

УДК 004.942

## УПРАВЛІННЯ ПРОСТОРОВИМИ ДЕВІАЦІЯМИ В ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ

Становський О. Л., Торопенко А. В., Торопенко О. В.

Одеський національний політехнічний університет, м. Одеса, Україна

*Анотація.* Показано, що при вимірюваннях великогабаритних складних об'єктів іноді доводиться розташовувати частину елементів засобів вимірювання всередині об'єкта, а частину – зовні. В цьому випадку, особливо коли зовнішні елементи рухомі, можлива девіація останніх від запланованого розташування у просторі. Запропоновані методи, які здійснюють проектування засобів вимірювання таким чином, щоб вони адаптивно протидіяли таким явищам, що дозволяє знизити похибку вимірювання та підвищити його достовірність.

*Ключові слова:* елементи метрологічних засобів, просторова девіація, автоматизоване проектування, похибка та достовірність вимірювань.

Автоматизоване проектування засобів вимірювання має певні особливості, які полягають в необхідності створення додаткових сприятливих умов для роботи їхніх чутливих органів. Справа в тому, що точність роботи засобів вимірювання (ЗВ) суттєво залежить від стабільності геометричного розташування їхніх елементів (ЕЗВ). І, хоча в ЕЗВ, як правило, не виникають суттєві механічні напруження, навіть незначні їхні відхилення можуть призвести до значних втрат точності позиціонування, а отже точності та достовірності результатів такого вимірювання.

Під відхиленням ЕЗВ в роботі розуміли статичні деформації або переміщення, а також динамічні коливання або будь-яке їхнє об'єднання, не передбачені паспортною геометричною або кінематичною схемою відповідного засобу.

Для усунення зовнішніх впливів, які можуть призвести до подібних відхилень (девіації) при проектуванні ЗВ застосовують різні конструктивні прийоми: підвищення жорсткості елементів, оптимізацію їхньої конструктивної схеми, сучасні матеріали із покращеними характеристиками опору, тощо. Широко застосовуються також методи активного та пасивного віброзахисту, термостатування, екранізації та багато інших.

Зрозуміло, будь-який захист неспроможний повністю усунути небажані відхилення ЕЗВ. Особливо це відноситься до об'єктів вимірювання, які мають великі габарити (десятки метрів) та вагу, непрозорість, високі температури (сотні градусів), суттєві зовнішні впливи непередбачуваного характеру, тощо. Моделі поведінки таких об'єктів під навантаженням вкрай складні, а методи їхнього аналізу та використання в САПР взагалі відсутні, що призводить до закладання значних майбутніх похибок майбутнього вимірювання вже на етапі проектування.

Тому актуальним є дослідження, направлені на розробку методів та моделей, які на ранніх стадіях створення метрологічних засобів (наприклад, на етапі їхнього автоматизованого проектування) забезпечують необхідну точність майбутнього вимірювання параметрів великогабаритних об'єктів, незалежно від умов їхнього використання на практиці.

*Мета роботи* – підвищення точності вимірювань технічних параметрів великогабаритних об'єктів відповідального призначення шляхом створення систем автоматичного проектування нових комплексних засобів вимірювань. Такі засоби повинні бути засновані на нових моделях небажаних переміщень окремих елементів останніх та методах їхньої компенсації.

В останні роки автоматизоване проектування спеціального метрологічного забезпечення (МЗ) для дослідження внутрішніх параметрів об'єкта [1–3] набуло великого поширення. Це

пов'язане із тим, що воно дозволяє на ранішньому, проектному етапі життєвого циклу МЗ ефективно обирати метод вимірювання та конструкцію відповідних ЗВ, які мають нормовані метрологічні характеристики. До останніх можна віднести міри фізичних величин, вимірювальні прилади, перетворювачі та устаткування, інформаційно-вимірювальні системи, обчислювальні комплекси та *вимірювальні пристрої*, в яких виконується лише одна із складових частин процедури вимірювання, наприклад: перетворення, масштабування, порівняння, або інші операції із сигналом.

Існуючі САПР МЗ не здатні ефективно функціонувати, оскільки вони не «оснащені» моделями та методами процесів вимірювання відповідальних об'єктів. Прикладами таких об'єктів є великогабаритні будівельні конструкції, дослідження внутрішніх параметрів яких (наприклад, щільності) є вельми проблематичним із-за значної просторової девіації елементів МЗ, які призводять до неприпустимих втрат точності вимірювання.

