

**Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
Херсонська філія**

Кафедра зварювання

Пояснювальна записка

до дипломної роботи

магістра

(освітній рівень)

на тему: Дослідження впливу режимів охолодження на напружено-деформований стан мідно-графітових вузлів

Виконав: студент VI курсу, групи 6121м
зі спеціальності 132 Матеріалознавство
за освітньо-професійною програмою
Інжиніринг зварювання та споріднених
процесів

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Добусарський Богдан Анатолійович

(прізвище та ініціали)

Керівник Матвієнко Максим Валентинович

(прізвище та ініціали)

Рецензент _____

(прізвище та ініціали)

Херсон - 2020 року

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
Херсонська філія

Факультет суднобудівний
Кафедра зварювання
Освітній рівень магістр
Спеціальність 132 Матеріалознавство
(шифр і назва)
Освітньо-професійна програма Інжиніринг зварювання та споріднених процесів
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри зварювання
к.т.н., проф. Єрмолаєв Г.В.
“ ” _____ 2020 року

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ СТУДЕНТУ

Добусарському Богдану Анатолійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту Дослідження впливу режимів охолодження на напружено-деформований стан мідно-графітових вузлів

керівник проекту Матвієнко Максим Валентинович, доцент, к.т.н.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені розпорядженням ХФ НУК від 12.10.2020 року № 36

2. Строк подання студентом проекту 07.12 2020 р.

3. Вихідні дані до проекту Матеріал: Мідь М1, Графіт ГМЗ товщина 7.5 мм. висота 24мм; графітно-мідна втулка

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз проблеми паяння металів з неметалами. 2. Вибір комп'ютерного методу моделювання деформованого стану 3. Моделювання та дослідження напружено-деформованого стану 4. Охорона праці

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Мета й задачі роботи; Обладнання для проведення експериментальних досліджень; Планування експерименту, обробка експериментальних даних; Методика проведення експерименту; Визначення геометричних параметрів зварних швів; Математична модель; Результати моделювання.

					MP 8.132.6121м.02.01.05. ПЗ	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	к.т.н., доцент Матвієнко М.В.		
2	к.т.н., доцент Матвієнко М.В.		
3	к.т.н., доцент Матвієнко М.В.		
4	к.т.н., доцент Матвієнко М.В.		
5	к.т.н., доцент Матвієнко М.В.		

7. Дата видачі завдання __15.10.2020року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Аналіз проблеми паяння металів з неметалами	18.10.2020	
2	Вибір комп'ютерного методу моделювання деформованого стану	25.10.2020	
3	Моделювання та дослідження напружено-деформованого стану	05.11.2020	
4	Охорона праці	11.11.2020	
5	Графічна частина	25.11.2020	
6	Оформлення пояснювальної записки	30.11.2020	

Студент

Добусарський Б.А.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

Матвієнко М.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

					MP 8.132.6121м.02.01.05. ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зміст

Вступ

1. Аналіз проблеми паяння металів з неметалами.....	9
1.1. Способи паяння різнорідних матеріалів.....	12
1.2. Паяння графіту з міддю.....	14
Висновки, мета та завдання роботи.....	16
2. Вибір комп'ютерного методу моделювання деформованого стану.....	17
2.1. Основи методу скінчених елементів.....	18
2.2. Сучасні програмні комплекси для моделювання напруженого стану.....	21
2.3 Програмний комплекс ANSYS.....	32
2.4 Історія розробки програмної системи.....	33
Висновки.....	35
3. Моделювання та дослідження напружено-деформованого стану.....	36
3.1 Варіанти досліджених моделей.....	37
3.2 Радіальні напруження при паянні міді з графітом.....	40
Осьові напруження.....	42
3.4 Тангенціальні напруження.....	44
3.5 Еквівалентні напруження.....	44
3.6 Епюри радіальних переміщень точок на зовнішній поверхні.....	47
3.7 Епюри радіальних переміщень точок на внутрішній поверхні.....	48
3.8 Епюри осьових переміщень точок на зовнішній поверхні.....	49
3.9 Епюри осьових переміщень точок на внутрішній поверхні.....	50
Висновки.....	53
4 Охорона праці.....	54
4.1 Вимоги охорони праці при паянні.....	60
4.2 Розрахунок і місцевої вентиляції.....	66
Висновки.....	70
Загальні висновки.....	71
Список літератури.....	72

					MP 8.132.6121м.02.01.05. ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вступ

Розвиток сучасного машинобудування та інших галузей промисловості, в яких використовуються агрегати, що працюють в екстремальних умовах, вимагає використання нових конструкційних матеріалів і з'єднань з різнорідних металів. Здебільшого це важко зварювані матеріали, які суттєво відрізняються один від одного фізико-механічними властивостями.

Як правило, з'єднання таких металевих матеріалів зварювання з утворенням проміжної рідкої фази призводить до утворення таких структурних комплексів і фазових складових, які значно знижують працездатність з'єднань.

Незважаючи на значні труднощі зварювання, конструкції з різнорідних матеріалів і сплавів у сучасній техніці виготовляють в більшому обсязі. Це обумовлене значними технічними й економічними перевагами, які мають конструкції з різнорідних металів і сплавів у деяких технічних спорудженнях (криогенна техніка, енергетичні установки, ракетна техніка, суднобудування, радіоелектроніка).

					MP 8.132.6121м.02.01.05. ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Аналіз проблеми паяння металів з неметалами

У сучасній техніці графітові вироби застосовуються в композиції з багатьма металами. З'єднання графіту з металами викликається економічними міркуваннями, а також необхідністю реалізації позитивних властивостей графіту.

Графіт має високу електро і теплопровідність, широко застосовується при створенні струмопідвідних або струмовідвідних пристроїв різних установок і машин, графітових електродів, нагрівачів, тиглів і човників для плавки металів, електродів для дугових печей, великогабаритних анодів ртутних випрямлячів, нагрівачів шахтних печей, високотемпературних теплообмінників, тепловиділяючих елементів, ущільнюючих пристроїв тощо., де його необхідно поєднувати з металами.

Невелика щільність графіту, висока теплопровідність, близька до теплопровідності металів, і навіть більш висока термостійкість, ніж у більшості керамічних матеріалів, зумовили його застосування в різних галузях техніки. З підвищенням температури до 2000 ... 2500 ° С міцність графіту зростає; при цих температурах вона має найбільшу границю міцності з усіх відомих матеріалів. Графіт має шарувату структуру, що дозволяє йому бути хорошим самозмащувальним матеріалом, що легко обробляється, має низьку хімічну активність до багатьох реагентів.

Паяння є найбільш технологічним і економічно вигідним методом з'єднання графітових матеріалів, що забезпечує отримання високоміцних, електропровідних і герметичних з'єднань; може застосовуватися капілярна, контактна-реакційна, дифузійна паяння та паяння-зварювання.[1]

Графіт задовільно змочується тугоплавкими металами (титан, цирконій, кремній, гафній, ванадій, ніобій, вольфрам, молібден), металами групи заліза, алюмінієм, а також кремнієм і бором.

Але при паянні металу с графітом з'являються труднощі, зумовлені відмінністю фізико-механічних властивостей (теплопровідності, модуля

					MP 8.132.6121м.02.01.05. ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

пружності, різними термічними коефіцієнтами лінійного розширення (ТКЛР)(Таблиця 1.1), матеріалів що з'єднуються[2]. Це призводить в процесі паяння до утворення залишкових напружень, що перевищують границю міцності графіту.

Таблиця 1.1 ТКЛР матеріалів що з'єднуються

Матеріал	Температурний діапазон застосування	10 ⁻⁶ /°F макс	10 ⁻⁵ /°C макс	10 ⁻⁶ /°F мінімум	10 ⁻⁵ /°C мінімум
Мідь	Від кімнатної до 212-750° F = 100-390° C.	9,8	-	1,8	-
Графіт	Від кімнатної до 212-750° F = 100-390° C.	1,5	1,3	0,3	0,2
Свинець	Від кімнатної до 212-750° F = 100-390° C.	16,3	14,4	2,9	2,6
Чавуни якісні	Від кімнатної до 212-750° F = 100-390° C.	10,4	6,6	1,9	1,2
Срібло	Від кімнатної до 212-750° F = 100-390° C.	10,4	6,6	1,9	1,2
Кераміка	Від кімнатної до 212-750° F = 100-390° C.	4	3,3	0,7	0,6

Залишкові напруження в пластичних матеріалах зазвичай призводять до спотворення форми і розмірів, а в графіті, який є крихким матеріалом, можуть викликати утворення тріщин і руйнування.

Основною стадією процесу паяння графіту з металами є його просочення розплавленим припоєм. Утворений при цьому металевий каркас визначає міцність паяного з'єднання.

Труднощі з'єднання графітових матеріалів з металами зумовлена істотною відмінністю їх теплофізичних і фізико-механічних характеристик: теплопровідності, модуля пружності, міцності і ТКЛР. Оскільки графіт - порівняно крихкий і не дуже міцний матеріал, то можливе руйнування графітової деталі в зоні з'єднання.

Для зниження напружень в металографітових вузлах обирають метали з близькими до графіту ТКЛР. У багатьох вузлах застосовують титан, який далекий від графіту з електро- і теплопровідності. Кращим вибором для

зазначених пристроїв є мідь, але вона має ТКЛР значно більший, ніж графіт, що часто призводить до утворення тріщин в графіті після охолодження вузла.

Знизити рівень внутрішніх напружень в з'єднанні можна при виконанні наступних умов:

- зменшення температури паяння;
- підбір матеріалів, максимально близьких за ТКЛР до графіту в діапазоні температур нагрівання;
- застосування пластичних припоїв або проміжних прошарків з молібдену, вольфраму, титану, цирконію, сплаву 29НК, границя пружності яких нижче або близька до границі міцності при розтягуванні графітового матеріалу;
- вибір конструкції з'єднання, при якому на графіт впливають тільки напружень стиснення;
- створення нерівномірного температурного поля, при якому металеві деталі нагріваються при паяння до більш низької температури, ніж графітові.

Паяння є найбільш технологічним і економічно вигідним методом з'єднання графітових матеріалів, що забезпечує отримання високоміцних, електропровідних і герметичних з'єднань; може застосовуватися капілярна, контактано-реакційна, дифузійна пайка та паяння-зварювання.

1.1 Способи паяння різнорідних матеріалів

На сьогоднішній день паяння також є одним із широко застосовуваних способів з'єднання деталей. Цей процес широко застосовується при з'єднанні матеріалів, які погано зварюються плавленням і призначені для роботи при високих температурах та значних навантаженнях.[5]

					MP 8.132.6121зм.02.05.05. ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Контактно-реактивне паяння – паяння, у якому припій утворюється безпосередньо під час нагрівання до температури паяння внаслідок контактного плавлення матеріалів. їх покриттів або допоміжних прокладок. Контактне плавлення спостерігається між металами, що утворюють евтектики або тверді розчини, які плавляться при температурі, нижчій, ніж температура плавлення контактуючих металів. Утворення рідини при температурі зумовлено намаганням системи до зменшення вільної енергії. Контактне плавлення можна розглядати як окремий випадок утворення проміжних фаз відповідно до діаграми стану сплавів під час дифузії металів у твердому стані.

Контактне плавлення складається із наступних стадій:

- 1) підготовчої, що полягає в утворенні по границі контакту твердих розчинів та (або) фаз евтектики;
- 2) стадії утворення зародків розплавлення, їх зростання;
- 3) наступного контактного плавлення твердих контактуючих фаз в рідині, що утворилася.

Контактно-реактивним паянням можна з'єднувати графіт з міддю, тому що присутній перетин поверхонь насичення кристалічних фаз міді і графіту, що знаходяться в рівновазі з розплавом при мінімальній температурі плавлення.

Дифузійне паяння від багатьох інших способів зварювання відрізняють висока гігієнічність, відсутність ультрафіолетового випромінювання, шкідливих газових виділень, пилу тощо. Витрати енергії в 4... 6 разів менші, ніж при контактному зварюванні одних і тих же деталей, а ресурс роботи останніх значно більший. У судновому машинобудуванні за допомогою дифузійного зварювання виготовляють елементи катодного захисту (з нерозчинними платиново-титановими анодами) підвідної частини корпусу судна і гребних гвинтів від корозійних і корозійно-механічних руйнувань, деталі з жароміцних сплавів, арматуру тощо.

У партії деталей, що виготовляються за допомогою дифузійного паяння, звичайно спостерігається стабільність якості з'єднання. Це забезпечується ста-

					MP 8.132.6121зм.02.05.05. ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

лістю параметрів процесу: температури, тиску, часу паяння, ступеня розрідження та підготовки поверхні. Висока стабільність механічних показників зварного з'єднання цілком обґрунтовано дозволяє застосовувати вибірковий контроль виробів та активний контроль параметрів режиму зварювання. Це досить важливо в тих випадках, коли відсутні прості, дешеві та надійні методи контролю якості паяних з'єднань.

Найбільш характерні конструкції паяних з'єднань графіту з металами наведені на рис. 1.1 [13]

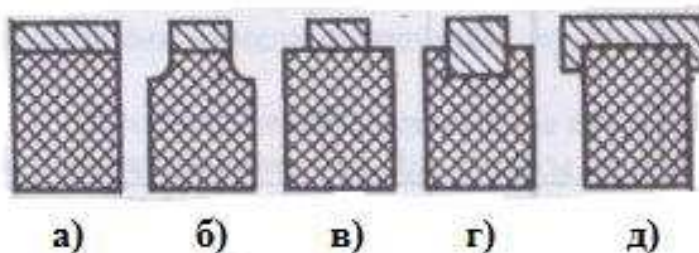


Рисунок. 1.1 Типи конструкцій паяних з'єднань графіту з металами:

а, б, в - стикові; г - стикове із заглибленням; д – охоплюючі

1.2 Паяння графіту з міддю.

Труднощі при паянні графіту з міддю пов'язані з практично відсутньою хімічною взаємодією між ними і істотною відмінністю фізико-механічних властивостей.

Паяння цих матеріалів здійснюється за рахунок застосування проміжних прошарків і припоїв, що містять метали, поверхнево-активні до вуглецю (титан, цирконій, нікель, корозійно-стійка сталь). Склади припоїв, режими паяння і властивості спаяних з'єднань графіту з міддю наведені в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 Склади припоїв, режими паяння і властивості паяних з'єднань графіту з міддю.[8]

З'єднані матеріали	Склад припою(масові частки)%, або спосіб паяння.	Режим паяння			σ, кПа
		Температура °С	Час, хв.	Середовище	
Мідний дріт з графітовим блоком або графітизованою тканиною	70 Cu + 30 Ti	1000	10	Вакуум 66,65 мПа	–
Графіт ГМЗ + мідь М1	45 Cu +45 Ag + 10 Ti	900	–	Аргон	82
Графіт ВПП + мідь М1	Цирконій	900	–		65
	Контактно-реактивна	950			48
		1000			75
	45 Cu +45 Ag + 10 Ti	850	–		92
		900	–		95
		950	–		83
	Титан	900	–		32
	Контактно-реактивна	950	–		60
1000		–	68		
Мідний електролітичний графіт + мідь М1	PCr 45 + 10 Ti	900	10	Аргон, сжимаючий тиск 0,5 мПа	–

Висновки, мета та завдання роботи

При паянні різномірних матеріалів, а саме міді та графіту, виникають залишкові напруження, зумовлені відмінністю ТКЛР, які можуть викликати утворення тріщин і руйнування.

