

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра будівництва та професійної освіти

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи на здобуття ступеня вищої освіти

магістр

на тему: «Удосконалення переналагоджуваних штампів при виготовленні
деталей машин сільськогосподарського призначення»

КРМ.133ГМмд_22.20.000 ПЗ

Виконав: здобувач вищої освіти
за освітньо-професійною програмою
*«Машини і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва»*
спеціальності 133 *«Галузеве
машинобудування»*
ступеня вищої освіти *магістр*
групи 133ГМмд_22
РЯБУХІН Микита

Керівник: канд. техн. наук, доцент
МУРАВЛЬОВ Володимир

Полтава – 2023 року

ВСТУП

Зростання попиту по відношенню до технологічного оснащення листового штампування в різних галузях машинобудування, зокрема сільськогосподарському, призвело до створення комплектів переналагоджуваних штампів самого різного призначення, потужності і габаритних розмірів. До теперішнього часу успішно зарекомендували себе на практиці і широко експлуатуються універсально-складальні штампи із пазами 8 і 16 мм, переналагоджувані штампи для поелементного штампування, універсальні штампи блочно-пакетного типу та ін. Кожному з перерахованих вище видів технологічного оснащення відповідає область економічно доцільного його застосування. Подальший прогрес у створенні нових більш досконалих і широко універсальних конструкцій переналагоджуваного штампового оснащення, що забезпечує зниження витрат при їх виготовленні, високу продуктивність, надійність, довговічність, зручність і безпеку в налагодженні та експлуатації, вимагає застосування нових нетрадиційних матеріалів, прийомів їх використання, що дозволяють відмовитися від традиційних способів кріплення пуансонів і матриць, виготовлення механічним шляхом знімачів, виштовхувачів та інших деталей штампів. Нижче розглянемо джерела інформації, в яких висвітлюються питання закріплення робочих частин штампів, досвід застосування композиційних і ливарних матеріалів при конструюванні, виготовленні штампів, їх надійності та довговічності.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Конструктивно-технологічні особливості штампового оснащення

Безперервне підвищення вимог до робочих параметрів виробів, конструктивна зміна форми деталей при одночасному прискоренні темпів освоєння виробництва нових, більш досконалих виробів призводить до зростання обсягів витрат на технологічну підготовку виробництва.

В умовах переходу до ринкових методів господарювання, скорочення термінів постановки виробів на виробництво має досягатися за рахунок використання більш досконалих технологічних процесів, розширення можливостей діючого обладнання при мінімізації матеріальних витрат і забезпеченні високої якості виробів, що відповідають вимогам їх конкурентоспроможності на світових ринках.

Поява і розвиток нових видів прогресивного високопродуктивного штампового оснащення поставили перед наукою і виробництвом ряд нових проблем в частині вивчення можливості підвищення надійності, довговічності та гнучкості стосовно нових завдань або експлуатаційних умов.

Аналіз технічного рівня виробництва підприємств машинобудівного комплексу України показав, що переважна більшість цих підприємств має змішаний характер виробництва: від дрібносерійного, середньосерійного, серійного, рідше крупносерійного.

Слід зазначити, що в сучасних умовах виробництво носить дискретно-нестабільний характер, як за видами виробів, що випускаються, так і за розмірами партійності за ходом виробництва.

Ці умови накладають певні вимоги техніко-економічного характеру до застосовуваного технологічного оснащення – найбільш трудомісткої частини технологічної підготовки виробництва, в обсязі якої до 40% становить питома вага штампового оснащення.

Як показали результати обстеження підприємств, витрати на виготовлення та придбання штампового оснащення досягають 10...15% від вартості технологічного обладнання.

При стислих термінах освоєння нових виробів, переході на інтенсивні форми роботи, коли весь приріст обсягів продукції, що випускається, обумовлюється зростанням продуктивності праці, найбільший позитивний ефект досягається шляхом комплексного впровадження прогресивних видів універсально-складального і переналагоджуваного технологічного оснащення, що забезпечують значне скорочення витрат на виробництво засобів технологічного оснащення і швидке їх переналагодження при зміні об'єктів виробництва.

Однак у цілому інструментальне виробництво ще не стало потужною і мобільною базою галузевого машинобудування. Має місце постійний дефіцит всіх видів інструментальної продукції, особливо штампів, прес-форм, верстатних і складальних пристосувань, допоміжного інструменту. За технологічної оснащеності робочого місця в металообробці галузь поступається США в 4 рази, причому відставання поглиблюється. Наприклад, в США забезпечується випереджальний розвиток інструментального виробництва (в пропорції 3,9:1 до основного), а у нас воно практично не розвивається.

І це відбувається незважаючи на величезні витрати на виготовлення спеціальних засобів технологічного оснащення, які на ряді підприємств досягають 8...15% собівартості валового випуску продукції галузевого машинобудування [1].

Сучасному рівню і тенденціям розвитку технологічного оснащення (ТО) притаманні такі загальні риси:

- висока гнучкість і універсальність, що забезпечують можливість, базування, закріплення всієї номенклатури деталей, що плануються до виготовлення, з використанням обмеженої кількості елементів, які входять в систему ТО;

- забезпечення повного базування заготовок, тобто їх орієнтації відносно системи координат верстата;

- конструкція пристосування повинна забезпечувати щільне прилягання заготовок до базових поверхонь, запобігати їх зміщенню і вібрації при різних видах обробки;

- високий ступінь надійності;

- максимально можлива простота конструкції, мінімальна вартість пристосувань;

- інструментальна доступність, що дозволяє обробляти максимальну кількість сторін за одне встановлення заготовки;

- забезпечення необхідної точності обробки;

- швидкодія;

- зручність установки і зняття оброблюваних деталей;

- можливість задовільного відведення стружки [2, 3].

Найбільш ефективним видом оснащення в умовах багатомоделіного виробництва при частій зміні виробів є стандартне переналагодження оснащення багаторазового застосування, характерним представником якої є універсально-складальні штампи (УСШ). Система УСШ знайшла широкого застосування на машинобудівних підприємствах різних галузей промисловості, як спосіб підвищення оснащеності технологічних процесів, скорочення термінів підготовки виробництва, матеріальних і трудових витрат на виготовлення оснащення [4].

Сутність системи УСШ полягає в тому, що підприємство, маючи в своєму розпорядженні комплект стандартних деталей і складальних одиниць, шляхом їх різного поєднання складає із них штампи різного технологічного призначення (вирубні, пробивні, гнучкі та ін.).

Штампи, зібрані з елементів УСШ, набувають більшості якостей спеціальних штамів, маючи важливу перевагу – після обробки деталей вони розбираються на складові частини і використовуються для складання іншого штампового оснащення.

Елементи УСШ постійно знаходяться в обігу: складання – експлуатація на пресах – розбирання – зберігання – складання штамів нової конструкції.

На рисунку 1.1 показана конструкція універсально-складального штампа для пробивання отворів квадратної форми в деталях товщиною 4 мм, розмірами 48×54 мм.

Рисунок 1.1 – Універсально-складальний штамп із пазами 12 мм
для пробивання квадратного отвору

Штамп складається з наступних основних частин: нижньої і верхньої базових плит 1 і 2, нижньої і верхньої державок 10 і 13, пуансона 14 і матриці 11, напрямних колонок 5, направляючих обойм 6 і 9, хвостовика 3, пазових болтів 12, шпонок 4, стопорного болта 7, фіксуючих планок 8. Кріплення державок здійснюється пазовими болтами 12.

УСШ призначені для штампування деталей в умовах дослідного і дрібносерійного виробництв. Вони відносяться до класу збірно-розбірного

технологічного оснащення. У ряді галузей машинобудування знайшли широке застосування спеціалізовані переналагоджувані штампи (СПШ).

Відмінність СПШ від спеціальних штамтів полягає в тому, що для отримання заданої деталі виготовлені заздалегідь робочі елементи шляхом механічної обробки (за допомогою розточувальних операцій) встановлюються в металеві заготовки, які потім поміщаються в утримувачі комплектів СПШ, закріплюються в них заливкою самотвердіючою пластмасою АСТ-Т. Переналагодження здійснюється заміною металевих заготовок з встановленими в них робочими елементами.

Конструкція СПШ дозволяє виготовляти, на відміну від УСШ, не тільки одноопераційні компонування, але також штампи суміщеної та послідовної дії.

СПШ призначені для застосування в умовах середньосерійного, серійного, а в ряді випадків і масового виробництва при штампуванні деталей товщиною до 6...8 мм, габаритними розмірами до 100×150 мм. Робоче зусилля штампування може досягати до 850 кН.

Вони відносяться до класу універсального переналагоджуваного оснащення.

В сучасних умовах, коли, як зазначалося вище, мають місце дискретно-нестабільні програми випуску, а при розробці виробничої програми по ходу випуску ми стикаємося з широким діапазоном штампування деталей від дрібносерійного до серійного і великосерійного, відповідно змінюються вимоги до технологічного оснащення. Воно повинно бути гнучким, тобто забезпечувати можливість переналагодження в умовах мінливої номенклатури (не тільки її видів, а й кількості деталей в партії); надійним, довговічним, точним, безпечним та економічно доцільним.

Зазначеним вимогам найбільшою мірою відповідає універсально-складальне переналагоджуване штампове оснащення агрегатно-модульної побудови. Воно поєднує в собі техніко-економічні можливості універсально-складальних та спеціалізованих переналагоджуваних штамтів, ефективно в широкому діапазоні від дрібносерійного до серійного і великосерійного виробництв.

На основі проведеного аналізу, вивчення застосовуваного на підприємствах машинобудівної галузі штампового оснащення розроблені конструкції універсально-складальних переналагоджуваних штампів (УСПШ) багаторазового застосування, призначених для виконання розділових операцій листового штампування в умовах дрібносерійного, серійного і великосерійного виробництв.

При цьому враховувалася можливість використання наявних на переважній кількості підприємств комплектів універсально-складальних пристосувань із метою зниження собівартості компонувань УСПШ.

Це в першу чергу відноситься до базових плит, напрямних і кріпильних елементів конструкції.

1.2 Конструкція універсально-складальних переналагоджуваних штампів

В основу конструкції універсально-складальних переналагоджуваних штампів покладено агрегатно-модульний принцип побудови, який забезпечує:

- можливість отримання компоновок УСПШ багаторазового використання, що найбільш точно відповідають рішенням конкретної технологічної задачі;
- скорочення часу і трудомісткості проектування та виготовлення за рахунок високого ступеня уніфікації елементів і вузлів конструкції;
- збільшення надійності за рахунок вдосконалення конструктивних параметрів елементів і вузлів;
- поліпшення умов експлуатації та ремонтпридатності за рахунок зменшення різноманітності конструкції вузлів і елементів;
- здешевлення виробництва УСПШ за рахунок зниження номенклатури елементів в складі комплекту, збільшення серійності.

До окремих модулів (агрегатним вузлам) комплекту висуваються такі вимоги:

- закінченість і конструктивна самостійність;
- забезпечення необхідної жорсткості і міцності;
- забезпечення компонування елементів в різних поєднаннях і положеннях;
- простота, надійність монтажу;

- єдність приєднувальних розмірів, їх кратність в стикувальних елементах у вузлах однакового призначення;

- уніфікація модулів в межах суміжних типорозмірів і між окремими типами модулів із встановленням конкретної номенклатури типів таких елементів і вузлів.

Таким чином, основою агрегатної побудови УСПШ є наявність певних структурних одиниць, здатних стикуватися між собою.

На рисунку 1.2 приведена конструкція базового блоку УСПШ.

Рисунок 1.2 – Конструкція базового блоку:

1 – плита нижня; *2* – напрямна колонка; *3* – втулка; *4* – плита верхня;
5 – шпонка; *6* – хвостовик; *7* – пристрій для виштовхування деталі;
8 – прихват; *9* – гайка

До складу УСПШ входять блоки, що складаються на основі стандартизованих базових плит *1, 2* (рисунок 1.3) та напрямні елементи *3, 4* комплекту УСП-12. У комплект УСПШ також входять різні види прихватів та кріпильні елементи: шпильки, болти, гвинти, гайки, прокладки тощо (рисунок 1.4).

Рисунок 1.3 – Базові плити

Рисунок 1.4 – Деталі комплекту УСПШ

Робочі елементи (матриці, пуансон-матриці, пуансони) встановлюються в переналагоджувані змінні пакети (рисунок 1.5) і закріплюються в них швидкотвердіючою термостійкою технічною пластмасою акрилового класу шляхом заливання в тримачах та знімачах, що мають робочі порожнини з конусними стінками (10...15°). Це дозволяє здійснювати переналагодження пакета на штампування іншої деталі шляхом заміни одних робочих частин іншими.

