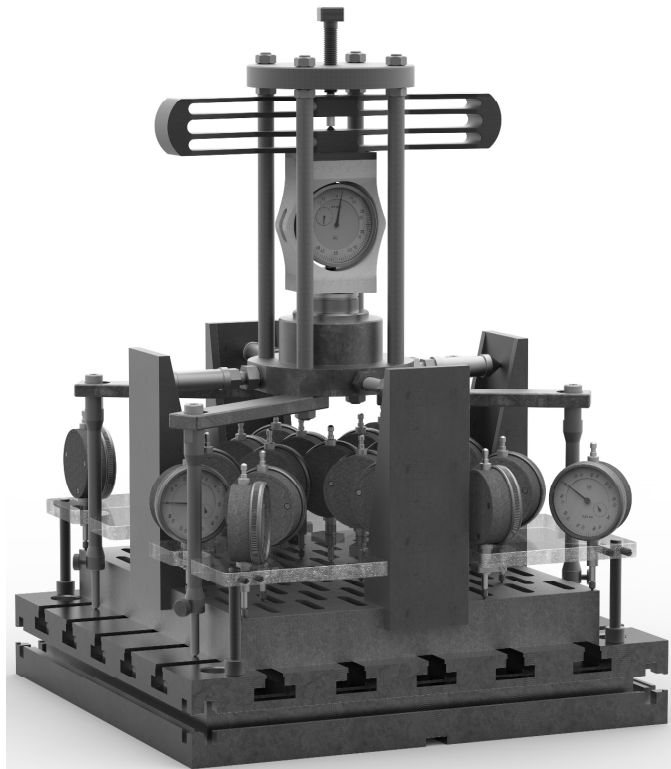


Є.А. ФРОЛОВ, Б.О. КОРОБКО,
С.В. ПОПОВ, О.В. БОНДАР

**ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ
СКЛАДАННЯ НЕРОЗ'ЄМНИХ З'ЄДНАНЬ ІЗ
ВИКОРИСТАННЯМ ЗВАРЮВАЛЬНИХ
ПРИСТОСУВАНЬ В УМОВАХ
СЕРІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА**

Колективна монографія



Полтава, 2020 р.

Міністерство освіти і науки України
Полтавська державна аграрна академія
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра галузеве машинобудування

Є.А. ФРОЛОВ, Б.О. КОРОБКО,
С.В. ПОПОВ, О.В. БОНДАР

**ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ
СКЛАДАННЯ НЕРОЗ'ЄМНИХ З'ЄДНАНЬ ІЗ
ВИКОРИСТАННЯМ ЗВАРЮВАЛЬНИХ
ПРИСТОСУВАНЬ В УМОВАХ
СЕРІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА**

Колективна монографія

Полтава, 2020 р.

УДК 621.791.039.001.5
ББК 34.5

Рецензенти:

О.А. Пермяков – докт. техн. наук, проф., завідувач кафедрою технології машинобудування та металорізальних верстатів Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»;

Е.С. Геворкян – докт. техн. наук, проф., професор кафедри якості стандартизації, сертифікації та технології виготовлення матеріалів Українського державного університету залізничного транспорту;

О.В. Купріянов – докт. техн. наук, проф., професор кафедри інформаційних комп'ютерних технологій і математики Української інженерно-педагогічної академії.

Фролов Є.А., Коробко Б.О., Попов С.В., Бондар О.В. Технологічне забезпечення якості складання нероз'ємних з'єднань із використанням зварювальних пристосувань в умовах серійного виробництва: колективна монографія. Полтава, 2020. 256 с.

У колективній монографії наведено результати розробки та вдосконалення універсальних збірно-розбірних пристосувань, що переналагоджуються, для виробництва зварних конструкцій (УЗРП) мало- та крупногабаритних виробів машинобудування.

Рекомендується для наукових співробітників, інженерно-технічних працівників, які займаються створенням та експлуатацією виробів у галузі машинобудування, а також здобувачів закладів вищої освіти механічних спеціальностей галузі знань «Механічна інженерія».