					MP 8.132.6121зм.02.05.05. ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тому метою роботи є дослідження методом комп'ютерного моделювання особливостей формування напружено-деформованого стану (НДС) при охолодженні після дифузійного зварювання і пайки металографітових вузлів і впливу на нього способу охолодження з'єднання.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні завдання:

- дослідити декілька варіантів зниження температури
- обрати програму дослідження напружено-деформованого стану;
- дослідити напружено-деформований стан з'єднання після паяння, для кожного варіанта;
- визначити оптимальний варіант охолодження та дослідити напружено-деформований стан в умовах повзучості міді;
- виконати аналіз результатів досліджень і розробити рекомендації щодо способу охолодження з'єднання.

					MP 8.132.6121зм.02.05.05. ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. Вибір комп'ютерного методу моделювання деформованого стану

2.1. Основи методу скінчених елементів

Одним з найбільш ефективних сучасних методів чисельного рішення інженерних задач із застосуванням ЕОМ є метод скінчених елементів.[6]

Ідея представлення суцільного середовища у вигляді системи елементів скінчених розмірів висловлювалася ще на початку XIX ст. Пуассоном. Розвиток МСЕ йшов за двома напрямками. З одного боку, МСЕ розвивався як деякий різновид варіаційно-різницевого методу розв'язання задач математичної фізики. З іншого боку, він розроблявся на підставі методів будівельної механіки стрижневих систем, і зокрема, методу переміщень. Початок цих напрямів закладені в роботах Р. Куранта, Мак Генрі, А. Хреннікова в 40-х рр.. XX ст. Поступово обидва ці напрямки стали об'єднуватися. Однією з перших робіт, присвячених МСЕ, була робота М. Дж. Тернера, Р.В. Клафа, Г.С. Мартіна і Л. Дж. Топп, опублікована в 1956 р., а термін «скінчений елемент» вперше з'явився в роботі Р.В. Клафа в 1960 р. Швидкий розвиток МСЕ пов'язано, в першу чергу, зі створенням високопродуктивних обчислювальних машин і вирішенням проблем аерокосмічної техніки.

В даний час загальна кількість публікацій по МСЕ налічує тисячі назв. Опис основ МСЕ та його застосування до задач теорії пружності і пластичності, теорії пластин та оболонок, гідро і аеродинаміки, теплопровідності, розрахунку стрижневих систем, мембранних конструкцій і багатьом іншим задачам дано в підручниках, навчальних посібниках і монографіях О. Зенкевича, Дж. Одена, Г. Стренга і Д. Фікса, Л. Сегерлінда, Р. Галлагер, К. Бате і Е. Вілсона, Д. Норрі і Ж. де Фріза, В.А. Постнова і І.Я. Хархуріма, Л.А. Розіна, А.Ф. Смирнова, А.В. Александрова, Б.Я. Лащенікова, Н.Н. Шапошникова, Р.А. Хечумова, Х. Кепплера, В.І. Прокоп'єва, СБ

					MP 8.132.6121зм.02.05.05. ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Синіцина, В.П. Агапова, А. Е. Белкіна і С. С. Гаврюшина, А. Б. Золотова і П.О. Акімова та інших.

Основна ідея методу полягає в поданні розрахункових конструкцій у вигляді сукупності елементів простої форми, з'єднаних між собою в окремих точках. По суті справи, суцільне середовище з нескінченним числом ступенів свободи замінюється набором підобластей, що мають скінчене число ступенів свободи. При такому підході шукані безперервні величини (переміщення, напруження, деформації і т.д.) всередині кожного кінцевого елемента (КЕ) виражаються за допомогою апроксимуючих функцій через вузлові значення цих величин. Розподілені зовнішні навантаження замінюються еквівалентними вузловими силами. У математичному плані задача полягає у приведенні диференціальних рівнянь або енергетичного функціонала, що описують розглянуту конструкцію, до системи алгебраїчних рівнянь, рішення якої дає значення шуканих вузлових невідомих.

Метод скінчених елементів має дуже широке поширення в практиці розрахунків на міцність, стійкість і коливання будівельних, машинобудівних, авіаційних конструкцій. За допомогою МСЕ можна успішно виконати аналіз широкого класу стрижневих систем (ферми, рами й т.д.), тонкостінних просторових конструкцій (плити перекриттів, оболонки покриттів і т.д.), масивних тривимірних тіл, а також комбінованих систем, що складаються з одновимірних, двовимірних і трьохвимірних елементів.

МСЕ відрізняє широка область застосовності, інваріантність по відношенню до геометрії конструкції і фізичним характеристикам матеріалів, відносна простота обліку взаємодії конструкцій з навколишнім середовищем (механічний, температурний, корозійний вплив, граничні умови тощо), високий ступінь пристосовності до автоматизації всіх етапів розрахунку. Метод має просту фізичну інтерпретацію і тісно пов'язаний з методом переміщень, який широко використовується в будівельній механіці.

На базі кінцево-елементного підходу розроблено велику кількість потужних програмних комплексів. Серед них можна відзначити такі як

					MP 8.132.6121зм.02.05.05. ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ABAQUS, ADINA, ANSYS, COSMOS/M, MSC/NASTRAN, ЛІРА, SCAD, STARK, Стадії. Більшість з них має велику бібліотеку скінчених елементів і дає можливість виконувати розрахунки на міцність, стійкість і коливання, враховувати фізичну і геометричну не лінійність, ортотропію матеріалу, температурні навантаження і т. д. Представлений вище перелік програмних продуктів, що реалізують МСЕ, є далеко не повним і лише відображає ситуацію в цій галузі зараз.

Безсумнівно, МСЕ має суттєві переваги порівняно з іншими підходами і в значній мірі універсальний. Разом з тим, як зазначає Р. Галлагер у своїй монографії, «цей метод навряд чи може бути останнім словом в чисельному аналізі в тому вигляді, в якому він існує в даний час. Його слід розглядати як одну з багаточисельних ступенів розвитку засобів чисельного дослідження при проектуванні.

Найбільше поширення в практиці розрахунку та проектування будівельних конструкцій отримав варіант МСЕ в переміщеннях (в якості шуканих невідомих приймаються переміщення розраховується системи). При викладі МСЕ використовуються основні поняття і методи лінійної алгебри.

Метод скінчених елементів передбачає такі основні етапи:

1. Ідеалізація області. Розраховується конструкція розбивається уявними точками, лініями або поверхнями на елементи скінчених розмірів (кінцеві елементи). Передбачається, що елементи пов'язані між собою в вузлових точках, розташованих на їхніх кордонах. У деяких задачах будівельної механіки в якості шуканих невідомих крім вузлових переміщень приймаються також їхні приватні похідні.

2. Побудова інтерпольованих функцій. Вибирається система функцій (найчастіше кусочно-поліноміальна), однозначно визначає переміщення всередині кожного кінцевого елемента через переміщення вузлових точок. Інтерполуються функції підбираються таким чином, щоб забезпечити безперервність шуканих величин (переміщень та їх вихідних) уздовж кордонів елемента.

					MP 8.132.6121зм.02.05.05. ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Висновок основних геометричних і фізичних співвідношень. На основі обраної системи інтерпольованої функції виводяться залежності між деформаціями і переміщеннями (геометричні співвідношення), а також між напруженням і деформаціями (фізичні співвідношення).

4. Побудова матриці жорсткості кінцевого елемента. За допомогою принципу Лагранжа на основі отриманих геометричних і фізичних співвідношень будується матриця жорсткості кінцевого елемента.

5. Отримання системи рівнянь методу скінчених елементів. Кожна матриця жорсткості окремого кінцевого елемента включається в глобальну матрицю жорсткості в циклі по елементах. Таким чином формується система алгебраїчних рівнянь всієї конструкції (рівняння рівноваги), яка має вигляд $Rz = P$, де R - матриця жорсткості системи (ансамблю) скінчених елементів; z - вектор невідомих вузлових переміщень; P - вектор вузлових навантажень у матриці жорсткості. Як записано вище в системі рівнянь необхідно врахувати граничні умови, тому що в протилежному випадку ця матриця буде виродженою.

6. Рішення системи алгебраїчних рівнянь. Для розв'язання системи лінійних алгебраїчних рівнянь (СЛАР) використовуються як точні, так і (при високому порядку системи) - ітераційні методи. Побудовані на їх основі ефективні чисельні процедури враховують симетрію і стрічкову структуру матриці жорсткості системи.

7. Визначення деформацій і напружень. Деформації, напруження і зусилля в конструкції визначаються за допомогою знайдених вузлових перетинах на основі геометричних і фізичних співвідношень.

2.2. Сучасні програмні комплекси для моделювання напруженого стану

NX Nastran — інструмент для проведення комп'ютерного інженерного аналізу (CAE) проєктованих виробів методом кінцевих елементів (МСЕ) від

					MP 8.132.6121зм.02.05.05. ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

компанії Siemens PLM Software. NX Nastran разом з додатковими програмами для рішення призначений для рішення як статичних, так і динамічних лінійних і нелінійних задач інженерного аналізу[9].

У 1964 р. національне агентство з авіації і дослідженню космічного простору США (NASA) для підтримки проектів, пов'язаних з космічними дослідженнями і, зокрема, для проведення аналізу і проектування засоби виведення ракети носія «Сатурн V», ставить задача розробки програмного пакета для проведення кінцево-елементного аналізу виробів. Випуск першої комерційної версії пакета програм NASTRAN (NASA STRuctural ANalysis) відбувся в 1972 році. Однією з компаній, що брали участь у розробці, була MSC (MacNeal-Schwendler Corporation). У 2003 році, компанія UGS придбала вихідний код програми у MSC.Software, середу і права для подальшої розробки і пропозиції вирішення на ринку. Сучасне рішення від компанії Siemens PLM Software - вирішувач NX Nastran.

Вирішувач NX Nastran забезпечує виконання повного набору інженерних розрахунків, включаючи розрахунок напружено-деформованого стану, власних частот і форм коливань, аналіз стійкості, вирішення задач теплопередачі, дослідження сталих і несталих процесів, нелінійних статичних процесів, нелінійних динамічних перехідних процесів, аналіз частотних характеристик, відгуку на динамічні та випадкові впливу.

Вирішувач NX Nastran доступний спільно з інженерними системами для підготовки розрахункових моделей NX і Femap або у вигляді самостійного застосування, використовуюваного на спеціально виділених CAE серверах або високопродуктивних обчислювальних кластерах з будь-якими сумісними інструментами пре-/постпроцессорной обробки NX Nastran.

Система NX Nastran поширена в таких галузях промисловості, як аерокосмічна, автомобільна, суднобудування, важке машинобудування, медицина і товари народного споживання, забезпечуючи аналіз напружень, вібрацій, довговічності, передачі тепла, шуму / акустики. Система забезпечує високу ступінь інтеграції з великим числом CAE додатків.

					MP 8.132.6121зм.02.05.05. ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Пакет засобів розробки NX Nastran SDK надає користувачам програми інструменти розробки, призначені для спрощення використання можливостей NX Nastran у власних клієнтських і галузевих інструментах.

У грудні 2008 р. Siemens PLM Software повідомила про те, що за допомогою NX Nastran фахівцям компанії вдалося вирішити складну статичну лінійну просторову задачу механіки деформування твердого тіла (МДГТ) для крила літака, що знаходиться під дією згинальних навантажень. Для КЕ рішення задачі була розроблена повномасштабна просторова КЕ модель, яка містила ~ 98 млн оболонкових і ~ 49 млн просторових кінцевих елементів. Загальне число рівнянь - ~ 500 млн рівнянь. Час КЕ розрахунку склало менше 18-ти годин на 8-ми ядерному сервері IBM Power 570.

LS-DYNA - багатоцільова програма, яка використовує явне формулювання методу кінцевих елементів (МКЕ), - призначена для аналізу нелінійного динамічного відгуку тривимірних пружних структур. LS-DYNA була задумана як частина оборонної програми США і до цих пір є нею.

Повністю розпаралелений і векторизований високоефективний алгоритм рішення нелінійних і швидкоплинних процесів, автоматизований процес вирішення контактних задач, а також безліч функцій з перевірки одержуваного рішення дозволяють інженерам у всьому світі успішно вирішувати найскладніші задачі удару, руйнування і формування.

Унікальний математичний апарат включає більше 25 алгоритмів контактної взаємодії, більше 100 рівнянь стану, що дозволяє вирішувати задачі: нелінійної динаміки; теплові; руйнування; розвитку тріщин; контакту; квазістатіки; Ейлерової формулювання МКЕ; довільної Лагранжо-ейлерової поведінки; акустики в реальному масштабі часу; багатодисциплінарного аналізу: міцність, теплофізика, акустика;

Всі наведені аналітичні інструменти дозволяють моделювати широкий круг реальних завдань. Ось лише деякі програми можливостей LS-DYNA:

1. Оцінка опірності удару (краш-тест): автомобілів, літальних апаратів, поїздів, суден;

					MP 8.132.6121зм.02.05.05. ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. Аналіз динамічної міцності автомобільних комплектуючих: кузов, бампери, колісні диски, рульові колонки і т.д. при русі по нерівній поверхні;
3. Оцінка безпеки пасажирів: взаємодія повітряної подушки і віртуальної моделі людини з моделюванням ременів безпеки, прорив подушки безпеки та ін;
4. Формування металу, скла, пластиків: прокат, видавлювання, штампування, волочіння, свержпластичне формування, різка, прокат профілів, лиття, глибока витяжка, гідроформування (включаючи великі деформації) і багатоступінчасті процеси;
5. Птицестійкість і задача про відрив лопатки турбінних двигунів;
6. Взаємодія потоків рідини і газу з конструкцією;
7. Вибухова навантаження на вироби;
8. Задача проникнення (пробивання броньовий пластини, впровадження в ґрунт пенетратора і т.п.);
9. Розрахунок зварних, клепаних і болтових з'єднань;
10. Біомедичні програми;
11. Моделювання землетрусів.

ADAMS (Mechanical Dynamics, Inc.)

На сьогоднішній день ADAMS знаходить застосування в автомобілебудуванні, авіабудуванні, космонавтиці, залізничному транспорті, загальному машинобудуванні, суднобудуванні, робототехніці, приладобудуванні, біомеханіки і навіть в індустрії відпочинку та розваг.