Для підвищення міцності, несучої здатності пластмасового кріплення, розширення сфери його застосування, а також компенсації усадкових явищ при полімеризації пластмаси застосовується її армування просторовим металевим каркасом.

У таблиці 1.1 приведена технічна характеристика УСПШ.

Відповідальні деталі УСПШ (плити блоків, знімачі, верхні та нижні тримачі), що зазнають динамічних навантажень, багаторазово беруть участь у складаннях, виготовляють зі сталей 20Х и 12ХН3А.

Для підвищення міцності та зносостійкості деталі, виготовлені зі сталі 12ХН3А і 20Х, піддають цементації на глибину 0,8...2,0 мм із подальшим гартуванням до твердості HRC 58...62. При цьому внутрішній шар металу прогартується до твердості HRC 28 ... 36, що надає деталям УСПШ втомної міцності. Виготовлені таким способом деталі зберігають свою первинну форму і розміри без помітних слідів деформації після тривалої експлуатації в умовах динамічних навантажень. Робочі частини УСПШ виготовляють зі звичайних інструментальних сталей марок: Х12М, Х12, У10А, У8А та ін.

У таблиці 1.2 наведені матеріали для виготовлення основних деталей УСПШ.

Точність виготовлення деталей УСПШ обумовлюється наступними основними факторами:

- а) точністю штампованих деталей;
- б) сумарною похибкою в результаті складання блоків і пакетів УСПШ, яка не повинна перевищувати похибки виготовлення аналогічних спеціальних штампів;
- в) взаємозамінністю пакетів і блоків УСПШ одного типорозміру між собою;
- г) терміном експлуатації УСПШ.

а)

б)

в)

Рисунок 1.5 – Змінні переналагоджувальні пакети: *а* – пакет з рухомим знімачем для послідовного штампування: *1* – встановлювальна шпонка; *2* – верхня прокладка; *3* – тримач; *4* – напрямна колонка; *5, 9* – втулки; *6* – притискний знімач; *7, 14* – напрямні планки; *8* – регульована вставка; *10* – основа; *11* – попередній упор; *12* – нижня прокладка; *13* – матриця; *15, 17* – пластмасові блоки; *16, 18* – пуансони; *б* – пакет з жорстким знімачем для одноопераційного штампування: *1* – верхня прокладка; *2* – тримач; *3* – напрямна колонка; *4, 9* – втулки; *5* – знімач; *6* – накладка знімача; *7* – напрямна планка; *8* – матриця; *10* – основа; *11* – нижня прокладка; *12* – грибковий упор; *13, 15* – пластмасові блоки; *14* – пуансон; *в* – пакет з жорстким знімачем для послідовного штампування з кроковим ножем

Таблиця 2.1 – Технічна характеристика УСПШ

Типорозмір УСПШ	Габаритні розміри блоку, мм $L \times B \times H$	Габаритні розміри пакету, мм $l \times b \times h$	Найбільші розміри штампованих деталей у плані, мм	Найбільше технологічне зусилля, кН
1	250×240×180	120×100×100	35×40	400
2	300×250×190	180×150×100	65×50	450
3	350×300×220	220×180×120	90×80	600
4	400×350×240	270×220×140	130×120	800
5	450×400×280	300×250×150	200×190	1 200
6	500×450×300	360×300×160	280×250	1 250

Аналіз номенклатури штампованих деталей показав, що 70% всіх листових деталей обробляється за 14 квалітетом, 25% за 11-12 квалітетами, 5% по 9-10 квалітетами. Тому точність виготовлення робочих частин штампа приймається в залежності від точності деталі, що штампується. Точність виготовлення напрямних елементів також визначається точністю штампованих деталей.

Посадкові місця тримачів пакетів, плит блоків для встановлення фіксуючих деталей (шпонок, фіксаторів шпонок) виконані за 7-8 квалітетами. Це пояснюється необхідністю взаємозамінності пакетів і блоків УСПШ одного типорозміру. Перпендикулярність шпонок пакетів і фіксаторів блоків УСПШ не більше 0,01 мм на довжині 100 мм. Вікна під заливку робочих частин у тримачах та знімачеві пакетів УСПШ виконані за 12-14 квалітетами. Паралельність базових і опорних поверхонь деталей блоків і пакетів УСПШ – плити, тримачі, знімачі, підкладки, прокладки, накладки – не більше 0,01 мм на довжині 100 мм.

Таблиця 1.2 – Рекомендовані марки сталей для основних деталей УСПШ

Найменування деталей	Марка матеріалу		Твердість за <i>HRC</i>	Термічна обробка
	рекомендована	замінник		
Плити верхні та нижні	20Х	18ХГТ, 20	58...62	Цементация, гартування
Тримачі, знімачі, колонки, втулки	38ХМЮА	12ХН3А	62...68	Азотування, гартування
Фіксатори пазові, прокладки, упори, підкладки, шпонки	У8А	У7, У8	50...54	Гартування
Хвостовики, виштовхувачі, планки напрямні, штирі прихвати, клини, накладки знімачів	45	Ст.5	38...42	Гартування
Опори шарові, шпильки	40Х	38ХА	38...42	Гартування
Гвинти, болти, гайки, штовхачі	45	38ХА, 30ХГСА	38...42	Гартування
Кільця, шайби	35	40	–	–
Огородження	20	Ст3, 10кп	–	–

Для роботи зі складання та експлуатації УСПШ має велике значення чистота обробки деталей, від ступеня якої залежить якість складання пакетів УСПШ, точність штампування, стійкість і термін служби, як окремих деталей, так і

конструкцій в цілому. У той же час чистота обробки деталей УСПШ повинна бути раціональною, оскільки вона багато в чому обумовлює вартість їх виготовлення.

У зв'язку з тим, що точність виготовлення деталей, що УСПШ відповідає 6-14 квалітетам, призначені класи шорсткості поверхонь за ГОСТ 2789 та ГОСТ 2.309 (таблиця 1.3).

Таблиця 1.3 – Шорсткість поверхонь деталей УСПШ

Позначення поверхонь	Параметр шорсткості, <i>Ra</i>
Опорні поверхні плит, тримачів, прокладок, підкладок, знімачів, напрямних матриць, пуансонів, пуансон-матриць, фіксаторів	0,8
Робочі поверхні матриць, пуансонів, пуансон-матриць, напрямних колонок і втулок, шпонкових пазів	0,4
Вільні поверхні деталей	6,3
Поверхні хвостовиків, спеціальних гвинтів і гайок	3,2
Поверхні напрямних колонок і втулок, пазових фіксаторів і отворів в плитах під них для з'єднання епоксидним клеєм	50
Поверхні для роз'ємного з'єднання з пластмасою АСТ-Т	1,6
Поверхні для нероз'ємних з'єднань з пластмасою АСТ-Т	50

У конструкціях блоків УСПШ застосовано механічне кріплення змінних пакетів за допомогою клинових прихватів, що забезпечує простоту блоків, їх велику універсальність, можливість використання для штампування деталей із широким діапазоном габаритів.

Фіксація пакетів в блоці може здійснюватися наступними способами (рисунок 1.6):

- за допомогою шпонок (рисунок 1.6, *a*);
- за допомогою стрижневого фіксатора (рисунок 1.6, *б*);
- за допомогою фіксуючого контуру (рисунок 1.6, *в*).

Фіксування пакетів на шпонки (рисунок 1.6, *a*) є найбільш поширеним.

Конструкція блоків дозволяє проводити встановлення та закріплення змінних переналагоджуваних пакетів для формотворчих операцій будь-якого виду, а також використовувати при необхідності буферні пристрої пресів.

Рисунок 1.6 – Способи фіксації пакетів у блоці:

- a* – за допомогою шпонок; *б* – за допомогою стрижневого фіксатора;
в – за допомогою фіксуючого контуру: 1 – шпонка; 2 – плита; 3 – пазовий фіксатор;
4 – тримач пакета; 5 – стрижневий фіксатор; 6 – пластмасовий фіксатор;
7 – фіксуючий контур

На рисунку 1.7 показані змінний пакет, що переналагоджується, поєднаної дії у зборі з налагодженням для вирубки деталі та змінні робочі частини і напрямні елементи.

Пакет складається з нижнього 20 і верхнього 9 тримачів, пов'язаних між собою напрямними колонками 3, 16 і втулками 10, знімача 17, в якому закріплені бічний 2 та кроковий 1 упори. Знімач 17 з гумовим буфером направляється за колонками за допомогою втулок 18. Пуансон-матриця 23 і пунсон 7 закріплені у

тримачах за допомогою пластмасових блоків 12 і 21. Матриця 13 через прокладку 11 кріпиться до утримувача гвинтами 6 і фіксується за допомогою отворів. Пуансон-матриця направляється в пакеті за допомогою пластмасового блоку 19 і спирається на підкладку 22, в якій виконані отвори для видалення відходів. Для виштовхування відштампованої деталі призначений виштовхувач 15 з планкою 14 і штовхачами 5. Пуансон 7 спирається на накладку 8. Шпонки 4 служать для фіксації пакета в блоці. Робочі частини пакета: матриця 13, пуансон-матриця 23, пуансон 7 з пластмасовими блоками 12, 19, 21 є змінними і встановлюються у пакет залежно від вимог виробництва.

Рисунок 1.7 – Пакет УСПШ суміщеної дії у зборі із робочими частинами

На рисунку 1.8 показано змінний переналагоджуваний пакет із притискним знімачем у зборі з налагодженням для послідовної вирубки деталі, змінні робочі та напрямні деталі.

Пакет складається з нижнього 10 і верхнього 3 тримачів, пов'язаних між собою напрямними колонками 4 і втулками 9, знімача 6 зі вставками 8, який

напрямається за колонками 4 за допомогою втулок 5. Матриця 13 через прокладку 12 кріпиться до тримача 10 і фіксується отворами «А» за колонками 4. На матриці закріплені напрямні планки 7 і 14, попередній 11 і кроковий упори. У прокладці 12 виконані вікна для видалення відходів і відштапованих деталей. Пуансони 16 і 18 закріплені у верхньому тримачі 3 за допомогою пластмасового блоку 15 і спираються на накладку 2. Напрямок пуансонів у знімачеві здійснюється за допомогою пластмасового блоку 17. Шпонки 1 призначені для фіксації пакету в блоці. Матриця 13, пуансони 16, 18 із пластмасовими блоками 15 і 17 представляють змінний комплект робочих частин, який також, як і в пакеті (див. рисунок 2.7) встановлюється залежно від виробничої необхідності.

Рисунок 1.8 – Пакет УСПШ послідовної дії у зборі із робочими частинами

Робочі частини штампа в змінних пакетах закріплюються і направляються за допомогою блоків з АСТ-Т, одержуваних шляхом заливання робочих порожнин тримачів та знімачів із попередньо встановленими в них пуансоном і пуансон-матрицями, а також просторовими металевими каркасами.

Робочі порожнини виконані незалежно від розташування і посадочних розмірів пуансонів, і пуансон-матриць. Вони мають ухил 10...15°. Це дозволяє витягувати з них, одержувані після полімеризації пластмаси АСТ-Т, блоки з робочими частинами і, в міру необхідності, повторно вставляти у ці порожнини.

Установка, фіксація і закріплення робочих частин штампа УСПШ поєднаної дії пластмасою АСТ-Т здійснюється наступним чином (див. рисунок 1.7).

Матриця 13 через прокладку 11 кріпиться гвинтами 6 до верхнього тримача 9. Пуансон-матриця 23 виставляється із необхідним зазором за матрицею. Між площинами нижнього утримувача 20 і знімача 17 встановлюються мірні плитки, висота яких розрахована таким чином, щоб робоча частина пуансон-матриці при досиланні її основи до упору з площиною підкладки 22 заходила в матрицю на 2...3 мм, після чого готується пластмасова композиція і проводиться заливка порожнини нижнього утримувача і отворів матриці за напрямними колонками 16 і втулками 10. Після полімеризації пластмаси через робочу порожнину верхнього утримувача і вікно прокладки 11 з необхідним зазором за пуансон-матрицею виставляються пуансони 7, прокладка 8 кріпиться до верхнього тримача, пакет встановлюється на площину, через отвір для видалення відходів в прокладці 22 і отвори в пуансон-матриці пуансони досилаються до упору з площиною прокладки 8, потім готується пластмасова композиція і проводиться заливка робочої порожнини верхнього утримувача і робочої порожнини знімача.

