Схема такого процесу представлена на рис. 2.18.

Виріб складається з диска 1 і обода 2, який приварений до нього. Диск, закріплений на зварювальному обертачі, приводиться в обертання з окружною швидкістю, яка дорівнює швидкості зварювання. У процесі обертання смуга 2 під дією валка 3 або 8 притискається до диска і тут же приварюється до диску зварювальними головками 9 (однією або двома). При цьому смуга поступово, у міру зварювання, обгортається навколо диска і утворює обід колеса (або, наприклад, барабана, шківа).

Особливістю даного виробничого процесу є велике число і різноманітність суміщених операцій. Цей комплексний, інтегральний процес складається з шести одночасно виконуваних елементарних операцій: розгортання рулону смугової сталі 7, з якої виготовляються обіддя; правка смуги у вальцях 6; видавлювання рельєфів у смугі за допомогою формувальної двовалкової машини роторного типу 6 (при зварюванні за схемою 6 ця операція відсутня); розрізання смуги на мірні ділянки за допомогою летючих або обертючих ножиць 4; обгін смуги по диску і зварювання обода з диском. Крім того, виконуються допоміжні операції по завантаженню машини заготовками і розвантаженню виробів на потік.



а – із застосуванням контактного рельєфного зварювання,

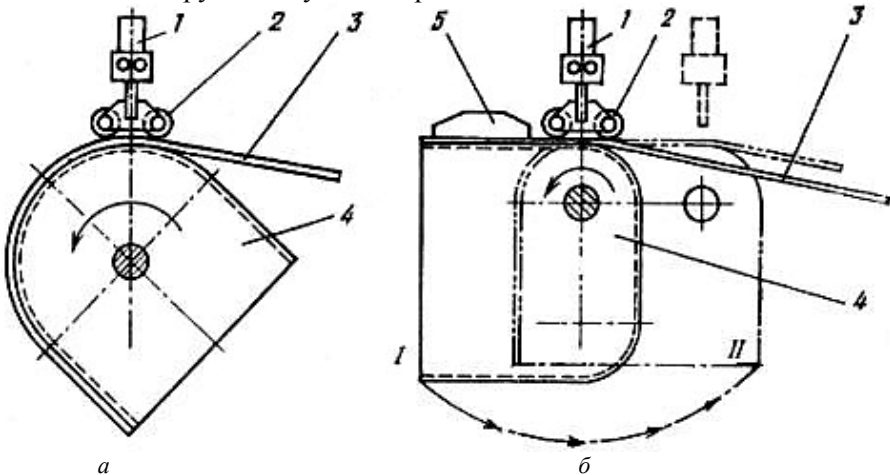
б – із застосуванням електродугового автоматичного зварювання

1 – диск, 2 – обід, 3 і 8 – притисні валки, 4 – ножиці, 5 – формувальна двовалкова машина, 6 – правильні валки, 7 – рулон смугової сталі, 9 – зварювальна головка

Рисунок 2.18 – Схема згинально-зварювального комбайну

На аналогічному принципі побудовані широко поширені у вугільному машинобудуванні вальцезварювальні верстати для виробництва кузовів шахтних вагонеток. Саме в цих верстатах вперше була реалізована ідея вальцезварювальних комбайнів. Схема верстата для виготовлення кузовів з напівкруглим дном представлена на рис. 2.19 а для виробництва кузовів з плоским дном схема процесу і конструкція машини (рис. 2.19 б) кілька ускладнюються через наявність двох заокруглень кузова замість одного. Проте, принцип суміщення операцій і дії машини залишається тим самим: лист обгортається навколо деталей, за допомогою вальців і поєднується зі складанням і зварюванням. У машині, схема якої приведена на рис. 2.19 б, поворотний кондуктор має два центра обертання – за

кількістю заокруглень кузова, перемикаються.

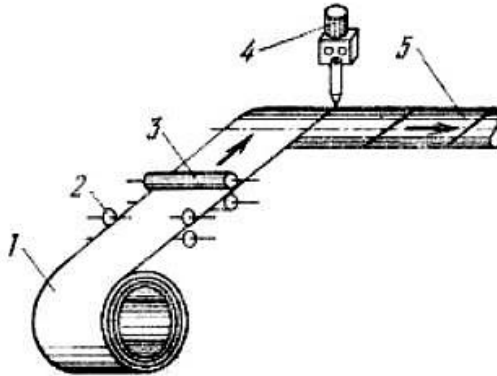


a – для кузовів з круглим дном; *б* – для кузовів з плоским дном
 1 – зварювальна головка, 2 – натискні валки, 3 – боковина кузова, що обгортається,
 4 – лобовини кузова, 5 – натискна плита

Рисунок 2.19 – Схеми вальцезварювальних верстатів для виготовлення кузовів шахтних вагонеток

Дещо інший принцип покладений в основу формовочно-зварювальних машин безперервної дії (наприклад, трубозварювальних станів), що відрізняються від вальцезварювальних тим, що замість вальцювання листа з обгортанням його навколо сполученої деталі виконуються складніші операції формоутворення заготовок, зокрема формування трубної заготовки або профільної балки, одночасно з якої виконується складання і зварювання шва.

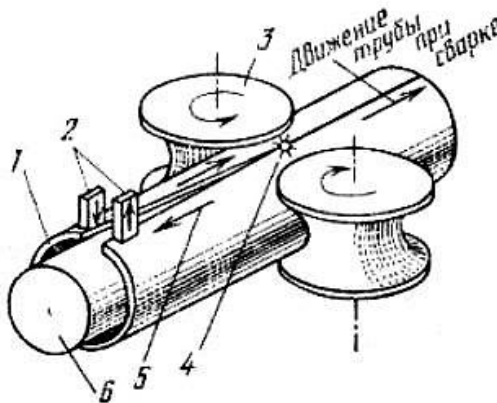
Типова схема такого комплексного процесу здійснюється при виготовленні спірально-шовних труб методом косої їх навивки з рулонної смугової сталі (рис. 2.20). Особливістю такого процесу, що відрізняє його від процесів, здійснюваних в машинах інших типів (вальцезварювальних і штампозварювальних), є його безперервність, завдяки чому виріб (труба або балка) виходить з машини у виді нескінченної стрічки, яка на наступних позиціях потокової лінії розрізається на мірні ділянки заданої довжини. Таким чином, більшість формовочно-зварювальних машин є машинами безперервного дії.



1 – рулон смугової сталі, 2 – здвоєні роликові ножиці, 3 – система подачі напрямних валків, 4 – зварювальна головка, 5 – труба

Рисунок 2.20 – Схема складально-зварювального комбайна для виробництва спірально-шовних труб

Типовими представниками формувально-зварювальних комбайнів є також трубозварювальні стани безперервної дії для виробництва прямошовних труб методом високочастотного зварювання. Принципова схема такого стану представлена на рис. 2.21.