ADAMS надає користувачам наступні можливості:

1. Створювати комп'ютерну модель системи з твердих і деформівних елементів, з'єднаних між собою різними зв'язками і шарнірами;
2. Створювати параметризовану модель на базі ядра твердотілого моделювання Parasolid, а також обмінюватися геометричними моделями в форматах IGES, STEP, DXF, DWG, STL;
3. Візуалізувати модель конструкції потужними засобами графіки;

					MP 8.132.6121зм.02.05.05. ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. Задавати вимушені переміщення і руху елементів системи і прикладати активні зовнішні сили і моменти;
5. Проводити статичний, динамічний і кінематичний аналіз системи;
6. Візуалізувати рух системи і фіксувати задані події;
7. Аналізувати вплив варіацій параметрів конструктивних елементів на поведінку системи (аналіз чутливості);
8. Оптимізувати виріб по заданому критерію;
9. Отримувати результати аналізу в зручному для оцінки та інтерпретації вигляді: графіки, таблиці, анімація (високоякісна анімація, в тому числі і спеціалізовані - з «точки зору водія», обліт рухомого виробу камерою по заданій траєкторії, «що стежить камера» і т.д.);
10. Виробляти двосторонній обмін інформацією з програмними комплексами автоматизованого проектування, кінцево-елементного аналізу, анімації;
11. Налаштовувати комплекс під типові задачі конкретного користувача;
12. Використовувати спеціалізовані модулі, орієнтовані на конкретні галузі техніки (автомобільна, залізнична);
13. Визначати всі параметри руху системи як з абсолютно жорстких, так і з пружних ланок; обчислювати зусилля в зв'язках і реакції в опорах з повною історією зміни за часом, що приходять зусилля на елементи управління; визначати взаємне переміщення складових частин, переміщення та кути повороту в шарнірах; проводити статичний та модальний аналіз і багато іншого.

Star-CD (Computational Dynamics)

Star-CD була першою в світі програмою, що включила в себе процедуру так званих ковзних сіток. Ефективна паралелізації алгоритму рішення, заснованого на застосуванні методу кінцевих обсягів, в поєднанні з унікальними методиками автоматизованого розбиття області течії дозволяє моделювати задача будь-якого ступеня складності геометричної.

					MP 8.132.6121зм.02.05.05. ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Star-CD є багатоцільовим єдиним CFD-пакетом, що надає користувачеві наступні можливості для рішення задач механіки рідин і газів.

Стационарні та нестационарні течії;

Ламінарні течії - модель Ньютона і неньютонівських рідини;

Турбулентні течії (застосовується декілька найбільш відомих моделей);

Стискувані і нестискувані (включаючи близько і надзвукові);

Теплопереніс (конвективний, радіаційний, теплопровідність з урахуванням твердих тіл);

Массопереніс;

Хімічні реакції;

Горіння газоподібного, рідкого і твердого палива;

Розподілене опір (наприклад, в пористих середовищах, теплообмінниках);

Багатокомпонентні перебігу;

Багатофазні потоки - модель Лагранжа (дисперсні гази - тверде тіло, газ - рідина, рідина - тверде тіло, рідина - рідина);

Багатофазні потоки - модель Ейлера;

Вільні поверхні;

До числа інших можливостей відносяться:

Графічний і командний введення;

Спеціалізовані режими роботи «новачок» / «експерт», супроводжувані інтерактивними підтвердженнями і засобами підказки;

Великий набір засобів побудови сіток, включаючи автоматизоване згущення;

Імпорт геометричних моделей у форматах STL, IGES і VDAFS;

Інтерфейси до CAD / CAE - програмам, включаючи трансляцію кінцево-елементних моделей, графічне представлення результатів та ін: Ansys, HEXAR, ICEM, I-DEAS, Nastran, Patran, Hypermech і SAMM;

Різноманітні засоби візуалізації та обробки результатів (векторні, колірні контурні заливки, ізоповерхні, перетини, трасування частинок, анімація тощо);

					MP 8.132.6121зм.02.05.05. ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Екстаполяція результатів на сітці і поверхні довільного виду (використовуються для видачі результатів у кінцево-елементні пакети);

Побудова графіків;

Як препроцесора в Star-CD використовується SAMM (Semi Automatic Meshing Methodology - «напівавтоматична технологія розбивки») розробка інжинірингової фірми Adapco. SAMM надає наступні можливості:

Використання змішаних сіток як з чотирьох традиційних (наприклад, гексагональних і тетраедричних), так і з унікальних зрізаних призматичних елементів;

Процедура автоматичної «зшивання» полів параметрів в суміжних областях з незбіжними розбивкою - довільний інтерфейс;

Автоматизоване адаптивне згущення, засноване на оцінці помилки розрахунку;

Динамічне спотворення (підстроювання) сітки для вирішення завдань зі змінними граничними умовами (наприклад, поршневі двигуни);

Тимчасово-залежні, так звані ковзні сітки з використанням алгоритму «довільний інтерфейс» для лопаткових машин та ін;

Додаткові адаптивні процедури перебудови (такі, як динамічне впровадження та видалення елементів);

Множинні обертаються системи координат для моделювання процесів, що відбуваються в багатоступінчастих турбінних насосах, вентиляторах і т.д.;

Засоби обліку циклічної симетрії або інших видів періодичності для лопаткових і багатоступінчастих машин з метою зменшення розмірності задачі.

Pro/Engineer

Pro/MESH, Pro/FEM-POST і Pro/SURFACE - модулі Pro/Engineer для розрахунку на міцність методом кінцевих елементів.

Pro/MESH забезпечує конструктору можливість створення сітки кінцевих елементів для моделей, отриманих в Pro/Engineer. Тонкостінні і твердотільні об'єкти можуть автоматично моделюватися, розбиватися і

					MP 8.132.6121зм.02.05.05. ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

експортуватися в різні програми для подальшого аналізу. Pro/MESH є додатковим модулем сімейства Pro/Engineer.

Pro/FEM-POST забезпечує повний набір можливостей постпроцесора для аналізу результатів, отриманих методом кінцевих елементів (МКЕ), і надає користувачам можливість відображати результати аналізу в середовищі Pro/Engineer. Pro/FEM-POST спрощує процес наскрізного проектування / аналізу в інтегрованому середовищі, яка об'єднує повну асоціативність Pro/Engineer з можливостями сучасного постпроцесора, для аналізу результатів, отриманих методом кінцевих елементів. Дружній користувачеві інтерфейс забезпечує перевірку правильності рішень при проектуванні і оптимізації на ранніх етапах розробки виробу. Pro/MESH є необхідною умовою побудови сітки для Pro / FEM-POST.

Pro/SURFACE розширює можливості Pro/Engineer, надаючи інструменти для ефективною розробки та вдосконалення найбільш складних геометричних поверхонь і поверхонь вільної форми. Так як всі поверхні, створені в Pro/SURFACE, повністю асоціативні, численні проекти можуть оцінюватися легко і швидко. За допомогою Pro/SURFACE розробники можуть створювати моделі зі складними поверхнями для аерокосмічної промисловості, а також товари народного споживання.

Pro/MESH швидко і просто розбиває моделі Pro/Engineer, що скорочує цикл "моделювання-тестування" та покращує якість виробу. Після розбиття модель може бути передана в зовнішні програми аналізу для обчислення термонапруженого стану, потоку рідини, переміщення, теплопередачі, механізми утворення тріщин, втоми і уявлення про корозійному середовищі. Цей модуль автоматично створює сітку відповідно до вимог конструктора, який може інтерактивно уточнювати її там, де це необхідно. Користувачі можуть швидко оцінювати різні конфігурації моделей при різних навколишніх і геометричних умовах. Ця інтерактивна зв'язок скорочує час аналізу, дозволяє досліджувати більше варіантів конструкції, забезпечує більшу гнучкість проекту і якості виробу. Pro / MESH дає конструктору можливість

					MP 8.132.6121зм.02.05.05. ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

створювати моделі для аналізу методом кінцевих елементів. Ці можливості, зокрема, дозволяють конструктору проводити наступні дії:

Швидко створювати сітки кінцевих елементів. Для створення моделі в Pro/MESH необхідно пройти наступні етапи. По-перше, параметричні навантаження і граничні умови прикладаються безпосередньо на геометрію (поверхні, грані або точки). Точність розбиття визначається допустимими глобальними та/або локальними розмірами елемента і властивостями матеріалу, визначеними у моделі. І останній етап - Pro/MESH автоматично розбиває деталь, показує результати при перегляді і визначає якість розбиття.

Створювати різні елементи. Pro/MESH дозволяє створювати оболонкові елементи (трикутні і чотирикутні), об'ємні (тетраедри), масові елементи і різні однорозмірних bar-елементи (наприклад, бруси, гар-елементи, пружини, балки).

Визначати положення тонкостінного оболонкового елемента. Pro/MESH полегшує високоточний аналіз тонкостінних моделей (наприклад, пластмасове лиття та деталі з металевого листа) з автоматичним визначенням пар на паралельних поверхнях і розташуванням оболонкового елемента на центральній поверхні. Якщо краща зовнішня, внутрішня або визначена користувачем поверхню, вона може бути вказана.

Визначати контактні умови в кінцево-елементної збірці моделей. Pro/MESH дозволяє конструктору визначати контактні умови між "склесними" деталями в збірці. Якщо необхідно, відповідний bar-елемент автоматично створюється для моделювання контактних умов. Ті ж самі параметричні навантаження, граничні умови і розміри елементів, які визначені в деталі, використовуються в збірці.

Модифіковані параметри та умови. Навантаження, граничні умови, розміри елементів можуть бути модифіковані в будь-який час у процесі проектування. Навантаження і розмір елемента можуть контролюватися також шляхом використання співвідношення.

Експортувати дані розбиття для зовнішнього аналізу.

					MP 8.132.6121зм.02.05.05. ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Весь процес аналізу, від створення сітки до постобробки, може бути проведений в середовищі Pro/Engineer. Відразу після створення кінцево-елементної моделі вона може бути виведена в різні програми МСЕ для вирішення безпосередньо з інтерфейсу. Формати файлів, в яких можуть бути виведені дані про розбиття, включають такі промислові стандарти, як PATRAN, ANSYS, NASTRAN, SUPERTAB, COSMOS/M, Pro/MESH може створювати нейтральний файл FEM Neutral, що переносить інформацію про кінцево-елементної моделі в будь певної користувачем транслятор. Крім цього, перебуваючи в середовищі Pro/Engineer, користувач може переглянути результати розрахунків, використовуючи Pro/FEM-POST.

ABAQUS

ABAQUS/Standard - це кінцево-елементна програма загального призначення, розроблена для найбільш складних інженерних розрахунків, виконуваних на виробництві. За допомогою наявних у ній засобів моделювання може бути вирішене широкий спектр прикладних задач.

ABAQUS/Standard розроблений для ефективною роботи на комп'ютерах від персональних, працюють із системами Windows NT або UNIX, до серверів і суперкомп'ютерів.

ABAQUS/Standard дозволяє використовувати різні методи аналізу в тимчасовій і частотній області. Ці методи поділяються на два класи: «узагальнені типи аналізу», в яких задача може бути лінійною або нелінійною, і «лінеаризовану аналіз», в якому лінійний відгук моделі розраховується щодо спільного, можливо нелінійного, вихідного стану. Один розрахунок може включати в себе різні типи аналізів.

Типи аналізу в ABAQUS/Standard можуть бути об'єднані в будь-який фізично розумній формі. Наприклад, один розрахунок може об'єднувати нелінійний статичний аналіз і наступний за ним нелінійний динамічний аналіз, в якому результат статичного аналізу забезпечує початкові умови для визначення динамічного відгуку.

					MP 8.132.6121зм.02.05.05. ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Користувач розбиває історію навантаження на кроки, ґрунтуючись виключно на зручності. Для чисто лінійного аналізу кожен крок є, по суті, випадком навантаження. У разі нелінійного аналізу, кожен крок - це один щабель у спільній історії навантаження. Тип аналізу задається всередині кожного кроку.

Лінійний аналіз може бути лінеаризований відхиленням щодо нелінійного базового стану. Наприклад, деяка деталь з гуми може бути деформована і попередньо напружена під час нелінійного статичного аналізу, за яким може слідувати серія лінеаризованих розрахунків для отримання власних частот і малого вібраційного відгуку деталі, використовуючи жорсткість і геометрію базового стану.

У нелінійному аналізі початковими умовами для кожного кроку є стан моделі в кінці попереднього кроку. Така залежність забезпечує зручність при аналізі складних історій навантаження, таких як технологічний процес. Кожен крок поділяється на збільшення; в кожному збільшенні ABAQUS/Standard виробляє ітерації для визначення рівноважного стану, використовуючи в більшості випадків повний метод Ньютона. Критерій збіжності ABAQUS/Standard визначає автоматично, хоча користувач може вручну відкоригувати ці величини.

Результати аналізу можуть передаватися між ABAQUS/Standard і ABAQUS/Explicit. Така передача результатів дозволяє працювати з моделлю використовуючи обидва вирішувача ABAQUS і найбільш підходящі технології рішення на кожному рівні моделювання. Наприклад, деякі деталі можуть бути об'єднані в ABAQUS/Standard в збірку для моделювання попереднього статичного навантаження, далі ця модель може бути використана в ABAQUS/Explicit для моделювання удару по попередньо навантаженої збірці. З іншого боку, моделювання штампування може бути виконано в ABAQUS/Explicit, а потім модель може бути передана в ABAQUS/Standard для визначення величини пружності, коли інструменти прибрані і деталь обрізана.

					MP 8.132.6121зм.02.05.05. ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.3. Програмний комплекс ANSYS

ANSYS - універсальна програмна система скінчено-елементного (МСЕ) аналізу, яка існує і розвивається протягом останніх 30 років, є досить популярною у фахівців в області комп'ютерного інжинірингу (CAE, Computer-Aided Engineering) і CE рішення лінійних і нелінійних, стаціонарних і нестаціонарних просторових задач механіки деформування твердого тіла та механіки конструкцій (включаючи нестаціонарні геометрично і фізично нелінійні задачі контактної взаємодії елементів конструкцій), завдань механіки рідини і газу, теплопередачі і теплообміну, електродинаміки, акустики, а також механіки пов'язаних полів. Моделювання та аналіз в деяких областях промисловості дозволяє уникнути дорогих і тривалих циклів розробки типу «проекування - виготовлення - випробування». Система працює на основі геометричного ядра Parasolid. [6]

Програмна система KE аналізу ANSYS розробляється американською компанією ANSYS Inc.. Компанія також випустила інші системи KE моделювання, у тому числі DesignSpace, AI Solutions (NASTRAN, ICFEM CFD); призначені для використання в більш специфічних галузях виробництва.

В якості стратегічного партнера фірма співпрацює з багатьма компаніями, допомагаючи їм провести необхідні зміни. Пропоновані фірмою ANSYS Inc. кошти чисельного моделювання та аналізу сумісні з деякими іншими пакетами, працюють на різних ОС. Програмна система ANSYS сполучається з відомими CAD-системами Unigraphics, CATIA, Pro/ENGINEER, SolidEdge, SolidWorks, Autodesk Inventor та деякими іншими.