Після полімеризації пластмаси пакет встановлюється у початкове положення, готується пластмасова композиція і проводиться заливка робочої порожнини матриці з метою отримання пластмасового поршня 15.

Для переналагодження пакета з нього витягується матриці з виштовхувачем 15, пластмасові блоки 12 і 21 з пуансонами 7 і пуансон-матрицею 23, пластмасовий блок 19 знімача 17, після чого в звільнені робочі порожнини тримачів та знімача встановлюються інші блоки, раніше отримані вищевказаним способом, з робочими частинами для отримання заданої деталі, матриця з виштовхувачем фіксується отворами за напрямними втулками 10.

Аналогічно проводиться закріплення робочих частин в пакеті УСПШ послідовної дії (рисунок 1.8). Матриця 13 через прокладку 12 кріпиться до основи 10 гвинтами, а пуансони 16, 18 виставляються за матрицею із необхідним зазором. Потім пакет УСПШ встановлюється на площину, між матрицею і тримачем 3 ставляться обмежувачі, висота яких розрахована таким чином, щоб пуансони після досилання їх основ до упору з площиною прокладки 2 заходили б в матрицю на 2...3 мм, після чого проводиться заливка робочої порожнини тримача і отворів «А» матриці за напрямними колонками 4 і втулок 9 пластмасою АСТ-Т.

На наступному етапі складання встановлюється попередній упор 11, планки 7 для направлення смуги, проводиться налагодження розміру між вставками 8 знімача 6 з розрахунку, щоб вставки заходили між напрямними планками із зазором 0,2...0,3 мм на сторону. Пакет встановлюється у початкове положення і проводиться заливка пластмасовою композицією АСТ-Т робочої порожнини знімача 6 і утвореної порожнини між вставками знімача.

Переналагодження пакета на штампування іншої деталі відбувається за наступним порядком. Пакет розкривають, з нижньої його частини витягають матрицю, з робочої порожнини тримача витягають пластмасовий блок 15 з пуансонами, а з робочої порожнини знімача – блок 17. У порожнини, що звільнилися, вставляються інші блоки, отримані раніше заливкою цих порожнин пластмасовою композицією АСТ-Т, з пуансонами для отримання заданої деталі, а матриця фіксується отворами «А» за напрямними втулками 9 і закріплюється.

Закріплення втулок у тримачах здійснюється, як і в пакеті поєднаної дії, епоксидним компаундом або анаеробними матеріалами у зборі з блоком, тобто коли тримачі установочними шпонками зафіксовані за пазовим фіксатором блоку, що в результаті дає можливість в подальшому проводити операції установки, фіксації і закріплення робочих частин і їх заміну в пакеті незалежно від блоку. Притискний знімач має додатковий напрям за колонками. Нижній тримач і підкладка пакета виконані з вікнами для видалення деталей та відходів.

Необхідно відзначити, що в один і той же пакет можна встановлювати комплекти робочих частин, як для штампа поєднаної дії (рисунок 1.9), так і для штампа послідовної дії (рисунок 1.10).

Рисунок 1.9 – УСПШ

суміщеної дії: 1 – універсальний блок;
2 – змінний переналагоджуваний пакет;
3, 4, 5, 6 – елементи змінного
налагодження; 7 – вузол закріплення
(прихват); 8 – плаваючий хвостовик;
9, 10, 11, 12 – пластмасові елементи

Рисунок 1.10 – УСПШ послідовної дії

1.3 Аналіз умов експлуатації штампового оснащення

Надійна робота штампового оснащення залежить від величини, напряму і способу передачі навантажень, а також від умов обпирання і закріплення штампів на столах пресів [5].

Всі фактори, що впливають на елементи конструкції штампів в процесі експлуатації, можна розділити на три основні групи:

- залежні від зовнішніх впливів;
- пов'язані з конструктивними особливостями оборотного штампового оснащення;
- пов'язані з організаційно-технічним рівнем листоштампувального виробництва.

На рисунку 1.11 наведена схема сил, що впливають під час експлуатації на елементи штампів.

Рисунок 1.11 – Схема сил, що діють на елементи штампа під час експлуатації: P – зусилля штампування; T_n – зусилля, викликане перекосом повзуна; $T_{ск}$ – зусилля, викликане похибками складання; $T_{ш}$ – зусилля, викликане нерівномірністю зазору та анізотропією матеріалу; $M_{зг}$ – момент згину; R – реакція опор; $R_г$ – реакція напрямних; T_m – сили тертя

До факторів другої групи відносяться, головним чином, конструктивні особливості оборотних штампів, обумовлені фізико-механічними

характеристиками матеріалів, що застосовуються при їх виготовленні, початковою якістю поверхонь, що сполучаються, межами міцності при вигині та повторних ударних навантаженнях, твердістю, теплопровідністю, точністю виготовлення елементів конструкції і складання штампів у цілому.

Організаційно-технічний рівень листоштампувального виробництва визначається точністю, потужністю і продуктивністю обладнання, габаритними розмірами і характеристиками точності штампованих деталей.

Більшість пресів, використовуваних на підприємствах галузі, мають круглі провальні отвори, в деяких, випадках зустрічаються отвори прямокутної і квадратної форми.

Навантаження, що діють на елементи конструкції, за характером і походженням можуть бути робочими, що деформують матеріал при виконанні технологічних, операцій; інерційними або об'ємними, що виникають при великих швидкостях штампування; монтажними, створюваними при складанні штампів.

У переважній більшості випадків центральна частина нижніх плит штампів розташована над провальними отворами підштампових плит пресів. Це викликає їх деформування під час прикладання робочих навантажень, створюючи складний напружено-деформований стан елементів конструкції. Величини виникаючих при цьому напружень і допустимих зусиль штампування залежать значною мірою від схеми кріплення штампів на столах пресів, місць розташування напрямних елементів.

Виходячи зі зручності експлуатації, забезпечення достатньої точності штампів встановлюють зазвичай по дві колонки при задньому, діагональному і осьовому їх розташуванні, а в особливо точних і великих штампах по три і чотири колонки в кутах.

Питанню раціонального кріплення нижніх плит штампів до столів пресів і оптимального розташування колонок в літературі не приділялося належної уваги. Відома спроба вирішити задачу, представивши плити у вигляді балок, однак отримані рішення придатні (зі значними припущеннями) лише для плит штампів, що спираються на підкладки [6, 7].

Кріплення штампів до столів здійснюється, як правило, за допомогою спеціальних скоб або притискних планок і болтів, що вставляються в пази. Отже, вибір схеми кріплення нижніх плит залежить від системи розташування пазів на столі преса і конструкції нижньої частини штампа. Як показали дослідження столів пресів, проведені на ряді заводів, системи пазів можуть бути різними. У зв'язку з чим можливі схеми кріплення квадратних і прямокутних плит штампів можна звести до наступних:

- кріплення в чотирьох точках – за кутами або за осями;
- кріплення в двох точках – діагональне і осьове за короткою або довгою осями.

У зв'язку із великими математичними труднощами і недостатньою точністю результатів, одержуваних аналітичним шляхом, деформований стан плит штампів було вивчено на моделях плит з органічного скла. Моделювався поширений у практиці випадок, коли базова плита встановлена над провальним вікном, що має круглу форму, і навантаження прикладене в центрі. До моделей прикладалося навантаження, розподілене за колом. Випробування проводилися на спеціальному гвинтовому пресі, контролюючи зусилля динамометрами, вимірюючи прогини індикаторами годинникового типу з ціною поділки 0,01 мм.

При випробуваннях моделей плит змінювалися лише схеми кріплення, інші параметри були однаковими. Побудовані за результатами вимірювань картини деформованого стану плит при різних способах кріплення наведені на рисунку 1.12 для квадратної плити і на рисунку 1.13 – для прямокутної. З метою кількісного порівняння, величини прогинів для кожної моделі отримані при однакових навантаженнях.

Як видно, епюри і величини прогинів плит істотно залежать від схем їх кріплення на пресах. Деформований стан плит при однакових граничних умовах подібний.

Рисунок 1.12 – Деформований стан квадратних плит

Рисунок 1.13 – Деформований стан прямокутних плит

Для всіх випадків характерно наступне: центральні зони плит, що лежать над провальними вікнами, під навантаженням опускаються; незакріплені консольні зони схильні до значних прогинів, а кутові вільні точки отримують найбільші переміщення протилежного знаку; закріплені консольні зони не мають вертикальних переміщень (можливість переміщень в площині плити забезпечена);

незакріплені ділянки плит, що лежать на лініях «кріплення – центр плити – кріплення», також схильні до деформацій, хоча і незначних.

Викривлення серединної поверхні центральної зони плити створює несприятливі умови для роботи ріжучих частин роздільного штампа, особливо при багатопозиційному вирубуванні-пробиванні невеликих отворів із малими зазорами між матрицею і пуансоном. Прогини консольних зон істотно позначаються на роботі напрямних елементів і ріжучих частин штампа.

При кріпленні плит в чотирьох точках по кутах найбільші прогини виникають в центрі плити. Консольні незакріплені зони, що лежать на головних осях, мають прогини протилежного знака. При цьому відношення найбільшого контурного прогину до центрального становить для квадратних плит 44%, для прямокутних 26%. Аналогічні деформації отримують плити, закріплені в чотирьох точках по головних осях, з тією лише відмінністю, що в даному випадку великі вертикальні переміщення отримують незакріплені кути плит і відношення контурних прогинів до центральних підвищується для квадратних плит до 56% і для прямокутних до 59%.

У більш важких умовах працюють плити при закріпленні в двох точках по діагоналі або по одній з головних осей.

При цьому відношення контурних прогинів до центральних становлять для квадратних плит – 180%, для прямокутних – 130%. Найбільші переміщення отримують незакріплені кути.

Величини центральних прогинів при закріпленні плит по одній з головних осей близькі за абсолютними значеннями до отриманих в останньому випадку, але контурні прогини мають дещо менші значення і їх відношення до центральних становлять: для квадратних плит – 116%, для прямокутних – 80% (для прямокутних плит у разі розташування кріплень на меншій головній осі це відношення становить 94%).

Аналізом картин деформованого стану плит можна встановити оптимальне місце розташування напрямних елементів при різних схемах кріплення плит. Найбільш часто напрямні колонки і втулки розміщують в кутах або по осях. Різні

поєднання схем кріплення плити і розміщення колонок наведені в таблиці 1.4, де вказані виміряні значення прогину центральної точки плити і тангенса кута, рівного куту повороту плит і колонок.

Поворот колонок регламентований і характеризується цілком певним кутом, що залежить від цілого ряду змінних факторів [8]. Тому в нашому випадку для порівняльного аналізу досить знати величину $tg\alpha$. Для отримання порівняльних даних вводяться безрозмірні відношення $\omega_{\psi_i}/\omega_{\psi_0}$ і $tg\alpha_i/tg\alpha_0$, де ω_{ψ_0} і ω_{ψ_i} – прогини центральної точки плити за схемою кріплення, прийнятої за еталонну при будь-якій (i -й) схемі кріплення; $tg\alpha_0$ і $tg\alpha_i$ – тангенси кута нахилу зони плити, в якій розміщені колонки, для поєднання схем, прийняте за еталонне і при будь-якому (i -му) поєднанні схем.

Еталонними схемами кріплення плит прийняті схеми, показані на рисунку 1.12, a – для квадратних, плит та на рисунку 1.13, a – для прямокутних, при розміщенні колонок біля кріплень плит.

Як бачимо, один і той же штамп при різних схемах кріплення плит і розташування колонок буде працювати неоднаково. Наприклад, штамп, закріплений по чотирьох кутах з кутовим розташуванням колонок, може витримати навантаження в 5,6-5,8 разу більше, ніж той же штамп із діагональним кріпленням в двох точках і колонками, розташованими на іншій діагоналі.

Товщина деталі, що штампується, задає певні обмеження і вимоги до конструкцій універсально-збірних переналагоджуваних штампів. Для вирубки тонколистових деталей до конструкцій штампів в основному висуваються вимоги щодо забезпечення параметрів жорсткості і точності, а при штампуванні товстолистових деталей велику увагу слід приділяти питанням міцності не тільки пуансонів і матриць, а й інших найбільш навантажених елементів.