УДК 621.791.039.001.5
ББК 34.5

© Є.А. Фролов, Б.О. Коробко,
С.В. Попов, О.В. Бондар, 2020

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
ЧАСТИНА I. ВИРОБНИЦТВО МАЛОГАБАРИТНИХ ВИРОБІВ ..	14
РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ.....	14
1.1 Конструктивний аналіз, розвиток складально-зварювальних пристосувань	14
1.2 Проектування, розрахунок, дослідження складально-зварювальних пристосувань	21
1.3 Методи досліджень напружено- деформованого стану технологічного оснащення.....	24
Висновки до розділу 1	28
РОЗДІЛ 2. УМОВИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ, ВИМОГИ ДО КОНСТРУКЦІЇ ТА КРИТЕРІЇ ОЦІНКИ ПАРАМЕТРІВ УНІВЕРСАЛЬНИХ ЗБІРНО-РОЗБІРНИХ ПЕРЕНАЛАГОДЖУВАНИХ ПРИСТОСУВАНЬ	29
2.1 Універсальні збірно-розбірні пристосування, що переналагоджуються: призначення, експлуатація, застосування	29
2.2 Конструкція, склад та особливості універсальних збірно-розбірних переналагоджуваних пристосувань	33
2.3 Компоновки універсальних збірно-розбірних пристосувань та силові взаємодії.....	39
2.4 Визначення величин розрахункових навантажень	42
2.5 Конструктивні вимоги, критерії оцінки параметрів універсальних збірно- розбірних пристосувань	45
Висновки до розділу 2.....	49
РОЗДІЛ 3. ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ БАЗОВИХ ПЛИТ УНІВЕРСАЛЬНИХ ЗБІРНО-РОЗБІРНИХ ПЕРЕНАЛАГОДЖУВАНИХ ПРИСТОСУВАНЬ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ЇХ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ.....	51
3.1 Стан дослідження	51
3.2 Постановка задачі	55
3.3 Виведення формул для еквівалентних жорсткостей досліджуваних пластин	57
3.4 Задача про вигин базових плит	62

3.5 Вивчення напружено-деформованого стану, основні параметри базових плит	69
3.5.1 Висота облямовуючого ребра та напружений стан базових плит	70
3.5.2 Товщина пластини та напружений стан базових плит	73
3.5.3 Висота облямовуючого ребра, товщина пластини та деформований стан базових плит.....	75
3.5.4 Дослідження напружено-деформованого стану, конструктивні розміри базових плит універсальних збірно-розбірних пристосувань.....	77
Висновки по розділу 3	83

РОЗДІЛ 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ОСНОВНИХ КОНСТРУКТИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ УНІВЕРСАЛЬНИХ ЗБІРНО- РОЗБІРНИХ ПЕРЕНАЛАГОДЖУВАНИХ ПРИСТОСУВАНЬ..... 84

4.1 Експериментальні дослідження напружено- деформованого стану базових плит	84
4.1.1 Методика проведення досліджень	84
4.1.2 Результати досліджень	91
4.1.3 Порівняння результатів теоретичних і експериментальних досліджень.....	100
4.2 Дослідження працездатності з'єднання елементів універсальних збірно-розбірних переналагоджуваних пристосувань	102
4.2.1 Методика проведення досліджень	102
4.2.2 Дослідження працездатності пальцевих з'єднань.....	105
4.2.3 Дослідження працездатності з'єднання без проміжку елементів пристосувань	107
4.2.4 Дослідження працездатності клинового з'єднання елементів пристосувань.....	111
4.3 Дослідження напруженого стану у з'єднанні базових і корпусних деталей	114
4.3.1 Методика проведення досліджень	114
4.3.2 Результати досліджень	119
4.4 Чисельний розрахунок і взаємозв'язок основних параметрів кріпильно-притискних елементів універсальних збірно-розбірних переналагоджуваних пристосувань.....	122
4.5 Дослідження взаємозв'язку лінійних розмірів універсальних збірно-розбірних переналагоджуваних пристосувань.....	125
4.6 Оптимізація приєднувальних розмірів універсальних збірно-розбірних переналагоджуваних пристосувань.....	126