Програмна система ANSYS є досить відомою CAE-системою, яка використовується на таких відомих підприємствах, як ABB, BMW, Boeing, Caterpillar, Daimler-Chrysler, Exxon, FIAT, Ford, БелАЗ, General Electric, Lockheed Martin, MeyerWerft, Mitsubishi, Siemens, Shell, Volkswagen-Audi та інші, а також застосовується на багатьох провідних підприємствах промисловості.

					MP 8.132.6121зм.02.05.05. ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.4 Історія розробки програмної системи

Перша реалізація програми значно відрізнялася від останніх її версій і стосувалася тільки рішення задач теплопередачі і міцності в лінійній постановці. Як і більшість інших програм того часу, вона працювала в пакетному режимі і лише на супер-ЕОМ.

На початку 70-х років ХХ століття в систему було внесено багато змін у зв'язку з впровадженням нової обчислювальної технології та реалізацією запитів користувачів. Були додані нелінійності різної природи, з'явилася можливість використовувати метод підконструкцій, була розширена бібліотека кінцевих елементів. Компанія звернула увагу на що з'явилися в той час персональні комп'ютери і векторні графічні термінали. Протягом декількох років ці нові апаратні кошти були освоєні програмними розробками компанії.

Наприкінці 70-х рр.. істотним доповненням до системи ANSYS, з'явився інтерактивний режим роботи. Це значно спростило процедури створення KE моделі та оцінку результатів (пре-і пост-процесорна обробка). Стало можливим використовувати інтерактивну графіку для перевірки геометрії моделі, заданих властивостей матеріалу і граничних умов перед початком рахунку. Графічна інформація могла бути відразу ж виведена на екран для інтерактивного контролю результатів рішення.

Ansys – єдина кінцево-елементна система з таким повним охопленням явищ різної фізичної природи: міцність, теплофізика, гідрогазодинаміка і електромагнетизм з можливістю вирішення пов'язаних завдань, які об'єднують всі перераховані види;

Найширший інтеграція і двосторонній обмін даними з усіма CAD, CAE, CAM - системами;

Відкритість (тобто модифікованість і доповнюваність);

Найвищий показник «ефективність/вартість»;

					MP 8.132.6121зм.02.05.05. ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Серед безлічі звичайно-елементних програмних комплексів Ansys - перший і єдиний, розроблений та сертифікований відповідно до міжнародних стандартів ISO 9000 та ISO 9001;

Ansys надає унікальну за повнотою і саму велику за змістом сучасну систему help на основі гіпертекстового представлення, доступ до якої здійснюється в інтерактивному режимі online.

Препроцесор Ansys дозволяє не тільки створювати геометричні моделі власними коштами, але імпортувати вже готові, створені засобами CAD-систем. Треба зазначити, що геометрична модель в подальшому може бути модифікована будь-яким чином, оскільки при імпорті здійснюється перетрансляція даних в геометричний формат Ansys, і деталь не підміняється «недоторканною» кінцево-елементної сіткою. Користувач може видаляти несуттєві дрібні подробиці, добудовувати певні деталі, проводити згущення/розрідження сітки та інші найважливіші операції, без яких подальший рішення може бути абсолютно некоректно або взагалі виявиться недосяжним. Побудова поверхонь, твердотільної і каркасної геометрії та внесення змін здійснюється засобами власного геометричного моделера.

Як вже зазначалося, Ansys дозволяє вирішувати проблеми міцності, теплофізики, гідрогазодинаміки, електромагнетизму спільно з розрахунком втомних характеристик і процедурами оптимізації. Єдина система команд і єдина база даних повністю виключають проблеми інтеграції та взаємного обміну між зазначеними сферами. Більш того, в програмі використані спеціалізовані кінцеві елементи, що мають крім переміщень і поворотів у вузлах, ступеня свободи по температурі, напрузі та ін. , а також перемикування типу елемента, наприклад, електромагнітного на міцнісний. Завдяки цьому в програмі реалізовані унікальні можливості проведення пов'язаного аналізу. Оптимізація конструкції, таким чином, може вестися з урахуванням усього різноманіття фізичних впливів на неї.

					MP 8.132.6121зм.02.05.05. ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки

Скінчено-елементним методом можна вирішувати практично будь-які інженерні задачі за короткий час.

Для автоматизації вирішення використовуються програмні комплекси. Повноцінний програмний комплекс повинен надавати можливість препроцесінгу (геометричне моделювання, задача граничних та початкових умов), власне розв'язку та постпроцесінгу (обробка результатів).

Для вирішення задач, поставлених в даній роботі, можливостей програмного комплексу ANSYS, більше ніж достатньо.

					MP 8.132.6121зм.02.05.05. ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Моделювання і дослідження напружено-деформованого стану

3.1 Варіанти досліджених моделей

Однією з проблем отримання за допомогою дифузійного зварювання і паяння якісних з'єднань і вузлів з різнорідних матеріалів є залишкові напруження і деформації, які можуть привести до порушення точності і працездатності вузла, зокрема, до руйнування крихких матеріалів.

Весь процес охолодження після паяння і дифузійного зварювання (ДЗ) можна умовно розділити на 3 періоди:

1. область високих температур, коли пружні деформації практично відсутні, визначальну роль відіграють миттєві пластичні і деформації повзучості;
2. область середніх температур, коли пружні і деформації повзучості малі, визначальну роль відіграють миттєві пластичні деформації;
3. область низьких температур, коли миттєві пластичні і деформації повзучості малі, визначальну роль відіграють пружні деформації.

Останній період з точки зору залишкових напружень становить найбільший практичний інтерес, якщо врахувати, що рівень напружень визначається саме пружними деформаціями, які в першому періоді практично відсутні, а в другому дуже малі внаслідок знижених значень модуля пружності і межі плинності і протікання процесів релаксації при повільному охолодженні.

Тому на першому етапі роботи досліджувалося НД стан вузлів саме в пружній стадії роботи з урахуванням властивостей, середніх в діапазоні температур ДЗ і пайки. Потім вирішувалися аналогічні пластичні задача і порівнювалися результати з пружними.

Розглядалися вузли, отримані пайкою з тиском, тому наявність тонкого прошарку припою не враховували.

					MP 8.132.6121м.02.05. ПЗ	Арк
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Дослідження проводилися на циліндричних вузлах методом комп'ютерного моделювання з використанням програмного комплексу ANSYS (Student). Вирішувалися осесиметричні задачі з використанням KE типу PLANE182. Модель рівномірно розбивалася на квадратні елементи розміром 0,02x0,02мм. [3]

Загальний вигляд вузла В-В і перетин його скінчено-елементної моделі показані на рис. 3.1, де цифрою 1 позначена мідна втулка, цифрою 2 – графітна. Цю модель можна використовувати і для з'єднань, виготовлених пайкою з тиском, нехтуючи прошарком припою внаслідок її малої товщини.

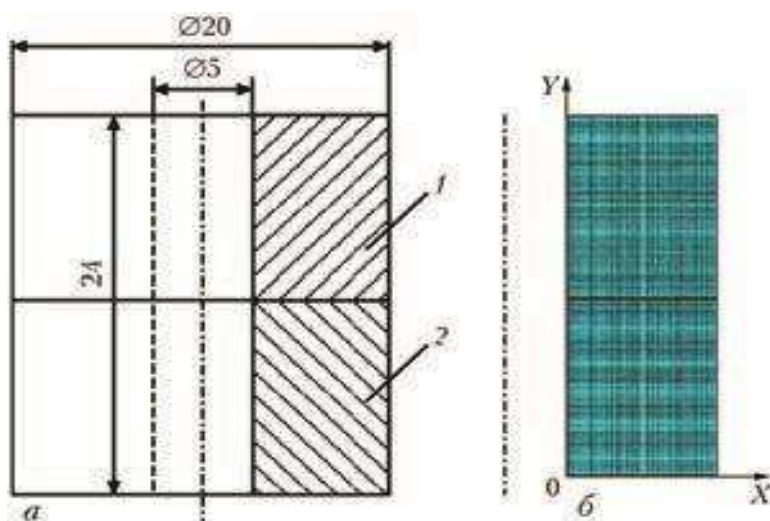


Рисунок 3.1. Загальний вигляд вузла В-В і перетин його скінчено-елементної моделі.

Теплофізичні властивості міді і графіту, прийняті в розрахунках, наведені в табл. 3.1.

Для вивчення загальних закономірностей формування НДС розглядали охолодження вузла в інтервалі від 900 до 500 °С, в якому повзучість міді робить істотний вплив на релаксацію напружень.

Досліджувані вузли мали наступні розміри. Радіус (ширина KE моделі) $R(b) = 20$ мм. Висота вузлів $h_1 = 12$ мм; $h_2 = 12$ мм.

					MP 8.132.6121м.02.05. ПЗ	Арк
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.1. Теплофізичні властивості міді і графіту.[3]

Матеріали	Температура, °С	Модуль пружності $E \cdot 10^3$, МПа	Коефіцієнт Пуассона	ТКЛР $\cdot 10^6$, 1/град	Межа плинності, МПа	Модуль зміцнення $\cdot 10^3$, МПа
Графіт	20	9,3	0,18	4,8	-	-
	200	9,4		5,0	-	-
	400	9,8		5,1	-	-
	700	10,3		5,5	-	-
	900	10,8		5,7	-	-
Мідь	20	125	0,34	16,7	69	1,5
	200	110		17,2	60	1,3
	400	100		17,8	45	0,9
	700	60		19,4	17,3	0,8
	800	40		20,5	11,5	0,7
	900	38		19,8	8,5	0,6

З метою встановлення закономірностей впливу на НДС режимів охолодження моделювання проводитимуться для 5-ти варіантів зниження температури в інтервалі температур 900 С- 500 С:

- 1) пружне рішення при зниженні температури до 500 ° С (вар. 1);
- 2) пружно-пластичне рішення при швидкому зниженні температури до 500 ° С (вар. 2), при малих деформаціях повзучості;
- 3) пружно-пластичне рішення з урахуванням повзучості при поступовому зниженні температури до 500 ° С протягом 60 с і подальшій витримці до 6000с при 500 °С (вар. 3);
- 4) пружно-пластичне рішення з урахуванням повзучості при поступовому зниженні температури до 500 ° С протягом 600 с і подальшій витримці до 6000с при 500 °С (вар. 4);
- 5) пружно-пластичне рішення з урахуванням повзучості при поступовому зниженні температури до 500 ° С протягом 6000 с (вар. 5).

Для варіантів 3-5 швидкість повзучості міді визначалась за рівнянням

$$\varepsilon = C_1 e^{C_2 - C_3}$$

де $C_1 = 1,67 \times 10^{-30}$, $C_2 = 5$, $C_3 = 25872$ – коефіцієнти рівняння, отримані нами експериментально при дослідженнях повзучості міді.

Аналізувалися поля і епюри розподілу напружень, деформацій і переміщень на різних стадіях охолодження, включаючи моменти закінчення зниження температури (всі варіанти) і закінчення витримки при температурі 500 ° С (варіанти 3 і 4).

3.2 Радіальні напруження при паянні міді з графітом

На рис. 3.2 показані поля радіальних напружень σ_x , для різних варіантів охолодження та витримки. 1 – 5.

Проаналізувавши поля напружень, видно що стискаючі напруження у варіанті 1, найбільші серед усіх зразків, та досягають -613 МПа. Напруження розтягу в також найбільші, максимальні значення становлять 1280 МПа.

Варіант 2 показав кращі результати, максимальні розтягуючі напруження зменшились до 573 МПа, а стискаючі напруження досягли -501 МПа.

У варіанті 3, максимальні напруження як розтягу так і стиску менше, ніж у попередніх двох варіантах, це зумовлено поступовим зниженням температури до 500°C протягом 60с і подальшій витримці при 500°C протягом 6000с. Максимальні стискаючі напруження -427 МПа. Розтягуючі напруження досягли 391 МПа, що також менше ніж у варіанта 1 та 2.

					MP 8.132.6121м.02.05. ПЗ	Арк
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

NODAL SOLUTION
 STEP=1
 SUB =16
 TIME=60
 SX (AVG)
 RSYS=0
 DMX =.132E-03
 SMN =-.501E+08
 SMX =.573E+08

2

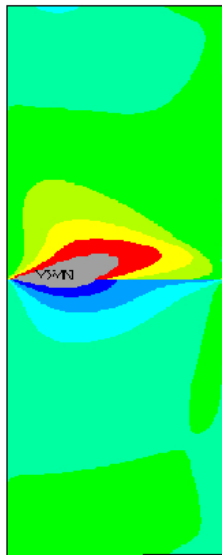


Рисунок 3.2 Поля радіальних напружень σ_x у варіантах 1-5

Для варіанта 4 збільшили час поступового зниження температури до 600с, а час витримки залишився незмінним. Поля напружень майже не змінились, в порівнянні з варіантом 3, але їх сила зменшилась. Максимальні зжимаючі напруження майже досягають -400 МПа, а розтягуючі 363 МПа. Це значно нижче ніж у попередніх трьох варіантів.

У варіанті 5 прибрати витримку, а поступове зниження температури після паяння збільшили до 6000с. Змінився характер розподілу напружень, область їх виникнення розподілилась по ширині паяного з'єднання, але максимальні стискаючі напруження досягли -358 МПа, а напруження на розтяг – 356 МПа.

Отже, якщо порівнювати усі варіанти, то у варіанті 5 найменші радіальні напруження, а значить – збільшення часу поступового зниження температури допомогло їх зменшити.

Осьові напруження

На рис 3.3 показані поля осьових напружень σ_y , усіх 5-ти варіантів охолодження і витримки.

Аналіз полів показав, що стискаючі напруження у варіанті 1 найбільші і досягають -2570 МПа. Максимальне значення напружень розтягу 431 МПа.

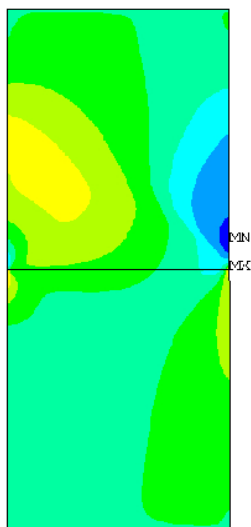
Варіант 2 показав що, максимальні розтягуючі напруження зменшились до 425 МПа, а стискаючі напруження досягли -521 МПа.

Розглянувши поля напружень варіанта 3, видно що напруження як стискаючі так і розтягуючі стали більше ніж у попередніх варіантах і становлять -323 МПа та 447 МПа, відповідно

Стискаючі напруження варіанта 4 були трохи більшими ніж у варіанті 3, і дорівнювали -332 МПа. Однак розтягуючі напруження стали менше, і становили 390 МПа

Найменші напруження розтягу отримали у варіанті 5, які досягали 250 МПа, але стискаючі напруження зросли до -444 МПа, що більше ніж у варіантах 3 та 4, але менше ніж у 1 та 2.