Складність контуру штампованих деталей також висуває певні вимоги до технології виготовлення і конструкції штампа. Якщо вирубувати деталь, що являє собою пластинку зі складною зовнішньої конфігурацією і безліччю внутрішніх фігурних вирізів і отворів, то для її виготовлення, очевидно, слід застосовувати послідовний принцип, тобто виготовити кілька штампів, кожен з яких, виконуючи

певну операцію, повинен забезпечити необхідну точність штампування. У разі ж використання штампа поєднаної дії для виготовлення такої деталі значно зростає як складність конструкції, так і вимоги до точності інженерних розрахунків.

Таблиця 1.4 – Залежність величини прогину і кута повороту плити від схеми кріплення та місця розташування напрямних колонок

Схема кріплення плити	Розташування колонок	ω_{ψ} , мм	$\frac{\omega_{\psi_i}}{\omega_{\psi_0}}$, %	$tg\alpha$	$\frac{tg\alpha_i}{tg\alpha_0}$, %
Рисунок 1.12, а	Осьове Кутове*	1,15	100	0,01	111
				0,009	100
Рисунок 1.22, б	Осьове* Кутове	1,12	98	0,004	44,5
				0,01	111
Рисунок 1.22, в	Осьове Кутове* Кутове	1,54	134	0,024	268
				0,016	178
				0,052	578
Рисунок 1.12, г	Осьове* Кутове	1,56	136	0,04	44,5
				0,046	445
Рисунок 1.13, а	Осьове Кутове *	1,96	100	0,02	133
				0,015	100
Рисунок 1.13, б	Осьове* Кутове	2,2	112	0,004	27
				0,028	187
Рисунок 1.13, в	Осьове Кутове Кутове*	2,4	123	0,048	320
				0,084	560
				0,02	133
Рисунок 1.13, г	Осьове* Кутове	2,3	118	0,004	27
				0,04	270

* – розташування колонок біля кріплень плити

Аналіз технологічних і фізичних умов експлуатації УСПШ показує, що за ступенем силового впливу оброблюваного листового матеріалу на інструмент найбільш істотними є його фізико-механічні характеристики, що визначають не тільки конструктивні особливості ріжучого інструменту і компоновання штампа, а й тип застосовуваного пресового устаткування.

Листоштампувальне обладнання машинобудівних підприємств призначено для обробки найрізноманітніших металевих і неметалевих листових матеріалів. Обробляється сталь різних сортів і марок; мідь, алюміній та їхні сплави; цинк і оцинкована сталь; нікель і нікелеві сплави; титан і його сплави; берилій, цирконій та їхні сплави і ін. Але найбільш вживаними металевими листовими матеріалами для холодного листового штампування є різні сорти листової і смугової вуглецевої і легованої сталей.

Штамуванню піддаються також і неметалеві листові матеріали. Це, в основному, шаруваті і блокові пластмаси, конструкційні, електроізоляційні, теплостійкі матеріали, а також картон, пресшпан, шкіра, повсть, гума, тканини та інші матеріали прокладок. За останні роки створені нові види листових матеріалів типу сталь із застосуванням полімерних покриттів, алюмінієвий лист із покриттям з кольорової пластмаси та ін. Покриття товщиною 0,3...0,4 мм володіє високими трибологічними властивостями, стійкістю проти корозії, а також діелектричними властивостями.

У таблиці 1.5 наведені основні фізико-механічні характеристики листових матеріалів, що найбільш часто оброблюються в штампах.

Опубліковані в технічній літературі дані про фізико-механічні характеристики листових матеріалів, що застосовуються в листовому штампуванні, свідчать про те, що діапазон їх значень досить широкий, причому, для кожного з матеріалів немає чітких констант, а є значний розкид наведених величин, особливо для неметалічних матеріалів. Однак, незважаючи на певну нестабільність фізико-механічних характеристик штампованих матеріалів, можна зробити їх приблизне групування за визначальними фізичними властивостями і відповідними характеристиками.

Таблиця 1.5 – Фізико-механічні характеристики листових матеріалів

Найменування матеріалу	Модуль пружності, E , МПа	Опір зрізу, σ_{cp} , МПа	Межа міцності, σ_e , МПа	Відносне видовження, δ , %	Коефіцієнт Пуассона
Сталь тонколистова	$(2,0 \dots 2,1) \cdot 10^5$	220...600	260...700	45...5	0,24...0,28
Сталь тонколистова низьковуглецева	$(2,0 \dots 2,1) \cdot 10^5$	400...500	450...550	20...15	0,25...0,28
Сталь тонколистова високолегована	$2,1 \cdot 10^5$	400...950	450...1100	20...8	0,25...0,30
Мідь	$(1,0 \dots 1,3) \cdot 10^5$	18...26	21...30	30...3	0,31...0,34
Алюміній	$(0,6 \dots 0,7) \cdot 10^5$	7...11	8...15	30...6	0,32...0,36
Нікель	$2,1 \cdot 10^5$	350...470	400...550	35...2	0,29...0,30
Оргскло	$(2,5 \dots 2,8) \cdot 10^3$	60...80	70...90	–	0,35...0,38
Фібра	$(0,1 \dots 0,2) \cdot 10^5$	120...170	140...190	–	0,35...0,40
Ебоніт	$(0,05 \dots 0,1) \cdot 10^5$	30	50...60	–	–
Картон	–	30...50	50...80	–	–
Шкіра	–	40...50	90...110	–	–

Аналіз чисельних значень фізико-механічних характеристик, наведених у таблиці 1.5 дозволяє згрупувати їх, в три основні групи за величинами межі міцності і опору зрізу:

- група низькоміцних штампованих матеріалів із діапазоном опору зрізу від 7...10 до 150...200 МПа (неметалеві матеріали, мідь, алюміній і ін.);

- група штампованих листових матеріалів з діапазоном опору зрізу від 200...220 до 700...750 МПа (дюралюміній, вуглецеві і низьковуглецеві сталі та ін.);
- група високоміцних і важкодеформованих листових матеріалів з опором зрізу більше 800 МПа (вуглецеві і низьколеговані сталі та ін.).

Тип і фізико-механічні характеристики штампованих матеріалів поряд зі ступенем складності одержуваних деталей є початковими даними для розробки конструкцій штампного оснащення. Так при вирубці деталей з неметалевих матеріалів, а також з міді, алюмінію та ін. технологічні зусилля різання невеликі, проте при цьому потрібно суворе дотримання величини зазору між ріжучими крайками інструмента аж до беззазорного виконання, що в свою чергу вимагає підвищеної точності розрахунків геометричних розмірів спряжених деталей і забезпечення їх достатньої жорсткості. При обробці важкодеформованих високолегованих товстолистових сталей з межею міцності понад 700 ... 800 МПа критерієм працездатності штампа поряд з жорсткістю вже виступають показники міцності основних елементів конструкції, що викликає необхідність застосування спеціальних конструкційних матеріалів підвищеної міцності.

Як було показано, фізико-технологічні параметри умов експлуатації УСПШ визначають основні і супутні зусилля штампування, створювані пресовим обладнанням. Вони становлять 80...86% у загальному балансі навантажень, що діють на елементи переналагоджуваних штампів в процесі їх експлуатації. Однак для закріплення штампа на столі преса і пакета в штампі необхідні додаткові навантаження, для створення яких застосовуються спеціальні пристрої – системи механізованих і гвинтових прихватів і т.д. Крім того, в процесі експлуатації на елементи штампів діють і горизонтальні навантаження різного походження, які необхідно враховувати в розроблюваних математичних моделях і розрахункових схемах.

До фізичних експлуатаційних параметрів штампів відносяться також температура і вологість у приміщенні, де відбувається штампування. Однак, як показала практика, при дотриманні санітарних і технічних норм ці параметри на

працездатність, характеристики міцності і жорсткості штампів надають менш істотний вплив в порівнянні з експлуатаційними параметрами.

Тип виробництва, тобто серійність продукції, що випускається, істотно впливає на створювані математичні моделі силової взаємодії конструктивних елементів штампів. Так при великосерійному і масовому виробництві поряд з необхідністю забезпечення міцності і жорсткості елементів конструкції необхідно вже приділяти увагу питанням втомної міцності і показникам надійності. УСПШ найбільш ефективні в дрібносерійному і серійному виробництвах. Розрахунки конструкцій з урахуванням втоми і міцнісної надійності є менш актуальними в порівнянні з першим випадком.

Аналіз організаційно-технічних параметрів умов експлуатації показує, що дуже важливими для забезпечення надійності і довговічності є такі фактори як стан пресового устаткування, дотримання технічних умов щодо закріплення штампа на відповідних пресах, відповідність провальних вікон преса типорозміру штампа, змащення напрямних елементів і застосування мастильно-охолоджуючих рідин та інші. Тому для отримання максимальних техніко-економічних показників застосування УСПШ слід суворо дотримуватися не тільки проектних технологічних, фізичних експлуатаційних параметрів та технічних умов, але й названих організаційно-технічних умов експлуатації штампового оснащення.

Висновки до розділу 1

1. Здійснено аналіз конструктивно-технологічних особливостей штампового оснащення.
2. Розглянуто конструкції універсально-складальних переналагоджувальних штампів.
3. Проаналізовано умови експлуатації штампового оснащення.

Отже, **мета дослідження** – удосконалення конструкцій штампового оснащення для підвищення рівня їх експлуатаційної надійності. **Об'єктом розробки** є технологічний процес виготовлення деталей машин

сільськогосподарського призначення штампуванням, а **предметом** – напружено-деформований стан елементів штампів з урахуванням особливостей конструктивного виконання.

Для вирішення поставленої мети необхідно розв'язати наступні **задачі**:

- розглянути конструкторсько-технологічні особливості штампового оснащення, що переналагоджується;
- визначити стан досліджень напруженого стану Т-подібних пазів, вибору їх форми та розмірів, виготовлення, складання;
- запропонувати методику проведення експериментальних досліджень;
- використовуючи метод статичної тензометрії дослідити напружено-деформований стан штампового оснащення;
- надати рекомендації щодо практичної реалізації розробки на виробництві.

РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Дослідження напруженого стану T-подібних пазів, вибір їх форми та розмірів

Випробування базових плит комплектів УСПШ показали, що в ряді випадків їх працездатність визначається міцністю T-подібних пазів [9-11].

У зв'язку з цим дослідження і вибір геометрії пазів – одні з актуальних задач при визначенні можливості їх запозичення з комплекту УСП-12 стосовно розділових операцій листового штампування.

Визначення фактичних напружень та їх концентрації за контуром плити і в районі пазів на натурних конструкціях не представляється можливим. Тому при дослідженні напруженого стану конструкції пазів було застосовано моделювання на пружних тензометричних моделях з використанням методу фотопружності.

Поставлена задача, з урахуванням того, що розміри цілої ділянки паза відповідають розмірам головок болтів і шпонок, була зведена до плоскої. Дослідження проводилися на плоских моделях з використанням полярископа FMW-56, що має робоче поле діаметром 250 мм [12].

Навантаження моделей здійснювалося на важільному пресі УП-6. Картини смуг отримані при схрещених положеннях поляризатора і аналізатора в монохроматичному джерелі світла (натрієві лампи). Використовувалася крива поляризація. Розшифровка картин смуг проводилася за методом смуг з подальшим переходом на натуру. Ціна смуги визначалася на дисках за відомими методиками. Для пошуку оптимального контуру паза проводилися порівняльні дослідження шести варіантів плоских моделей пазів (рисунок 2.1), виконаних в масштабі 2:1. Збільшення моделей в два рази, в порівнянні з натурою, необхідно для більш точного виконання геометричних форм і розмірів. Моделі виготовлялися з оптично активних матеріалів (ЕД-6М і ЕД-6П).

Рисунок 2.1 – Картини смуг та епюри напружень
в Т-подібних пазах, аркуш 1

Рисунок 2.1 – Картини смуг та епюри напружень
в Т-подібних пазах, аркуш 2

Ціна смуги (см) для прийнятих матеріалів дорівнює: $\sigma_0^{0,59} = 2,5$ МПа/см;
 $\sigma_0^{0,83} = 1,725$ МПа/см; $\sigma_0^{0,94} = 1,6$ МПа/см. Знаючи порядок смуги « m » та її ціну,
отримуємо різницю головних напружень в будь-якій точці моделі за формулою:

$$\sigma_1 - \sigma_2 = m \cdot \sigma_0^{(t)}. \quad (2.1)$$

Для точок ненавантаженого контуру моделі, де одне з головних напружень дорівнює нулю, формула набуває вигляду

$$\sigma_k = m \cdot \sigma_0^{(t)}, \quad (2.2)$$

де σ_k – напруження вздовж контуру моделі.