4.7 Чисельний розрахунок параметрів клинового з'єднання елементів універсальних збірно-розбірних переналагоджуваних пристосувань	131
4.8 Дослідження взаємозв'язку основних розмірів корпусних елементів.....	134
4.9 Практичні рекомендації	140
Висновки до розділу 4.....	142
 РОЗДІЛ 5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ. ВИРОБНИЧІ ВИПРОБУВАННЯ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ УНІВЕРСАЛЬНИХ ЗБІРНО-РОЗБІРНИХ ПЕРЕНАЛАГОДЖУВАНИХ ПРИСТОСУВАНЬ	
5.1 Методика проведення випробувань.....	144
5.2 Результати виробничих випробувань	145
5.3 Впровадження та економічна ефективність універсальних збірно-розбірних переналагоджуваних пристосувань	148
Висновки до розділу 5	153
 ВИСНОВКИ.....	154
 ЛІТЕРАТУРА.....	156
 ЧАСТИНА II. ВИРОБНИЦТВО ВЕЛИКОГАБАРИТНИХ ВИРОБІВ....	
165	
 РОЗДІЛ 1. УДОСКОНАЛЕННЯ ПРИСТОСУВАНЬ ТИПУ УЗРП-12 ТА УЗРП-16 В УМОВАХ БАГАТОНОМЕНКЛАТУРНОГО МАШИНОБУДУВАННЯ	
165	
1.1 Аналіз номенклатури зварних конструкцій та вибір методів досліджень	165
1.2 Особливості проектування елементів оборотних пристосувань	166
1.3 Сучасний стан проблеми класифікації зварних конструкцій.....	168
1.4 Аналіз існуючих методів розрахунку та дослідження міцності та жорсткості УЗРП.....	169
1.5 Теоретичні та експериментальні методи дослідження напружено-деформованого стану основ оборотних пристосувань.....	172
Висновки до розділу 1	178
 РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ УЗРП	
179	
2.1 Особливості УЗРП	179
2.1.1 Точність виготовлення і шорсткість поверхонь елементів УЗРП.....	179

2.1.2 Матеріал і термічна обробка.....	180
2.2 Призначення деталей і складальних одиниць УЗРП	181
2.3 Виявлення розрахункових схем навантаження базових та опорно-корпусних деталей УЗРП.....	181
2.4 Визначення величини навантажень, що діють на елементи компоновок УЗРП	183
2.4.1 Визначення величини пасивних навантажень	183
2.4.2 Визначення величини активних навантажень	183
2.5 Умови обпирання та кріплення базових плит	186
2.6 Критерії працездатності УЗРП.....	188
2.6.1 Міцність	189
2.6.2 Жорсткість	190
Висновки до розділу 2	190

РОЗДІЛ 3. ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН БАЗОВИХ ПЛИТ, ЩО Є ОСНОВОЮ ПРИСТОСУВАНЬ УЗРП-16.....	192
3.1 Постановка проблеми.....	192
3.2 Завдання та основні передумови.....	192
3.3 Методика розв'язку задачі.....	193
3.4 Результати досліджень	199
3.5 Отримання залежностей для вибору товщини плит	203
Висновки до розділу 3	204

РОЗДІЛ 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ БАЗОВИХ ТА ОПОРНО-КОРПУСНИХ ДЕТАЛЕЙ УЗРП	206
4.1 Вибір ширини Т-подібного паза.....	206
4.2 Дослідження впливу конструктивних елементів Т-подібних пазів на міцність базових і опорно корпусних деталей УЗРП	207
4.2.1 Методика проведення досліджень	208
4.2.2 Результати досліджень	209
4.3 Дослідження напруженого стану в з'єднанні базових і опорно-корпусних деталей.....	214
4.3.1 Методика проведення досліджень	214
4.4 Дослідження методом моделювання напружено-деформованого стану базових плит УЗРП і вибір їх конструктивних розмірів	215
4.4.1 Обґрунтування вибору методу моделювання.....	215
4.4.2 Основні закономірності теорії тонких пружних пластинок	215
4.4.3 Умови подібності і виведення формул для переходу з моделі на натуру	217
4.4.4 Методика проведення досліджень і обробка результатів вимірювань	219

4.4.5 Дослідження деформованого стану плит при різних схемах закріплення і навантаження	226
4.4.6 Визначення висоти плит	233
4.4.7 Визначення величини діючих напружень	233
4.5 Дослідження впливу конструктивних елементів поперечного перерізу базових плит УЗРП на їх жорсткість.....	234
4.5.1 Методика проведення та результати досліджень	234
4.6 Оцінка точності дослідження методом моделювання	238
4.6.1 Неточності відтворення критеріїв подібності.....	238
4.6.2 Неточності вимірювань при проведенні дослідів	239
4.6.3 Неточності, пов'язані з наближеністю моделювання.....	241
4.7 Розробка практичних рекомендацій щодо зниження металоємності елементів УЗРП.....	241
Висновки до розділу 4	242
РОЗДІЛ 5. ВИРОБНИЧІ ВИПРОБУВАННЯ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ УЗРП ІЗ РАЦІОНАЛЬНИМИ КОНСТРУКТИВНИМИ ПАРАМЕТРАМИ І РОЗМІРАМИ БАЗОВИХ І ОПОРНО-КОРПУСНИХ ДЕТАЛЕЙ.....	
5.1. Методика проведення випробувань.....	244
5.2 Результати виробничих випробувань	245
5.3 Впровадження та економічна ефективність УЗРП з вибраними конструктивними параметрами	248
Висновки до розділу 5	249
ВИСНОВКИ.....	250
ЛІТЕРАТУРА.....	252

ВСТУП

Сучасне машинобудівне виробництво вийшло на новий складний етап розвитку. Він пов'язаний з ринковими відносинами. Розробка та освоєння нових видів продукції, поліпшення її якості та конкурентної спроможності стали основними засадами розвитку виробництва. У даний час пріоритетним напрямком машинобудівного виробництва є впровадження нових прогресивних технологій та конструкцій.

