

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра механічної та електричної інженерії

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи на здобуття ступеня вищої освіти

магістр

на тему: «Удосконалення процесу виготовлення
отворів у тонкостінних виробах»

КРМ.133ГМмд_23.08.000 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_23
КОРОЛЬ Ростислав

Керівник: докт. техн. наук, доцент
ВЕТОХІН Володимир

Полтава – 2023 року

ВСТУП

Традиційна технологія свердління не дозволяє отримати якісні отвори під різьбу в тонкостінних заготовках деталей сільськогосподарських машин і обладнання агропромислового виробництва внаслідок неможливості формування достатньої кількості витків різьби.

На практиці ця проблема вирішується за рахунок установки фітингів (різьбових втулок, гайок) (рисунок 1, а-г), що ускладнює конструкцію різьбових отворів. Найбільш технологічним у даному випадку є використання пластичного деформування (рисунок 1, д).

Рисунок 1 – Приклади конструктивного виконання різьбових отворів у тонкостінних заготовках: а, б, в, г – встановленням та фіксацією різьбової втулки; д – пластичним деформуванням: 1 – заготовка, 2 – різьбова втулка, 3 – гайка

Пластичне деформування реалізується у результаті фрикційного розігріву та пластифікації матеріалу заготовки під дією комбінації осьової сили і обертання інструменту (перфоратора), з подальшим формуванням в заготовці витягнутої ділянки у вигляді втулки з отвором під різьбу (рисунок 2). При цьому одержувані

					КРМ.133ГМмд_23.08.000 ПЗ	Аркуш
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

отвори мають більш високу точність та низьку шорсткість у порівнянні з традиційними методами формування отворів.

Рисунок 2 – Формування отвору під різьбу в тонкостінних заготовках методом пластичного деформування: а – притискання перфоратора до заготовки; б – початок фрикційного розігріву та занурення перфоратора; в – пластичне відтискання матеріалу заготовки і початок формування втулки; г – завершення формування втулки з отвором; д – виведення перфоратора із заготовки

Пластичне деформування ефективно не при любых технологічних режимах обробки. У деяких випадках спостерігаються деформація заготовки і руйнування інструменту, є режими, при яких воно зовсім нереальне. Наявні рекомендації зарубіжних фірм-виробників інструменту не гарантують оптимальну продуктивність даної технології. Тому на підприємствах досі застосовується емпіричний метод підбору режимів пластичного деформування тонкостінних заготовок.

					КРМ.133ГМмд_23.08.000 ПЗ	Аркуш
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Наукові дослідження у галузі пластичного деформування

Початком систематичних досліджень у цьому напрямку можна вважати 70-ті роки минулого століття, коли стали з'являтися перші патенти [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7], що описують новий інструмент і нетрадиційну технологію формування отворів в матеріалах за рахунок попереднього фрикційного розігріву поверхні. Цей період пов'язаний з роботами радянських та зарубіжних вчених: В. Геффена, А.І. Прагера, Л.М. Дубровіна, В. Стевенсона. У 80-ті роки дані роботи розвиваються в дослідженнях А.Дж. Хугенбума, К.А. Стру та ін. [8, 9, 10, 11].

У 90-тих роках спостерігається різка інтенсифікація наукових і практичних аспектів вивчення пластичного деформування [10, 12-20] завдяки роботам Б.Г. Андерсона, Б. Данара, Д.С. Олсона, М. Махоні та ін.

Початок століття продовжив бурхливий розвиток нової технології [21-30]. Примітно, що в цей же час у Росії формується наукова школа з дослідження та вдосконалення інструменту та технології пластичного деформування (Е.Ю. Татаркін, В.В. Хоменко, О.В. Золотов). Із 2006 року з'являються праці ще однієї наукової школи з вивчення процесу пластичного деформування [31]. У роботах В.І. Гузєєва і П.В. Шаламова проведені дослідження технологічних режимів пластичного деформування отворів під різьбу в заготовках із сталі 08кп товщиною 0,8...2 мм [31-35, 36-41]. Проведено аналіз міцності одержуваних різьбових з'єднань на зріз та розроблена скінченно-елементна модель процесу пластичного деформування. Серед зарубіжних досліджень можна виділити роботи С. Міллера [42-47].

На даний час спостерігається експансія цієї ідеї за іншими напрямками машинобудування [48, 49], зокрема – складанні, коли технологія деформування суміщається із утворенням роз'ємних і нероз'ємних з'єднань двох тонкостінних деталей, виготовлених переважно з листових матеріалів або трубок. Незважаючи

					КРМ.133ГМмд_23.08.000 ПЗ	Аркуш
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

на відносно невелику кількість досліджень, що виконані в світі по вдосконаленню технології та інструменту для пластичного деформування (в порівнянні з традиційними методами механічної обробки), тим не менш, багато аспектів даної технології досить добре висвітлені, включаючи вивчення форми отворів [50, 51], металознавчі дослідження стану матеріалу в зоні обробки [42, 52], експериментальні дослідження щодо вивчення технологічних режимів технологічних режимів на верстатах з ЧПК [45, 53, 54], чисельні дослідження з використанням МСЕ [43, 44, 46], вивчення характеристик міцності одержуваних отворів [55-57], аналіз механізмів зношування перфраторів [47, 58, 59, 60, 61, 62], оцінка галузі застосування методу [16] та ін.

Незважаючи на досягнуті успіхи, сфера, що розширюється із використанням методу пластичного деформування, робить затребуваними нові практичні розробки в плані вдосконалення і здешевлення конструкції інструменту, пошуку найбільш раціональних режимів технологічної обробки, а також теоретичні дослідження по створенню наукових основ пластичного деформування, що являє собою дуже непросту задачу, оскільки вимагає виявлення багатьох, часом досить складних, зв'язків між різними технологічними факторами (властивостями і формою інструменту, температурою і напруженнями в зоні обробки, властивостями оброблюваного матеріалу, наявністю змащення та його структури та складом та ін.). У цьому плані стан досліджень поки що знаходиться лише на початковому етапі.

1.2 Галузь застосування технології пластичного деформування

На даний час технологія пластичного деформування знаходить широке застосування у різноманітних галузях промисловості (рисунок 1.1).

					КРМ.133ГМмд_23.08.000 ПЗ	Аркуш
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рисунок 1.1 – Галузі застосування технології виготовлення отворів тертям [63-65]:

а – обробка фурнітури; б – кріплення в корпусних деталях; в – формування фітингу в колекторі; г – формування отворів в трубопроводах; д – приклади виконання отворів: із різьбою і без різьби; з буртиком і без буртика; є – варіанти виконання отворів в тонколистовому виробі (показані у розрізі); ж – з'єднання двох листів металу методом пластичного деформування (показані у розрізі)

Сюди можна включити: автомобілебудування (сидіння, кермові колонки, паливні рампи, підвіски, вихлопні труби); теплопостачання (труби, паяні з'єднання); фурнітура для меблів (столи, крісла, ліжка, офісні меблі); медична техніка (інвалідні візки, носилки), тонкостінні конструкції з вузлами кріплення

					КРМ.133ГМмд_23.08.000 ПЗ	Аркуш
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

(корпуса, піддони, кришки, теплообмінники, колектори, елементи трубопроводів, компресори повітряні балони, сходи, парапети, двері); спортивний інвентар (тренажери, велосипеди), а також багато інших сфер використання [63-67].

За допомогою пластичного деформування можна обробляти практично всі тонкостінні деталі з різних конструкційних металів (крім олова і цинку), в основному: сталі, що піддаються зварюванню; нержавіюча сталь; алюміній; мідь; латунь; бронза; магнітні матеріали; спеціальні сплави. Незважаючи на те, що найбільше застосування пластичне деформування знаходить в зарубіжній промисловості, у даній технології закладено величезний потенціал для розвитку вітчизняного машинобудування. Даний метод формування отворів успішно використовується для виготовлення корпусних елементів електричних апаратів і деталей гідроапаратури, що робить актуальними дослідження в галузі вдосконалення технології пластичного деформування, а також створення імпортозамінного інструменту.

Сучасний цільнотвердосплавний інструмент для формування отворів тертям в основному зберіг свою конфігурацію із сімдесятих років минулого століття і складається із циліндричного хвостовика для закріплення інструменту в шпинделі верстата; фланця для обробки верхньої частини «втулки»; циліндричної (калібруючої) робочої частини, що створює отвір заданого діаметра і вигладжує його поверхню; конічної (розширюючої) робочої частини, інструмент, що центрує і розсуває матеріал заготовки при формуванні отвору (рисунок 1.2). Типорозмір перфоратора вибирається в залежності від товщини стінки заготовки, в якій необхідно сформувати отвір за таблицею, складеною компанією «FlowDrill». Крім самого перфоратора для реалізації пластичного деформування використовуються додаткові аксесуари, що зображено на рисунку 1.3.

Одним із основних напрямків застосування пластичного деформування є накочування різьби у втулці, утвореної методом пластичного деформування в тонкостінній заготовці. На відміну від технології нарізування різьби при накочуванні матеріал піддається пластичній деформації із зусиллям, що

					КРМ.133ГМмд_23.08.000 ПЗ	Аркуш
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

перевищує межу текучості, при якому у втулці утворюється зміцнена різьба без зняття стружки. Наклеп дозволяє збільшити втомну міцність і зносостійкість поверхні різьби.

Рисунок 1.2 – Перфоратор FlowDrill: 1 – конічна (центруюча) робоча частина; 2 – конічна (розширююча) робоча частина; 3 – циліндрична (калібруюча) робоча частина; 4 – фланець; 5 – хвостовик

Рисунок 1.3 – Інструмент та аксесуари для пластичного деформування [65]

Накочування внутрішньої різьби здійснюється безстружковими мітчиками, які мають спеціальну геометрію (рисунок 1.4). Вона дозволяє зменшити тертя і

					КРМ.133ГМмд_23.08.000 ПЗ	Аркуш
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

забезпечити легкий доступ мастильного матеріалу в зону деформування. Тут також доречно звернути увагу на те, що при накочуванні, отвір під різьблення свердлиться з дещо більшим діаметром (рисунок 1.5, 1), ніж під нарізування різьби звичайним мітчиком (рисунок 1.5, 2). Це обумовлено тим, що при накочуванні різьби, матеріал заготовки переміщується, піддаючись пластичному деформуванню, а не видаляється, як при нарізанні звичайним мітчиком.