1 – труба, 2 – ковзаючі контакти струмопідводу, 3 – обтискні валки, 4 – точка зварювання (сходження кромки), 5 – шлях зварювального струму, 6 – феритний стержень

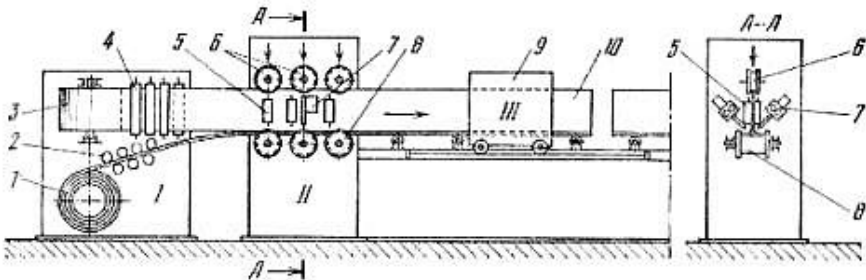
Рисунок 2.21 – Схема трубозварювального стану для виробництва прямошовних труб із застосуванням високочастотного зварювання

Струм високої частоти протікає від першого контакту вздовж кромки труби до точки зварювання 4 і назад – уздовж протилежної крайки до другого контакту, розігріваючи обидві кромки в місці їх зближення до температури зварювання. Застосування високої частоти дозволяє досягати в цих станах досить високої швидкості зварювання – 70 м/хв і більше.

2.4.2 Складально-зварювальні комбайни для виробництва балок

Основна перевага цих станів-комбайнів полягає в тому, що дозволяє об'єднати три основні операції – збирання, зварювання і лінійне транспортування – в одну комплексну операцію і різко підвищити рівень комплексної автоматизації виробництва.

На рис. 2.22 представлена схема складально-зварювального агрегату для виробництва профільних балок зі смугової (переважно рулонної) стали методом зварювання. Взаємне центрування смуг, їх стиснення, переміщення зі зварювальною швидкістю і автоматичне зварювання обох швів здійснюється одночасно. Притиснення стінки до поясу і щільність їх сполучення на час зварювання і кристалізації швів забезпечується валковою кліткою, що складається з опорних, напрямних і притискних валків, що утворюють свого роду роликівий фільтр. Притиснення стінки до поясу забезпечується пневматичними або гідравлічними циліндрами або пружинними вставками з регульованим зусиллям, яке діє на верхні притискні ролики 6.



I – розмотувально-рихтувальна машина, II – складально-зварювальна машина,
III – летюча машина

Рисунок 2.22 – Схема складально-зварювального комбайна для виробництва балок електродугувим зварюванням

Агрегат (рис. 2.22) складається з трьох машин: розмотувальної і рихтувальної 1-4, складально-зварювальної 5-8 і летючої 9 для розрізання "нескінченного" профілю 10 на мірні балки.

Агрегат-комбайн працює в такий спосіб. Рулонна смугова сталь, призначена для пояса і стінки майбутньої балки, надходить з двох розмотувачів 1 і 3 в рихтувальні машини відповідно 2 і 4. Випрямлені смуги надходять звідси у валкову складально-зварювальну кліть, що складається з декількох послідовно розташованих валків: напрямних 5, опорних 8 і обтискних 6. Кожна пара роликів має регулювальні пристрої для настройки стану на необхідний розмір профілю що зварюється: висоту, ширину і товщину металу.

Валкова кліть оснащена двома зварювальними головками 7 для автоматичного зварювання під флюсом або автозварювання порошковим дротом в середовищі захисних газів. При переміщенні балки у валках зварювання проводиться одночасно з двох сторін тавра похилим електродом. Рух зварювальних елементів здійснюється приводними опорними валками 8 зі швидкістю зварювання, яка може регулюватися в межах 1-2 м/хв.

Ідея таких складально-зварювальних комбайнів в даний час реалізована в промисловості лише у виді окремих верстатів переривчастої дії для поштучного виготовлення балок. Вихідним матеріалом в них служить не рулонна сталь, а попередньо випрямлені смуги (пояс і стінка) заданої мірної довжини.

Таким чином, цей верстат являє собою середню складально-зварювальну частину розглянутого агрегату, так як розмотувальний і рихтувальний пристрої та летюча різальна машина в ньому відсутні.

3 ВИЗНАЧЕННЯ РОЗРАХУНКОВИХ ЗУСИЛЬ В СКЛАДАЛЬНО-ЗВАРЮВАЛЬНИХ СТЕНДАХ І КОНДУКТОРАХ

Розрахунок складально-зварювальних пристроїв (стендів і кондукторів) проводиться в дві стадії:

- визначення необхідних зусиль затиснення деталей, що збираються, і
- розрахунок конструкції складально-зварювального пристрою на міцність і жорсткість під дією цих зусиль.

Найбільш складним і відповідальним є визначення розрахункових зусиль.

Загальний принцип визначення необхідних зусиль зводиться до наступного. Теоретичним розрахунком (за методами теорії зварювальних деформацій) або експериментально (на досвідчених і головних зразках виробів) визначається форма і розміри залишкових зварювальних деформацій виробів. Після цього розрахунковим шляхом за методами, наведеними нижче, визначаються зусилля та моменти, які необхідно прикласти до виробу, щоб попередити утворення цих деформацій в кондуктора, тобто звести їх до нуля на час зварювання.

В залежність від типу зварних виробів розрізняють три основні групи складально-зварювальних пристроїв:

- стенди та кондуктори для листових конструкцій – полотнищ і оболонок;
- стенди та кондуктори для балок – таврових, двотаврових, швелерних, коробчастих;
- стенди для рамних конструкцій, корпусів і різних зварних вузлів.

3.1 Стенди для листових конструкцій

Для листових полотнищ і оболонок основними видами зварювальних деформацій є:

- місцеві випуклини – овальні або круглі (рис. 3.1, а);
- кутова деформація у вигляді так званого "будиночка" по осі стикового шва (рис. 3.1, б);
- хвилястість – перемижуються виступи і западини циліндричної форми (типу "шифер");
- скручування.

Деформації хвилястості і скручування значно легше усунути, ніж випуклини або "будиночки", і вони, відповідно, вимагають значно менших зусиль. Тому в подальших розрахунках на міцність слід враховувати головним чином ті реактивні зусилля, які виникають на затискачах стенду в результаті утворення випуклин і "будиночків" під дією температурних і усадочних згинальних моментів.

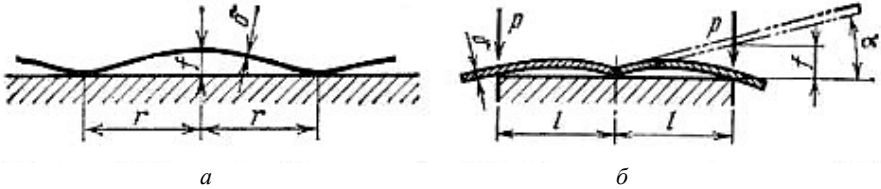


Рисунок 3.1 – Деформація листового полотна у виді круглої випуклини (а) і кутова деформація листів типу "будиночок" (б)

Зусилля, які можуть виникнути на затискачах при утворенні випуклин, є результатом втрати стійкості (під дією стискаючих зварювальних напружень в площині листів). Ці реактивні зусилля незначні (теоретично рівні нулю). Однак це положення стосується лише збирання і зварювання перших швів, коли випуклини ще не могли утворитися під притисками, так як полотнище було затиснуте ще в плоскому стані, до зварювання.

Якщо ж після зварювання перших швів полотнище звільнити від затиснення, то ці випуклини негайно виникнуть і, отже, при повторному затисненні листів (наприклад, для зварювання швів на звороті) їх необхідно буде примусово розпрямляти, прикладаючи значних зусиль на затискачах зварювального стенду.