Порядок смуг « m » визначався, виходячи з наявних точок $m = 0$ (вхідні кути моделі, зони без напружень або зони особливих точок), рахунком смуг на фотографії картин смуг. При складній картині смуг, нульові смуги визначалися при просвічуванні моделей білим світлом. Тоді картина вийшла кольоровою і

тільки смуги нульового порядку залишалися чорними і замальовувалися на папері. Перехід від моделі до природи проводився за такими формулами:

$$\sigma_H = \sigma_M / \sigma_V, \quad (2.3)$$

$$\sigma_V = P_V / (t_V \cdot l_V), \quad (2.4)$$

де σ_M і σ_H – напруження в моделі та природі;

σ_V – масштаб напружень;

$P_V = P_M / P_H$ – масштаб сил;

$l_V = l_M / l_H$ – масштаб довжин;

$t_V = t_M / t_H$ – масштаб товщин;

P_M, P_H – навантаження на моделі і природі відповідно;

l_M, l_H – лінійні розміри моделі та природи;

t_M, t_H – товщини моделі та природи.

У всіх випадках моделювався найбільш важкий випадок, коли до болта докладено зусилля розтягу. Для оцінки порівнюваних варіантів при перерахунку напружень з моделі на природу була прийнято нормальне робоче навантаження на паз, що дорівнює 100 кН. При такому навантаженні болти діаметром 12 мм зі сталі марки 38ХА працюють в пружній стадії, тобто виникаючі напруження не перевищують межі пропорційності.

Для визначення напружень в елементах пазів при гранично можливій міцності болтів, рівній 200 кН (220 кН за даними натурних випробувань), величини напружень збільшуються на відповідний коефіцієнт (2 або 2,3).

Результати порівняльних досліджень шести варіантів моделей пазів встановили: на контурі прийнятого в даний час паза (рисунок 2.1, *a*) з кутом $\alpha = 0$ напруження в точці «А» (рисунок 2.1, *a, z*) в 1,4 рази вище, ніж в точці «Б». Як встановлено практикою, руйнування паза відбувається за кутом в точці «А», що іще раз підтверджує нерівноміцність його елементів. Вирівнювання напружень в

точках «А» і «Б» паза не тільки робить його рівномічним, але і знижує абсолютні значення напружень.

Даним дослідженням зроблена спроба отримати картину рівномічного паза. Конструкція паза (рисунок 2.1, в) є рівномічною. Однак, крім технологічних труднощів виготовлення такого паза його якості міцності не набагато вище прийнятої конструкції. Тому були досліджені іще чотири варіанти пазів з різними кутами $\alpha = 15; 30; 45; 60^\circ$ (рисунок 2.1, д, б, е, ж). Звертає на себе увагу наступний факт: зі збільшенням кута α напруження в точці «А» зменшуються, а в точці «Б» ростуть. Це добре видно на графіку (рисунок 2.1). Оптимальним є кут, при якому напруження в точках «А» і «Б» рівні. З графіка видно, що цей кут дорівнює 30° . У пазі (рисунок 2.1, е) напруження в точках «А» і «Б» однакові і рівні 705 МПа. В існуючому варіанті паза найбільші напруження на 19,2% вище. Крім того, використання пазів з кутом $\alpha = 30^\circ$ дозволить збільшити небезпечний перетин головок болтів на 45%. Застосовувані болти часто виходять з ладу через малу міцність головок, що руйнуються від згину.

2.2 Дослідження виготовлення, складання

Складання блоків і пакетів УСПШ має свою специфіку в зв'язку із застосуванням ефективних способів виготовлення блоків з стандартизованих плит комплектів УСП-12, розміщення системи напрямних елементів в необхідних з точки зору технології виготовлення деталей місцях на базових плитах (рисунок 2.2).

Особливість складання УСПШ полягає в тому, що напрямні колонки, втулки, фіксатори закріплюються у відповідних базових і тримаючих деталях за допомогою композиційних матеріалів на основі епоксидного компаунда або анаеробних матеріалів. Це підвищує точність складання і знижує трудомісткість виготовлення.

Рисунок 2.2 – УСПШ: *а* – одноопераційної дії;
б – для поелементного штампування

Композиція готується наступним чином. Спочатку необхідну кількість смоли і пластифікатора ретельно перемішують у скляній або алюмінієвій ємності. Потім додається прожарений при температурі 400...500°C протягом 30...40 хв цемент. Після цього в отриману суміш вводять затверджувач. Далі після перемішування приготований епоксидний компаунд рівномірним шаром наноситься на поверхні, що з'єднуються.

Затвердіння епоксидного компаунда проводиться при кімнатній температурі протягом 10...12 годин, після цього здійснюється додаткова термообробка при 80°C протягом 8 годин. Перед склеюванням з'єднувальні деталі прогріваються до температури 40...60°C. Це сприяє гарному заповненню простору епоксидним компаундом.

Складання блока здійснюється у 3 етапи: I етап – складання та закріплення напрямних колонок в нижній плиті; II етап – складання та закріплення напрямних втулок у верхній плиті і пазових фіксаторів в нижній плиті; III етап – складання та закріплення пазових фіксаторів у верхній плиті.

У процесі складання блоків на опорні поверхні плит блоків технологічного стенду, а також на робочі поверхні направляючих колонок і втулок з метою

полегшення процесу складання наноситься тонкий шар одного зі змащення: кремнійорганічного вазеліну кв.3 ГОСТ 15975, технічного вазеліну ГОСТ 1840, ЦІАТІМ-201 ГОСТ 6267, ЦІАТІМ-203 ГОСТ 8773, масла веретенного ГОСТ 20799 тощо.

Нормальна експлуатація УСПШ багато в чому визначається і залежить від точності складання. Під точністю складання мається на увазі ступінь збігу матеріальних осей контактуючих поверхонь або інших елементів спряжених деталей із положенням їх умовних прототипів, які визначаються відповідними розмірами на кресленні або технічними вимогами. На точність складання блоків і пакетів УСПШ впливають похибки виготовлення деталей, а також похибки складання, причинами якої можуть бути:

1) помилки, допущені робочими при орієнтації та фіксації досягнутого положення деталей, що складаються;

2) похибки установки вимірювальних засобів, що застосовуються складальниками в процесі роботи, похибки регулювання, підгонки і контролю точності положення деталей УСПШ, досягнутого при складанні, а також власні похибки вимірювальних засобів;

3) відносні зрушення деталей в проміжку часу між досягненням ними необхідного положення та фіксацією досягнутого положення.

Найбільшою мірою на точність складання блоків і пакетів УСПШ впливають такі похибки:

1) похибка виготовлення і установки напрямних колонок і втулок;

2) похибка виготовлення і установки пазових фіксаторів блоку і шпонок пакета;

3) відхилення від паралельності опорних площин плит блока і тримачів пакету.

Мінімальна величина зазначених похибок забезпечується правильним розрахунком допусків розмірів деталей з урахуванням можливостей точності технологічного обладнання і технологічного оснащення, а також найменшої вартості оброблюваних деталей. Розрахунок допусків розмірів деталей проводився

за теоретико-імовірнісним метод. На рисунках 2.3 і 2.4 дані схеми розмірних ланцюгів блоку і пакета УСПШ.

Рисунок 2.3 – Схеми розмірних ланцюгів блоку УСПШ:

1 – плита нижня; 2 – плита верхня; 3 – напрямна колонка; 4 – напрямна втулка;
5, 6 – пазові фіксатори; 7 – мірні плитки

Для спрощення розрахунків просторові розмірні ланцюги розглядалися як плоскі. Похибки складових ланок розмірних ланцюгів приймалися взаємно незалежними, розрахунок проводився за такими формулами [13]:

$$\delta_{\Sigma} = \frac{1}{K_{\Sigma}} \sqrt{\sum A_i^2 \cdot K_i^2 \cdot \delta_i^2}, \quad (2.5)$$

$$\Delta_{\Sigma} = \sum A_i (\Delta_i + \alpha_i \cdot \delta_i) - \alpha_{\Sigma} \cdot \delta_{\Sigma}, \quad (2.6)$$

Рисунок 2.4 – Схеми розмірних ланцюгів пакета УСПШ:

1 – нижній тримач; 2 – верхній тримач; 3 – знімач; 4 – напрямна колонка;
5 – напрямна втулка; 6 – втулка знімача; 7, 8 – мірні плитки; 9 – шпонки

де δ_{Σ} – половина поля розсіювання замикаючої ланки;

Δ_{Σ} – координата середини поля розсіювання похибок замикаючої ланки;

A_i – передавальне відношення, що визначає вплив похибки i -ої складової ланки на замикаючу ланку;

K_i, K_{Σ} – коефіцієнти відносного розсіювання похибок складових і замикаючих ланок розмірного ланцюга відповідно;

δ_i – половина поля допуску i -ої складової ланки;

Δ_i – координата середини поля допуску i -ої складової ланки;

$\alpha_i, \alpha_{\Sigma}$ – коефіцієнти відносної асиметрії складових та замикаючих ланок розмірного ланцюга відповідно.

Для векторних похибок в формулах для розрахунку застосовується приведений коефіцієнт відносного розсіювання K_{np} :

$$K_{np} = \sqrt{0,125[K^2 + 9(1 + \alpha)^2]}. \quad (2.7)$$

Розрахунок розмірних ланцюгів зводиться до визначення величин δ , α і K . Розмірний ланцюг при установці напрямних колонок і втулок блоку спеціалізованих переналагоджуваних штампів містить ланки-зазори, які є замикаючими ланками: сполучення колонка-втулка, колонка-плита нижня, втулка-плита верхня (рисунок 2.3). Величини зазорів рівні:

$$z_1 = \Delta_{z_1} + \alpha_{z_1} \cdot \delta_{z_1} = (D_{\text{вв}} - D_K) + (\Delta_{\text{вв}} - \Delta_K) + (\alpha_{\text{вв}} \cdot \delta_{\text{вв}} - \alpha_K \cdot \delta_K); \quad (2.8)$$

$$z_2 = \Delta_{z_2} + \alpha_{z_2} \cdot \delta_{z_2} = (D_n^H - D_K) + (\Delta_n^H - \Delta_K) + (\alpha_n^H \cdot \delta_n^H - \alpha_K \cdot \delta_K); \quad (2.9)$$

$$z_3 = \Delta_{z_3} + \alpha_{z_3} \cdot \delta_{z_3} = (D_n^{\text{в}} - D_{\text{вн}}) + (\Delta_n^{\text{в}} - \Delta_{\text{вн}}) + (\alpha_n^{\text{в}} \cdot \delta_n^{\text{в}} - \alpha_{\text{вн}} \cdot \delta_{\text{вн}}); \quad (2.10)$$

де $\Delta_{z_i} + \alpha_{z_i} \cdot \delta_{z_i}$ – середнє значення сумарного зазору в сполученні;

δ_{z_i} – половина поля розсіювання зазору;

D_K – діаметр колонки;

$D_{\text{вв}}$, $D_{\text{вн}}$ – відповідно внутрішній і зовнішній діаметр втулки;

D_n^H , $D_n^{\text{в}}$ – діаметр отвору відповідно в нижній і верхній плитах.

Величина поля розсіювання зазорів:

$$\delta_{z_1} = \frac{1}{K_{z_1}} \sqrt{K_{\text{вв}}^2 \cdot \delta_{\text{вв}}^2 + K_K^2 \cdot \delta_K^2}; \quad (2.11)$$

$$\delta_{z_2} = \frac{1}{K_{z_2}} \sqrt{K_n^H^2 \cdot \delta_n^H^2 + K_K^2 \cdot \delta_K^2}; \quad (2.12)$$

$$\delta_{z_3} = \frac{1}{K_{z_3}} \sqrt{K_n^{\text{в}}^2 \cdot \delta_n^{\text{в}}^2 + K_{\text{вн}}^2 \cdot \delta_{\text{вн}}^2}. \quad (2.13)$$

Положення деталей ланок-зазорів приймаємо рівноімовірним в будь-якій точці поля зазору. Для цього випадку приведений коефіцієнт щодо розсіювання дорівнює [13]:

$$K_z^2 = \frac{3}{8} \left(\frac{\Delta_z}{\delta_z} + 1 \right)^2. \quad (2.14)$$

Коефіцієнти відносної асиметрії приймаємо рівними:
 $\alpha_{\delta\delta} = \alpha_{z_i} = \alpha_k = \alpha_n^H = \alpha_n^6 = D_{\delta H} = 0.$

Зазори і є технологічними, призначеними для закріплення колонок і втулок епоксидним компаундом. Як зазначалося вище, величина такого зазору знаходиться в межах 0,5...0,8 мм. Тоді параметрами зазору можна вважати такі величини: $\Delta_z = 0,65$ мм; $\delta_z = \pm 0,15$ мм; $\delta_z^2 = 0,023$.