Рисунок 1.4 – Геометрія мітчиків та форма різьби, що отримується

Даний спосіб виготовлення різьблення має деякі специфічні особливості. Одним з основних факторів, що визначають ефективність технології накочування внутрішньої різьби, є умови охолодження і змащення. Правильний вибір мастильно-охолоджуючої рідини є дуже важливим чинником, що забезпечує працездатність безстружкових мітчиків. Чим ефективніше охолодження і змащення мітчика в процесі обробки, тим вище його стійкість та краще якість отриманого різьбового отвору.

Використання комбінації операцій термічного деформування і накочування різьби несе в собі певні переваги, такі як:

- формування отворів і різьби без утворення стружки;
- висока точність та низька шорсткість отвору і різьби;

					КРМ.133ГМмд_23.08.000 ПЗ	Аркуш
						13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- висока продуктивність;
- висока стійкість інструменту (при дотриманні рекомендованих режимів роботи перфоратора – 10000 отворів, мітчик – 20000 отворів);
- не потрібно додаткового спеціального обладнання. Операція може проводитися на будь-якому свердлильному або фрезерному верстаті;
- висока міцність різьби.

Рисунок 1.5 – Технологія накочування різьби: 1 – діаметр отвору під накочування різьби; 2 – діаметр отвору під нарізання різьби

Досить багато робіт присвячено й іншим додаткам технології пластичного деформування, зокрема, для формування нероз'ємних з'єднань тонкостінних деталей [3, 12-14, 48] та ін.

1.3 Дослідження якості отворів методу пластичного деформування

З точки зору технології машинобудування важливо не тільки надати заготовці необхідну форму, але і забезпечити необхідну якість оброблених поверхонь. У цьому плані дослідження матеріалу в області пластичного деформування представляє особливий науковий інтерес, оскільки поєднання високих температур,

					КРМ.133ГМмд_23.08.000 ПЗ	Аркуш
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

інтенсивних нормальних і дотичних навантажень здатне активувати безліч хімічних і фізико-механічних процесів.

В літературі є дані про проведені дослідження матеріалів [42, 52], підданих деформації при пластичному деформуванні. Наведемо ряд практично важливих аспектів, отриманих у ході даних досліджень.

По-перше, метал в зоні обробки зазнає наклепу, що виражається в підвищенні мікротвердості на 30-35% у приповерхневій зоні утвореної втулки (рисунок 1.6) і зниженні величини відносного подовження деформованого матеріалу з 25% до 20%. Обидва явища характерні для деформаційного зміцнення сталі за рахунок підвищення щільності дислокацій.

Рисунок 1.6 – Графік зміни твердості при поверхневої зони за довжиною втулки

Це обумовлює підвищені механічні властивості матеріалу, що супроводжуються деяким погіршенням корозійної стійкості внаслідок можливої прояви механохімічного ефекту. Це робить актуальним питання забезпечення антикорозійних властивостей поверхні отвору.

По-друге, є дані про фазові перетворення у структурі металу, що деформується. Спостерігаються такі явища як: знеуглецювання поверхневого шару, що веде до збільшення кількості фериту; деформаційне подрібнення

					КРМ.133ГМмд_23.08.000 ПЗ	Аркуш
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

структури у верхній частині утвореної втулки; поява витягнутих в осьовому напрямку ферритно-перлітних зерен. Подрібнення структури і текстурування матеріалу в зоні отвору є факторами, що сприяють підвищенню характеристик міцності металу в зоні обробки. Знеуглецювання, навпаки, свідчить про можливе погіршення експлуатаційних властивостей матеріалу в зоні термічного впливу. В таких умовах важливо визначити внесок різних процесів у результуючі експлуатаційні властивості матеріалу. Тому дослідження на рівні структури металу повинні проводитися в комплексі з іншими експериментами з урахуванням усіх умов, що характеризують об'єкт. Ще один важливий факт, пов'язаний зі структурою – наявність навколо отвору своєрідної «аури», що отримала назву зона термічного впливу (в рівній мірі її можна було б назвати зоною пластичного течії), яка має чітку межу і в якій спостерігаються суттєві структурні відмінності від основного матеріалу. Встановлено, що на межі даної зони виникають потужні концентратори напружень, в яких локалізується пластична деформація на початковій стадії розтягування зразків з пластично просвердленим отвором. Однак з ростом ступеня деформації розвиток пластичної течії стає однорідним і далі поведінка матеріалу в зоні пластичного деформування перестав відрізнятися від решти матеріалу та місце утворення шийки може не співпадати із зоною модифікованого стану.

По-третє, в зоні обробки під дією високих температур (близько 800-1000°C) в зоні контакту інструмента з оброблюваною деталлю відбувається інтенсивне масоперенесення, що проявляється у взаємному дифундуванні хімічних елементів на межі «інструмент-деталь». Рентгенівські дослідження показали, що на поверхні отвору є частинки кобальту із фрагментами карбіду вольфраму, перенесені з інструменту. Але найчастіше можна спостерігати зворотну картину – перенесення матеріалу з деталі на робочі поверхні перфоратора. Особливо це явище, обумовлене виникненням адгезійних містків зварювання між третьюми поверхнями, характерне в умовах вибору нераціональних технологічних режимів пластичного деформування.

					КРМ.133ГМмд_23.08.000 ПЗ	Аркуш
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Незважаючи на те, що описані процеси, мабуть, носять загальний характер, можна відзначити, що в залежності від складу і структури оброблюваного матеріалу, вибраних технологічних режимів, складу середовища, умов охолодження та інших факторів можуть проявлятися різні ефекти, які можуть привести до результатів, які в даний час передбачити неможливо. Тому проведення досліджень якості отворів важливо проводити для кожного об'єкта обробки з урахуванням максимального числа визначальних умов.

1.4 Проблеми вибору технологічних режимів пластичного деформування

Сутність технології пластичного деформування зводиться до наступного.

1. Обертовий перфоратор притискають до оброблюваної поверхні з певним осьовим зусиллям (рисунок 1.7, а).

2. За рахунок тепла, що виділяється при терті, відбувається нагрів інструменту і металу до температури, достатньої для надання матеріалу підвищеної пластичності (близько половини температури плавлення, рисунок 1.7, б).

3. Перфоратор починає інтенсивно витіснити матеріал в горизонтальному (радіальному) і вертикальному (вгору і вниз) напрямках, переважно вниз, формуючи втулку. По мірі проникнення перфоратора в метал швидкість подачі збільшується (рисунок 1.7, в).

4. У підсумку виходить закінчена втулка, діаметр якої досить точно копіює геометрію обертового інструменту. Матеріал, витіснений проти напрямку подачі, перетворюється в буртик, що обрамляє, у формі кільця. Це кільце може бути зрізано в процесі аналогічної операції формовки отвору у разі використання спеціального перфоратора, що торцює, який має ріжучий майданчик на паскові (рисунок 1.7, г).

5. Втулка готова для формування різьби за допомогою мітчика. Формована за допомогою холодної деформації різьба має достатню для необхідної міцності

					КРМ.133ГМмд_23.08.000 ПЗ	Аркуш
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

кількість витків в тонкостінних елементах конструкцій і має підвищену міцність внаслідок наклепу матеріалу (рисунок 1.7, д).

б. В результаті маємо різьбове з'єднання, здатне витримувати великий момент затягування без свердління і подальшого приварювання гвинтовий гайки (рисунок 1.7, е).

Рисунок 1.7 – Технологія формування різьбового з'єднання методом пластичного деформування [64]

Процедура формування отворів методом пластичного деформування може бути організована різними способами – в ручному та автоматизованому режимах. Кожен із даних методів має свої переваги та недоліки.

В ручному режимі для використання технології пластичного деформування не потрібно спеціального устаткування [63-65], для неї підходять недорогі верстати свердлильно-фрезерної групи з якісним шпиндельним вузлом, який має необхідні частоту обертання шпинделя до декількох тисяч обертів за хвилину і достатню потужність двигуна. В цілому процедура обробки подібна до тієї, яка використовується при традиційному вирізанні наскрізних отворів в листових матеріалах свердлами: 1) у шпинделі верстата закріплюється спеціальний цанговий патрон з охолоджувачем з алюмінієвого сплаву; 2) в патроні затискається перфоратор і перевіряється на биття, яке не повинно перевищувати 50 мкм; 3) деталь розташовується на столі так, щоб оброблювана ділянка

					КРМ.133ГМмд_23.08.000 ПЗ	Аркуш
						18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розташовувалась під вершиною перфоратора, а під наміченим отвором була порожнина для виходу інструмента і утворення втулки; 4) запускають верстат і оператор, регулюючи тиск на перфоратор, формує отвір. Перевага ручної обробки полягає в можливості оперативного управління силою натиску (при початку заклинювання інструменту або викривлення заготовки – натиск послаблюється). Однак, внаслідок відносно низької продуктивності даний метод підходить для одиничного та дрібносерійного виробництва.

В автоматизованому режимі використовують більш дорогі верстати з ЧПК, які дозволяють здійснювати обробку деталей машин в серійному і крупносерійному виробництві.

Інформація, розміщена на офіційних сайтах закордонних виробників перфораторів та інформаційних буклетах цих фірм вказує, що проблема вибору обладнання і технологічних режимів пластичного деформування для обробки заготовок різної товщини з різних металів в першому наближенні вирішена. Частина цієї інформації для прикладу наведена в таблицях 1.1, 1.2 та на рисунку 1.8. Однак виявлення раціональних режимів обробки на основі наявних рекомендацій являє собою складну проблему, оскільки кожен об'єкт обробки має безліч індивідуальних особливостей (розміри і форма деталі, температура матеріалу, геометрія перфоратора, розташування отворів, розташування і геометрія оснастки для фіксації деталі на верстаті, мастило, що використовується, структура та механічні властивості матеріалу тощо). Складність фізичних механізмів пластичного деформування є причиною того, що досі використовується емпіричний підхід до вибору технологічних режимів.