NODAL SOLUTION
STEP=4
SUB =100
TIME=6000
SY (AVG)
RSYS=0
DMX =.136E-03
SMN =-.332E+08
SMX =.390E+08



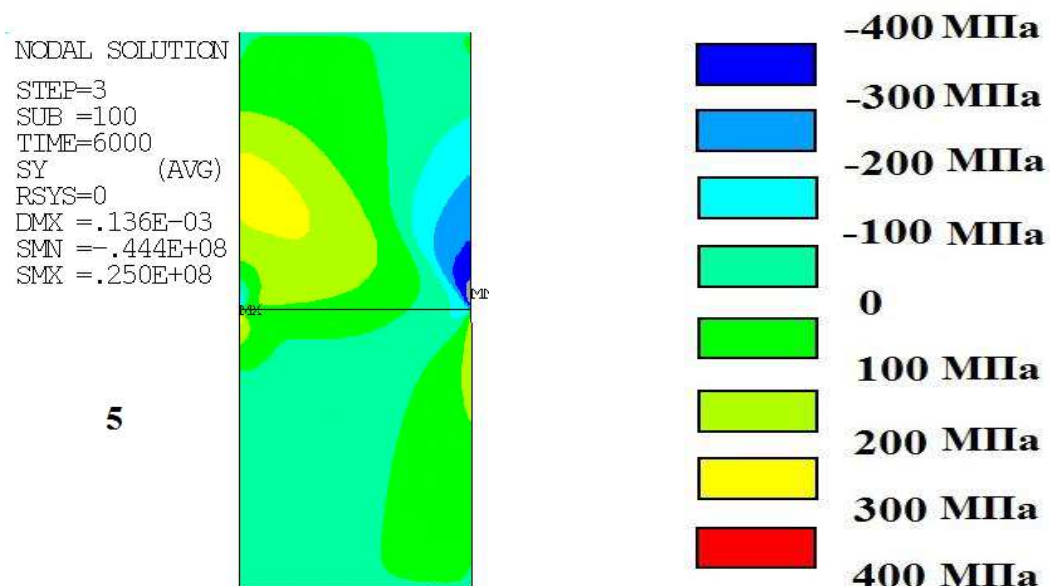


Рисунок 3.3 Поля осевих напружень σ_y у варіантах 1-5

3.4 Тангенціальні напруження

Проаналізувавши поля σ_z на рис.3.4, видно що напруження у варіанті 1 найбільші серед усіх зразків. Максимальні значення стискаючих напружень становлять -502 МПа. Розтягуючі напруження досягли значення 1240 МПа.

Варіант 2 показав кращий результат ніж у попередньому зразку, розтягуючі напруження помітно зменшились до 755 МПа. Максимальні значення стискаючих напружень становили -522 МПа.

У варіанті 3, завдяки поступовому зниженню температури та витримці, вдалося знизити напруження стиску до -406 МПа, а також значно знизилась розтягуючі напруження до 454 МПа.

Варіант 4 дав кращий результат за розтягуючими напруженнями, завдяки збільшенню часу охолодження, і це призвело їх зниження до 424 МПа, також зменшились стискаючі напруження до -392 МПа,

З прибиранням витримки після паяння, але збільшенням часу поступового зниження температури до 6000с, у варіанті 5, отримали найменші стискаючі напруження які становлять -386 МПа, однак розтягуючі напруження зросли і досягли 430 МПа.

					MP 8.132.6121м.02.05. ПЗ	Арк
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.5 Еквівалентні напруження

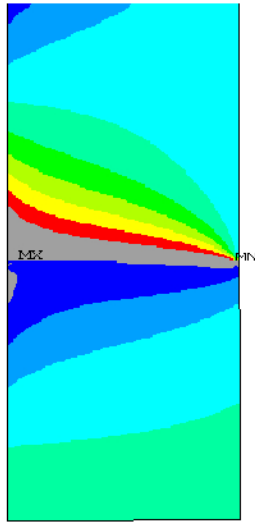
Аналіз полів еквівалентних напружень секв, (рис 3.5) показав що у варіанті 1, напруження найбільші серед усіх зразків, максимальне значення якого досягли 3380 МПа, а мінімальне 15,6 МПа

У варіанті 2 максимальні напруження значно знизились, в порівнянні з варіантом 1, і становили 726 МПа

Варіант 3 не дав значного зменшення еквівалентних напружень, максимальні – 702 МПа, мінімальні – 14,6 МПа

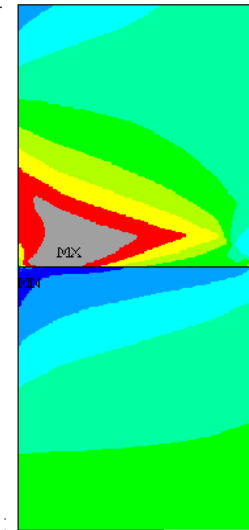
					MP 8.132.6121м.02.05. ПЗ	Арк
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

NODAL SOLUTION
 STEP=1
 SUB =10
 TIME=60
 SZ (AVG)
 RSYS=0
 DMX =.129E-03
 SMN =-.692E+08
 SMX =.124E+09



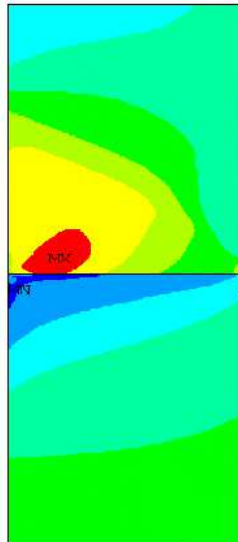
1

NODAL SOLUTION
 STEP=1
 SUB =16
 TIME=60
 SZ (AVG)
 RSYS=0
 DMX =.132E-03
 SMN =-.502E+08
 SMX =.755E+08



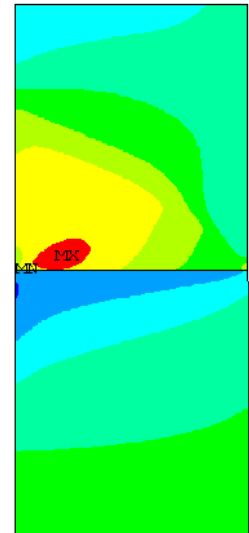
2

NODAL SOLUTION
 STEP=4
 SUB =100
 TIME=6000
 SZ (AVG)
 RSYS=0
 DMX =.135E-03
 SMN =-.406E+08
 SMX =.454E+08



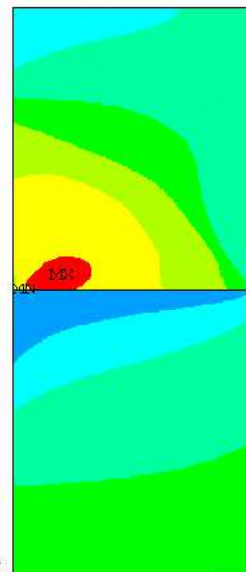
3

NODAL SOLUTION
 STEP=4
 SUB =100
 TIME=6000
 SZ (AVG)
 RSYS=0
 DMX =.136E-03
 SMN =-.392E+08
 SMX =.424E+08



4

NODAL SOLUTION
 STEP=3
 SUB =100
 TIME=6000
 SZ (AVG)
 RSYS=0
 DMX =.136E-03
 SMN =-.386E+08
 SMX =.430E+08



5

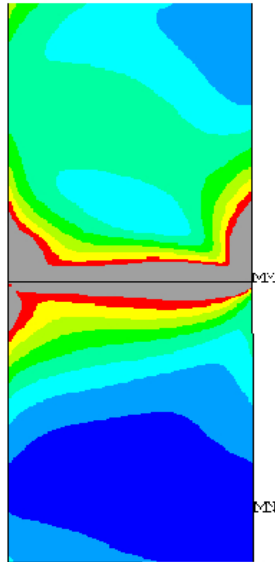


Рисунок 3.4 Поля тангенціальних напружень σ_z у варіантах 1-5

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

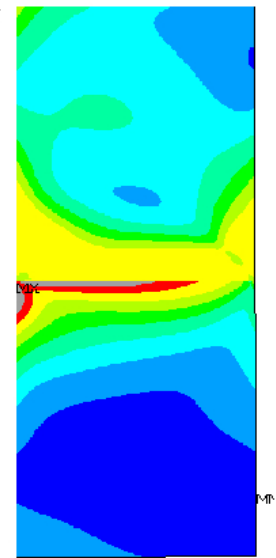
NODAL SOLUTION
 STEP=1
 SUB =10
 TIME=60
 SEQV (AVG)
 DMX =.129E-03
 SMN =.156E+07
 SMX =.338E+09

1



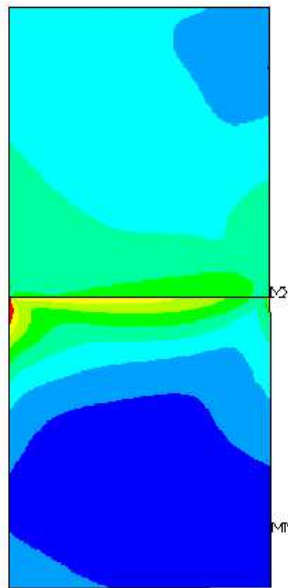
NODAL SOLUTION
 STEP=1
 SUB =16
 TIME=60
 SEQV (AVG)
 DMX =.132E-03
 SMN =.155E+07
 SMX =.726E+08

2



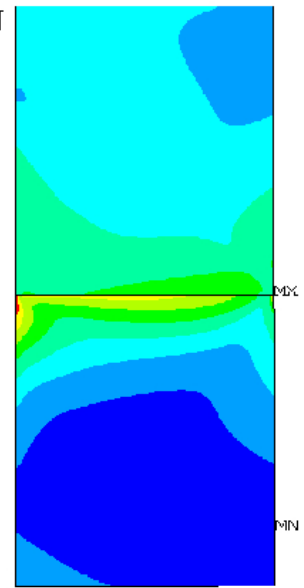
NODAL SOLUTION
 STEP=4
 SUB =100
 TIME=6000
 SEQV (AVG)
 DMX =.135E-03
 SMN =.146E+07
 SMX =.702E+08

3



NODAL SOLUTION
 STEP=4
 SUB =100
 TIME=6000
 SEQV (AVG)
 DMX =.136E-03
 SMN =.143E+07
 SMX =.647E+08

4



NODAL SOLUTION
 STEP=3
 SUB =100
 TIME=6000
 SEQV (AVG)
 DMX =.136E-03
 SMN =.133E+07
 SMX =.528E+08

5

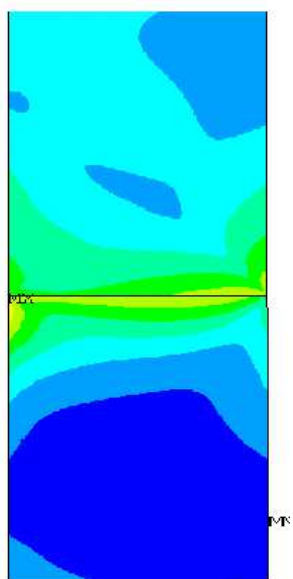


Рисунок 3.5 Поля еквівалентних напружень $\sigma_{екв}$ для варіантів 1-5

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Розглянувши поля варіанта 4, видно що завдяки збільшенню часу охолодження та найбільшій витримці після паяння, максимальні еквівалентні напруження знизились до 647 МПа.

Найкращий результат показав варіант 5, за рахунок поступового охолодження протягом 6000с, і його максимальні напруження досягли – 528 МПа.

3.6 Епюри радіальних переміщень точок на зовнішній поверхні

Аналіз епюр радіальних переміщень точок зовнішньої поверхні (рис. 3.6) показав, що характер вигину в цілому зберігається таким же, як і при однаковій жорсткості з'єднаних матеріалів, але помітно порушуються їх кососиметрії відносно площині стику при пружному навантаженні (вар. 1). Утворююча з боку більш жорсткого матеріалу (міді) згинається менше, наближаючись до стану при вільного скорочення (пунктирна лінія). З боку менш жорсткого матеріалу (графіту) все навпаки, вигин помітно збільшується.

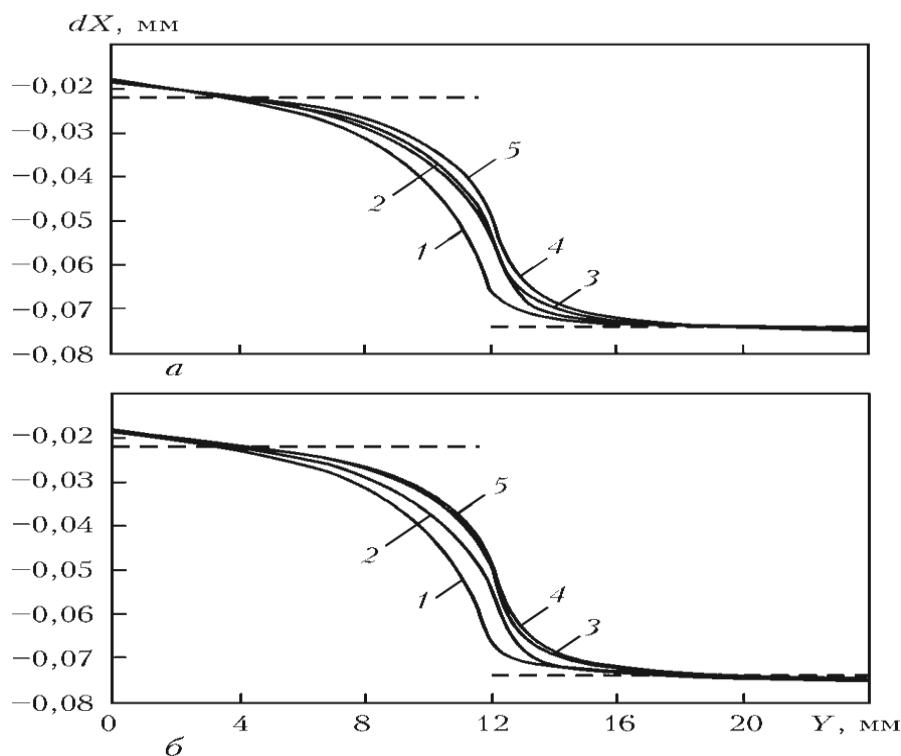


Рисунок 3.6 Епюри радіальних переміщень точок зовнішньої поверхні після охолодження (а), та після охолодження і витримки (б)

					MP 8.132.6121м.02.05. ПЗ	Арк 46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При виникненні миттєвих, пластичних і деформацій повзучості (вар. 2-5), вигин в більш жорсткому, але пластичному, матеріалі (мідь) збільшується, а в менш жорсткому пружному матеріалі (графіт) зменшується, форма вигину утворюючої наближається до симетричної. Тобто, короточасні пластичні деформації, що розвиваються при швидкому охолодженні і деформації повзучості (вар. 3-5) компенсують більш високу жорсткість міді в пружному стані в порівнянні з графітом, вирівнюючи деформації зовнішньої поверхні в районі стику.