Необхідно відзначити, що наявність зазорів z_2 і z_3 дозволяє компенсувати похибки виготовлення деталей і розширити поля допусків. Тобто похибка складання напрямних елементів блоку УСПШ визначається практично тільки похибкою установки і закріплення деталей.

Аналогічний розрахунок розмірних ланцюгів установки напрямних елементів пакету УСПШ. Тут ланками-зазорами є сполучення: колонка – втулка державки, колонка – втулка знімача, втулка – тримач, втулка знімача – знімач (рисунок 2.4). Величини зазорів:

$$z_1^n = \Delta_{z_1}^n + \alpha_{z_1}^n \cdot \delta_{z_1}^n = (d_{\delta\delta} - d_k) + (\Delta_{\delta\delta} - \Delta_k) + (\alpha_{\delta\delta} \cdot \delta_{\delta\delta} - \alpha_k \cdot \delta_k); \quad (2.15)$$

$$z_2^n = \Delta_{z_2}^n + \alpha_{z_2}^n \cdot \delta_{z_2}^n = (d_{\delta\delta}^c - d_k) + (\Delta_{\delta\delta}^c - \Delta_k) + (\alpha_{\delta\delta}^c \cdot \delta_{\delta\delta}^c - \alpha_k \cdot \delta_k); \quad (2.16)$$

$$z_3^n = \Delta_{z_3}^n + \alpha_{z_3}^n \cdot \delta_{z_3}^n = (d_{\delta} - d_{\delta H}) + (\Delta_{\delta} - \Delta_{\delta H}) + (\alpha_{\delta} \cdot \delta_{\delta} - \alpha_{\delta H} \cdot \delta_{\delta H}); \quad (2.17)$$

$$z_4^n = \Delta_{z_4}^n + \alpha_{z_4}^n \cdot \delta_{z_4}^n = (d_c - d_{\text{вн}}^c) + (\Delta_c - \Delta_{\text{вн}}^c) + (\alpha_c \cdot \delta_c - \alpha_{\text{вн}}^c \cdot \delta_{\text{вн}}^c); \quad (2.18)$$

де $\Delta_{z_i}^n + \alpha_{z_i}^n \cdot \delta_{z_i}^n$ – середнє значення сумарного зазору в сполученнях пакетів;

$\delta_{z_i}^n$ – половина поля розсіювання зазору;

d_k – діаметр колонки;

$d_{\text{вв}}, d_{\text{вн}}$ – відповідно внутрішній і зовнішній діаметр втулки тримача;

$d_{\text{вв}}^c, d_{\text{вн}}^c$ – відповідно внутрішній і зовнішній діаметр втулки знімача;

d_0, d_c – відповідно діаметр отвору в тримачі і знімачеві.

Величини поля розсіювання зазорів $\delta_{z_1}^n, \delta_{z_2}^n, \delta_{z_3}^n, \delta_{z_4}^n$ визначаються аналогічно $\delta_{z_1}, \delta_{z_2}, \delta_{z_3}$ за формулами (2.3-2.4). У цій розмірній ланці додана похибка перпендикулярності осі посадкового отвору під колонку до базових поверхонь. Ця похибка пов'язана з похибкою виготовлення посадкового отвору. Величину похибки перпендикулярності ψ_α визначали за наступною формулою:

$$\psi_\alpha = (|\delta|/H_n) \cdot 100 ; \quad (2.19)$$

де ψ_α – похибка перпендикулярності на довжині 100 мм;

$|\delta|$ – абсолютне значення відхилення;

H_n – довжина колонки пакету.

Тут компенсуючими є зазори z_3 і z_4 з параметрами:

$$\Delta_z^n = 0,65 \text{ мм}; \delta_z^n = \pm 0,15; \delta_z^{n^2} = 0,023.$$

Розрахунок розмірних ланцюгів паралельності опорних площин плит блоку і тримачів пакету УСПШ (рисунки 2.3 і 2.4) проводився за формулами. Похибка замикаючої ланки складається з похибок виготовлення плит блоку, тримачів, знімача пакета, а також похибок мірних плиток.

Для розрахунку $\delta_{\Sigma}(\gamma)$ і $\Delta_{\Sigma}(\gamma)$ було прийнято наступні дані [14] $\alpha_i = 0$; $K_{np} = 0,7$; $\alpha_{\Sigma} = 0$; $K_{\Sigma} = A_i = 1$; $\delta_i = \gamma$ однакові для усіх ланок. Тоді:

$$\Delta_{\Sigma}(\gamma) = 0; \quad (2.20)$$

$$\delta_{\Sigma}(\gamma) = 0,7 \cdot \gamma \cdot \sqrt{n}, \text{ мм на } 100 \text{ мм довжини}; \quad (2.21)$$

де n – кількість ланок у з'єднанні.

Відхилення від паралельності γ визначалося за формулою:

$$\gamma = (H_{max} - H_{min}) / L; \quad (2.22)$$

де γ – відхилення від паралельності на довжині 100 мм;

H_{max} , H_{min} – найбільше і найменше значення вимірюваного розміру;

L – відстані між точками вимірювання H_{max} і H_{min} .

Розмірні ланцюги для розрахунку похибки фіксування пакета в блоці на шпонках наведені на рисунку 2.5. Взаємне положення пакету в блоці фіксується шпонками, розташованими хрестоподібно в тримачах пакета. Шпонки у тримачах закріплені нерухомо, в той же час сполучення шпонки з пазовим фіксатором блоку виконано за посадкою $H7/h6$, що допускає утворення зазору. Тому можливі лінійний зсув і розворот сполучених деталей.

Можливі три випадки відносного розташування пакета і блоку:

- 1) зазори вибрані повністю за рахунок повороту пакета;
- 2) зазори вибрані за рахунок паралельного переміщення пакета і блоку;
- 3) зазори вибрані неповністю.

Беручи до уваги, що установка і закріплення пазових фіксаторів в блоці проводиться за еталонною плитою епоксидним компаундом, для спрощення розрахунку похибок вважаємо, що зазори будуть повністю вибиратися рівноімовірно для чотирьох шпонок шляхом повороту пакета. Тоді розрахунок

розмірного ланцюга здійснюється за формулами (2.5) і (2.6). Коефіцієнти α і K і приймаємо рівними [14]: $\alpha = 0$; $K = 1$.

Рисунок 2.5 – Схема розмірних ланцюгів при з'єднанні пакета і блоку УСПШ на шпонках: b_n – ширина паза; $b_{ш}$ – ширина шпонки; $\gamma_{ш}$ – кутове зміщення пакета

Для уточнення величин коефіцієнтів α і K , прийнятих під час розрахунку розмірних ланцюгів проводився статистичний аналіз точності виготовлення деталей УСПШ. Крім зазначених коефіцієнтів визначалися величини: X – центр групування і s – середньоквадратичне відхилення, а також вид кривої розподілу похибок виготовлення деталей УСПШ [15].

Похибки виготовлення деталей УСПШ можуть привести до наступного ряду відхилень: δ – лінійні розміри; δ_n – ширина шпонкового паза; γ – паралельність робочих поверхонь; ψ – перпендикулярність робочих поверхонь.

Вплив цих похибок на результуючу похибку було встановлено на підставі законів розподілу похибок, для визначення яких використовувався статистичний метод.

Виміри проводилися шкальними приладами, похибки вимірювання яких не перевищували 0,15 допуску на розмір, що перевірявся, при температурі $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$.

Прилад налаштовували за зразком на нуль, потім виконували вимірювання деталі, після чого прилад знову звіряли з еталоном.

Результат обчислювався як середньоарифметичне значення трьох вимірів.

За результатами вимірювань визначали статистичний ряд, середнє значення величини похибки X , середнє квадратичне відхилення s , а також коефіцієнти відносного розсіювання K та відносної асиметрії α похибок.

При складанні статистичного ряду ширина інтервалу групування визначалася з умов суміщення меж інтервалів та округлення результатів вимірювання. Кількість груп вибирали від 8 до 15. Ці умови записуються наступним чином [14]:

$$h = (x_{max} - x_{min})/n; \quad (2.23)$$

де h – ширина інтервалу групування;

$\omega(x) = x_{max} - x_{min}$ – розмах розсіювання досліджуваної величини;

n – ціле число, причому $7 < n \leq 15$.

Шукані величини \bar{X} , s , K і α визначалися за відомими формулами теорії ймовірностей і розрахунку розмірних ланцюгів:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot f_i}{\sum_{i=1}^n f_i}; \quad s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n f_i \cdot x_i^2}{\sum_{i=1}^n f_i} - \bar{X}^2}; \quad K = \frac{6\sigma(x)}{\omega(x)}; \quad \alpha = \frac{\bar{X} - \Delta_x}{0,5 \cdot \omega(x)}. \quad (2.24)$$

У таблиці 2.1 наведені величини допусків складових ланок розмірних ланцюгів УСПШ.

Таблиця 2.1 – Величини допусків складових ланок розмірних ланцюгів УСПШ

№ з.п.	Найменування	Позначення	Допуск, мм
1	Відстань до отворів під напрямні колонки і втулки в плитах блоків і тримачах пакетів	l_n^H, l_n^H l_k^e, l_k^H	$\pm 0,15$
2	Діаметри отворів в блоках під напрямні колонки і втулки	D_n^H, D_n^H	$\pm 0,60$
3	Діаметри отвору під напрямні втулки в тримачах і знімачеві пакетів	d_d, d_c	$\pm 0,60$
4	Діаметр отвору під напрямні колонки в нижньому тримачеві пакета	d_k	$\pm 0,018$
5	Ширина шпонкового паза фіксатора	b_n	$\pm 0,018$
6	Ширина шпонки пакета	$b_{ш}$	$\pm 0,018$
7	Діаметри напрямних колонок блоків та пакетів	D_k, d_k	$-0,009$
8	Діаметри напрямних втулок блоків та пакетів	$D_{вн}, d_{вн}, d_{вн}^c,$	$-0,30$
		$D_{вв},$	$+0,015$
		$d_{вв}, d_{вв}^c$	$+0,011$
9	Паралельність поверхонь	на 100 мм довжини	0,01
10	Перпендикулярність поверхонь	на 100 мм довжини	0,01

Висновки до розділу 2

1. Проведено аналіз поточних досліджень напруженого стану Т-подібних пазів, вибору їх форми та розмірів.

2. Проведено теоретичний аналіз дослідження, виготовлення та складання блоків і пакетів УСПШ, що має свою специфіку в зв'язку із застосуванням ефективних методів виготовлення зі стандартизованих плит комплектів УСП-12, розміщення системи напрямних елементів у необхідних з точки зору технології виготовлення деталей місцях на базових плитах.

РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

Експериментальні методи дослідження деформацій і напружень отримали широке застосування для вирішення інженерних задач оцінки міцності, жорсткості деталей машин та елементів конструкцій, коли потрібне визначення полів деформацій і напружень, як на поверхні, так і за об'ємом тіла [16]. Головна перевага експериментальних методів над розрахунковими – можливість врахування конструктивних особливостей об'єкта і отримання міцності у виробничих умовах.

До поширених експериментальних методів відносять: метод вимірювання поверхневих деформацій за допомогою тензометрів, метод муарових смуг та сіток, поляризаційно-оптичний метод, метод голографічної інтерферометрії. Незважаючи на велику кількість експериментальних методів, є лише лічені роботи з дослідження базових плит штампів, проведені за допомогою експерименту.

У роботах [17, 18] напружено-деформований стан базових плит універсально-складальних штампів досліджувався за допомогою методів моделювання шляхом випробування моделей плит із низькомодульного органічного скла.

Поляризаційно-оптичним методом було проведено дослідження напружено-деформованого стану базових плит універсально-складальних штампів в роботі [19].

У якості основних методів дослідження міцності базових плит автором [20] використовувалися поляризаційно-оптичний метод із застосуванням плоских моделей та метод електротензометрії. Кожен з використаних методів має свої переваги та недоліки.