Як видно з вищенаведених таблиць виробники перфораторів регламентували вимоги до використовуваного устаткування (частоті обертання шпинделя і потужності двигуна) з урахуванням діаметра одержуваного отвору. Наприклад, щоб отримати методом термічного деформування отвір діаметром 10 мм в конструкційній сталі, частота обертання наконечника повинна становити 2000 об/хв, потужність на шпинделі – 2,0 кВт. Рекомендовані табличні величини

					КРМ.133ГМмд_23.08.000 ПЗ	Аркуш
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

можуть варіюватись в межах $\pm 15\%$. Стандартний ряд діаметрів отворів має дискретність 0,1 мм, допуск на отримані отвори +0,02.

Таблиця 1.1 – Частота шпинделя, об/хв, та мінімальна потужність верстата від діаметра отвору, що формується (рекомендації фірми FlowDrill)

Діаметр, мм	Частота, об/хв		Потужність, кВт	Діаметр, мм	Частота, об/хв			Потужність, кВт
	Сталь	Нерж.			Мідь	Латунь	Алюм.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
2,0-2,9	3000	2600	0,8	2,0-2,9	4200	4800	6000	1,2
3,0-3,9	3000	2600	0,8	3,0-3,9	4200	4800	6000	1,2
4,0-4,9	2800	2500	1,0	4,0-4,9	3900	4500	5600	1,5
5,0-5,9	2800	2500	1,0	5,0-5,9	3900	4500	5600	1,5
6,0-6,9	2800	2500	1,2	6,0-6,9	3900	4500	5600	1,8
7,0-7,9	2500	2100	1,5	7,0-7,9	3500	4000	5000	2,2
8,0-8,9	2500	2100	1,5	8,0-8,9	3500	4000	5000	2,2
9,0-9,9	2200	1900	1,8	9,0-9,9	3100	3500	4400	2,7
10,0-10,9	2000	1800	2,0	10,0-10,9	2800	3200	4000	3,0
11,0-11,9	2000	1800	2,0	11,0-11,9	2800	3200	4000	3,0
12,0-12,9	2000	1800	2,0	12,0-12,9	2800	3200	4000	3,0
13,0-13,9	1800	1600	2,2	13,0-13,9	2500	2900	3600	3,3
14,0-14,9	1600	1400	2,5	14,0-14,9	2250	2550	3200	3,7
15,0-15,9	1500	1350	2,5	15,0-15,9	2100	2400	3000	3,7
16,0-16,9	1500	1350	2,5	16,0-16,9	2100	2400	3000	3,7
17,0-17,9	1500	1350	3,0	17,0-17,9	2100	2400	3000	4,5
18,0-18,9	1200	1100	3,0	18,0-18,9	1700	1900	2400	4,5
19,0-19,9	1000	900	3,0	19,0-19,9	1400	1600	2000	4,5
20,0-20,9	1000	900	3,0	20,0-20,9	1400	1600	2000	4,5

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРМ.133ГМмд_23.08.000 ПЗ

Аркуш

20

Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
21,0-21,9	1000	900	3,5	21,0-21,9	1400	1600	2000	5,2
22,0-22,9	1000	900	3,5	22,0-22,9	1400	1600	2000	5,2
23,0-23,9	900	850	3,8	23,0-23,9	1250	1450	1800	5,7

Таблиця 1.2 – Залежність частоти шпинделя, об/хв, та мінімальної потужності від розміру різьби, що формується (рекомендації фірми FlowDrill)

Метрична різьба				Трубна різьба			
Різьба	Частота, об/хв		Потужність, кВт	Різьба	Частота, об/хв		Потужність, кВт
	Сталь	Нерж.			Сталь	Нерж.	
M3	1062	531	0,8	1/8BSP	318	159	1,8
M4	796	398	0,8	1/4BSP	227	114	2,0
M5	637	318	1,0	3/8BSP	199	100	2,5
M6	531	265	1,2	1/2BSP	159	80	3,0
M8	398	199	1,5	3/4BSP	133	67	4,0
M10	318	159	1,8	1/1BSP	106	53	5,5
M12	265	133	2,0				
M14	227	114	2,2				
M16	199	100	2,5				
M18	177	38	2,5				
M20	159	30	3,0				

На рисунку 1.8 показані рекомендовані осьові навантаження на перфратор, але реалізація даних зусиль при реалізації технології пластичного деформування в масовому виробництві на верстатах з ЧПК, на яких відсутній безпосередній контроль зусиль, що діють на інструмент, являє собою проблему. Виникає необхідність управління силовими параметрами пластичного деформування опосередковано, наприклад, за рахунок керування швидкістю осьового

переміщення інструменту з урахуванням усіх істотних факторів, здатних вплинути на показники технологічності та якості обробки. Це потребує спеціальних досліджень. Методика проведення таких досліджень в даний час відсутня, і фактично на підприємствах користуються емпірично підібраними режимами для обробки застосовуваних матеріалів. При цьому з однієї сторони відбувається руйнування великої кількості інструменту, а з іншої – немає впевненості, що знайдені режими є раціональними.

Рисунок 1.8 – Залежність осьового зусилля від діаметра отвору (за рекомендацією фірми FlowDrill) при товщині S заготовки (сталь 3)

Проблема полягає також у відсутності науково обґрунтованих критеріїв вибору раціональних режимів пластичного деформування. Для збільшення ресурсу перфтораторів фірма FormDrill [66] рекомендує вибирати по можливості більше число обертів і максимальну подачу інструменту. Це призводить до зменшення часу формування отвору. У той же час надмірне форсування режимів (збільшення осьової подачі і частоти обертання) загрожує пошкодженням (деформацією і

					КРМ.133ГМмд_23.08.000 ПЗ	Аркуш
						22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

руйнуванням) тонкостінної заготовки, заклинюванням і поломкою інструменту, формуванню отвору із рваними краями (внаслідок недостатньої температури), погіршенням якості отворів (рисунок 1.9).

Рисунок 1.9 – Ілюстрація проблем, що виникають в результаті неправильного вибору технологічних режимів пластичного деформування: а – деформація заготовки; б – заклинювання інструменту і утворення задирів на поверхні отвору; в – згин заготовки і поломка перфоратора; г – зношування робочої частини перфораторів

Для запобігання заклинювання рекомендується вибирати верстати з підвищеною потужністю, однак практика показує, що такий захід допомагає тільки до певної міри. В умовах схоплювання погіршується якість поверхні отвору, відбувається перенесення металу на інструмент. Тому пріоритетним є не розривати механічно містки зварювання, а створювати умови для мінімізації явища

					КРМ.133ГМмд_23.08.000 ПЗ	Аркуш
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

схоплювання. Для цього важливо, щоб на поверхні інструмента і деталі як можна довше зберігалися оксидна плівка та граничний шар змащення, що використовується. Тому необхідно захистити поверхні тертя від надмірного механічного навантаження, що викликає деструкцію розділових шарів до досягнення температури пластифікації матеріалу, оскільки після проходження фази розігріву матеріалу зусилля в зоні тертя різко знижуються.

У загальному випадку рекомендована швидкість подачі призначається з розрахунку 0,1 мм на повний оборот інструменту. У поєднанні з потужністю, що розвивається шпинделем, частотою його обертання і осьовим зусиллям подачі така швидкість дачі забезпечує достатній час на розігрів заготовки та формування якісного отвору. Одночасно попереджається перегрів інструменту.

Для розрахунку часу циклу деформування рекомендується наступна залежність:

- при діаметрі від 2 до 8 мм – 1 сек./1 мм товщини стінки + 1 сек.;
- при діаметрі від 8 до 15 мм – 1,5 сек./1 мм товщини стінки + 1,5 сек.
- при діаметрі від 15 до 20 мм – 2 сек./1 мм товщини стінки + 2 сек.

Наведені рекомендації не враховують той факт, що при рівномірній осьовій подачі перфоратора при пластичному деформуванні отвору виникає вкрай нерівномірне осьове навантаження на інструмент із-за зростаючої сили реакції. Діюче при цьому змінне навантаження на твердосплавний інструмент негативно відбивається на його характеристиках міцності.

Зменшення осьової подачі і частоти обертання призводить до істотного зниження продуктивності пластичного деформування аж до неможливості формування отвору в заготовці.

Одним з цікавих напрямків вдосконалення технології пластичного деформування є поєднання механічної обробки деталей методом пластичного деформування із підігрівом поверхні від зовнішніх джерел тепла. Дане технічне рішення було запропоновано у 1984 р. в патенті US 44282/4. У цьому випадку можна скорочувати тривалість обробки, і зменшувати навантаження на інструмент.

					КРМ.133ГМмд_23.08.000 ПЗ	Аркуш
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Однак підігрів деталі може виявитися більш тривалою процедурою, ніж формування отвору. В цьому плані важливо визначити внесок, внесений температурною і силовою складовою, в продуктивність пластичного деформування.

Для проведення експериментальних досліджень процесу пластичного деформування для більш глибокого вивчення впливу технологічних режимів на вихідні параметри пластичного деформування створюються спеціальні дослідні установки. Так, Шаламовим П.В. [38], була розроблена установка на базі свердлильно-фрезерного верстата (рисунок 1.10), обладнана датчиками осьового навантаження і температури. Реєстрація експериментальних даних відбувалась шляхом цифрового фотоапарату.