Круглу випуклину листів можна розглядати як вигнуту пластину з жорстко закріпленим контуром (рис. 3.2). При вигині такої пластини, рівномірно розподіленим навантаженням q , величина прогину f в центрі буде [1]:

$$f = \frac{q \cdot r^4}{64 \cdot C}, \quad (3.1)$$

де $C = \frac{E \cdot \delta^3}{12(1-\mu^2)}$ – циліндрична жорсткість пластини, кгс·см;

E – модуль пружності (для сталі – $2,1 \cdot 10^6$ кгс/см²);

δ – товщина пластини, см;

μ – коефіцієнт Пуассона (для сталі – 0,3);

r – радіус пластини (до лінії прилягання), см;

$q = \frac{P}{\pi r^2}$ – рівномірно розподілене навантаження, кгс/см²;

P – шуканий тиск на пластину, кгс.

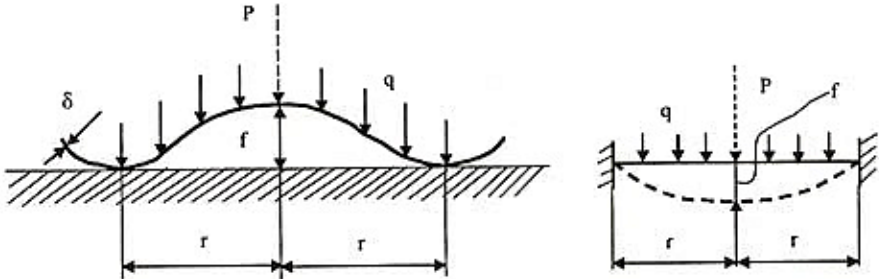


Рисунок 3.2 – Схема розрахунку сил притиску при утворенні випуклин

Підставивши ці значення в формулу (3.1), після перетворень отримаємо

$$f = \frac{P \cdot r^2}{18 \cdot E \cdot \delta^3}, \quad (3.2)$$

звідки

$$P = \frac{18 f E \delta^3}{r^2}. \quad (3.3)$$

Так як наведені вище розрахункові формули дійсні лише в межах пружності, то необхідно перевірити, чи не виходять напруження в металі за межу пружності σ_b (або близької до неї межі плинності σ_T) при вигині пластини під дією рівномірно розподіленого навантаження.

Найбільша напруга в центрі пластини

$$\sigma = \frac{3}{8} \frac{q \cdot r^2}{\delta^2} (1 + \mu) \quad (3.4)$$

або, після підстановки $q = \frac{P}{\pi r^2}$ і $\mu = 0,3$, отримаємо:

$$\sigma = \frac{0,15 P}{\delta^2} \quad (3.5)$$

Якщо у виразі (3.5) підставити замість P його значення з формули (3.3), то напруга σ виразиться наступною формулою:

$$\sigma = \frac{2,8 f E \delta}{r^2} \quad (3.6)$$

За цією формулою можна проводити перевірку напружень в пластині без попереднього визначення рівномірно розподіленої сили P , тобто за вихідними даними (за розмірами випуклини). Якщо виявиться, що σ за формулою (3.6) перевищує межу текучості σ_T , ($\sigma > \sigma_T$), то шукане зусилля притисків слід обмежити величиною $P_{\text{доп}}$, яку можна знайти з виразу (3.5), підставивши в нього замість σ значення межі текучості σ_T :

$$P_{\text{доп}} = \frac{\sigma_T \cdot \delta^2}{0,15} \quad (3.7)$$

Таке обмеження зусилля на затискачах необхідно в тих випадках, коли надмірно жорстке затиснення листів може викликати тріщини в шві або в зоні термічного впливу.

Знайдене за формулами (3.3) або (3.7) зусилля в реальних затискних пристроях не рівномірно розподіляється по всій площі випуклини, а додається по двох паралельних лініях, розташованих близько до їх діаметру вздовж зварювальних кромки. Тим самим в подальших розрахунках закладається відомий запас міцності, тому що дія сконцентрованого на діаметрі навантаження більш деформативна, ніж дія того ж навантаження, рівномірно розподіленого по всій площі випуклини.

Розрахункове навантаження на одиницю довжини кожної кромки (кгс/см) буде дорівнювати:

$$p = \frac{P}{4 r} = 4,5 f E \left(\frac{\delta}{r}\right)^3 \quad (3.8)$$

Якщо ж $\sigma > \sigma_T$, і тому розрахунок ведеться виходячи з допустимого навантаження $p_{\text{доп}}$, яке визначається виразом (3.7), то допустиме питоме зусилля на одиницю довжини кромки не повинно перевищувати:

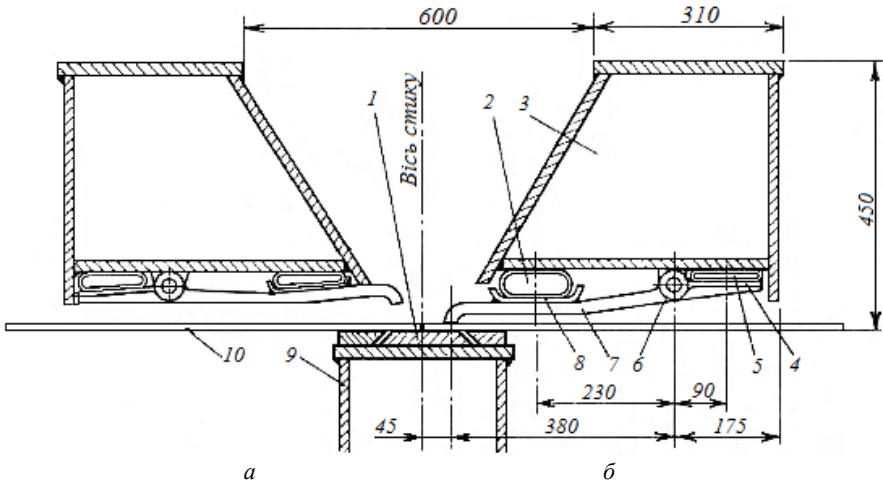
$$p_{\text{доп}} = \frac{P_{\text{доп}}}{4 r} = \frac{\sigma_T \delta^2}{0,6 r} \quad (3.9)$$

Розрахункова питома сила Q на обидві кромки зварного полотна:

$$Q = 2p, \text{ або } Q = 2p_{\text{доп}} \quad (3.10)$$

Викладений метод розрахунку проілюструємо практичним прикладом.

Приклад. Визначити зусилля на затискачах стенду (рис. 3.3) для складання і зварювання листових полотнищ з наступних вихідних даних: $\delta = 0,5$ см, $E = 2,1 \cdot 10^6 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}$, деформація листів по рис. 3.2 $r = 45$ см, $f = 1,3$ см.



a – у відключеному стані, *б* – в робочому стані

- 1 – мідна підкладка, 2 – притисний шланг, 3 – верхня балка, 4 – підкладка для зворотного шлангу, 5 – шланг звороту, 6 – шарнір клавіші, 7 – притисна клавіша, 8 – підкладка для притисного шлангу, 9 – нижня опорна балка, 10 – листи для нанесення покриттів

Рисунок 3.3 – Клавішний притискач з пневмошланговим приводом
За формулою (3.8) розрахункове питоме зусилля на кромку

$$p = 4,5 \cdot 1,3 \times 2,1 \cdot 10^6 \cdot (0,5/45)^3 = 17 \text{ кгс/см.}$$

Відповідне напруження вигину визначиться формулою (3.6):

$$\sigma = 2,8 \cdot 1,3 \cdot 2,1 \cdot 10^6 \cdot 0,5/45^2 = 1890 \text{ кгс/см}^2,$$

тобто менше межі текучості σ_T , яка для даної сталі рівна 2300 кгс/см^2 . Розрахункове питоме зусилля на обидві кромки:

$$Q = 2p = 2 \cdot 17 = 34 \text{ кгс/см} = 3400 \text{ кгс/м.}$$

У стендах ІЕЗ ім. Є.О. Патона, призначених для складання і зварювання листових полотнищ, фактично прийнято $Q = 4000 \text{ кгс}$ на 1 пог. м шва.