3.7 Епюри радіальних переміщень точок на внутрішній поверхні

Характер радіального переміщення точок внутрішньої бокової поверхні більш складний (рис. 3.7). Опукла частина поверхні графіту (матеріалу з меншим ТКЛР) в безпосередній близькості від стику (1 ... 2 мм) поступово переходить в увігнуту по мірі віддалення від нього. У міді (матеріалі з великим ТКЛР) навпаки, увігнута поверхню поблизу стику поступово переходить в опуклу при видаленні від нього.

Така складна форма вигину утворюючої на внутрішній поверхні втулки в роботі [4] пояснюється зустрічним впливом двох факторів. З одного боку це різниця взаємного переміщення верхньої і нижньої частин втулки внаслідок різних діаметрів, з іншого боку - різна зміна ширини перерізу при температурному скороченні матеріалів верхньої (металевої) і нижньої (графітової) частин вузла.

Взаємне переміщення верхньої і нижньої частин втулок призводить до утворення опуклості на зовнішньої і увігнутості на внутрішній поверхні матеріалу з меншим ТКЛР (графіту). Внаслідок різної зміни ширини на обох поверхнях утворюється опуклість. В результаті одночасної дії обох факторів, характер викривлення зовнішньої поверхні, тобто, опуклість назовні, зберігається, а внутрішньої помітно змінюється.

					MP 8.132.6121м.02.05. ПЗ	Арк
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вплив двох механізмів переміщень підтверджується також відсутністю симетрії полів пластичних деформацій і епюр дотичних напружень щодо середини товщини втулки. Кількісною характеристикою впливу зсуву частин втулки може служити рівень дотичних напружень посередині товщини втулки (близько 20 МПа). При зміні режиму охолодження характер вигину внутрішньої поверхні зберігається, але величина переміщень зменшується при зниженні швидкості охолодження (вар. 3-5). При подальшій витримці відмінність в переміщеннях зменшується (рис. 3.7).

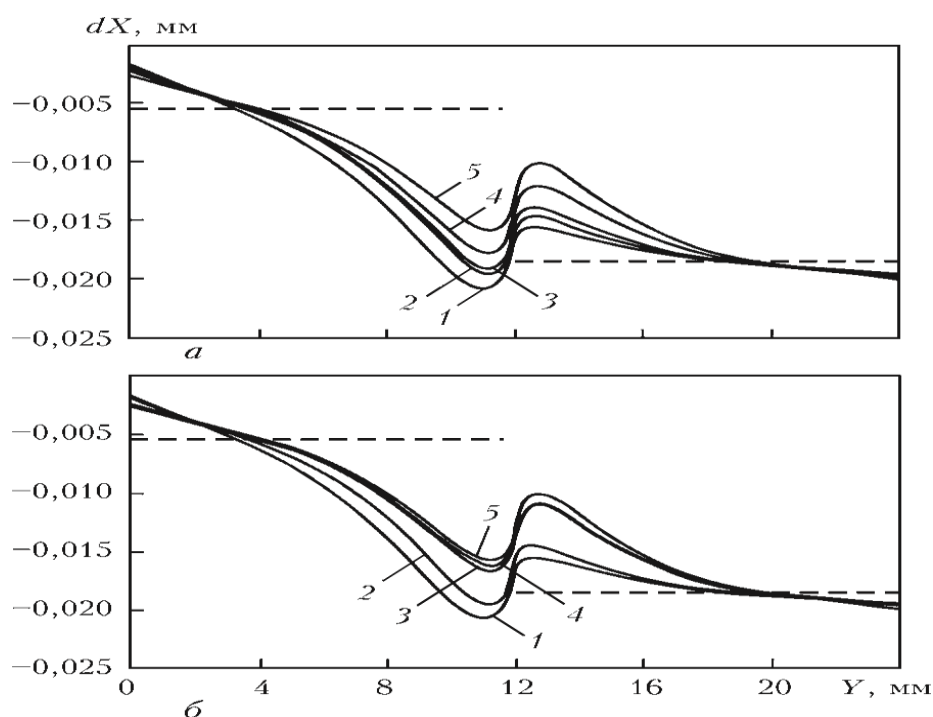


Рисунок 3.7 Епюри радіальних переміщень точок внутрішньої поверхні після охолодження (а), та після охолодження і витримки (б)

3.8 Епюри осьових переміщень точок на зовнішній поверхні

На зовнішній поверхні вникають стискаючі напруження у верхньої мідної втулки (з великим ТКЛР) і розтягуючі в нижній графітовій (з меншим ТКЛР) (рис. 3.8). Після охолодження в усіх варіантах максимальної величини (14 МПа) розтягуючі напруження досягають поблизу стику, на відстані

2...3мм, і поступово зменшуються до 2-х разів по мірі наближення до нього (рис. 3.8, а).

Подальша витримка при 500 °С в варіантах 3 і 4, коли до короточасних деформацій додаються деформації повзучості, призводить до того, що максимальні напруження в графіті у стику, навпаки, різко зростають до 30-35МПа (рис. 10, б), точка максимуму впритул наближається до стику.

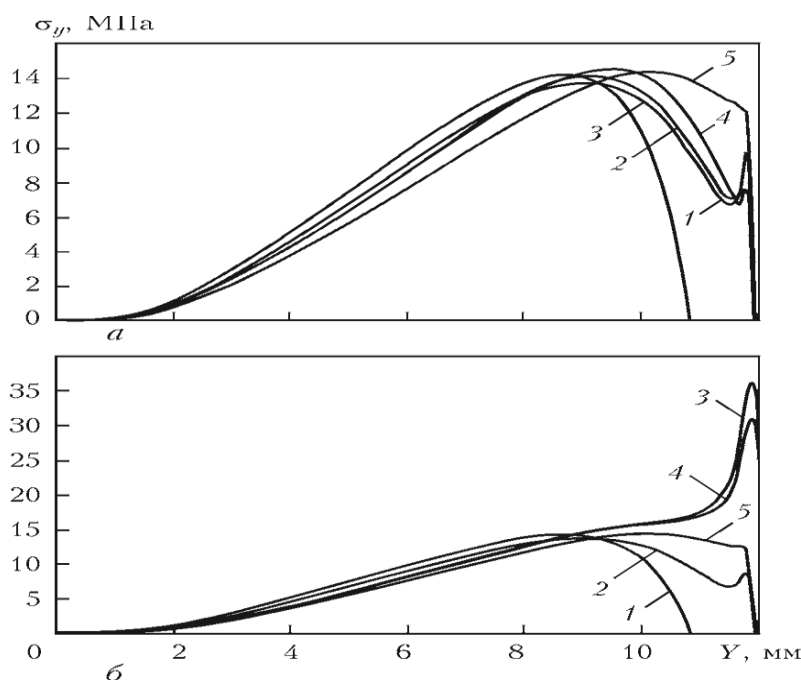


Рисунок 3.8 Епюри осьових переміщень точок зовнішньої поверхні після охолодження (а), та після охолодження і витримки (б)

3.9 Епюри осьових переміщень точок на внутрішній поверхні

На внутрішній поверхні розподіл більш складний (рис. 3.9). У нижній графітовій втулці осьові напруження поблизу стику - розтягуючі, вони поступово зменшуються до нуля (на відстані 2 ... 3 мм від стику) і переходять в стискаючі в міру віддалення від стику, потім знову зменшуються до нуля на торці.

Для зручності порівняння варіантів в табл. 3.2 і на рис. 3.10 наведені значення і діаграми максимальних напружень розтягуючих напружень в графіті після охолодження до 500 °С і витримки при цій температурі до 6000 с.

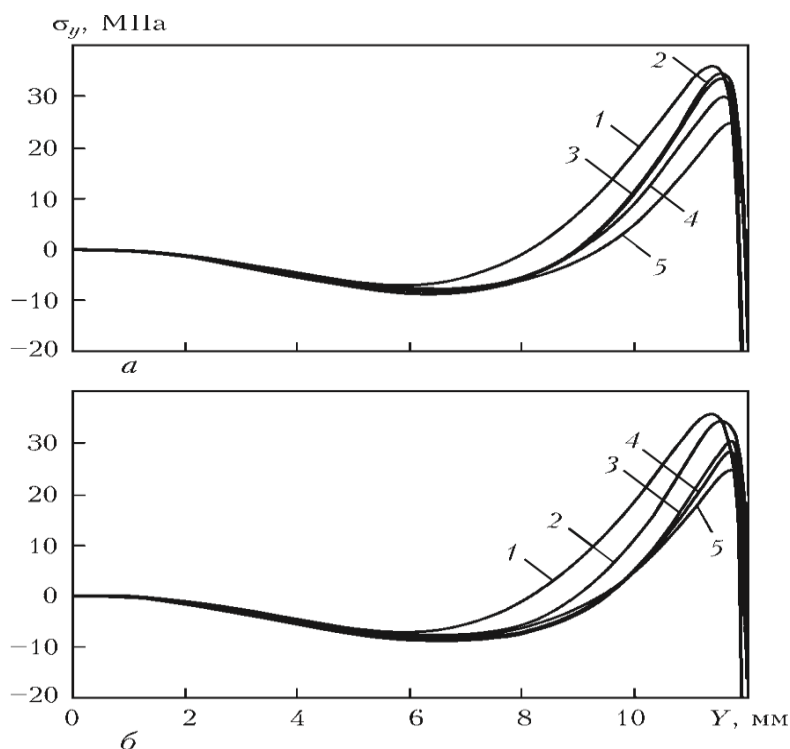


Рисунок 3.9 Епюри осьових переміщень точок внутрішньої поверхні після охолодження (а), та після охолодження і витримки (б)

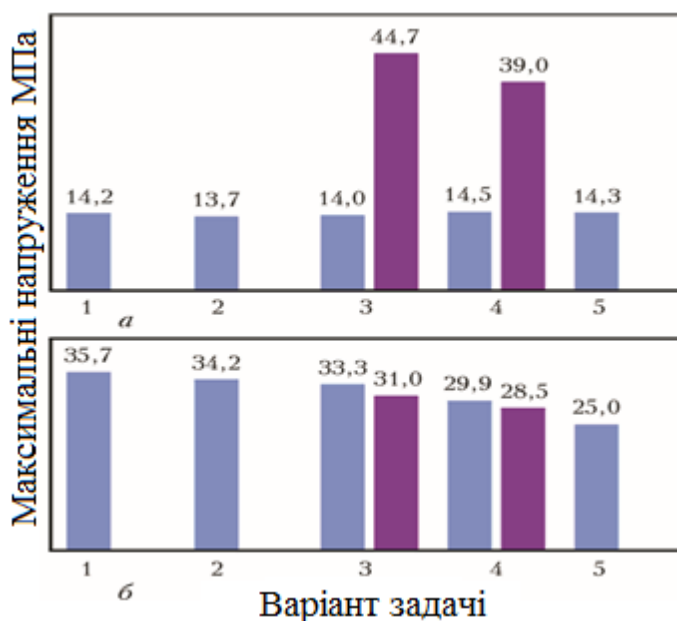


Рисунок 3.10 Максимальні напруження розтягу на зовнішньої (а) і внутрішньої (б) поверхнях графіту в варіантах 1 ... 5 після охолодження до 500 °С і витримки (вар. 3 і 4) при цій температурі

Таблиця 3.2 Максимальні розтягуючі напруження в графіті

Варіант	Максимальні розтягуючі напруження в графіті, МПа			
	на зовнішній поверхні		на внутрішній поверхні	
	Кінець охолодження	Кінець витримки	Кінець охолодження	Кінець витримки
1	14,2	-	35,7	-
2	13,7	-	34,2	-
3	14,0	44,7	33,3	31,0
4	14,5	39,0	29,9	28,5
5	14,3	14,3	25,0	25,0

Висновки

Аналіз епюр показує, що з точки зору утворення тріщин в графіті після охолодження, найбільш небезпечна внутрішня поверхня, де у всіх варіантах, крім 5, максимальні напруження розтягу наближаються до межі міцності графіту на вигин (45 МПа для графіту МПГ-8 і 34,3 МПа для графітів МПГ-6 і МПГ-7). Для зовнішньої поверхні небезпечними є варіанти 3 і 4, при яких витримка після охолодження призводить до великих розтягуючих напружень.

Проаналізувавши епюри напружень, видно що оптимальним, з точки зору зниження ризику утворення тріщин в графіті після охолодження до 500 °С, слід вважати варіант 5 (поступове зниження температури з 900 до 500 °С протягом 6000 с), при якому розтягуючі напруження не перевищують 25 МПа.

Варіанти з швидким охолодженням і наступною витримкою недоцільні, тому що при них утворюються великі напруження на зовнішній поверхні графіту.

4. Охорона праці

Верховна Рада України 14 жовтня 1992 р. прийняла Закон України "Про охорону праці".[9] Цей закон визначає основні положення по реалізації Конституційного права громадян на охорону їхнього життя і здоров'я в процесі їхньої трудової діяльності, регулює при участі відповідних державних органів відносини між власником підприємства, установи, організації чи уповноваженим органом і працівником з питань безпеки, гігієни праці і виробничого середовища і встановлює єдиний порядок організації охорони праці в Україні.

Специфічною особливістю українського закону, що регламентує правову основу охорони праці, є високий рівень прав і гарантій працівникам.

У Законі України "Про охорону праці" задекларовані основні принципи державної політики в області охорони праці:

- пріоритет життя і здоров'я працівників стосовно результатів виробничої діяльності підприємства;
- повна відповідальність роботодавця за створення безпечних і нешкідливих умов праці;
- обов'язковий соціальний захист працівників, повне відшкодування збитку особам які постраждали від нещасних випадків на виробництві і професійних захворювань;
- використання економічних методів керування охороною праці, проведення політики пільгового оподаткування, що сприяє створенню безпечних і нешкідливих умов праці;
- комплексне рішення задач охорони праці на підставі національних програм з цих питань і з урахуванням інших напрямків економічної і соціальної політики, досягнень в області науки і техніки й охорони навколишнього середовища;
- установлення єдиних нормативів по охороні праці для всіх підприємств, незалежно від форм власності і видів їхньої діяльності;

					MP 8.132.6121м.02.05. ПЗ	Арк
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- здійснення навчання населення, професійної підготовки і підвищення кваліфікації працівників з питань охорони праці;
- співробітництво і проведення консультації між роботодавцями і профспілками (представниками трудових колективів) при прийнятті рішень про охорону праці;
- міжнародне співробітництво в області охорони праці, використання світового досвіду організації роботи з поліпшенням умов і підвищення безпеки праці.

Для реалізації цих принципів була створена Національна Рада з питань безпечної життєдіяльності при кабінеті Міністрів України, Держнаглядохоронпраці, Національний науко-дослідний інститут праці, учбово-методичний Центр Держнаглядохоронпраці. Розроблені і реалізуються національна, галузева, регіональні і виробничі програми поліпшення стану безпеки, гігієни праці виробничого середовища. В обласних, районних, міських органах виконавчої влади функціонують служби охорони праці.