Рисунок 1.10 – Експериментальна установка Шаламова П.В.:

- а – конструктивна схема: 1 – вертикально-свердлильний верстат;
2 – трикулачковий патрон; 3 – перфатор; 4 – індикатор годинникового типу для визначення осьового навантаження; 5 – динамометр; 6 – зразок (пластина);
7 – фотоапарат; 8 – важільний механізм навантаження перфатора; 9 – індикатор температури; 10 – термopара; 11 – навішування; б – вигляд загальний

					КРМ.133ГМмд_23.08.000 ПЗ	Аркуш
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Більш досконалий метод реєстрації технологічних режимів пластичного деформування використовувався в автоматизованому стенді збору і обробки даних, описаному О.В. Золотовим. Стенд реалізований на базі вертикально-фрезерного верстата моделі 6М12П і містить датчики осьового навантаження і крутного моменту, сигнали, з яких надходять на тензопідсилювач і далі в аналого-цифровий перетворювач ЛА-70М 3 і комп'ютер. Частота збору даних – 20 Гц. Графіки залежності осьового навантаження і моменту тертя від часу отримували в результаті дешифрування осцилограм. За початок процесу пластичного деформування приймався момент початку зростання осьового навантаження.

Для максимально об'єктивного збору даних про вплив технологічних режимів на продуктивність пластичного деформування потрібно не тільки поєднати переваги вищеописаних стендів, але й удосконалити сам процес збору і обробки даних. В даний час плата збору даних ЛА-70М 3 є застарілою із 12-розрядним АЦП.

Для зменшення похибки потрібно використовувати сучасні системи збору даних з розрядністю АЦП не менше 14. Замість трудомісткого дешифрування осцилограм можна використовувати сучасне потужне програмне забезпечення, що дозволяє калібрувати вхідні сигнали в одиницях вимірюваних величин. Дослідження кінетики впровадження перфоратора в оброблювану заготовку в процесі пластичного деформування неможливо без точного датчика вертикальних переміщень інструменту. Тому створення більш досконалих випробувальних установок для дослідження пластичного деформування зберігає свою актуальність, в тому числі для розробки більш точних моделей, що описують взаємозв'язок між вхідними і вихідними технологічними параметрами.

Висновки до розділу 1

Аналіз літературних джерел, присвячених науковим дослідженням і розробкам в галузі пластичного деформування, дозволяє констатувати, що дана

					КРМ.133ГМмд_23.08.000 ПЗ	Аркуш
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

технологія починає набувати все більшого значення у вітчизняному машинобудуванні, не тільки істотно полегшуючи виготовлення виробів з тонкостінних заготовок, але і забезпечуючи можливість отримання каліброваних отворів без утворення стружки, наприклад в елементах гідроапаратури.

На відміну від формування отворів звичайними свердлами, коли різання в основному являє собою механічний процес видалення матеріалу заготовки, в технології пластичного деформування механічному відтисненню матеріалу передує його розм'якшення і пластифікація за рахунок фрикційного розігріву при терті перфторатора з поверхнею заготовки. Складне поєднання механічних, теплових і трибологічних процесів при пластичному деформуванні вимагає врахування великої кількості факторів при виборі технологічних режимів обробки. Це вимагає постійного вдосконалення моделей пластичного деформування, використовуваних для розрахунку продуктивності обробки в залежності від технологічних режимів, фізико-механічних властивостей і геометричних характеристик інструменту і оброблюваної заготовки.

Складність фізичних механізмів пластичного деформування є причиною того, що до цих пір використовується емпіричний підхід вибору технологічних режимів. Надмірне форсування режимів (збільшення осьового навантаження і частоти обертання) загрожує пошкодженням (деформацією і руйнуванням) тонкостінної заготовки, заклинюванням і поломкою інструменту, погіршенням якості отворів. З іншого боку зменшення осьових навантажень і частоти обертання призводить до суттєвого підвищення тривалості обробки, що знижує продуктивність пластичного деформування і збільшує знос інструменту. Особливо гостро проблема забезпечення раціональних режимів пластичного деформування постає при реалізації даної технології у масовому виробництві на верстатах з ЧПК, на яких відсутній безпосередній контроль зусиль, що діють на інструмент. Виникає необхідність управління силовими параметрами пластичного деформування опосередковано, наприклад, за рахунок керування швидкістю осьового переміщення інструменту з урахуванням усіх істотних факторів, здатних

					КРМ.133ГМмд_23.08.000 ПЗ	Аркуш
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вплинути на показники технологічності та якості обробки. Наявні рекомендації фірм-виробників інструменту з вибору технологічних режимів пластичного деформування зазначеної проблеми не вирішують. У науковому плані необхідно виробити єдині критерії і принципи науково обґрунтованого вибору раціональних технологічних режимів пластичного деформування конкретних вітчизняних матеріалів. Особливо важливо вирішити зазначені проблеми для таких поширених матеріалів як вуглецеві сталі, листи з яких товщиною 2...4 мм широко використовуються у промисловості для виготовлення корпусних елементів машин і апаратів.

Відмінною особливістю пластичного деформування є утворення модифікованого шару матеріалу заготовки в зоні обробки. Поєднання високих температур і інтенсивної пластичної деформації може викликати складні перетворення в структурі матеріалу оброблюваної заготовки, тому потребує індивідуального дослідження для кожного матеріалу.

Можна вказати і на інші супутні проблеми, пов'язані з необхідністю імпортозаміщення дорогих перфраторів і технологічних змащувальних рідин. Це вимагає створення нових технологій виготовлення інструменту, а також вивчення ролі та складу мастильних матеріалів.

Отже, **мета дослідження** – підвищення якості різбових отворів у тонкостінних заготовках за рахунок вибору раціональних режимів пластичного деформування на верстатах із ЧПК. **Об'єктом** розробки є технологічний процес термопластичного свердління, а **предметом** – закономірності впливу режимних параметрів обробки на макро- та мікрогеометричні характеристики новоутворених поверхонь.

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

- розробити критерій і методику вибору раціональних технологічних режимів пластичного деформування, які забезпечують максимальну продуктивність і необхідну якість отворів під різьбу;

					КРМ.133ГМмд_23.08.000 ПЗ	Аркуш
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- запропонувати експериментальну установку та методику, що дозволять здійснити вибір раціональних технологічних режимів пластичного деформування;
- вивчити показники якості одержуваних отворів;
- виявити раціональні технологічні режими пластичного деформування отворів під різьбу М6...М10 в тонкостінних (2...4 мм) заготовках з вуглецевих сталей;
- приділити увагу питанням охорони праці, економічної ефективності та захисту довкілля.

					КРМ.133ГМмд_23.08.000 ПЗ	Аркуш
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Розробка критеріїв вибору раціональних режимів обробки

Пластичне деформування може бути реалізоване у двох основних варіантах: м'якому (при заданому постійному осьовому навантаженні на перфоратор) і жорсткому (при заданій осьовій подачі).

М'який режим реалізується на верстатах з ручною подачею, при цьому гарантується плавність течії матеріалу і відсутність ушкодження (деформації або руйнування) деталі внаслідок перевантажень. Графік зміни швидкості осьового переміщення перфоратора в часі при м'якому режимі деформування є нелінійним. Ця нелінійність обумовлена природними механізмами течії металу під перфоратором. Недоліком м'якого режиму є можливість виникнення ситуації, коли прикладеного навантаження може не вистачити для інтенсивного нагріву і розм'якшення матеріалу. Або, навпаки, може відбутися зупинка шпинделя при заклинюванні перфоратора в отворі. Різновидом м'якого режиму є деформування в ручному режимі, коли оператор має можливість регулювати осьове навантаження в залежності від поточних параметрів технології. Однак, такий режим неприйнятний в серійному виробництві.

Жорсткий режим зручний для реалізації на верстатах з ЧПК (оброблювальних центрах), на яких можна програмно задавати необхідну величину осьової подачі перфоратора при деформуванні. Недоліком жорсткого режиму пластичного деформування є те, що впровадження перфоратора в оброблювану деталь без урахування природних кінетичних процесів, що відбуваються в зоні контакту «метал-інструмент» загрожує неконтрольованим підвищенням осьового навантаження, що здатне привести до пошкодження деталі або інструменту. Емпіричний підбір режимів «жорсткого» деформування не гарантує, що обрані режими будуть оптимальні із точки зору продуктивності даної технології. Незважаючи на зазначені недоліки «жорсткого» режиму обробки вимоги

					КРМ.133ГМмд_23.08.000 ПЗ	Аркуш
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

технологічності операції все ж таки призводять до необхідності розробки методики вибору раціональних режимів пластичного деформування на верстатах ЧПК. Для цього були розроблені такі основні критерії, що дозволяють обґрунтувати раціональність знайдених технологічних режимів обробки.

1 На всьому протязі пластичного деформування осьове навантаження F_{Π} повинне бути максимальним, але не перевищувати попередньо визначеної критичної для даної деталі величини F_{Π}^* , що характеризує її механічну міцність. Це дозволить забезпечити максимальну продуктивність деформування при відсутності пошкодження заготовки. Оцінка F_{Π}^* повинна бути проведена з урахуванням геометрії і властивостей оброблюваних деталей аналітичним або чисельним методом, включаючи метод скінчених елементів (МСЕ).

2 Тривалість операції деформування t_c не повинна перевищувати деякого максимального значення t_c^* , обумовленого необхідною продуктивністю технології пластичного деформування.

3 Температура локального розігріву T оброблюваного матеріалу в області пластичного деформування не повинна перевищувати критичної температури T^* , вище якої в оброблюваному матеріалі можуть початися небажані фазові перетворення. Також можна виділити область низьких температур, що не перевищують порогового значення T_{\min} , при якій необхідного ступеня термічного розм'якшення матеріалу не відбувається і обробка матеріалу методом пластичного деформування стає неможливою. Це може бути наслідком або недостатньої потужності тертя, або інтенсивним відведенням тепла із зони обробки (тому матеріали з високою питомою теплопровідністю обробляти методом пластичного деформування важче).

З урахуванням вищесказаного в математичному виді можна записати наступну систему умов обробки:

$$\begin{cases} F_{\Pi} \leq F_{\Pi}^*; t_c \leq t_c^*; \\ T \leq T^*; T \geq T_{\min}. \end{cases} \quad (2.1)$$

					КРМ.133ГМмд_23.08.000 ПЗ	Аркуш
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Дані умови наочно можливо представити у графічному вигляді (рисунок 2.1).