Слід зауважити, що збільшення фактичного зусилля на притискаючі понад розрахункове (в наведеному прикладі 4000 кгс замість 3400 кгс) не може викликати відповідне підвищення згинального напруження вище σ , що визначається формулою (3.6), так як надлишок сили в даному випадку буде лише стискати лист між затисками, а не згинати його. Це пояснюється тим, що деформація вигину, а, отже, і його напруження, обмежені заданою стрілкою прогину пластини f . Це підтверджується також формулою (3.6), яка ілюструє незалежність напруження σ від навантаження при заданій товщині листа і обмежених значеннях пружної деформації пластини f і r .

Розглянемо зусилля, що виникають в затискному пристрої в процесі утворення кутових деформацій типу "будиночок" (рис. 3.1 б). В цьому випадку шов піддається згину під дією моменту $M = Pl$ (рис. 3.4).

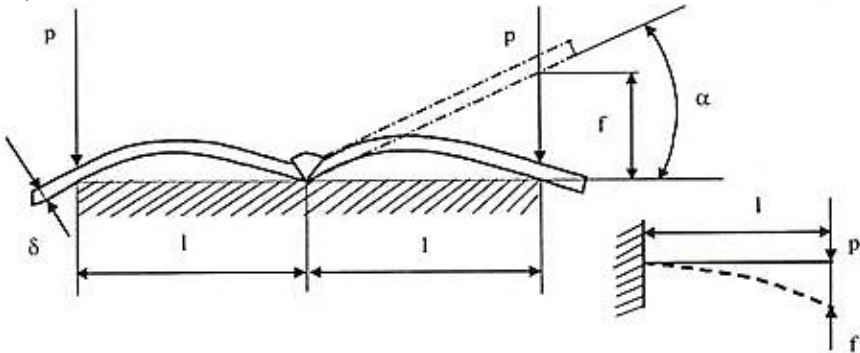


Рисунок 3.4 – Схема визначення сили притиску заготовок при кутових деформаціях

При малій відстані від осі стику до притиску і при досить жорсткому закріпленні зварювальних кромки в металі шва можуть

з'явитися напруження вище межі текучості з небезпекою утворення тріщин, що, звичайно, неприпустимо. Тому вибір зусилля на затискачах слід обмежувати умовою, щоб у звареному шві або прилеглих зонах, під дією цього зусилля не могли утворитися напруження вище заданої межі, наприклад межі текучості σ_T . У цьому випадку напруження в металі шва або виробі, рівні заданій межі $\sigma_{\text{доп}}$, наприклад, межі текучості σ_T . Цю піддатливість можна легко забезпечити в будь-якому пневматичному або гідравлічному затискному пристрої регулюванням тиску в силових циліндрах або постановкою будь-яких обмежувачів зусилля (пружинних і ін.).

Відповідно до поставлених вище умов максимально допустимий згинальний момент на пог. см шва:

$$M_{\text{доп}} = \sigma_{\text{доп}} W \quad (3.11)$$

Для одиниці довжини кромки момент опору $W = \frac{\delta^2}{6}$, а згинальний момент $M_{\text{доп}} = p_{\text{доп}} l$. Підставивши ці значення в формулу (3.11), отримаємо:

$$p_{\text{доп}} \cdot l = \frac{\sigma_{\text{доп}} \delta^2}{6} \quad (3.12)$$

звідки допускається питоме навантаження на кромку:

$$p_{\text{доп}} = \frac{\sigma_{\text{доп}} \delta^2}{6 l} \quad (3.13)$$

де δ – товщина листа, см;

$l = (5 \dots 10) \delta$ – відстань від осі шва до лінії дії притисків, см;

$\sigma_{\text{доп}} = \sigma_T$ – допустимі напруження в металі шва, при яких не виникає пластичної деформації, кгс/см².

Допустиме питоме навантаження (кгс/см) на обидві кромки зварних листів

$$Q = 2p_{\text{доп}}$$

Приклад. Якщо $\delta = 0,5$ см, $\sigma_{\text{доп}} = \sigma_T = 2500$ кгс/см², $l = 4,5$ см, то допустима сила натискання на 1 пог. см кожної кромки за формулою (3.13) буде $p_{\text{доп}} = \frac{2500 \cdot 0,5^2}{6 \cdot 4,5} = 23$ кгс/см, або на 1 пог. м стику (на обидві кромки) $Q_{\text{доп}} = 2 \cdot 100 \cdot 23 = 4600$ кгс/м.

Прийняте для стендів ІЕЗ ім. Є.О. Патона зусилля $Q = 4000$ кгс/м, необхідне для утримання листів від викривлення в процесі зварювання, виявилось менше $Q_{\text{доп}}$. Тому в даному випадку немає небезпеки виникнення напруги в шві (від дії затискачів) вище заданої межі σ_T . Слід, однак, перевірити, чи збережеться при цьому прилягання листів до стенду по лінії притисків (під силами p), або ж під впливом кутової деформації, що долає дію притисків, утворюється зазор. Якщо утворюється, то якої величини. Величина можливого зазору:

$$\Delta = f - f_0, \quad (3.14)$$

де f – максимально можливий зазор після зварювання листів без їх притиску (рис. 3.1 б), см;

f_0 – розрахунковий прогин під дією сил p .

Якщо $f_0 > f$, то зазору не буде, якщо $f_0 < f$, то утворюється зазор між листом і стендом, який визначається формулою (3.14).

Значення f і f_0 можна розрахувати за такими формулами:

$$f = l \operatorname{tg} \alpha \quad (3.15)$$

$$f_0 = \frac{p l^3}{3 E J} = \frac{4 p l^3}{E \delta^3} \quad (3.16)$$

де α – кутова залишкова деформація, рад;

$J = \frac{\delta^3}{12}$ – момент інерції для одиниці довжини кромки, см³.

Величину кутової деформації α визначають відомими методами теорії зварювальних деформацій, або експериментально на дослідних або головних зразках виробів.

Наведена методика визначення величини зазору (при відриві листів від стенду) може бути застосована до всіх стендів і кондукторів, які мають притиски (пневматичні, гідравлічні, пружинні)

з регламентованим зусиллям притиснення. Практика експлуатації таких стендів підтверджує можливість і доцільність утворення зазорів, що оберігають метал шва (по осі "будиночка") від появи тріщин через надмірно жорстке закріплення контуру.