Потенційні небезпеки і шкідливі чинники при дифузійному зварюванні і паянні

При паянні існує можливість небезпечних впливів на працівників цеху у зв'язку з наступними факторами:

- ураження електричним струмом при дотику людини до струмоведучих частин електричного ланцюга;
- опіки від крапель розплавленого металу і шлаку при зварюванні і різці;
- отруєння шкідливими газами, що виділяються при зварюванні і при забрудненні пилом і випарами різних речовин;
- дія шуму;
- травми пов'язані із складальними і транспортними операціями;
- травмонебезпечність від роботи підйомно-транспортного устаткування.

					МР 8.132.6121м.02.05. ПЗ	Арк
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Пожежна безпека

Застосування відкритих дуг, наявність бризок рідкого металу й шлаків при зварюванні підвищує небезпеку виникнення пожеж.

Також небезпека виникнення пожеж може виникнути через необережне поводження з вогнем при виробничих процесах, порушень правил перевезення легкозаймистих вантажів і зберігання небезпечних матеріалів, несправності електропроводки, самозаймання матеріалів, незадовільного стану вентиляційних систем.

Для визначення потреби в протипожежному устаткуванні й первинних засобах розроблені спеціальні норми. На механізованій ділянці необхідно встановити вогнегасники ОХП-10 і ящики з піском (кожні 200 м), а також вуглекислотні вогнегасники ОУ-5.

З персоналом повинен проводитися щомісячний інструктаж з пожежної безпеки з оцінкою й розписом, інструктованих у спеціальному журналі відповідно до ДНАОП 0.00-4.12-99 „Типове положення про навчання з питань охорони праці” [10].

Запобігання небезпеки ураження електричним струмом. При виконанні зварювальних робіт по зварювальним дротам протікає струм, величина якого сягає 370 А при напрузі до 35В.

У результаті дії електричного струму на організм можуть бути ушкоджені:

- нервова система (електричний удар);
- шкірний покрив (опік, металізація шкіри, механічні ушкодження).

Людина починає відчувати вплив минаючого через нього струму при величині 0,6-1,5 мА, з частотою 50Гц і постійного струму 5-7мА.

З метою зменшення небезпеки ураження електричним струмом необхідно дотримання наступних заходів відповідно до ДНАОП 0.00-1.21-98 "Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів": надійна ізоляція всіх проводів, зв'язаних з живленням джерела струму і зварювальної дуги, будова герметично закритих пристроїв, що включають заземлення корпусів зварюва-

					MP 8.132.6121м.02.05. ПЗ	Арк
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

льних апаратів. Заземленню підлягають: корпуси джерел живлення, апаратного ящика, допоміжне електричне устаткування. Підключенням, відключенням і ремонтом зварювального устаткування займається тільки черговий електромонтер. Працівникам забороняється виконувати ці роботи.

У джерелах живлення застосовують автоматичні вимикачі високої напруги, які у момент холостого ходу розривають зварювальний ланцюг і подають на електродотримач напругу 12В [15]. Робота повинна проводитись в справному сухому спецодязі і рукавицях.

Запобігання небезпеки ураження бризками розплавленого металу і шлаку.

Бризки розплавленого металу, що утворюються при зварюванні, мають температуру до 1800°C, при якій одяг з будь-якої тканини руйнується. Для захисту від таких бризок, відповідно до нормативних документів НАОП 1.4.74-2.23-87

ОСТ 5.0496-87 "Засоби індивідуального захисту працюючих. Порядок забезпечення" звичайно використовують спецодяг (штани, куртку, рукавиці) із брезентової тканини або шкіри.

Куртки при роботі не слід вправляти в штани, а взуття повинно мати гладкий верх, щоб бризки розплавленого металу не попадали у середину, тому що в цьому випадку можливі тяжкі опіки [10].

Запобігання отруєнню шкідливими газами й аерозолями, що виділяються при паянні. Висока температура дуги (4000°C-5000°C) незмінно приводить до того, що частина зварювального дроту, покриття, флюсів переходить у газоподібний стан. Ці пари, потрапляючи в атмосферу цеху, конденсуються і перетворюються в аерозоль конденсації, частки якого по дисперсності наближаються до димів і легко попадають у дихальну систему зварників. Ці аерозолі представляють головну професійну небезпеку праці зварників (ДСТ 12.1.007-76 "Шкідливі речовини. Класифікація і загальні вимоги безпеки").

					MP 8.132.6121м.02.05. ПЗ	Арк
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Поряд з пилом в разі дугового зварювання також утворюються і виділяються газоподібні продукти. Для уловлювання зварювального аерозолі потрібно встановити місцеві відсмоктувачі у виді витяжної шафи, вертикальної чи похилої панелі рівномірного відсмоктування, столи, в яких відсмоктувач знаходиться під решіткою та ін. При зварюванні на стапелі застосовують переносну вентиляційну установку (ПВУ) з місцевим відсмоктуванням газів.

Якщо в цеху витрата зварювальних матеріалів перевищує 0,2 г/ч на 1м³ об'єму будівлі, повинна бути влаштована механічна загальнообмінна витяжна вентиляція (НАОП 1.4.74-4.08-78 "Вентиляція й опалення суднобудівних цехів").

Методи і засоби захисту від шуму. Сильний шум шкідливо відбивається на здоров'ї і працездатності людини. Шум у 30-40дБА в нічний час може з'явитися серйозним фактором, який турбує оточуючих. Зі збільшенням рівня до 70дБА і вище шум може робити значний вплив фізичний вплив на людину, приводячи до видимих змін у її організмі. Під впливом шуму, що перевищує 85-90дБА, у першу чергу знижується слухова чутливість на високих частотах. При дії шуму дуже високих рівнів (більш 145дБА) можливий розрив барабанної перетинки.

Граничні величини шуму на робочих місцях регламентуються ГОСТ 12.1.003-86. В ньому закладено принцип встановлення певних параметрів шуму, виходячи з класифікації приміщень за їх використанням для трудової діяльності різних видів.

Засоби захисту від шуму підрозділяють на засоби колективного й індивідуального захисту. Міри відносного зниження шуму варто передбачити на стадії проектування промислових об'єктів і устаткування.

Особливу увагу варто звертати на винос гучного устаткування в окреме приміщення. Що дозволяє зменшити число працівників працюючих в умовах підвищеного шуму і здійснювати міри щодо зниження шуму з мінімальними витратами засобів, устаткування і матеріалів. Боротьба із шумом у джерелі його виникнення - найбільш діючий спосіб боротьби із шумом. Створюються

					MP 8.132.6121м.02.05. ПЗ	Арк
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

малошумні механічні передачі, розроблюються способи зниження шуму в підшипникових вузлах, вентиляторів. Акустичні засоби захисту від шуму підрозділяються на засоби звукоізоляції, звукопоглинання і глушители шуму.

Сутність методу звукоізоляції полягає в тому, що об'єкт, випромінюючий шум, або декілька найбільш гучних об'єктів розташовується окремо, ізольовано від основного, менш гучного обладнання в окремому приміщенні, із звукоізолюваною стіною або перегородкою. Звукоізоляція досягається також шляхом розташування оператора в спеціальній кабіні, звідки він спостерігає і керує технологічним процесом.

Звукопоглинання досягається за рахунок переходу коливальної енергії в теплоту, внаслідок втрат на тертя в поглиначі звуку. Звукопоглинальні матеріали і конструкції, призначені для поглинання звуку ж у приміщеннях із джерелом, так і в сусідніх приміщеннях. Втрати на тертя найбільш значні в пористих матеріалах, які внаслідок цього і використовуються для звукопоглинання.

Глушители шуму застосовуються в основному для зниження шуму в різних аеродинамічних установках.

У праці боротьби із шумом використовують глушители різних конструкцій, вибір яких залежить від конкретних умов кожної установки, спектра шуму і необхідного рівня ступеня зниження шуму.

Глушители розділяються на абсорбційні, реактивні і комбіновані. Абсорбційні глушители, що містять звуковбирний матеріал, поглинають звукову енергію, що надійшла в них, а реактивні відбивають її назад до джерела. У комбінованих глушителях відбувається ж поглинання так і відображення звуку.

4.1 Вимоги охорони праці при паянні

Роботодавець повинен створити для кожного працівника безпечні і нешкідливі умови праці шляхом належного облаштування робочих місць відповідно до Загальних вимог стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників, затверджених наказом Міністерства надзвичайних ситуацій

					MP 8.132.6121м.02.05. ПЗ	Арк
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

України від 25 січня 2012 року № 67, зареєстрованих у Міністерстві юстиції України 14 лютого 2012 року за № 226/20539 (НПАОП 0.00-7.11-12). [10]

Вимоги охорони праці під час паяння виробів в замкнутах об'ємах

Паяння виробів в замкнутах об'ємах (котлах, резервуарах, печах) повинні виконувати не менше ніж два працівники. Для здійснення контролю безпечного проведення робіт один з працівників має перебувати за межами замкнутого об'єму.

Працівник, що виконує роботи в замкнутому об'ємі, повинен застосовувати запобіжний пояс з канатом, кінець якого має знаходитися в іншого працівника (спостерігача), що перебуває поза замкнутим об'ємом.

Паяння виробів в замкнутах об'ємах необхідно виконувати при працюючій місцевій припливно-витяжній вентиляції.

Не дозволяється паяти вироби, що знаходяться під тиском, та виконувати паяння на відстані менше 5 м від легкозаймистих і вогненебезпечних матеріалів.

Під час паяння в замкнутах об'ємах не дозволяється використання припоїв, що містять кадмій.

Вимоги охорони праці під час газополуменевого паяння

Обладнання та апаратура, що застосовуються для газополуменевого паяння виробів, повинні відповідати вимогам ГОСТ 12.2.008-75 «Система стандартів безпеки праці. Обладнання та апаратура для газопламенно-обробки металів і термічного напылення покриттів. Вимоги безпеки», ГОСТ 12.3.036-84 «Система стандартів безпеки праці. Газопламенна обробка металів. Вимоги безпеки».

Газополуменеве паяння усередині виробничих приміщень необхідно виконувати на спеціально обладнаних робочих місцях або в кабінах. Стационарне

					MP 8.132.6121м.02.05. ПЗ	Арк
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

робоче місце повинно бути обладнане пристроєм для утримання та переміщення деталі для паяння та стійкою з гачком для підвішування пальників під час перерви у роботі.

Під час запалювання пальної суміші в пальнику необхідно відкрити вентиль подачі кисню, а потім вентиль подачі пального газу. Перекриття подачі газів необхідно виконувати закриттям вентилів у зворотному порядку. У разі виникнення зворотного полум'я необхідно закрити вентилі на пальнику і охолодити його, перевірити запобіжний пристрій та продути рукави.

Полум'я під час запалювання горючої суміші в пальнику повинно бути спрямоване в протилежний від газових балонів бік.

Під час газополуменевого паяння необхідно користуватися рукавами відповідно до вимог ГОСТ 9356-75 «Рукава резиновые для газовой сварки и резки металлов. Технические условия».

Газополуменеве паяння в замкнутих об'ємах необхідно виконувати за умови наявності не менше двох отворів (люків) та розташування системи газопостачання поза замкнутим об'ємом.

Вимоги охорони праці під час індукційного паяння

Електротермічні установки для індукційного паяння повинні відповідати вимогам ГОСТ 12.2.007.10-87, ГОСТ 12.2.007.9-88.

Експлуатацію електротермічних установок для індукційного паяння необхідно здійснювати згідно з вимогами Правил охорони праці при термічній обробці металів, затверджених наказом Державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду від 18 грудня 2007 року № 315, зареєстрованих у Міністерстві юстиції України 28 січня 2008 року за № 66/14757 (НПАОП 28.5-1.02-08), та ГОСТ 12.4.123-83 «Система стандартів безпеки праці. Средства коллективной защиты от инфракрасных излучений. Общие технические требования».

					MP 8.132.6121м.02.05. ПЗ	Арк
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Установки для індукційного паяння повинні бути обладнані блокувальними пристроями, що унеможливають пуск установки в разі відсутності води в системі охолодження та доступ працівників до частин, що знаходяться під напругою.

Установки для індукційного паяння, що живлять декілька робочих місць, повинні мати загальний пульт управління. Для дистанційного відключення установок аварійні вимикачі повинні бути на кожному робочому місці.

Нагрівальний індуктор повинен бути обладнаний місцевим відсмоктувачем.

Установки для індукційного паяння повинні бути обладнані блокувальними огороженнями та світловою сигналізацією.

Вимоги охорони праці під час електронно-променевого паяння

Електронно-променеві установки для захисту від рентгенівського випромінювання повинні мати захисні екрани або кожухи згідно з вимогами ГОСТ 12.4.120-83 «Система стандартів безпеки труда. Средства коллективной защиты от ионизирующих излучений. Общие технические требования».

Вакуумна система електронно-променевої установки повинна мати аварійні пристрої відключення і сигналізацію, що дає змогу ізолювати дифузійний і форвакуумний насоси від відкачуваного обсягу в разі відключення силової напруги або падіння вакууму в робочій порожнині паромасляного насоса.

Для спостереження за процесом паяння в електронно-променевих установках повинен бути оптичний пристрій зі світлофільтрами для захисту очей працівника при налаштуванні електронного променя.

Оглядові вікна для спостереження за процесом паяння в електронно-променевих установках повинні мати рентгенозахисне скло.

					MP 8.132.6121м.02.05. ПЗ	Арк
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Електронно-променеві установки повинні бути обладнані сигнальними лампами або табло, яке світиться, із зазначенням наявності або відсутності високої напруги на установці.

Відкриті струмопровідні частини електронно-променевої гармати електронно-променевої установки, що перебувають під час роботи під напругою, повинні мати блокувальний пристрій для відключення електроживлення гармати у разі зняття захисного пристосування установки.

Баки випрямлячів з масляним охолодженням електронно-променевої установки повинні мати клапани для виходу газів, що накопичуються всередині бака.

Маховики, рукоятки і кнопки на пульті керування електронно-променевих установок повинні бути з діелектричного матеріалу. Біля електронно-променевих установок повинні бути діелектричні килимки.

Працівники, які обслуговують електронно-променеві установки, повинні бути забезпечені відповідними засобами захисту, які відповідають вимогам ГОСТ 12.4.120-83 «Система стандартів безпеки труда. Средства коллективной защиты от ионизирующих излучений. Общие технические требования».

На ділянку електронно-променевого паяння складальні деталі необхідно доставляти з підготовленою поверхнею.

Роботу на електронно-променевих установках необхідно виконувати за наявності в приміщенні не менше двох працівників.

Протирати внутрішню поверхню і перебувати всередині камери електронно-променевої установки дозволяється за умови відключення високовольтного джерела живлення. На комутаційному апараті повинні бути попереджувальні плакати.

					MP 8.132.6121м.02.05. ПЗ	Арк
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Очищення внутрішньої поверхні камери електронно-променевої установки необхідно виконувати при відкритій кришці.

Вимоги охорони праці під час ультразвукового паяння

Паяння складальних одиниць і деталей необхідно виконувати відповідно до вимог ГОСТ 12.1.001-89 та ГОСТ 12.4.077-79.