Рисунок 2.1 – Критерії вибору раціональних режимів обробки

З рисунка 2.1 видно, що раціональна величина осьового навантаження в заданих умовах відповідає мінімальній тривалості обробки деталі.

Якщо одночасне виконання всіх умов (2.1) неможливо (наприклад, якщо осьові навантаження, що забезпечують T_{\min} перевищують F_{Π}^*), в цьому випадку необхідно говорити про нераціональність застосування методу пластичного деформування в даній технологічній операції. Таким чином, система умов (2.1) дозволяє не тільки вибирати раціональні режими обробки, але і визначає межі застосування даного методу.

Оцінку осьового навантаження необхідно виконувати з урахуванням того, щоб максимальні напруження в зоні обробки (рисунок 2.2) не викликали руйнування заготовки, а прогин заготовки поблизу країв формованого отвору не перевищував заданого допуску. Для заготовок зі складним профілем це можна зробити емпіричним шляхом, або шляхом аналізу скінчено-елементної моделі пластичного деформування. Для тонкостінних заготовок, виготовлених з листів, можна користуватися відомими розрахунками міцності.

					КРМ.133ГМмд_23.08.000 ПЗ	Аркуш
						32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рисунок 2.2 – Схема обробки листового матеріалу із застосуванням опори з технологічним отвором

Згідно з методикою оцінки максимальних напружень σ_{\max} при навантаженні пластини за схемою, показаною на рисунку 2.2 (при дії зосередженої в центр сили), викладеної у довіднику І.А. Біргера [68] мають місце рівності:

$$\sigma_{\max} = K'_{\sigma} \frac{F_{\text{п}}}{h^2} \text{ та } \omega_{\max} = K'_{\omega} \frac{F_{\text{п}} b^2}{h^3}, \quad (2.2)$$

де K'_{σ} , K'_{ω} – безрозмірні коефіцієнти максимальних напружень і прогинів пластини відповідно. За умовою $\beta = \frac{r_i}{b} \approx 0,1$, що близько відповідає розмірами отвору в технологічній оснастці (опорі) по таблиці знаходимо значення $K'_{\sigma} = 1,595$, $K'_{\omega} = 0,536$. Напруження σ_{\max} при пластичному деформуванні повинні бути не менше границі текучості σ_T , але не вище межі міцності σ_B матеріалу заготовки (для запобігання механічного розриву країв отвору). Таким чином, з (2.2) практично значимий діапазон осьових навантажень повинен лежати в межах:

					КРМ.133ГМмд_23.08.000 ПЗ	Аркуш
						33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$F_{II} = \frac{\sigma_T}{K'_\sigma} h^2 \dots \frac{\sigma_B}{K'_\sigma} h^2. \quad (2.3)$$

Так, наприклад, для сталі 10 при пластичному деформуванні отворів в пластині товщиною 2,8 мм практично значимий діапазон навантажень становить наступне:

$$F_{II} = \frac{260}{1,595} \cdot 2,8^2 \dots \frac{420}{1,595} 2,8^2 = 1278 \dots 2064 \text{ (Н)}.$$

Висновки до розділу 2

Отже, нами запропоновані критерії вибору раціональних технологічних параметрів пластичного деформування для верстатів із ЧПК, що дозволяють оптимізувати технологію за критеріями продуктивності та допустимим силовим та температурним факторами.

					КРМ.133ГМмд_23.08.000 ПЗ	Аркуш
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Розробка вимірювального комплексу для дослідження режимів пластичного деформування

Для дослідження технологічних режимів пластичного деформування на базі свердлильного верстата СС 13/350 і оснастки створена експериментальна установка (рисунок 3.1, а, б), що дозволяє в ході формування отвору при пластичному деформуванні в режимі реального часу реєструвати (з інтервалом збору даних 0,001 с): 1) осьове навантаження F_n з точністю ± 5 Н; 2) осьові переміщення h перфоратора з точністю $\pm 0,1$ мм; 3) момент тертя $M_{тр}$ між заготовкою і перфоратором з точністю 0,01 Н·м; 4) середню температуру заготовки T в зоні обробки з точністю $\pm 1^\circ\text{C}$.

Збір даних здійснюється за допомогою зовнішнього аналого-цифрового перетворювача Е 14-140 і програмного забезпечення PowerGraph. Постійне осьове навантаження на перфоратор забезпечується важільним механізмом з набором вантажів.

У таблиці 3.1 наведена технічна характеристика експериментальної установки.

Таблиця 3.1 – Технічна характеристика експериментальної установки

№ з.п.	Параметр	Розмірність	Значення
1	2	3	4
1	Осьове навантаження	Кгс	До 200
2	Температура, що вимірюється	°С	До 600
3	Діаметр перфоратора	Мм	До 10
4	Розміри зразків (у перерізі)	Мм	20×20

Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4
5	Момент тертя	Н·м	До 20
6	Осьові переміщення	Мм	До 30

а)

б)

Рисунок 3.1 – Експериментальна установка для дослідження режимів пластичного деформування: а – схема; б – вид загальний

У даній експериментальній установці датчики осьового навантаження, моменту тертя і осьового переміщення – тензометричні. Вони складаються з двох фольгових тензорезисторів марки VE120-10AA(11)-X30, включених за напівмостовою схемою. Електричні сигнали, що йдуть з тензорезисторів посилюються тензопідсилювачами з коефіцієнтом підсилення $K_{\pi}=2000$. Живлення мостів здійснюється від джерела опорної напруги, зібраного на мікросхемі

					КРМ.133ГМмд_23.08.000 ПЗ	Аркуш
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

REF 192, що видає стабілізовану напругу 2,5 В. Сигнал з хромель-копелевої термопари підсилюється за допомогою підсилювача AD 547. Після підсилювачів сигнали подаються на входи багатоканальної швидкодіючої мікроконтролерної системи збору даних E14-440 (рисунок 3.2) фірми L-Card (або інша система збору даних з аналогічними параметрами), де проводиться оцифровування сигналів та їх передача за допомогою USB порту ПК. Живлення підсилювача здійснюється від стабілізатора, зібраного на мікросхемі KP142EH5A, що перетворює вихідну напругу адаптеру 15В, в постійну стабілізовану напругу 5В.

Рисунок 3.2 – Система збору даних E14-440 для вимірювального комплексу

Для моніторингу експериментальних даних і калібрування датчиків додатково використовується комп'ютер із встановленим програмним забезпеченням PowerGraph. Мінімальні вимоги до ПК:

- операційна система Windows;
- 32 Мб оперативної пам'яті;
- 20 Мб дискового простору.

Для обробки і зберігання експериментальних даних в методиці випробувань з використанням експериментальної установки використаний комерційний програмний продукт PowerGraph Professional, який попередньо повинен бути встановлений на ПК. Перед початком проведення експериментів необхідно

					КРМ.133ГМмд_23.08.000 ПЗ	Аркуш
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

провести градування датчиків, і зберегти налаштування склерометра в пам'яті комп'ютера. Робота з даною програмою ведеться за наступною методикою.

1. Завантажити з робочого столу комп'ютера програму.
2. У вікні програми з меню файл завантажити налаштування для експериментального стенду (рисунок 3.3).
3. Зафіксувати зразок гвинтами в теплоізолюючій втулці.
4. Опустити перфоратор на зразок і за допомогою набору вантажів задати потрібне осьове навантаження на перфоратор.
5. Підвести до місця обробки спай термомпари (для поліпшення теплового контакту використовується термопровідна паста).
6. Запустити збір даних, натиснувши на кнопку «Старт» у лівому нижньому куті вікна (після натискання вона автоматично перейменовується на кнопку «Стоп») і включити стенд. В процесі випробувань відбувається автоматизований збір даних із датчиків осьового навантаження (кгс), моменту тертя (Н·м), осьового переміщення (мм), температури (°С).
7. Після формування отвору, збір даних зупиняють. Піднімають перфоратор і зберігають експериментальні дані на жорсткий диск комп'ютера.

Рисунок 3.3 – Завантаження налаштувань експериментальної установки

					КРМ.133ГМмд_23.08.000 ПЗ	Аркуш
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

8. У разі необхідності повторити п.3-7 на нових ділянках зразка.

3.2 Вибір раціональних режимів пластичного деформування

Основна ідея створення методики вибору раціональних режимів пластичного деформування на верстатах з ЧПК полягає у забезпеченні постійності зусилля притиснення перфторатора до заготовки величиною F_{Π}^{opt} . Однак, оскільки верстати із ЧПК не оснащені датчиками осьового навантаження, забезпечення умови (3.1) протягом пластичного деформування являє собою складну задачу.

$$F_{\Pi} = F_{\Pi}^{\text{opt}} . \quad (3.1)$$

Її рішення вимагає виявлення взаємозв'язку між керованими технологічними режимами (швидкість обертання і осьова подача перфторатора) і неконтрольованою при пластичному деформуванні на верстаті з ЧПК силою притиснення інструменту до заготовки.

Для цього був розроблений емпіричний метод оцінки раціональних режимів осьового переміщення перфторатора, при яких умова (3.1) при пластичному деформуванні виконується автоматично. У даному методі вирішується зворотна задача, в якій спочатку проводиться експеримент з пластичного деформування зразка із досліджуваного матеріалу заданої товщини з прикладанням до перфторатору статичного навантаження F_{Π}^{opt} з одночасною реєстрацією осьових переміщень перфторатора в ході формування отвору. Потім проводиться аналіз отриманої епюри осьового переміщення перфторатора, яка розбивається на кілька кусково-лінійних ділянок (рисунок 3.4). Для кожної ділянки оцінюється середня швидкість осьової подачі перфторатора, як тангенс кута нахилу кривої «осьове переміщення – час». Отримані ділянки $[0; h_1]$, $[h_1; h_2]$, $[h_2; h_3]$ та відповідні їм значення швидкості V_1 , V_2 , V_3 є шуканими даними для програмування верстатів із

					КРМ.133ГМмд_23.08.000 ПЗ	Аркуш
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЧПК. Таким чином, відтворення на верстаті із ЧПК даних режимів стабілізує осьове навантаження на перфораторі близько необхідної величини F_n^{opt} , що дозволяє забезпечити максимальну ефективність пластичного деформування, обумовлену поєднанням високої продуктивності і запобіганням пошкодженню заготовки. У даній методиці матеріал сам «підказує» раціональні режими обробки. Методика реалізується на розробленій та описаній вище експериментальній установці.