Приклад. Для стенду з верхніми притискними клавішами визначимо значення прогинів f і f_0 і зазору Δ за наступними даними:

$$\delta = 0,5 \text{ см}, l = 4,5 \text{ см}, p = 20 \text{ кгс/см}, \text{tg } \alpha = 0,01.$$

За формулою (3.15): $f = 4.5 \cdot 0,01 = 0,045 \text{ см}$, за формулою (3.16):

$$f_0 = \frac{4 \cdot 20 \cdot 4,5^3}{2,1 \cdot 10^6 \cdot 0,5^3} = 0,028 \text{ см}.$$

Під листами на лінії притисків утворюється зазор

$$\Delta = f - f_0 = 0,045 - 0,028 = 0,017 \text{ см} \cong 0,2 \text{ мм}.$$

При цьому, однак, кромки листів і зварений шов, як і раніше, будуть щільно притиснуті до підкладки з зусиллям $Q = 4000 \text{ кгс/пог.м}$. Отже, зазор Δ , що утворився по лінії притисків, не порушує корисної дії і призначення затискного пристрою – щільного притиснення крайок до технологічної підкладки і приведення їх до однієї площини.

При порівняно малих кутових деформаціях і невеликих товщинах ($\delta < 5 \text{ мм}$) можливий метод розрахунку, заснований на залежності реактивного зусилля p від величини кутової зварювальної деформації α . Цей метод, однак, припустимий лише в тих випадках, коли отримане значення p менше $p_{\text{доп}}$ і, отже, напруження в шві не перевищують межі текучості.

Деформацію листа в затискному пристрої по рис. 3.4 можна розглядати як вигин консольної балки, навантаженої на своєму кінці силою p . Якщо в даному випадку граничною умовою вигину вважати дотик листа під силою p до опорної балки, тобто, відсутність зазору Δ , то умова прилягання листів визначиться рівністю $f = f_0$.

Підставивши в цю рівність значення f і f_0 з формул (3.15) і (3.16), отримаємо:

$$l \operatorname{tg} \alpha = \frac{4 p l^3}{E \delta^3}, \quad (3.17)$$

звідки визначаємо шукане питоме зусилля притисків на кромку:

$$p = \frac{\delta^3 \operatorname{tg} \alpha E}{4 l^2} \text{ [кгс/см]} \quad (3.18)$$

Воно повинно бути не більше $p_{\text{доп}}$, що визначається формулою (3.13), а відповідне напруження згину не повинно бути вище межі текучості σ_T , тобто:

$$\sigma = \frac{6 p l}{\delta^2} \leq \sigma_T.$$

Приклад. $\delta = 0,2$ см, $l = 4$ см, $\operatorname{tg} \alpha = 0,01$ для того щоб листи на лінії притисків не відділилися від стенду під дією кутової деформації, потрібно докласти зусилля на притискачі, яке визначаємо за формулою (3.18):

$$p = \frac{0,2^3 \cdot 0,1 \cdot 2,1 \cdot 10^6}{4 \cdot 4^2} = 2,6 \text{ кгс/см.}$$

Відповідне напруження згину в металі шва

$$\sigma_{\text{зг}} = \frac{6 p l}{\delta^2} = \frac{6 \cdot 2,6 \cdot 4}{0,2^2} = 1560 \text{ кгс/см}^2,$$

тобто менш $\sigma_T = 2300$ кгс/см².

Наведені вище розрахунки показують, що існує певне критичне значення кутової деформації $\alpha_{\text{кр}}$, в залежності від якого і слід вибирати той чи інший варіант розрахунку необхідних зусиль.

Якщо дійсна кутова деформація α вище критичної $\alpha_{\text{кр}}$, то необхідно проводити розрахунок за першим варіантом, тобто, виходячи з гранично допустимого напруження вигину (зокрема, межі текучості). У цьому випадку визначення допустимого зусилля на затискачах треба проводити за формулою (3.13). При цьому доводиться миритися з неминучим зазором під листами на лінії притисків (але не під стиком).

Якщо ж $\alpha < \alpha_{кр}$, то розрахунок слід вести за формулою (3.18), причому до знайденого за цією формулою зусилля p можна додавати скільки завгодно великий запас, так як надлишок сили в цьому випадку не викличе підвищення напруження вигину і, отже, абсолютно безпечний для міцності шва. Зазорів при цьому ніде немає.

Для розглянутих затискних пристроїв критичним значенням кутової деформації $\alpha_{кр}$ буде таке значення, при якому, по-перше, напруження вигину шва під дією притисків досягає гранично допустимої величини за завданням (наприклад, межі текучості); по-друге, на лінії притисків відсутній зазор під листами, тобто листи дотикаються зі станом.

Отже, критичне значення $\alpha_{кр}$ визначиться з двох умов:

$$\sigma = \sigma_{доп} \quad \text{і} \quad f - f_0 = 0.$$

Підставивши в останнє рівняння замість f і f_0 їх значення з формул (3.15) і (3.16), отримаємо:

$$l \operatorname{tg} \alpha_{кр} - \frac{4 p l^3}{E \delta^3} = 0,$$

звідки

$$\operatorname{tg} \alpha_{кр} = \frac{4 p_{доп} l^2}{E \delta^3}.$$

Підставивши сюди значення $p_{доп}$ з формули (3.13), знайдемо шукану критичну величину кутової деформації "будиночка":

$$\operatorname{tg} \alpha_{кр} = \frac{2 l \sigma_{доп}}{3 E \delta}. \quad (3.19)$$

Якщо $\alpha > \alpha_{кр}$, то сили притиснення розраховують за першим варіантом – формула (3.13):

$$p_{доп} = \frac{\sigma_{доп} \delta^2}{6 l}.$$

Якщо $\alpha < \alpha_{кр}$, то розрахунки ведуть за другим варіантом – по формулі (3.18), тобто:

$$p = \frac{\delta^3 \operatorname{tg} \alpha E}{4 l^2}.$$

Для наведеного вище прикладу, де $l = 4$ см, $\delta = 0,2$ см, $\sigma_{\text{доп}} = 2500$ кгс/см² отримаємо:

$$\operatorname{tg} \alpha_{\text{кр}} = \frac{2 \cdot 4 \cdot 2500}{3 \cdot 2,1 \cdot 10^6 \cdot 0,2} = 0,016.$$

Дійсна кутова деформація $\operatorname{tg} \alpha = 0,01$, тобто значно менше критичної, і тому розрахунок зусиль на притискачі (див. вище) проведений за другим варіантом – за формулою (3.18).

3.2 Стенди та кондуктори для балкових конструкцій

Основними видами деформацій зварної балки є: поздовжній (осьовий) вигин; поперечний вигин (грибоподібний); скручування.

За характером силової дії складально-зварювальних пристроїв розрізняють кондуктори, які утримують балку від деформування під час зварювання і охолодження швів, і кондуктори для компенсації залишкових деформацій балки шляхом її попереднього вигину або скручування, тобто, деформування в зворотному напрямку.

Найбільшого поширення в зварювальному виробництві мають кондуктори першого типу. У них зусилля на притискачі повинні бути достатніми, щоб утримати балку від деформування під час її зварювання і охолодження.

Поздовжній (осьовий) вигин балки (рис. 3.5) відбувається під дією моменту:

$$M = P_y \cdot e,$$

де P_y – усадочна сила, що діє по осі шва;

e – відстань між центрами ваги перерізу шва і перетину балки (ексцентриситет).