Зварювальне виробництво є найбільш трудомісткою та важливою складовою технологічних процесів виробництва, де в основному формується їх якість та конкурентна спроможність.

Для виготовлення зварних конструкцій високої якості перед усім потрібне вірне складання деталей виробу, що зварюється, тобто їх вірне взаємне встановлення та закріплення.

Процес складання зварного виробу містить ряд послідовних операцій. Спочатку потрібно подати деталі, з яких складається виріб, до місця складання. Потім необхідно встановити ці деталі у складальний пристрій (пристосування) у певному положенні. Положення деталей під час складання визначається встановлювальними елементами пристосування чи іншими змінними деталями. Деталі закріплюються затискними елементами складальних пристосувань.

Складальне обладнання поділяється на складальне та складально-зварювальне.

На складальному обладнанні операція складання завершується прихопленням. На складально-зварювальному обладнанні, окрім складання, відбувається повне або часткове зварювання виробу, а інколи і витримка для зняття залишкових деформацій.

Складально-зварювальне обладнання застосовується тоді, коли недоцільно здійснювати складання та зварювання на різних місцях. При цьому слід мати на увазі, що якість виробу вище, якщо зварювання здійснюється безпосередньо після складання, та виріб не підлягає переустановленню та проміжному транспортуванню. У більшості випадків переустановлення зі складального на зварювальне пристосування вимагає багато часу. Це подовжує цикл виготовлення та збільшує трудомісткість. У той же час складально-зварювальні пристосування зазвичай складніші та дорожчі від зварювальних. Тому у кожному окремому випадкові потрібен детальний аналіз усіх технологічних та техніко-економічних факторів, що визначають вибір типу обладнання.

Сьогодні складально-зварювальне обладнання широко застосовується у великосерійному та масовому виробництвах. Має програмне забезпечення, супутній контроль та доведення виробу.

У великосерійному чи масовому виробництвах використовують добре відпрацьовані автоматичні лінії та їх технологічне оснащення. У

сучасному серійному виробництві застосовують гнучкі виробничі системи (ГВС) різного рівня інтеграції та автоматизації.

Незалежно від принципу побудови та рівня здійснення ефективність використання гнучких систем зварювального-складального виробництва значною мірою залежить від технічного рівня та можливостей оснащення, що застосовується. До пристосувань, що застосовуються для оснащення гнучкого виробництва, висуваються вимоги, зумовлені його специфікою. Як правило, таке виробництво використовується для обробки широкої номенклатури деталей незначними партіями (близько 55 шт.), що характерно для дрібно- та середньосерійного виробництва. Отже, елементи, що входять до системи, повинні володіти високою гнучкістю. Усе це призвело до певного прогресу в розвитку конструкцій технологічного оснащення, що переналагоджується для ГВС, пошуку шляхів підвищення їх працездатності та довговічності, переходу від нерозбірних спеціальних пристосувань до більш прогресивних оборотних пристосувань багатократного застосування, удосконалення форм і методів їх експлуатації.

Особливої уваги заслуговують складально-зварювальні операції. Виробництво зварних конструкцій виробів машинобудування вимагає застосування значної кількості нерозбірного спеціального складально-зварювального оснащення, у тому числі дублерів.

Під час підготовки виробництва нових виробів у результаті внесення конструктивно-технологічних змін 30-40% виготовленого оснащення потрібно проектувати і виготовляти заново. Це призводить до того, що фактичні обсяги проектування та виготовлення складально-зварювальних пристосувань, як засвідчив виробничий досвід, у 1,5-2 рази перевищує їх попит. Це викликає значні додаткові витрати металу, праці та фінансових витрат.

Одним з ефективних процесів, що дозволяють суттєво скоротити цикл підготовки технологічного оснащення та зменшення матеріальних витрат і витрат праці, є широке застосування оборотного оснащення, що переналагоджується.

В основу системи повинні бути покладені наступні принципи:

- повна відповідність усім вимогам, що висуваються до аналогічного спеціального оснащення;
- можливість багатократного і тривалого (не менше 10 років) використання елементів оснащення у різних варіантах компонувань без підгонки;
- технологічність конструкцій елементів;
- максимальне використання елементів попередніх видів оснащення у наступних;
- стандартизація типів, основних параметрів та розмірів елементів оснащення.