Рисунок 3.4 – До методики вибору раціональних режимів обробки

Дослідження пластичного деформування показало, що в загальному випадку на експериментальних кривих $h = f(t)$ спостерігається наявність двох перегинів. Отже, при виконанні кусково-лінійної апроксимації даної кривої при створенні керуючої програми для верстатів із ЧПК досить обмежитися завданням трьох ділянок з різними осьовими подачами. На першій і останній ділянках спостерігається прискорене осьове переміщення перфоратора. Спочатку

					КРМ.133ГМмд_23.08.000 ПЗ	Аркуш
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

пластичного деформування впровадження перфоратора відбувається за рахунок пластичного відтиснення матеріалу заготовки під дією високих питомих навантажень в зоні контакту вершини конуса перфоратора і поверхневого шару оброблюваного матеріалу (схоже з впровадженням індентору при оцінюванні твердості). Цей процес відбувається при будь-яких температурах (атермічний процес). Остання ділянка обумовлена інтенсифікацією термічної течії матеріалу на заключній стадії пластичного деформування, коли товщина стінки деталі, що перешкоджає впровадженню перфоратора стрімко зменшується і в отвір входить калібруюча частина перфоратора.

У якості прикладу реалізації даної методики наведемо визначення раціональних режимів пластичного деформування заготовки товщиною 2,8 мм перфоратором із діаметром калібруючої частини 5,4 мм при частоті обертання інструмента 1400 об/хв. Виходячи з розрахунку максимального осьового навантаження, що не викликає залишкової деформації заготовки приймаємо в якості максимально допустимого зусилля, що дорівнює 1250 Н. При даних умовах проводимо експеримент на розробленій установці для дослідження режимів пластичного деформування. Результати наведені на рисунку 3.5.

Проведені дослідження дозволили виявити дві точки перегину на кривій осьового переміщення перфоратора і апроксимувати криву трьома лінійними ділянками. На першій ділянці діапазон осьових переміщень становить $h_1 = 1,25$ мм, тривалість цієї ділянки $t_1 = 4,8$ с, отже, швидкість природного впровадження перфоратора дорівнює $V_1 = 60 \cdot h_1 / t_1 = 15,625$ мм/хв. На другій ділянці відповідно $h_2 = 6,5 - 1,25 = 5,25$ мм. Тривалість цієї ділянки $t_2 = 5,7 - 4,8 = 0,9$ с. Отже, швидкість впровадження перфоратора дорівнює $V_2 = 60 \cdot h_2 / t_2 = 350$ мм/хв. Повторюємо розрахунок для третьої ділянки: $h_3 = 11 - 6,5 = 3,5$ мм, $t_3 = 5,8 - 5,7 = 0,1$ с, швидкість впровадження перфоратора дорівнює $V_3 = 60 \cdot h_3 / t_3 = 2100$ мм/хв.

					КРМ.133ГМмд_23.08.000 ПЗ	Аркуш
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рисунок 3.5 – Випробування щодо дослідження швидкості впровадження перфоратора діаметром 5,4 мм при осьовому навантаженні 1250 Н і товщині листа 2,8 мм

Знайдені значення діапазонів осьових переміщень інструменту і відповідних їм осьових подач є шуканими раціональними режимами пластичного деформування, які можна запрограмувати при обробці заготовок на верстатах із ЧПК. Експериментальна перевірка показала, що виготовлення отворів на даних режимах в пластинах з вуглецевих сталей (сталь 3) товщиною 2,8 мм дозволяє отримувати якісні отвори без залишкової деформації заготовки.

Проведемо аналогічні дослідження для заготовки із сталі 3 товщиною 2 мм перфоратором діаметром калібруючої частини 5,4 мм при частоті обертання інструменту 1400 хв^{-1} і осьовому навантаженню 1000 Н. При даних умовах проводимо експеримент, результати якого показані на рисунку 3.6.

					КРМ.133ГМмд_23.08.000 ПЗ	Аркуш
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рисунок 3.6 – Випробування по дослідженню швидкості впровадження перфоратора діаметром 5,4 мм при осьовому навантаженні 1000 Н, товщині листа 2 мм і швидкості обертання шпинделя 1400 об/хв.

Також на кривій осьового переміщення перфоратора були виявлені дві точки перегину та проведена кусково-лінійна апроксимація на трьох ділянках. На першій ділянці діапазон осьових переміщень становить $h_1 = 1,25$ мм, тривалість цієї ділянки $t_1 = 3,1$ с, швидкість впровадження перфоратора дорівнює $V_1 = 60 \cdot h_1 / t_1 = 24,19$ мм/хв. На другій ділянці відповідно $h_2 = 6,5 - 1,25 = 5,25$ мм, тривалість цієї ділянки $t_2 = 4,1 - 3,1 = 1$ с, отже, швидкість впровадження перфоратора дорівнює $V_2 = 60 \cdot h_2 / t_2 = 315$ мм/хв. Повторюємо розрахунок для третьої ділянки: $h_3 = 11 - 6,5 = 3,5$ мм, $t_3 = 5,8 - 5,7 = 0,1$ с, швидкість впровадження перфоратора дорівнює $V_3 = 60 \cdot h_3 / t_3 = 2100$ мм/хв.

					КРМ.133ГМмд_23.08.000 ПЗ	Аркуш
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розроблена методика є універсальною. Аналогічні дослідження по вибору раціональних режимів пластичного деформування можна виконувати при будь-якій геометрії інструменту, товщині і матеріалі заготовки, осьовому навантаженні і частоті обертання.

В ході досліджень було виявлено, що при реалізації пластичного деформування частіше всього спостерігається наступна закономірність зміни моменту тертя. Основну частину часу момент тертя зростає за законом близьким до монотонного. Проте спочатку (протягом близько 2-х секунд) є невелика ділянка «аномальної» поведінки даної характеристики, коли вона різко падає майже до нуля.

Висновки до розділу 3

1 Розроблено експериментальний дослідний програмно-апаратний комплекс для оцінки технології пластичного деформування осьових переміщень перфоратора, осьових навантажень, моменту обертання перфоратора, температури в зоні формування отвору. Всі експериментальні дані реєструються на комп'ютері з частотою 100 Гц в режимі реального часу. Комплекс дозволяє об'єктивно вивчати вплив різних факторів на швидкість пластичного деформування.

2 Наведена методика вибору раціональних режимів пластичного деформування.

					КРМ.133ГМмд_23.08.000 ПЗ	Аркуш
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТІВ

4.1 Перевірка адекватності критеріїв вибору раціональних режимів обробки

Для оцінки адекватності вищенаведених положень була проведена їх експериментальна перевірка на модельному зразку дюралюмінієвого профілю квадратного перерізу з товщиною стінки 1 мм. В якості свердлильної установки використовували спеціалізований стенд, описаний раніше, з частотою обертання шпинделя 2400 хв^{-1} . Для обробки використовували твердосплавний перфратор із діаметром калібруючої частини 3 мм. Отримані епюри режимів пластичного деформування наведені на рисунках 4.1-4.4.

При використанні малих осьових навантажень (менше 150 Н) внаслідок малої потужності тертя порушується умова $T \geq T_{\min}$. Це призводить до вирівнювання теплового балансу між підведенням і відтоком теплової енергії, що на епюрі $T(t)$ проявляється у вигляді експоненційної залежності (рисунок 4.1) з появою через 180 секунд після початку обробки рівноважної температури $T_p \approx 100^\circ\text{C}$, недостатньої для розм'якшення матеріалу (дюралюмінію Д16). Це призводить до кінетичного загальмування технології пластичного деформування. У цьому разі деформування можливо тільки з використанням додаткових зовнішніх джерел тепла (термопластичне деформування).

З підвищенням осьового навантаження до 300 Н умова $T \geq T_{\min}$ починає виконуватись. На всьому протязі часу обробки спостерігається близьке до лінійного зростання температури. При досягненні температури до 190°C у зразкові відбувається утворення отвору (рисунок 4.2). Можна відзначити, що в даному режимі при дворазовому підвищенні осьового навантаження відносно попереднього експерименту момент тертя, а, отже, і потужність тертя, що виділяється, підвищується в 4 рази.

					КРМ.133ГМмд_23.08.000 ПЗ	Аркуш
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рисунок 4.1 – Припинення пластичного деформування при виникненні теплової рівноваги між підведенням і відтоком теплової енергії

					КРМ.133ГМмд_23.08.000 ПЗ	Аркуш
						46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рисунок 4.2 – Характер пластичного деформування при виконанні умови $T \geq T_{\min}$, та невиконанні умови $t_c \geq t_c^*$

Однак при цьому видно, що тривалість обробки, яка сягає 5 хвилин, є надмірно високою, а продуктивність операції – вкрай низькою.

Наступний експеримент проводили при осьовому навантаженні 350 Н, що несуттєво перевершує попереднє навантаження. Однак характер обробки суттєво змінився (рисунок 4.3). Момент тернину піднявся на 25%, а тривалість деформування зменшилась майже у вісім разів і становила 42 с. Характерним для

					КРМ.133ГМмд_23.08.000 ПЗ	Аркуш
						47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

пластичного деформування також є те, що з підвищенням навантаження зменшується температура саморозігріву матеріалу, при якій матеріал втрачає стійкість і утворюється отвір. У даному випадку формування отвору почалося при температурі близько 150°C.