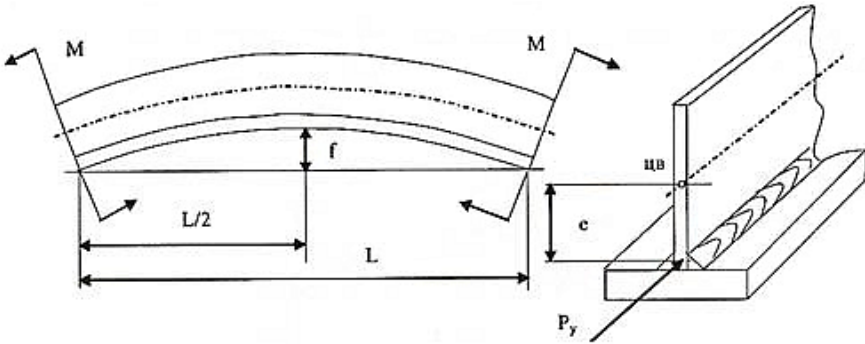


Рисунок 3.5 – Деформація зварної балки

Прогин балки посередині прольоту від дії постійного згинального моменту визначається за відомою формулою:

$$f = \frac{M L^2}{8 E J} = \frac{P_y e L^2}{8 E J} \quad (3.20)$$

де J – момент інерції поперечного перерізу балки, м^4 ;

E – модуль пружності, МПа;

L – проліт балки, м.

Таким чином, завдання зводиться до визначення зусиль, які необхідно докласти до балки для її вигину в зворотному напрямку з таким же прогином, тобто утримати балку в прямолінійному виді.

Величину усадочної сили, з достатньою для практичних розрахунків точністю, можна визначити за формулою В.А. Винокурова [3]. При зварюванні таврового з'єднання одним швом усадочна сила визначається за формулою

$$P_y = 17 \frac{q_e}{V_{\text{св}}}, \quad (3.21)$$

а при зварюванні двома швами:

$$P_y = 1,15 \cdot 17 \frac{q_e}{V_{\text{св}}}. \quad (3.22)$$

де $q_e = I \cdot U \cdot \eta$ – ефективна теплова потужність зварювальної дуги, Дж/с;

$V_{\text{св}}$ – швидкість зварювання, см / с;

I – сила зварювального струму, А;
 U – напруга на дузі, В;
 η – ефективний ККД нагріву виробу;
 P_y – усадочна сила, Н.

3.2.1 Розрахунок рівномірно розподілених сил притиску заготовок балки

Так як більшістю механізованих затискних пристроїв для балок є ряд однакових притисків, зокрема пневматичних або гідравлічних, то цей ряд можна розглядати як рівномірно розподілене навантаження q , яке повинно запобігти утворенню прогину балки f під час зварювання.

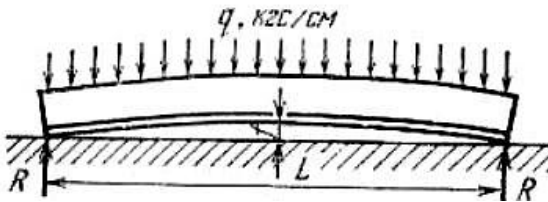


Рисунок 3.6 – Схема навантаження балки рівномірно розподіленим навантаженням у виді клавішних притисків

Під дією навантаження q балка на двох опорах R (рис. 3.6) отримує прогин посередині прольоту L

$$f = \frac{5}{384} \frac{q L^4}{E J}, \quad (3.23)$$

звідки шукане навантаження

$$q = \frac{384 f E J}{5 L^4}. \quad (3.24)$$

Підставивши сюди значення f з формули (3.20), отримаємо

$$q = 9,6 \frac{P_y e}{L^2} [\text{кгс/см}] \quad (3.25)$$

Повне навантаження на всю балку буде

$$Q = qL = 9,6 \frac{P_y e}{L} \quad (3.26)$$

Із розрахункових формул (3.25) і (3.26) можна зробити важливий висновок про те, що для крупнопрофільних балок реактивні зусилля q і Q , що виникають в кондукторі під дією зварювальних напружень (і деформацій), залежать не від жорсткості балки EJ , а тільки від калібру швів, довжини балки і відстані e від осі швів до центра ваги (ц. в.) перетину балки.

3.2.2 Розрахунок зосереджених сил притиску заготовок балки

Для порівняно коротких балок схеми затискного пристрою можуть мати вид, представлений на рис. 3.7 б і в.

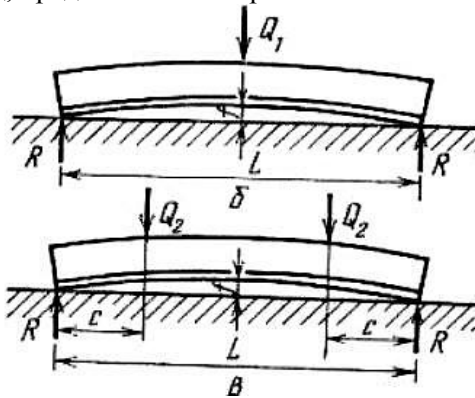


Рисунок 3.7 – Схема навантаження балки в складально-зварювальному кондукторі зосередженою силою посередині довжини балки (б) і двома силами, симетрично розташованими по довжині балки (в)

При вигині балки за схемою (рис. 3.7 б) її прогин визначається формулою:

$$f = \frac{Q_1 L^3}{48EJ}, \quad (3.27)$$

звідки

$$Q_1 = \frac{48fEJ}{L^3}. \quad (3.28)$$

Якщо замінити прогин f його значенням з формули (3.20), то отримаємо розрахункову зосереджену силу притиснення балки, виражену через усадкову силу

$$Q_1 = \frac{6P_y \cdot e}{L}. \quad (3.29)$$

При вигині балки по схемі (рис. 3.7 в), яка дуже поширена в кондукторах, прогин балки визначається за формулою:

$$f = \frac{Q_2 c}{24EJ} (3L^2 - 4C^2), \quad (3.30)$$

звідки

$$Q_2 = \frac{24fEJ}{c(3L^2 - 4C^2)}. \quad (3.31)$$

Підставляючи сюди значення прогину f з формули (3.20), отримуємо формулу для визначення зосереджених сил, розташованих симетрично по довжині балки в залежності від усадочної сили:

$$Q_2 = \frac{3P_y e L^2}{c(3L^2 - 4C^2)}. \quad (3.32)$$

Після складання і зварювання тавра з другим поясом, тобто після перетворення його в двутавр, виникає вигин в протилежному напрямку, величину якого визначають за тими ж формулами з підстановкою в них моменту інерції всього перетину двотавру і нового ексцентриситету e .

Підсумовуючи дії цих двох вигинів, можна визначити результуючу деформацію двотаврової балки і, зокрема, її прогин, а в залежності від нього, і зусилля, що виникають в кондукторі. Аналогічним шляхом розраховуються зусилля в кондукторах для зварювання балок іншого профілю – швелерних, коробчастих та ін.

Формули (3.26) і (3.29) виражають лінійну залежність зусилля Q і Q_1 від довжини балки: чим менше довжина, тим більше

зусилля, що врівноважують усадковий згинальний момент. Ця, на перший погляд, парадоксальна залежність цілком може бути зрозуміла, якщо врахувати, що при дуже малій довжині балки, додані до неї поперечні сили, не стільки її згинають, скільки перерізають. У межі, при $L \rightarrow 0$, згинальний момент від дії скільки завгодно великої сили Q_1 (див. рис. 3.7 б) дорівнює нулю і вся система сил (активних і реактивних) починає діяти, як ножиці. Тому в кондукторах для зварювання коротких балок, щоб компенсувати усадковий згинальний момент $P_y \cdot e$, необхідно докладати до балки не поперечні сили, а згинальні моменти, рівні усадковому моменту, але спрямовані в зворотну сторону і прикладені по кінцях балки (рис. 3.8).