Так, метод тензометрії може давати похибки через неточності вимірювання приладів та наклеювання тензодатчиків, але він є добре розробленим і практично єдиним при дослідженні динамічних процесів. Для використання методу фотопружності необхідно виготовляти спеціальні моделі.

Для проведення експериментальних досліджень блоків УСПШ як при статичному навантаженні, так і у виробничих умовах, було використано метод тензометрії.

Для визначення характеру розподілу, величин деформацій та напружень, що виникають в блоках УСПШ, на нижню та верхню плити геометричних розмірів $A \times B \times H = 250 \times 280 \times 45$ мм (відповідно до рисунків 3.1 і 3.2) були наклеєні тензорезистори типу КФ5 базою 5 мм. Датчики 1-14 наклеювалися на верхню поверхню нижньої плити блоку, датчики 15-22 – на нижню поверхню нижньої плити в зоні біля центрального провального отвору, яка не контактує з підштамповою плитою преса. Датчики 23-38 наклеювалися на нижню поверхню верхньої плити. У якості апаратури реєстрації було використано тензометричну систему СПТ-3. Заміри величин переміщень плит проводилися індикаторами годинникового типу ІГ-10. Схема установки індикаторів наведена на рисунку 3.1 (позначені Х). Навантаження блоку проводилося на гідравлічному пресі П-125, наявність пакета імітувалася циліндром довжиною $L = 98,2$ мм із діаметром $D = 69,5$ мм та підкладками: розміром $A \times B \times H = 125 \times 100 \times 18$ мм, що відповідає верхньому тримачу пакета і диска діаметром 100 мм та товщиною 15 мм, що відповідає підкладці нижнього утримувача (рисунок 3.3).

Рисунок 3.1 – Схема установки індикаторів та наклеювання тензодатчиків на нижню плиту

Рисунок 3.2 – Схема наклеювання тензодатчиків на верхню плиту

Методом статичної тензометрії визначалося вплив на напружено-деформований стан блоків наступних конструктивних та експлуатаційних параметрів: товщини базових плит, діаметрів напрямних колонок, діаметрів провального вікна в підштамповій плиті преса, схеми закріплення нижньої плити блоку та зусилля штампування.

Рисунок 3.3 – Блок при дослідженні методом статичної тензометрії

При вивченні впливу товщини плит випробовувалися блоки з товщиною нижніх плит 15, 30, 45, 60 мм. При цьому величина діаметра напрямних колонок була постійною і становила $d = 28$ мм, а діаметр провального отвору в опорній плиті дорівнював 170 мм (рисунок 3.4).

Рисунок 3.4 – Нижні плити різної товщини

Вплив діаметрів напрямних колонок на НДС нижніх плит досліджувався на блоках з чотирма однаковими напрямними колонками, діаметри яких складають 18, 28, 36 і 45 мм. При цьому зовнішній діаметр направляючих втулок дорівнював 31, 40, 50, 58 мм; товщина нижньої плити в цьому випадку у всіх блоках дорівнювала 45 мм, а діаметр провального отвору в опорній плиті становив 170 мм (рисунок 3.5).

Рисунок 3.5 – Блоки із різними діаметрами напрямних колонок:

1 – 18 мм; 2 – 28 мм; 3 – 36 мм; 4 – 45 мм

При дослідженні впливу діаметра провального отвору в опорній плиті на НДС нижніх базових плит його величина набувала значень 100, 140, 200 мм при товщині нижньої плити 45 мм, діаметрі напрямних колонок 28 мм. Різні розміри провальних вікон досягалися установкою змінних кілець, прошліфованими разом із плитою.

Вплив способу кріплення нижньої плити блоку до опорної плити вивчався на наступних схемах (кріплення здійснювалося за допомогою прихватів із болтами М20): у чотирьох кутових точках, двох діагонально розташованих кутових точках, двох периферійних осьових точках. Вплив умов закріплення визначався на блоці, встановленому на опорну плиту із діаметром отвору 170 мм, при товщині нижньої плити 45 мм та діаметрі напрямних колонок $d = 28$ мм.

Для перевірки пропорційності між зусиллям штампування і компонентами НДС базових плит були проведені експерименти на одному блоці при різних величинах прикладеного навантаження; навантаження блоку прикладалося від $P_c = 150$ кН до максимального $P = 600$ кН. Зміна зусилля штампування на практиці відповідає застосуванню листових матеріалів різної товщини і марок, тобто дотримання пропорційності між навантаженнями і виникаючими напруженнями (переміщеннями) дозволяє прогнозувати НДС базових плит при штампуванні деталей з будь-яких сталей із відповідними фізико-механічними характеристиками.

Висновки до розділу 3

Наведено методику експериментальних методів дослідження деформацій і напружень вимірюванням поверхневих деформацій за допомогою тензометрів.

РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТІВ

Дослідження стану блоків УСПШ за методом статичної тензометрії

Дані експериментальні дослідження проводилися для перевірки результатів теоретичних розрахунків деформованого і напруженого стану плит блоків. При вільному обпиранні нижньої плити блоку на підштампову плиту преса для плит усього досліджуваного діапазону товщини, діаметрів напрямних колонок, діаметрів отворів в опорних плитах і незалежно від величини навантаження, картина деформованого стану наступна: центральна частина нижньої плити, що лежить над отвором в опорній плиті, прогинається вниз, кути плити навпаки відриваються від основи. При цьому відбувається переміщення кінців колонок до центру плити, що підтверджується вимірюванням зближення кінців колонок. При кріпленні нижньої, плити блоку до підштампової плити преса в місцях кріплення відрив її від основи практично відсутній, а загальний рівень переміщень по всій плиті стає меншим.

Максимальні напруження для всіх досліджуваних варіантів спостерігалися в центральній області плити, причому величини напружень у напрямку паралельному кромки провального отвору значно перевищують напруження в перпендикулярному напрямку. На верхній площині нижньої плити в центральній області спостерігаються напруження стиску. При наближенні до країв плити в осьових перетинах спостерігаються напруження розтягу σ_x за віссю x і σ_y за віссю y , які на краях плити стають рівними нулю.

Дослідження впливу товщини плити на її напружено-деформований стан показує, що збільшення товщини нижньої плити з 15 мм до 60 мм призводить до значного зменшення прогинів, як в центральній області, так і в периферійній (таблиця 4.1).

Таблиця 4.1 – Значення величин переміщень для нижніх плит різної товщини

Точки виміру	W , мм			
	1	2	3	4
H , мм				
15	-1,9	1,18	1,07	-1,85
30	-0,25	0,2	0,30	-0,19
45	-0,06	0,12	0,16	-0,04
60	-0,005	0,08	0,085	-0,005

Значення напружень, що зареєстровані датчиками для плит різної товщини, наведені в таблиці 4.2. Наведений номер датчика відповідає меншому з номерів, що працюють у парі.

Таблиця 4.2 – Значення величин напружень, що виникають в нижніх плитах різної товщини

H , мм	σ_x , МПа				σ_y , МПа			
	15	30	45	60	15	30	45	60
№ датчика								
1	-351	-98,5	-34,3	-29,9	110,8	18,5	17,6	7
2	-465	-116	-60,7	-47,5	76,5	23,2	20,2	1,8
4	-561	-169,7	-92,6	-67,7	103,7	21,1	12,3	12,3
6	-1100	-499	-254,9	-134,5	-65,9	-61,5	3,5	31,6
8	-425,5	-94,9	-11,4	-5,5	-591,6	-156,5	-53,6	-31,6
10	-296	-77	-44	-12	-984,6	-255	-145	-97

Як видно з таблиці 4.2 значення напружень для плит товщиною 15 мм перевищують межу пропорційності для сталі 20Х ($\sigma_{m1} = 800$ МПа), з якої виготовляються плити. Отже, плита при такій товщині неприцездатна. Характер

розподілу нормальних напружень в напрямку осі для плит різної товщини показаний на рисунку 4.1.

Рисунок 4.1 – Нормальні напруження в плитах різної товщини, отримані методом статичної тензометрії

Зміна діаметру колонок у досліджуваному діапазоні впливає на НДС нижніх плит блоків таким чином. Потовщення діаметра колонок з 18 мм до 45 мм призводить до зменшення відриву кутів плити від основи з 0,07 мм до 0,01 мм, тобто у 7 разів (таблиця 4.3).

Таблиця 4.3 – Значення величин переміщень для нижніх плит із різним діаметром напрямних колонок

Точки заміру	W , мм			
	1	2	3	4
$d_{кол}$, мм				
18	-0,07	0,12	0,16	-0,05
28	-0,06	0,12	0,16	-0,04
36	-0,06	0,12	0,13	-0,04
45	-0,01	0,10	0,13	-0,01

Рівень максимальних напружень при цьому знижується з 257 МПа до 221 МПа (таблиця 4.4).

Таблиця 4.4 – Значення величин напружень, що виникають в нижніх плитах із різним діаметром напрямних колонок

$d_{кол}$, мм	σ_x , МПа				σ_y , МПа			
	18	28	36	45	18	28	36	45
№ датчика								
1	-71,2	-34,3	-7,9	-3,6	18,1	17,6	15,8	13,2
2	-80	-60,7	-44,8	-40,8	–	20,2	10,5	7,9
4	-115,2	-92,6	-59,8	-80	10,5	12,3	14,1	–
6	-256,7	-254,9	-253,3	-221,15	-29	3,5	-4,4	-6,2
8	-33,4	-11,4	-10,9	-9,6	-58	-53,6	-29	-55,4
10	-44,8	-44	-43,6	-42,2	-149,5	-145,1	-142	-140,1

Розподіл напружень уздовж осі y для плит з різним діаметром напрямних колонок показано на рисунку 4.2.

Значення переміщень точок нижньої плити блоку при його установці на підштампову плиту із різними величинами провального отвору в основі наведені у таблиці 4.5. Значення нормальних напружень у таблиці 4.6.

Так як при установці нижньої плити на основу з діаметром отвору $D = 100$ мм частина датчиків виявилася між плитами, то показання з цих датчиків отримати не вдалося. Графіки розподілу напружень σ_x вздовж осі y наведені лише для плит, що працюють на підштампових плитах пресів із провальним отвором $D = 140, 170, 200$ мм (рисунок 4.3).

Таблиця 4.5 – Значення величин переміщень нижніх плит при різних значеннях величин провального отвору в підштампових плитах пресів

Точки заміру	W , мм			
	1	2	3	4
$D_{отв}$, мм				
100	-0,03	0,07	0,07	-0,01
140	-0,05	0,09	0,12	-0,02
170	-0,06	0,12	0,16	-0,04
200	-0,08	0,18	0,17	-0,07

Таблиця 4.6 – Значення величин напружень в нижніх плитах при різних значеннях величин провального отвору в підштампових плитах пресів

D , мм	σ_x , МПа				σ_y , МПа			
	100	140	170	200	100	140	170	200
№ датчика								
1	-1,8	-62,2	-34,3	-50,1	-7,5	-27,3	17,6	-7
2	-5,3	-55,4	-60,7	-41,3	2,4	-24,6	20,2	-4,4
4	-8,1	-80,9	-92,6	-174,1	0,4	10,7	12,3	20,2
6	-	-112,5	-254,9	-262,9	-	1,5	3,5	57
8	-	-9,8	-11,4	-45,7	-	-18,5	-53,6	-125,8
10	0,4	7	-44	-41,3	-11,9	-109,9	-145,1	-164,4
12	0,9	9,7	19,3	114,3	3,7	-21,1	-42,2	-45,7
13	2,2	14,9	10,5	156,5	0,7	-3,5	10,5	94,9
15	-	43,1	60,6	99,3	-	267,9	362	438
17	-	27,3	58	43,1	-	304,2	353,4	436,9
19	-	108,1	118,7	158,2	-	360,4	395,6	527,5
21	-	311,2	282,2	343,7	-	77,4	60,7	79,1

Рисунок 4.2 – Нормальні напруження в плитах із різним діаметром напрямних колонок, отримані методом статичної тензометрії

Рисунок 4.3 – Нормальні напруження в плитах при установці їх на основу з різним діаметром провального отвору, отримані методом статичної тензометрії

Табличні значення показують, що зменшення діаметра провального отвору в підштампових плитах пресів дозволяє значно зменшити рівень переміщень і напружень, які виникають в плитах блоків УСШ.