Рисунок 4.3 – Зміна характеру деформування при підвищених навантаженнях

					КРМ.133ГМмд_23.08.000 ПЗ	Аркуш
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рисунок 4.4 – «Швидке» деформування при високих навантаженнях

Ще більш помітними зміни режимів пластичного деформування стають при підвищенні осьового навантаження до 550 Н (рисунок 4.4). Отвір у зразкові сформувався за 4 секунди. Нагрівання деталі при обробці приблизно знизлося у два рази – до 80°C. Однак при цьому відбулася помітна деформація випробовуваного зразка внаслідок того, що не було виконано умову $F_{II} \leq F_{II}^*$.

					КРМ.133ГМмд_23.08.000 ПЗ	Аркуш
						49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, проведені дослідження показали обґрунтованість розроблених критеріїв і показали складну нелінійну залежність продуктивності пластичного деформування від технологічних режимів обробки.

4.2 Макро-, мікрогеометрія отворів, що отримані пластичним деформуванням

Одним з основних показників якості отворів, що отримуються методом пластичного деформування, є чистота поверхні, оцінювана за параметрами шорсткості, і розмірна точність, що визначає квалітет допуску і групу посадки спряження, утвореного за допомогою отриманого отвору.

Мікрогеометрію поверхні отвору вивчали на зразку, вирізаному вздовж осі отвору з використанням профілографа-профілометра «Абріс-ПМ7». Результати випробувань показали, що пластичне деформування дозволяє отримувати отвори із шорсткістю Ra 0,4...0,8 мкм, що в 3...5 разів менше, ніж при формуванні отворів за допомогою свердел. Такі поверхні можна використати в якості посадочних для підшипників ковзання. Зазначена чистота відтворюється в широкому діапазоні режимів обробки на всіх досліджуваних марках вуглецевих сталей (сталь 2, сталь 3, сталь 10). В цілому, шорсткість отвору, одержуваного за технологією пластичного деформування, в 1,5...2,5 рази перевершує шорсткість робочої поверхні перфоратора (рисунок 4.5, 4.6).

Причиною можливого зниження чистоти поверхні найчастіше служить зношування калібруючої частини перфоратора або «намазування» на його робочі поверхні фрагментів матеріалу заготовки при сильних відхиленнях технологічних режимів деформування від раціональних значень. В зоні контакту оброблюваного матеріалу з розширювальною частиною перфоратора шорсткість є більш високою, близько $R_z > 10$, що є результатом інтенсивної пластичної течії матеріалу під перфоратором.

					КРМ.133ГМмд_23.08.000 ПЗ	Аркуш
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рисунок 4.5 – Профілограма і параметри шорсткості робочої поверхні перфоратора $\phi 5,4$ мм (а) і поверхні отвору, сформованого методом пластичного деформування заготовки із сталі 10 (б)

Для оцінки якості одержуваних отворів були проведені вимірювання діаметрів серій отворів діаметром 5,4 мм, 7,3 мм, 9,2 мм і 10,9 мм, виготовлених у зразках зі сталі 2, 3, 10 з точністю 0,001 мм по 20 отворів у кожній серії. В середньому для отворів кожного діаметра розкид розмірів щодо номінального діаметра склав близько $\pm 0,01$ мм, що відповідає якості Js9.

					КРМ.133ГМмд_23.08.000 ПЗ	Аркуш
						51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рисунок 4.6 – Профілограма і параметри шорсткості робочої поверхні перфоратора $\phi 10,9$ мм (а) і поверхні отвору, сформованого методом пластичного деформування заготовки із сталі 10 (б)

У більшості випадків спряження отвору із калібруючою частиною перфораторів має «ковзаючу» посадку із нульовим найменшим зазором або «щільну» посадку з невеликою ймовірністю натягу до 5%, (група перехідних посадок). Рідше отримують посадки з ненульовим мінімальним зазором (як правило, у

					КРМ.133ГМмд_23.08.000 ПЗ	Аркуш
						52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

випадку биття перфторатора в шпинделі верстата), а також «напружені» посадки перехідної групи Н/к (як правило, на отворах діаметра понад 7,3 мм). Останнє зумовлено тим, що сполучення формується не тільки в процесі пластичного видавлювання матеріалу заготовки перфторатором, але і після утворення отвору за рахунок теплових деформацій (стиснення при охолодженні). Так, якщо після видавлювання отвору перфторатор не вийняти, то після охолодження заготовки витягнути перфторатор стає проблематично. В цілому, отримувані при пластичному деформуванні квалітети і посадки забезпечують високий ступінь співвісності центру перфторатора з центром отвору.

4.3 Визначення раціональних режимів пластичного деформування

Переваги, що забезпечуються технологією пластичного деформування, а саме стійкість інструменту, можливість створювати якісні різьбові з'єднання тощо, міцно закріпили цей метод формування отворів в серійному виробництві.

Дослідження по виборі режимів пластичного деформування проводилися з використанням розробленого вимірювального комплексу і свердильного верстата СС 13/350 згідно з методикою, наведеною вище. Вибрані режими обробки зведені в таблицю 4.1, розрахована їх ефективність у порівнянні зі штатними режимами (таблиця 4.2).

Таблиця 4.1 – Раціональні режими пластичного деформування

№	Діаметр отвору, мм	Товщина заготовки, мм	Частота обертання шпинделя, об/хв	Осьова подача, мм/хв – інтервал осьового переміщення, мм
1	5,4 (М6)	2	2400	25,2 – 0...1,6 318 – 1,6...6,0 1305 – > 6,0...L

Продовження таблиці 4.1

№	Діаметр отвору, мм	Товщина заготовки, мм	Частота обертання шпинделя, об/хв	Осьова подача, мм/хв – інтервал осьового переміщення, мм
2	5,4 (M6)	2,8...2,9	2400	25,2 – 0...1,5 120,6 – 1,5...5,5 1206 – > 5,5...L
3	7,3 (M8)	2	2200	46,8 – 0...1,25 96,8 – 1,25...9 360 – > 9...L
4	7,3 (M8)	2,8...2,9	2200	21 – 0...0,7 198 – 0,7...4 26 – 4...8 300 – > 8...L
5	7,3 (M8)	3,9	2200	24,6 – 0...3 55,2 – 3...10 300 – > 10...L
6	9,2 (M10)	2	2000	11,3 – 0...1,18 57,7 – 1,18...12 200 – > 12...L
7	9,2 (M10)	2,8...2,9	2000	3,3 – 0...0,2 81 – 0,2...11 360 – > 11...L
8	9,2 (M10)	3,9	2000	56,3 – 0...3,1 73,5 – 3,1...8 40 – 8...11 200 – > 11...L

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРМ.133ГМмд_23.08.000 ПЗ

Аркуш

54

Таблиця 4.2 – Ефективність раціональних режимів пластичного деформування

№	Діаметр отвору, мм	Товщина листа, мм	Продуктивність обробки при режимах:		Ефективність рекомендованих режимів обробки, %
			штатні	рекомендовані	
1	5,4 (M6)	3	6,04	2,7	57,8
		4	6,67	3,35	50,2
2	7,3(M8)	3	5,93	3,4	42,6
		4	6,26	5	20,1
3	9,2 (M10)	3	6,9	3,7	46,3
		4	8,85	6	32,2

Висновки до розділу 4

1 Здійснено перевірку адекватності критеріїв вибору раціональних режимів обробки. Проведені дослідження показали обґрунтованість розроблених критеріїв і показали складну нелінійну залежність продуктивності пластичного деформування від технологічних режимів обробки.

2 Отвори, що отримуються методом пластичного деформування, мають поверхні із шорсткістю R_a 0,4...0,8 мкм. Квалітет одержуваних отворів відповідає значенню J_s 9.

3 Запропоновані раціональні режими пластичного деформування в заготовках товщиною 2...4 мм і діаметром 5,4...9,2. Ці режими дозволили підвищити продуктивність обробки до 20%.

РОЗДІЛ 5. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РОЗРОБОК

5.1 Загальна безпека під час роботи на верстатному обладнанні

До самостійної роботи на верстатному обладнанні допускаються особи, що пройшли медичне обстеження, а також навчання та інструктаж з правил експлуатації й техніки безпеки, що склали іспити та отримали відповідне свідоцтво.

При переводі на роботу із використанням нового обладнання робочий повинен ознайомитись з конструкцією, методами безпечної роботи на ньому та пройти додатковий інструктаж з охорони праці.

Робочий повинен працювати у спеціальному одязі, спеціальному взутті, а також користуватися, за необхідності, захисними пристосуваннями (окуляри і т.і.). Одяг має бути застібнутим на усі гудзики. Крім того, повинні працювати у головному уборі (берет), що повністю закриває волосся. Роботи на устаткуванні у взутті легкого типу (сандали, босоніжки, капці) заборонені.

Робочі-верстатники повинні утримувати у справному стані й чистоті обладнання, інструмент та робоче місце, а роботу виконувати, стоячи на дерев'яних лагах.

Складувати матеріали і готову продукцію на стелажах та інших пристосуваннях у спеціально відведених місцях. Забороняється розміщувати матеріали та вироби у проходах та проїздах, на полу, поблизу робочого місця.

Відходи необхідно складувати у спеціальну тару і кожену зміну прибирати.

Змашувальні матеріали та ганчір'я повинні зберігатися у щільно закритих, спеціально відведених ящиках.

Механічні передачі верстатів та інші рухомі та обертові частини верстатів повинні мати огороження. Негабаритні вироби, що обробляються, необхідно огороджувати стійкими запобіжними пристосуваннями.

					КРМ.133ГМмд_23.08.000 ПЗ	Аркуш
						56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На робочому місці слід зберігати лише ті інструменти і засоби, заготовки та готові вироби, які необхідні для виконання роботи у цю зміну.

Робоче місце верстатника повинне додатково освітлюватися джерелом місцевого освітлення. Це забезпечує належну оглядовість у зоні роботи. Працюючи за умов штучного освітлення, необхідно опускати рефлектор (відбивач) з лампою нижче рівня очей.

Заборонено допускати до управління верстатами сторонніх осіб, залишати верстати без нагляду.

Встановлювати та знімати вироби, що обробляються, змінювати інструменти, виконувати заміри, а також прибирати стружку слід при вимкнених приводах верстатів.