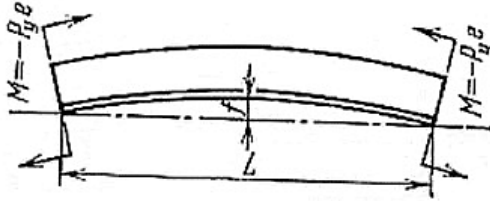


Рисунок 3.8 – Схема навантаження балки в складально-зварювальному кондукторі згинальними моментами, прикладеними по кінцях балки

Слід, однак, зауважити, що короткі балки мають настільки малий прогин, що він цілком компенсується пружною піддатливістю самого кондуктора або його спеціальних компенсаторів, що не допускають виникнення надмірно великих реактивних зусиль, точніше, обмежують їх величину. Зазвичай ця величина визначається допустимими технічними умовами і залишковим прогином балки.

Приклад. Потрібно визначити зусилля в кондукторі (див. рис. 2.15) для складання і зварювання таврових балок, що мають розміри: стінка 600×10 мм, пояс 300×10 мм, катети швів $k = 8$ мм, момент інерції перетину $J = 36100$ см⁴, ексцентриситет $e = 19,6$ см, довжина балки $L = 6$ м. Схема навантаження балки – див. рис. 3.6.

Усадочна сила на обох швах розраховується за формулою (3.22):

$$P_y = 1,15 \cdot 17 \cdot 30000 \times 0,8^2 = 37600 \text{ кгс.}$$

Питоме навантаження розраховується за формулою (3.25)

$$q = 9,6 \frac{37600 \cdot 19,6}{600^2} = 20 \text{ кгс/пог. см.}$$

Навантаження на всю балку розраховується за формулою (3.26):

$$Q = q L = 20 \cdot 600 = 12000 \text{ кгс.}$$

Опорні реакції по кінцях кондуктора:

$$R = Q/2 = 6000 \text{ кгс.}$$

Якщо кондуктор має захоплення, які утримують пояс балки від кутової деформації типу "грибовидність" (рис. 3.9), то для визначення зусиль, що виникають на цих захопленнях, можна користуватися тим же методом, який застосовувався вище при розрахунку сил, що виникають від деформації типу "будиночок".

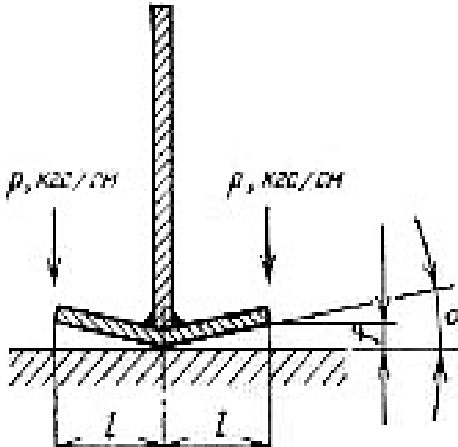


Рисунок 3.9 – Поперечна (кутова) деформація поясу балки («грибовидність»)

Поперечну деформацію поясу балки в затискному пристрої по рис. 2.15 можна розглядати як вигин двоконсольної пластинки (див. рис. 3.9), зафіксованої посередині і навантаженої по кінцях силами p (аналогічно "будиночка" при зварюванні листів встик). Найбільше допустиме навантаження $p_{\text{доп}}$ визначається виразом (3.13), виходячи з допустимої напруги вигину $\sigma_{\text{доп}}$.

Якщо поставити граничною умовою вигину прилягання країв пояса до опорного майданчика кондуктора, то необхідне для цього зусилля p визначиться з умови $f = f_c$, тобто такого ж, як і для "будиночка". Отже, величину зусилля p можна визначати за формулою (3.18). Значення $\alpha_{кр}$ визначається формулою (3.19), яка однаково справедлива як для "будиночка", так і для «грибовидності».

Наведені вище міркування про вибір варіанту розрахунку в залежності від величини $\alpha_{кр}$, "будиночка" залишаються в силі і для «грибовидності». Якщо дійсна кутова деформація α більше критичної $\alpha_{кр}$, то треба розраховувати зусилля $p_{доп}$ за формулою (3.13), якщо менше – то по формулі (3.18).

Приклад. Таврова балка по рис. 3.9 має розміри пояса $l = 15$ см, $\delta = 1$ см, кутова деформація «грибовидності», виміряна після зварювання пробних зразків, $\text{tg } \alpha = 0,010$. Допустиме напруження згину $\sigma_{доп} = 2500$ кгс/см². Потрібно визначити зусилля на притискач.

Для даної балки критичне значення кутової деформації за формулою (3.19)

$$\text{tg } \alpha_{кр} = \frac{2}{3} \cdot \frac{15 \cdot 2500}{2,1 \cdot 10^6 \cdot 1} = 0,012.$$

Так як дійсна величина деформації менше критичної, то визначення необхідного зусилля на притискачах виконуємо за формулою (3.18), виходячи з умови прилягання країв пояса до ложементів кондуктора:

$$p = \frac{1^3 \cdot 0,010 \cdot 2,1 \cdot 10^6}{4 \cdot 15^2} = 23 \text{ кгс/пог. см.}$$

Прийнято з запасом $25 \text{ кгс/см} = 2,5 \text{ тс/м}$.

Слід мати на увазі, що запас зусилля цілком допустимий і навіть бажаний, якщо розрахунок ведеться за формулою (3.18), але він абсолютно неприпустимий, якщо розрахунок здійснюється за формулою (3.13), так як в останньому випадку напруження вигину рівно $\sigma_{доп}$ і подальше збільшення зусилля викличе відповідне підвищення напруження вище допустимої межі. Тим часом, при розрахунку за формулою (3.18), коли $\alpha > \alpha_{кр}$, надлишок зусилля

понад розрахункове викличе лише більш щільне притиснення країв пояса до ложементів без збільшення згинального моменту і напруження в металі шва $\sigma_{зг}$.

Розрахунок кондуктора для балок див. в [1, §17].

3.3 Складально-зварювальні комбайни

Розрахунок зусиль в складально-зварювальних комбайнах, в яких складальні та зварювальні операції поєднані в часі і просторі, істотно відрізняється від розрахунку звичайних складальних стендів і кондукторів, завдяки двом особливостям роботи такого комбайна:

- процес складання і сполучення деталей, що збираються в комбайні здійснюється одночасно зі зварюванням;
- збирання проводиться методом формування або вальцювання металевого листа з одночасним притисненням його до сполученої деталі.

Специфіка розрахунку полягає в тому, що складальний пристрій комбайна має розраховуватися за методами, прийнятими для розрахунку відповідного формуючого пристрою: гнуття вальців, штампувального преса та ін.

Як приклад, наводиться [1, с. 93] розрахунок зусилля, необхідного для вальцювання і притиснення листа, що огинає деталі в вальцезварювальних верстатах для виробництва кузовів шахтних вагонеток.