Результати дослідження впливу умов закріплення нижньої плити блоку до основи наведені в таблиці 4.7 (переміщення) і таблиці 4.8 (напруження).

Таблиця 4.7 – Значення величин переміщень нижніх плит за різних умов закріплення

Точки заміру Вид кріплення	<i>W</i> , мм			
	1	2	3	4
4 прихвати	-0,015	0,1	0,14	-0,015
2 прихвати діагональ	-0,03	0,21	0,16	-0,04
2 прихвати по осі	-0,05	0,11	0,11	-0,05
без закріплення	-0,06	0,12	0,16	-0,04

Зміна умов закріплення нижньої плити блоку до основи несуттєво впливає на її напружено-деформований стан, про що можна судити за щільністю розташування ліній на рисунку 4.4, де лінії 1-4 відповідають розподілу напружень в плитах закріплених чотирма прихватами, двома прихватами по діагоналі, двома прихватами по осі та вільно лежачими на підштамповій плиті преса. Закріплення в чотирьох точках є кращим із розглянутих, воно дозволяє знизити рівень максимальних напружень у порівнянні із варіантом без закріплення з 396 МПа до 325 МПа.

Таблиця 4.8 – Значення величин напружень, що виникають в нижніх плитах за різних умов закріплення

Вид закріплення	σ_x , МПа				σ_y , МПа			
	4 прихвати	2 прихвати діагональ	2 прихвати по осі	без закріплення	4 прихвати	2 прихвати діагональ	2 прихвати по осі	без закріплення
№ датчика								
1	-44,8	-33,4	-36,9	-34,3	10,5	22	36,9	17,6
2	-44,8	-51	-54,5	-60,7	10,5	16,7	31,6	20,2
3	-74,7	-72	-89,7	-92,6	-17,6	-26,4	-21,1	-12,3
6	-216,3	-231,2	-237,4	-254,9	-0,9	2,6	8,8	3,5
8	5,3	10,5	13,2	-11,4	-62,4	-62,4	-36	-53,6
10	-32,5	-12,3	-3,5	-44	-161,8	-147,7	-145,1	-145,1
12	22	22	7	19,3	-33,4	-31	-29,9	-42,2
13	32,5	37,8	14,9	10,5	1,8	10,5	3,5	10,5
15	60,7	67,7	51,9	60,6	362	368,4	360	362
17	54,5	62	75,6	58	288,4	332,3	358,3	353,4
19	97,6	108,1	116	118,7	325,3	360,4	386,8	395,6
21	-232,2	284,8	288,4	282,2	47,5	69,5	54,5	60,7

Рисунок 4.4 – Нормальні напруження в плитах, при різних умовах їх закріплення, отримані методом статичної тензометрії

При ступінчастому навантаженні нижньої плити до величини навантаження $P = 600$ кН, значення переміщень та напружень зростали пропорційно прикладеному зусиллю. Рівень напружень зареєстрованих в верхніх плитах істотно менше рівня напружень в нижніх плитах, що говорить про те, що нижні плити працюють у значно важчих умовах, ніж верхні.

Зміни товщини нижніх плит, діаметрів напрямних елементів та величин отворів основи практично не впливають на рівень напружено-деформованого стану верхніх плит блоків. Значення величин напружень, що виникають у верхніх плитах при різних значеннях прикладеного навантаження наведені в таблиці 4.9.

Таблиця 4.9 – Значення величин напружень у верхніх плитах при ступінчастому навантаженні

P , кН	σ_x , МПа				σ_y , МПа			
	150	300	450	600	150	300	450	600
№ датчика								
23	2,6	7,1	12,3	13,5	2,8	4,1	8,3	14,9
24	-8,8	-10,3	-11,4	-22,9	2,6	5,6	12,2	22,9
26	-3,5	-13,5	-22	-24,6	14,9	19,9	24,6	28,6
28	–	4,8	8,8	17,6	–	2,6	7,9	12,3
30	8,8	6,2	11,1	14,9	2,6	6,2	9,7	13,5
32	3,1	6,3	9,7	18,5	-6,2	-12,3	-30	-48,5
34	20,1	38,5	58	79,1	-87	-98,5	-126,6	-136,3
36	-5,3	-10,2	-13,2	-18,5	-17,6	-24	-44	-61,5
37	2,6	2,6	2,6	2,6	8,8	8,8	8,8	8,8

Висновки до розділу 4

Проведено дослідження стану блоків УСПШ за методом статичної тензометрії.

РОЗДІЛ 5. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РОЗРОБОК

Рекомендації щодо основних принципів тензометричних вимірювань під час виробничих випробувань дослідних зразків

Комплекс теоретичних і експериментальних досліджень напружено-деформованого стану найбільш навантажених деталей УСПШ дозволяє розробити найбільш раціональні конструктивні та технологічні рішення, що задовольняють вихідним вимогам до конструкцій. Однак, як теоретичні, так і лабораторні експериментальні дослідження, проводяться у стаціонарній постановці, при статичному навантаженні, моделі та дослідні зразки досліджуваних деталей виготовляються у певній мірі спрощеними і не враховують деяких особливостей конструкції. Крім того, як у розрахункових схемах, математичних моделях, так і при експериментах у лабораторних умовах, досить важко врахувати увесь набір умов експлуатації штампів у виробничому циклі, в тому числі стан пресового обладнання, похибки установки, закріплення, налагодження тощо.

Для визначення впливу неврахованих в теоретичних і експериментальних дослідженнях факторів і параметрів, а також похибок обчислень і лабораторних вимірювань на працездатність, надійність конструкцій і якість штампованих деталей, представляється необхідним проведення натурних виробничих випробувань розробленого штампового оснащення в реальних умовах експлуатації листоштампувальних комплексів. При цьому для реєстрації контрольованих параметрів силової взаємодії конструктивних елементів, в тому числі характеристик напружено-деформованого стану, застосовуються відповідні засоби вимірювання, прилади та апаратура (рисунок 5.1). Безпосередньо в процесі штампування деталей з листового матеріалу на серійному пресовому обладнанні необхідно, використовуючи сучасні експериментальні методи, вимірювальні засоби і прилади, фіксувати кількісні показники міцності та жорсткості основних елементів штампів, що експлуатуються.

Одним з найбільш ефективних і досить добре освоєних методів, що дозволяють у виробничих умовах вимірювання характеристик напружено-деформованого стану, що виникає в конструктивних елементах у процесі штампування, на даний час є метод динамічної тензометрії із застосуванням фольгових тензорезисторів активного електричного опору, відповідного підсилюючого та записуючого устаткування.

Рисунок 5.1 – Тензометрична апаратура для динамічних процесів

Серед безлічі методів вимірювання поверхневих напружень в машинобудівних конструкціях безпосередньо в процесі їх функціонування, для УСПШ метод динамічної електротензометрії представляється найбільш раціональним. Він має низку переваг над іншими способами реєстрації деформацій, відповідає як основним умовам постановки науково-дослідних робіт, так і виробничим вимогам.

Метод динамічної електротензометрії передбачає визначення полів деформацій і напружень за вимірюваннями в окремих точках, в яких наклеюються фольгові (або дротові) тензорезистори, що з'єднуються потім в мостові схеми. У результаті вимірювань в точках отримують компоненти деформацій, напружень для частини поверхні деталі, в залежності від її форми і схеми сполучення з іншими деталями. Отримані експериментальні дані в окремих контрольованих точках піддаються аналізу, систематизації, обробці, апроксимації, а при

необхідності – екстраполяції, що, в кінцевому рахунку, дозволяє проводити дослідження розподілу полів напружень за усією поверхнею деталі, що розглядається.

У проведеному комплексі виробничих випробувань конструкцій УСПШ, як тензочуттєві елементи рекомендовано використовувати, в основному, фольгові тензорезистори типу КФ5П1-5-100-А-12, що володіють високими метрологічними характеристиками, широким діапазоном величин вимірюваних деформацій. Номінальний електричний опір тензорезисторів даного типу становить 100 Ом при допустимому граничному відхиленні $\pm 1\%$. Тензочутлива решітка тензорезисторів виконується з константану і розташовується на підкладці зі склопаперу, просоченого фенольною смолою, або на поліамідній плівці. Робоча область значень температури фольгових тензорезисторів на поліамідній плівці знаходиться в інтервалі $-70^{\circ}\text{C} \dots +200^{\circ}\text{C}$ із термокомпенсацією $+10^{\circ}\text{C} \dots +120^{\circ}\text{C}$.

Однією з основних найбільш показових характеристик застосовуваних константанових тензорезисторів, є коефіцієнт чутливості K , що представляє собою відношення відносного опору $\Delta R/R$ до відносної деформації $\varepsilon = \Delta S/S$ в напрямку бази вимірювань та визначений вибіркоким градуюванням тензорезисторів однієї партії [21], тобто

$$K = \frac{\Delta R/R}{\Delta S/S}. \quad (5.1)$$

Середнє значення чутливості тензорезисторів, що використовуються, становить 2,17 при квадратичному відхиленні, рівному 0,02.

Наклеювання тензорезисторів рекомендується проводити відповідно до інструкції, розробленої заводом-виробником, що поставляється у комплекті із черговою партією.

Відповідно до рекомендованої технології, рекомендується до використання однокомпонентний клей ЕО холодного затвердіння, що наносився на попередньо підготовлені (очищені, прошліфовані, знежирені та просушені) досліджувані

поверхні. Після 24 годин після наклеювання та повного завершення процесу полімеризації клею, товщина клейового шару становитиме 8...10 мкм, що відповідає вимогам інструкції і зберігає метрологічні характеристики наклеєних тензорезисторів. За даною технологією рекомендовано наклеювати як основні, так і компенсаційні тензорезистори, що розташовуються на окремій металевій пластині, яка в процесі виробничих випробувань знаходилася на столі преса поруч із досліджуваним штампом.

Після завершення виробничих випробувань штампів з використанням методу динамічної тензометрії, що дозволить процес деформування досліджуваних елементів записати на осцилограмах у вигляді певних відхилень сліду променя відповідного гальванометра від початкового ненавантаженого стану, рекомендується провести тарування тензорезисторів спільно із апаратурою, що застосовується.

У проведенні серії виробничих експериментів із застосуванням методу динамічної тензометрії, для отримання реальних картин розподілу і величин виникаючих напружень, тензорезистори рекомендовано наклеювати на нижні базові плити дослідних зразків універсальних блоків з механізованим кріпленням змінних універсально-складальних переналагоджуваних пакетів. На рисунку 5.2 показана схема розташування тензодатчиків на досліджуваній нижній плиті УСПШ.

Наведена схема наклеювання передбачає симетричність конструкції відносно осі $x-x$, тому тензорезистори розташовані на одній половині плити в зоні, обмеженій проекцією на площину нижньої плити контуру тримача пакета і проекцією контуру прокладки тримача. Для захисту тензодатчиків і комутуючих дротів від пошкодження, на нижній поверхні пакета були виконані спеціальні пази за напрямками розташування тензодатчиків. Передбачається, що профрезеровані у нижній опорній плиті пакета пази глибиною 1,5 мм на загальну жорсткість конструкції практично не впливають і зберігається рівномірність розподілу зусилля штампування за усією нижньою поверхнею пакета в області його контакту з нижньою базовою плитою.

Рисунок 5.2 – Схема розташування тензодатчиків на базовій плиті

Перед проведенням виробничих випробувань дослідних зразків УСПШ із застосуванням динамічної тензометрії, універсальний блок з наклеєними тензодатчиками необхідно перевірити на працездатність у зібраній тензометричній схемі в лабораторних умовах при статичному навантаженні.

Висновки до розділу 5

Запропоновано практичну реалізацію серії експериментів у виробничих умовах стосовно дослідження напружено-деформованого стану найбільш навантажених деталей УСПШ із застосуванням методу динамічної тензометрії.

ВИСНОВКИ

Отже, відповідно до отриманого завдання на кваліфікаційну роботу здобувача вищої освіти та за результатами її виконання зроблено наступні висновки.

В результаті виконаних теоретичних і експериментальних досліджень зроблені висновки.

- розглянуті конструкторсько-технологічні особливості штампового оснащення, що переналагоджується;
- визначено стан досліджень напруженого стану Т-подібних пазів, вибору їх форми та розмірів, виготовлення, складання;
- запропоновано методику проведення експериментальних досліджень;
- використовуючи метод статичної тензометрії досліджено напружено-деформований стан штампового оснащення;
- надано рекомендації відносно практичної реалізації розробки на виробництві.