При обробці деталей з металу, що дає дрібну стружку, а також при роботі на великих швидкостях різання, необхідно використовувати захисні екрани, що встановлені на верстатах. Якщо вони відсутні, то використовувати захисні окуляри.

Забороняється видаляти стружку з верстатів руками і видувати ротом з отворів та заглиблень. Для цього використовувати пристрої – крючки з екранами, щітками і магнітами.

Перед кожним увімкненням верстата переконатися, що при запуску не виникає небезпека для оточуючих.

Верстатник має знати прийоми надання першої допомоги постраждалим. При отриманні травми необхідно негайно звернутися за медичною допомогою і одночасно сповістити майстра або механіка. Майстер або особа, що його замінює, повинен сповістити про це негайно керівника. Для своєчасного складання акту про нещасний випадок і прийняття мір, що попереджають повторення подібних випадків.

Робочі, що використовують при обробці деталей на верстатах мастильно-охолоджувальні рідини, повинні бути забезпечені профілактичними мазями і рідинами для догляду за шкірою рук.

					КРМ.133ГМмд_23.08.000 ПЗ	Аркуш
						57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Верстатник зобов'язаний: знати будову верстата та вміти визначати несправності; важкі заготовки і деталі підіймати із застосуванням підйомних механізмів і використовувати спеціальні захвати; дотримуватися вимог виробничої санітарії та гігієни праці; дотримуватися правил внутрішнього трудового розпорядку на підприємстві.

У випадках не передбачених вище, верстатник повинен звернутися за конкретним рішенням до безпосереднього керівника робіт (механік, майстер).

Особи, що порушили вимоги безпеки праці несуть відповідальність відповідно до правил внутрішнього трудового розпорядку.

5.2 Економічна ефективність впровадження результатів досліджень

Як відомо, формування круглих отворів полягає у різанні матеріалу обертовими спіральними свердлами. Даний спосіб є найбільш поширеним у машинобудівному виробництві, полягає в тому, що до місця передбачуваного отвору підводять інструмент, який має на торці ріжучі кромки. За рахунок прикладання навантаження вздовж осі інструменту формують отвір, що утворюється в результаті відокремлення стружки ріжучими кромками. Даний спосіб має недоліки, які полягають у відділенні стружки, низькій чистоті обробки поверхні отвору. Крім того, при свердлінні отворів спіральними свердлами виникає проблема недостатньої продуктивності процесу внаслідок швидкого зношення ріжучих кромок інструменту.

Нами пропонується використовувати спосіб формування отворів методом пластичного деформування. У даному способі отвори формуються методом пластичного деформування, при якому до оброблюваної поверхні до температури, при якій матеріал (під дією нормального навантаження, прикладеного до обертового інструменту) видавлюється назовні з формуванням отвору, що повторює геометрію обертового інструменту. Даний спосіб дозволяє одержувати чисті поверхні отворів без утворення стружки, а також здійснює витяжку матеріалу

					КРМ.133ГМмд_23.08.000 ПЗ	Аркуш
						58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вздовж осі отвору, що дозволяє отримувати більш якісну різьбу в тонкостінних елементах конструкцій.

Інструмент для пластичного деформування вирішує задачу зменшення тривалості виготовлення втулки під різьбу в листовий або трубчастій заготовці.

Проведемо розрахунок економічного ефекту від впровадження термопластичного деформування.

При існуючій технології на ТОВ «Альфатулс» (м. Харків) вузли кріплення в кришках 504.08.07 виготовляються із використанням різьбових втулок, встановлюваних у попередньо просвердлених отворах і закріплюються за допомогою зварювання. Застосування пластичного деформування дозволило виключити операції по виготовленню різьбових втулок і свердління отворів під них, а також операцію зварювання, за рахунок формоутворення кріпильних елементів безпосередньо в деталях. Матеріал деталей – сталь 8кп, товщина 4 мм. Оброблення пластичним деформуванням виконується на вертикальному консольно-фрезерному верстаті 6ДМ13Ф3 з частотою обертання шпинделя 1600 об/хв і рівномірно прискорювальній подачі від 80 до 125 мм/хв. В отриманих кріпильних елементах нарізується різьба М10.

Економічний ефект, зумовлений зниженням трудомісткості та витрат на виготовлення вузлів кріплення.

Економічна ефективність використання нової техніки, винаходів та раціоналізаторських пропозицій становить

$$E = (\Delta C + \Delta Ц) \cdot A_2 - (0,15 + A_1) \cdot K, \quad (5.1)$$

де ΔC – зменшення собівартості 1 т продукції після впровадження заходу, грн.;

$\Delta Ц$ – збільшення вартості продукції, грн.;

A_1 – коефіцієнт, що враховує амортизаційні відрахування, $A_1 = 0,1$;

A_2 – кількість продукції, т, $A_2 = 10$ т;

					КРМ.133ГМмд_23.08.000 ПЗ	Аркуш
						59
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

0,15 – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень;

К – капітальні вкладення на впровадження заходів, грн., К = 10000 грн. (за даними підприємства).

Економія від зниження собівартості утворюється за рахунок зниженням трудомісткості та витрат на виготовлення вузлів кріплення:

$$\Delta C = 0,1 \cdot 20200 = 2020 \text{ грн. / т ,}$$

де 20200 – середня вартість 1 тони продукції, грн.

Ціна продукції збільшиться за рахунок доплат під час термомодеформування отворів:

$$\Delta C = \Delta C' , \quad (5.2)$$

де $\Delta C'$ – середнє збільшення доплат за рахунок даних заходів, грн./т,

$$\Delta C' = 2,9 \text{ грн. / т ;}$$

$$\Delta C = 2,9 \text{ (грн./т).}$$

Відповідно до формули (5.1) маємо наступне:

$$E = (2020 + 2,9) \cdot 10 - (0,15 + 0,1) \cdot 10000 = 17729 \text{ (грн.).}$$

Отже, економічний ефект від впровадження термопластичного деформування під час виготовлення вузлів кріплення склав 17729 грн. на рік.

					КРМ.133ГМмд_23.08.000 ПЗ	Аркуш
						60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.3 Технології переробки токсичних відходів

Принциповим рішенням екологічної проблеми з токсичними відходами є їх повна переробка за безвідходними екологічно чистим технологіям: трансмутантним, біобактеріальним, резонансним, синергетичним, нейтралізаційним, термічним, композиційним (сумісна переробка кількох відходів) – та за безліччю інших технологій. При цьому екологічні проблеми вирішується двоетапно: перший етап – ліквідація токсичних відходів та перетворення їх у безпечні матеріали; другий етап – використання звичайних існуючих технологій виробництва для отримання матеріалів цінної продукції з широкою областю використання й високою ефективністю. При цьому найбільшу ефективність мають композиційні технології – гармонічне поєднання декількох відходів.

Трансмутаційні технології – перетворення одних хімічних елементів в інші під дією електромагнітної енергії з оптимальним співвідношенням магнітних та електричних полів при сумісній переробці з іншими відходами, що є донорами додаткових електронів і нуклонів.

Біобактеріальні технології – уведення у відходи азотовмісних бактерій та активованого торфу у складі біологічних компостів, що суттєво знижують радіоактивність відходів.

Резонансні технології – обробка відходів резонансними методами – додавання енергії із частотою коливань, що рівні частоті власних коливань вузлів кристалічних ґраток токсичних елементів, що різко збільшують їх амплітуду і призводять у підсумку до утворення нових елементів і наночастинок.

Синергетичні технології – технології, засновані на процесах самоорганізації з іншими відходами під дією різних технологічних параметрів.

Нейтралізаційні технології – нейтралізація токсичних елементів під впливом домішок різних хімічних сполук, що перетворюють токсичні елементи у нетоксичні.

					КРМ.133ГМмд_23.08.000 ПЗ	Аркуш
						61
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Терміні технології – нагрівання або плавлення токсичних відходів сумісно з іншими відходами.

Композиційні технології – змішування токсичних відходів з іншими токсичними і нетоксичними відходами на основі аналізу їх хімічного складу. Аналіз виконують у співвідношенні проходження між ними реакцій нейтралізації і токсичності із добавками кислот, луг, при нагріванні сумішей з отриманням нетоксичних композиційних матеріалів.

Так зразковою композиційною технологією є з'єднання металічного натрію (вибухонебезпечної речовини) унаслідок його швидкого з'єднання із водою, газом-хлором (отруєна речовина) з отриманням солі NaCl – речовина, без якої практично не може жити людина.

Існує багато інших комбінованих технологій переробки токсичних відходів, але суть їх залишається єдиною: спочатку нейтралізувати токсичні відходи, а потім з них виготовити екологічно чисті матеріали і вироби за новими технологіями.

Висновки до розділу 5

Визначено особливості безпечного виконання верстаних робіт. Розглянуто економічну ефективність від упровадження результатів досліджень, приділено увагу питанням захисту довкілля.

					КРМ.133ГМмд_23.08.000 ПЗ	Аркуш
						62
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

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

1 Розроблені та експериментально обґрунтовані критерії та методика вибору раціональних технологічних режимів пластичного деформування отворів під різьбу в тонкостінних заготовках на верстатах із ЧПК.

2 Розроблені експериментальна установка і методика, що дозволяють здійснювати вибір раціональних технологічних режимів пластичного деформування.

3 Вивчені показники якості отворів, отримані методом пластичного деформування. Встановлено, що шорсткість отворів складає R_a 0,4...0,8 мкм, квалітет одержуваних отворів Js8.

4 Визначені раціональні технологічні режими пластичного деформування отворів під різьбу М6...М10 в тонкостінних заготовках із сталі 10 товщиною 2...4 мм перфораторами діаметрами 5,4...9,2 мм. Ці режими дозволили підвищити продуктивність обробки до 20%.

5 Надані інженерні рішення та пропозиції стосовно забезпечення безпеки при роботі на технологічному обладнанні, приділено увагу питанням економічної ефективності та захисту довкілля.

					КРМ.133ГМмд_23.08.000 ПЗ	Аркуш
						63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		