3.4 Особливості розрахунку складально-зварювальних пристроїв

Після визначення необхідних зусиль затиснення деталей, що збираються, складально-зварювальний пристрій розраховується на міцність і жорсткість під дією цих зусиль.

Розрахунки на міцність мають на меті визначення необхідних розмірів всіх силових елементів пристрою, що проектується. **Мета розрахунків на жорсткість** не настільки очевидна і вимагає деяких пояснень.

Розрахунки на жорсткість повинні виходити з двох основних вимог, що пред'являються до складально-зварювальних пристроїв: забезпечити незмінність геометричної форми затиснутого в кондукторі виробу і забезпечити особливу жорсткість металоконструкції кондуктора, що несе на собі зварювальну головку або рейковий шлях для неї. Розглянемо кожну з цих вимог окремо.

Жорсткість опорної конструкції складально-зварювального пристрою, що служить ложементом для деталей, які збираються, повинна бути достатньою, щоб утримати виріб, який зварюється від деформування під час зварювання і, отже, щоб пружні деформації під дією зусиль на затискачах і власної ваги були нехтовно малі в порівнянні з можливими зварювальними деформаціями виробу. В іншому випадку виріб, що зварюється отримує додаткові залишкові деформації, наслідком яких буде порушення заданої геометричної форми і розмірів виробу. Звідси, зокрема, випливає висновок про те, що жорсткість базової конструкції кондуктора повинна бути більше жорсткості виробу, що зварюється, якщо останній в результаті зварювання може отримати значну деформацію – вище допустимої технічними умовами.

Наприклад, в кондукторі по рис. 2.15 опорна балка 3, що працює на вигин, під дією зусиль на затискачах і власної ваги, повинна мати жорсткість при згині EJ , істотно більшу, ніж жорсткість виробу, що зварюється – таврової балки.

Так як абсолютна жорсткість, тобто повна недеформованість конструкції, практично недосяжна, то в багатьох випадках умова достатньої жорсткості кондуктора визначається заданою гранично допустимою величиною його пружної деформації. Ця допустима деформація, в свою чергу, визначається в залежності від допусків на геометричні розміри виробу і, зрозуміло, повинна бути менше їх величини. Наприклад, якщо допустимий залишковий прогин зварювальної балки дорівнює $1/1000$ її довжини, то прогин опорної балки кондуктора під дією затискачів і власної ваги не повинен бути більше $1/2000$ її довжини.

Такий метод розрахунку на жорсткість (за допустимої деформації) застосовується також у тих випадках, коли затиснутий елемент зварного виробу (або весь зварний виріб) практично не має майже ніякої жорсткості, наприклад плоске листове полотнище або стінка таврової балки, окремо притиснута плазом до опорної балки

кондуктора (див. рис. 2.15) і т. п. У таких випадках жорсткість затиснутих елементів настільки мала, що не може служити вихідним порівняльним еталоном для визначення необхідної жорсткості кондуктора. Тут розрахунок ведеться по допустимій деформації виробу. Приклади подібних розрахунків наведені у [1].

У розрахунках складально-зварювального пристрою на жорсткість особливу увагу слід приділяти тим його елементам, які служать несучою конструкцією для дугового зварювального автомата і його направляють, або для виробу, що підлягає автоматичному зварюванню. Вимога жорсткості такої конструкції (наприклад, балка 3 по рис. 2.15) обумовлена необхідністю дотримання суворої стабільності і точності положення електрода щодо лінії зварювального шва, як по горизонталі, так і по вертикалі.

При недостатній жорсткості несучої конструкції (балки або кронштейна) ця стабільність легко може бути порушена внаслідок пружного деформування конструкції під дією зусиль на затискачах, вигину від власної ваги і різних зовнішніх впливів, наприклад, через вібрації при проходженні цехового підйомного крана. У цих випадках деформація несучої конструкції (її прогин, скручування, вібрація) викличе відповідне відхилення електрода від осі шва або зміну його вильоту. Якщо це відхилення виходить за межі, допустимі технологією зварювання, то несуча конструкція (балка, кронштейн та ін.) не має достатньої жорсткості і її треба посилити до такої міри, щоб при її пружному деформуванні відхилення електрода не перевищувало заданої допустимої величини. Зазвичай ця величина для дугового зварювання електродом, що плавиться коливается в межах $\pm 1,5-2$ мм по горизонталі і $\pm 5-8$ мм по вертикалі.

У механізованому складально-зварювальному пристрої розрахунку підлягають наступні силові вузли:

- приводи затискних пристроїв;
- затискні пристрої та механізми, які є виконавчими органами складальних стендів і кондукторів;
- несучі конструкції;
- механізми повороту, обертання або лінійного руху виробу в тих кондукторах, які здійснюють не лише складання виробу, але також його нахил або зварювальний рух.

Методи розрахунку всіх цих силових елементів наведені у [1,2].

ЛІТЕРАТУРА

1. Севбо П.И. Конструирование и расчет механического сварочного оборудования / П.И. Севбо. – К.: Наукова думка, 1978. – 400 с.
2. Карпенко А.С. Технологічна оснастка у зварювальному виробництві. 2-е видання, переробл. та доповн.: Навч. посібник. / А.С. Карпенко – К.: Арістей, 2006. – 272 с.
3. Касаткин Б.С. Напряжения и деформации при сварке. Учеб. пособие / Б.С. Касаткин, В.М. Прохоренко, И.М. Чертов. – Киев. Вища школа, 1987. – 246 с.
4. Сварка в машиностроении. Справочник. Т.3 – М.: Машиностроение, 1979. – 567 с.
5. Гитлевич А.Д. Альбом механического оборудования сварочного производства. Учеб. пособие / А.Д. Гитлевич, Л.А. Животинский, А.И. Клейнер – М.: Высшая школа, 1974. – 159 с.
6. Березін Л.Я. Засоби технологічного оснащення зварювального виробництва. Навчальний посібник / Л.Я. Березін, М.М. Хоменко, А.С. Карпенко – Чернігів: ЧДГУ, 2003. – 142 с.
7. Терликова Т.Ф. Основы конструирования приспособлений: Учеб. пособие для машиностроительных вузов / Т.Ф. Терликова, А.С. Мельников, В.И. Баталов. – М.: Машиностроение, 1980. – 119 с.
8. Рыморов Е.В. Конструирование и расчет сварочных приспособлений: Учеб. Пособие / Е.В. Рыморов – Брянск, БИТМ, 1987. – 88 с.
9. Антонюк В.Е. Конструктору станочных приспособлений. Справоч. Пособие / В.Е. Антонюк – Минск. Берарусь, 1991. – 400 с.
10. Виноградов В.С. Технологическая подготовка производства сварных конструкций в машиностроении / В.С. Виноградов – М.: Машиностроение, 1981. – 224 с.
11. Галкин В.А. Справочник по сборочно-сварочной оснастке цехов верфи / В.А. Галкин – Л.: Судостроение, 1983. – 304 с.
12. Гайдамака В.Ф. Грузоподъемные машины: Учебник / В.Ф.

- Гайдамака – К.: Вища школа. Головное изд-во, 1989. – 328 с.
13. Корсаков В.С. Основы конструирования приспособлений. Учебник для вузов / В.С. Корсаков – М.: Машиностроение, 1983. – 277 с.
 14. Лавриненко М.З. Технология машиностроения и технологические основы автоматизации / М.З. Лавриненко – К.: Вища школа. Головное изд-во, 1982. – 320 с.