В таблиці наведено найменування різновидів оснащення, що переналагоджується, для виготовлення основних класів зварних конструкцій машинобудівної галузі.

Таблиця – Різновиди оснащення, що переналагоджується

Найменування оснащення	Класи зварних конструкцій, що виготовляються із застосуванням оснащення	Габаритні розміри зварних конструкцій, що виготовляються, мм	Маса зварних конструкцій, кг
Універсально-збірні пристосування для складально-зварювальних робіт із пазами 8, 12 і 16 мм	Плоскі, ґраткові, коробчасті, важелі	Від 50×50×30 до 5000×2000×1500	Від 0,1 до 2500
Збірно-розбірні пристосування для складально-зварювальних робіт	Тяги, кронштейни, циліндричні, балкові	Від 50×50×30 до 5000×300×150	Від 0,1 до 10
Механізовані та швидкодіючі затискні та фіксуючі пристрої універсально-збірних пристосувань для складально-зварювальних робіт із зусиллями 0,5; 35 та 50 кН	Рамні	Від 50×50×30 до 5000×2000×1500	Від 0,1 до 2500
Збірно-розбірне обладнання для повороту зварних конструкцій (кантувачі, обертачі, маніпулятори) вантажопідйомністю 0,4; 0,63; 12,5; та 25 кН		Від 500×500×30 до 2000×1000×800	Від 3 до 250

Основою поділу класу зварних конструкцій є їх геометрична форма та призначення.

Розробка конструкцій елементів оснащення, що переналагоджується, вимагає рішення наступних основних науково-технічних проблем:

- розробка класифікації зварних конструкцій виробів за конструктивними і технологічними ознаками;
- вибір оптимальних конструктивних параметрів та розмірів елементів на основі дослідження їх напружено-деформованого стану;
- вибір оптимальної точності виготовлення елементів оснащення на підставі розрахунків за допомогою комп'ютерної техніки типових розмірних ланцюгів;
- автоматизація проектування компоновань оснащення, що переналагоджується, зі стандартних елементів.

Для умов серійного багатомономенклатурного виробництва потрібне таке оснащення, яке з одного боку було б універсальним з можливістю тривалого переналагодження пристосувань, а з іншого – відповідало б вимогам, що висуваються до спеціального технологічного оснащення. Тобто мало б мінімальну металоємність та вартість виготовлення елементів, забезпечувало простоту і зручність складання пристосувань, гарантувало надійність з'єднання елементів у пристосуваннях протягом усього періоду їх експлуатації.

Значення оснащення у виробничому процесі суттєве. Воно не лише підвищує продуктивність та ефективність процесу, але й забезпечує задану технологічним процесам точність та якість виготовлення зварних конструкцій. Застосування його виключає помилки, що залежать від індивідуальних особливостей, кваліфікації та навичок робітника.

Безперервне підвищення вимог до робочих параметрів виробів та їх якості викликає конструктивну зміну форм деталей, розмірів, матеріалу, маси та призводить до зростання обсягів робіт та витрат на технологічну підготовку виробництва.

У зв'язку з вищевикладеним гостро постає питання розширення сфери застосування системи переналагоджуваного технологічного оснащення, економічно ефективного в умовах серійного багатомономенклатурного виробництва зварних конструкцій, особливо при дискретно-нестабільних програмах випуску виробів.

Складність вирішення цієї задачі полягає в тому, що в області розробки і дослідження переналагоджуваних складально-зварювальних пристосувань практично немає рекомендацій. У більшості випадків УЗРП проектується без належного обґрунтування основних параметрів за різноманітними, часом суперечливими, вихідними даними і методиками із застосуванням перевірочних розрахунків міцності основних елементів.

У монографії вперше розглянуто в сучасних умовах машинобудування питання комплексного, науково-обґрунтованого підходу до розробки конструкцій УЗРП-8, УЗРП-12, УЗРП-16, і достовірного визначення їх основних конструктивно-технологічних і експлуатаційних параметрів, котрі забезпечують тривалу працездатність та якість складання виробів, що мають нероз'ємні з'єднання шляхом визначення параметрів

пристосувань, закономірностей їх компонування при забезпеченні технологічності, гнучкості, високої ефективності експлуатації в умовах серійного багатоміністерського виробництва.

Монографія розрахована на фахівців у галузі машинобудування. Вона може бути корисною також здобувачам вищої освіти, які навчаються за спеціальностями: «Галузеве машинобудування», «Прикладна механіка» тощо.