Завантаження деталей в ультразвукові ванни для паяння необхідно виконувати в сітках або перфорованих ванночках з ручками з віброізолювальним покриттям.

Ультразвукові установки для паяння виробів повинні бути встановлені в ізольованих приміщеннях та закриті розсувним укриттям.

Роботи на ультразвукових генераторах необхідно виконувати згідно з вимогами ГОСТ 12.2.007.10-87.

Ультразвукові агрегати повинні мати блокувальний пристрій для відключення джерел живлення при відкриванні дверцят і кришок.

Вимоги охорони праці під час паяння лазером

Використання лазерних установок повинно відповідати вимогам ГОСТ 12.1.040-83 «Система стандартів безопасности труда. Лазерная безопасность. Общие положения».

Граничнодопустимі рівні значення напруженості та щільності потоку енергії електромагнітного поля на робочих місцях повинні відповідати вимогам ГОСТ 12.1.006-84 «Система стандартів безопасности труда. Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля».

Для короткочасного перекриття прямого лазерного випромінювання лазерні установки повинні мати екрани з вогнестійкого світлопоглинального матеріалу.

					МР 8.132.6121м.02.05. ПЗ	Арк
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вимірювання рівня лазерного опромінення необхідно здійснювати під час роботи лазера в режимі максимальної віддачі потужності.

4.2 Розрахунок місцевої вентиляції складально-зварювального цеху

Для виконання дифузійного зварювання та паяння, на робочому місці необхідне застосування місцевої вентиляції.

Переріз повітреприймного пристрою має форму кола: $d_0=0,3$ м.

Діаметр повітроводу визначимо за формулою:

$$d = \frac{F}{\pi d_0};$$
$$F = \frac{\pi d^2}{4}.$$

Підставимо значення у формулу й одержимо:

$$d = \frac{3,14(0,3)^2}{4} \cdot \frac{1}{2 \cdot 3,14 \frac{0,3}{2}} = 0,075 \text{ м.}$$

Швидкість руху повітря у повітроприймачі дорівнює:

$$V_B = \frac{V_T l^2}{k d^2},$$

де V_T - швидкість виділення шкідливих речовин у якій-небудь точці або перетині, м/с; l – відстань точки, що обмежує швидкість руху потоку, від вхідного перерізу повітроприймача, м; d – гідравлічний діаметр повітроприймача,

м.;

$$V_T = 0,5 \text{ м/с}; l = 0,09 \text{ м.}$$

$$V_B = \frac{0,3 \cdot 0,09^2}{0,07 \cdot 0,075^2} = 6 \text{ м/с.}$$

Кількість повітря, необхідне для видалення шкідливих речовин одним пилогазоприймачем дорівнює:

$$Q_H = V_B S_B \cdot 3600,$$

					MP 8.132.6121м.02.05. ПЗ	Арк
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де S_v – швидкість вхідного перерізу пилогазоприймача; V_v – швидкість руху у повітроприймачі.

$$Q_H = 95 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Загальна кількість повітря, необхідна для місцевої вентиляції:

$$Q_M = n \cdot Q_H,$$

де Q_H – кількість повітря для видалення шкідливих речовин від одного джерела, $\text{м}^3/\text{год}$; n – кількість джерел, що виділяють шкідливу речовину.

$$Q_M = 7 \cdot 95 = 665 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Схема місцевої вентиляції приведена на рис.4.1.

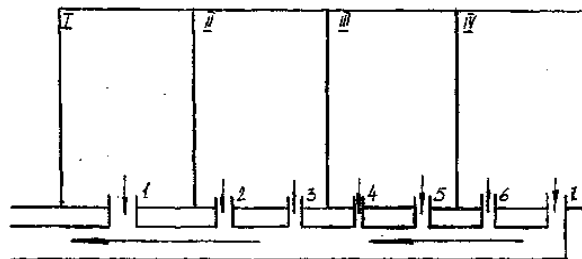


Рисунок 4.1 – Схема місцевої вентиляції

Діаметр на ділянці 1-2 визначається:

$$d_{1-2} = \sqrt{\frac{4Q_{1-2}}{3600 \pi V_v}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 665}{3600 \cdot 6 \cdot 3,14}} = 0,2 \text{ м,}$$

де Q_{1-2} кількість повітря, що проходить через ділянку 1- 2, $\text{м}^3/\text{год}$; V_v - швидкість руху повітря у повітроводі, $\text{м}/\text{год}$.

Втрати на тертя на ділянці 1-2 визначаються:

$$H_{\text{тр}} = \frac{\rho \lambda L V_v^2}{2d},$$

де $\lambda = 0,03$ - коефіцієнт гідравлічних втрат; L - довжина прямолінійної ділянки, м ;

$$L_{1-2} = 8 \text{ м. } L_{2-3} = 3 \text{ м.}$$

Звідси одержимо:

					MP 8.132.6121м.02.05. ПЗ	Арк
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$H_{mp} = \frac{1,226 \cdot 0,03 \cdot 8 \cdot 6^2}{2 \cdot 0,2} = 26,5 \text{ кгс/м}^2 = 265 \text{ Па}$$

Місцеві втрати на цій ділянці рівні:

$$H_m = \frac{\xi V_B^2 \rho}{2},$$

де $\xi = 1,2$ — коефіцієнт місцевого опору; $\rho = 1,226 \text{ кг/м}^3$ - щільність повітря.

$$H_m = \frac{0,03 \cdot 1,226 \cdot 6^2 \cdot 3}{2} = 265 \text{ Па.}$$

Для прямолінійної ділянки 2- 3 утрати на тертя:

$$H_m = \frac{0,03 \cdot 1,226 \cdot 6^2 \cdot 3}{2 \cdot 0,2} = 100 \text{ Па.}$$

Аналогічно визначимо втрати напору на всіх інших ділянках, отримані втрати просумуємо:

$$\Sigma = 109,5 \text{ кгс/м}^2 = 1095 \text{ Па.}$$

Вибираємо вентилятор ВНИИСТО серії ЗВР № 2, його дані:

$$Q = 1000 \text{ м}^3/\text{год}, N = 1 \text{ кВт}, H = 92 \text{ кг/м}^2, \eta = 0,55.$$

Коефіцієнт R у вентиляторній мережі дорівнює:

$$R = \Sigma H / Q^2,$$

де ΣH – сума втрат у системі; Q – кількість повітря, необхідне для місцевої вентиляції.

Для очищення повітря приймаємо «Циклон» НИОГаз продуктивністю $1000 \text{ м}^3/\text{год}$.

Утрати напору в «Циклоні» складають 6 кг/м^2 , тоді втрати в системі дорівнюють:

$$\Sigma H = 268,5 + 6 = 274,5 \text{ Па.}$$

$$R = 274,5 / 665^2 = 6,2 \cdot 10^{-4}.$$

					МР 8.132.6121м.02.05. ПЗ	Арк
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Заходи щодо усунення шкідливих факторів на виробництві

Отруєння при паянні можуть викликати шкідливі речовини у складі припоїв. Таке отруєння може стати при роботі в замкнених, погано провітрюваних приміщеннях. Тому, у приміщенні для дифузійного зварювання та паяння, повинна бути передбачена місцева вентиляція. Також можна використати маски з подачею повітря.

При розрахунку вентиляційних систем потрібно виходити з того, що швидкість повітря в зоні зварювання повинна бути не більше 0,3 м/с.

Збільшення витрат відсмоктуючого повітря призводить до погіршення захисту і якості зварного шва. Обмін повітря на один пост повинен складати 500-1000 м³/ч. В холодний період, повітря, яке подається в зону дихання зварника, повинне мати температуру 20-22⁰С.

Для попередження ураження робітників електричним струмом, усе устаткування, що знаходиться під напругою повинно бути заземлено або занулено та позначено попереджувальними знаками « обережно висока напруга ».

При роботі з деталями при складанні-зварюванні виробів не допускається працювати без захисного одягу, взуття та рукавиць. У разі роботи по зачищенню зварних швів робітник повинен працювати у респіраторі і захисній масці, що протидіє попаданню частинок у очі та дихальну систему робітника.

Зварювальники та газорізальники повинні працювати у захисних масках або окулярах з світлофільтром необхідного рівня, який попереджає ураження очей робітника випромінюванням.

При наявності в робочій зоні шуму, що перевищує допустимі норми, усі працюючі повинні працювати у шумозахисних навушниках або берушах.

Для попередження травмування працівників падаючими або переміщуючими краном деталями, усі працівники на виробництві повинні знаходитись у захисних касках та спеціальному протиударному взутті.

					MP 8.132.6121м.02.05. ПЗ	Арк
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки

1. Аналізували потенційні небезпеки і шкідливі чинники при дифузійному зварюванні та паянні.
2. Визначили основні вимоги до робочого місця.
3. Розрахували систему місцевої вентиляції на поточній механізованій лінії дозволить здійснити захист робітників у процесі роботи від впливу шкідливих речовин, що виділяються при паянні, також підібрано необхідний вентилятор для системи вентиляції.
4. Визначили основні джерела шуму і виявили способи захисту від шуму для робітників.
5. Визначились з заходами усунення шкідливих факторів на виробництві.

					MP 8.132.6121м.02.05. ПЗ	Арк
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Загальні висновки

1. З'єднання графіту з металами викликається економічними міркуваннями, а також необхідністю реалізації позитивних властивостей графіту. Паяння є найбільш технологічним і економічно вигідним методом з'єднання графітових матеріалів, що забезпечує отримання високоміцних, електропровідних і герметичних з'єднань.

2. При паянні міді з графітом виникають внутрішні напруження обумовлені різними ТКЛР. Для зменшення напружень було досліджено 5 варіантів охолодження і витримки після паяння. Для проведення моделювання був обраний сучасний програмний комплекс ANSYS.

3. Проаналізувавши епюри переміщення точок, видно що найбільш небезпечна внутрішня поверхня втулки, де у всіх варіантах крім 5, після охолодження виникають великі розтягуючі напруження в графіті, які доходять до межі міцності на вигин. Для зовнішньої поверхні найнебезпечнішими є варіант 3 та 4, тому що витримка спричиняє великі розтягуючі напруження. Отже, при аналізі було виявлено що оптимальним, з точки зору зниження ризику утворення тріщин в графіті після охолодження до 500 °С, слід вважати варіант 5 (поступове зниження температури з 900 до 500 °С протягом 6000 с), при якому розтягуючі напруження не перевищують 25 МПа. Тому варіанти з швидким охолодженням і наступною витримкою недоцільні, тому що при них утворюються великі напруження на зовнішній поверхні графіту.

4. Був проведений аналіз шкідливих чинників при дифузійному зварюванні, та паянні. Розрахункова система місцевої вентиляції на поточно-механізованій лінії дозволить здійснити захист зварників у процесі роботи від впливу шкідливих речовин, що виділяються при зварюванні, також підібрано необхідний вентилятор для системи вентиляції. Визначили основні джерела шуму і виявили способи захисту від шуму для робітників.

					MP 8.132.6121м.02.05. ПЗ	Арк
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Список літератури

1. Паяння матеріалів: підручник / Г.В. Єрмолаєв, В.В. Квасницький, В.Ф. Квасницький та ін. // Під заг. ред. В.Ф. Хорунова і В.Ф. Квасницького. – Миколаїв: НУК, 2015. – 340 с
2. [.https://www.autowelding.ru/](https://www.autowelding.ru/)
3. <https://patonpublishinghouse.com/>
4. Квасницький В.В., Ермолаєв Г.В., Матвиєнко М.В. Влияние прочности и сопротивления ползучести на остаточное напряженно-деформированное состояние металлокерамических соединений // Зб. наук. праць НУК. – Миколаїв: НУК, 2009. – № 3. – С. 83–92.
5. **Квасницький В.В.** Паяння металів. Дослідження фізико-хімічних процесів та технологічних факторів паяння [Текст] / В.В. Квасницький, В.Ф. Квасницький, Б.В. Бугаєнко, Г.В. Єрмолаєв. – Миколаїв: НУК, 2006. – 160 с.
6. Стренг, Г. Теория методов конечных элементов [Текст] / Г. Стренг, Дж. Фикс.– М.: Мир, 1977. – 332с.
7. <https://ua.waykun.com/articles/pajka-grafitu-zi-staljami.php>
8. <https://www.tadviser.ru/>
9. https://ru.wikipedia.org/wiki/NX_CAE
10. <https://ru.wikipedia.org/wiki/ANSYS>
11. <https://pon.org.ua/ohorona-praci>
12. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0513-14#Text>
13. <https://stud.com.ua/>
14. Компьютерное моделирование напряженно-деформированного состояния при диффузионной сварке [Текст] / В.В. Квасницький, Г.В. Ермолаєв, М.В. Матвиєнко и [др.] // Быстрозакаленные материалы и покрытия: Сб. тр. 5-й Всероссийской с междунар. участ. Научно-технич. конф. 12-13 дек. 2006 г. Научно-техн. семинар «Диффузионная сварка и ее роль в современной технике», посв. 100-летию Н.Ф. Казакова.– М.: „МАТИ” – РГТУ им. К.Э. Циолковского. – 2006. – С. 24 – 28.

					MP 8.132.6121м.02.05. ПЗ	Арк
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

15. Совершенствование технологии диффузионной сварки корпусов электромагнитных клапанов [Текст] / В.В. Квасницкий, Г.В. Ермолаев, М.В. Матвиенко и [др.] // Захист металургійних машин від поломок: Зб. наук. праць. – Маріуполь: ПДТУ. – 2006, Вип. 9. – С. 178 – 183.

16. Моделирование напряженно-деформированного состояния при диффузионной сварке электромагнитных клапанов [Текст] / В.В. Квасницкий, М.В. Матвиенко, Ал.В. Лабарткава и др. // Проблеми техніки: Науково-виробничий журнал Одеського національного морського ун-ту. – Одеса: ОНМУ. – 2007, №1.– С. 87 – 96.

17. Квасницкий, В.В. Моделювання напружено-деформованого стану при дифузійному зварюванні матеріалів з різними фізико-механічними властивостями [Текст] / В.В. Квасницкий, Г.В. Ермолаев, М.В. Матвиенко // Машинознавство: Всеукраїнський щомісячний науково-технічний журнал.– 2007, № 7.– С. 30 – 39.

18. Исследование напряженного состояния при пайке узлов из разнородных материалов [Текст] / К.А. Ющенко, В.Ф. Квасницкий, Г.В. Ермолаев, В.Н. Марунич // Автоматическая сварка, 1987, № 5.– С. 50 – 54.

19. Анализ напряженного состояния в полученных пайкой и диффузионной сваркой узлах из разнородных материалов [Текст] / Г.В. Ермолаев, В.М. Заболотский, В.А. Игнатов, В.Ф. Квасницкий, В.Н. Марунич // Судостроительная промышленность. Сер. Сварка. – 1988. вып. 6.– С. 45 – 50.

					MP 8.132.6121м.02.05. ПЗ	Арк
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		