Серед основних напрямків усунення цих проблем, виявлених в ресурсах світової наукової періодики, можуть бути виділені такі:

- 1) застосування методів та засобів зовнішнього по відношенню до об'єкта неруйнівного контролю [4–8];
- 2) застосування вбудованих в об'єкт засобів неруйнівного контролю [9–12];
- 3) застосування комплексних засобів неруйнівного контролю, які вбудовуються в вимірюваний об'єкт лише частково [13].

На початку створення моделей елементів комплексних засобів вимірювання (ЗВ) виконаємо класифікацію девіації ЗВ за їхнім розташуванням відносно великогабаритного складного об'єкта вимірювання та причинами їхнього виникнення (табл. 1).

**Таблиця 1**

**Класифікація девіації елементів комплексних засобів вимірювання за розташуванням та причинами виникнення**

Елементи комплексних ЗВ	Причини виникнення девіації		
	статичні	динамічні	технологічні
Внутрішні (вбудовані в об'єкт)	Зсув, поворот, вигін об'єкта вимірювання разом із внутрішніми ЕЗВ	3-D вібрація об'єкта вимірювання разом із внутрішніми ЕЗВ	Відхилення від креслення та зсув внутрішніх ЕЗВ відносно об'єкта вимірювання
Зовнішні по відношенню до об'єкта	Зсув, поворот, вигін зовнішніх ЕЗВ	3-D вібрація зовнішніх рухомих ЕЗВ від приводу та направляючих	Відхилення від креслення та зсув зовнішніх ЕЗВ відносно об'єкта вимірювання

Статичні девіації є наслідками механічного або термічного навантаження на елементи метрологічних засобів, яке призвело до деформації та переміщення елементів.

Динамічні: девіації є наслідками механічної взаємодії із приводом та направляючими руху зовнішнього елемента метрологічного засобу або об'єкта.

Технологічні: девіації є наслідками порушення технології виготовлення виробів, наприклад, застосування металопрокату, який за розмірами не відповідає проекту виробу, неточності зварювання, металообробки, тощо, неточні встановлення та фіксація металевої арматури в прес-форму і т. п.

Розглянемо плоский конденсатор із паралельними обкладками площиною  $S$  на відстані  $d$  одна від одної. Ємність такого конденсатора, як відомо, визначається за формулою:

$$C = \varepsilon(\rho) \varepsilon_0 \frac{S}{d}, \quad (1)$$

де  $C$  – ємність конденсатора, Ф;  $\varepsilon_0 = 8,854187817 \cdot 10^{-12}$  Ф/м – електрична постійна;  $\varepsilon$  – середня діелектрична проникність;  $\rho$  – середня щільність діелектрика, кг/м<sup>3</sup>, розташованого між обкладками конденсатора;  $S$  – площа обкладки конденсатора, м<sup>2</sup>;  $d$  – відстань між обкладками, м.

Очевидно, що в реальному засобі вимірювання усі перелічені параметри (крім електричної постійної) можуть бути визначені лише приблизно, а отже реальна ємність є девіацією розрахованої за (1). При цьому загальні моделі статичних девіацій складаються з їхніх елементарних переміщень.

Відповідно, математичною формою таких елементарних переміщень є зміна відстані між обкладками  $\Delta d$  при паралельному зсуві. Кут відносного повороту обкладок  $\alpha$ , радіуси вигинів обкладок: внутрішньої  $r_{\text{вн}}$  та зовнішньої  $r_{\text{зовн}}$ , відповідно та параметри коливальних – частота  $f$  та амплітуда  $A$ . Моделі динамічних девіацій обумовлюються 3-D вібрацією технологічного обладнання та ЕЗВ при переміщенні останніх вздовж виробу по направляючих.

Реальний комплексний конденсатор в складному виробі, наприклад, конденсатор «арматура виробу – зовнішня пластина» в залізобетонному циліндрі, поруч з яким знаходиться ЗВ, звісно не є плоскопаралельним за кресленням і точним за технологією виготовлення. Уявимо собі ідеальний комплексний конденсатор, внутрішньою обкладинкою якого є сталеві арматура виробу, а зовнішньою – деякий металевий елемент, розташований поруч із виробом на конструктивно визначеній відстані від нього.

Зрозуміло, що навіть маючи точні креслення арматури зовнішнього елемента та їхнього взаємного розташування, з-за складності конфігурації першої значення ємності цього конденсатора теоретично розрахувати вельми складно. З-за тієї ж складності неможливе також точне виготовлення арматури та встановлення її в опалубку перед заливанням. З цього стає очевидним, що й теоретичний розрахунок реальної ємності конденсатора із зазначеною внутрішньою частиною лише за кресленням також неможливий.

Фактично маємо конденсатор із невизначеною та недоступною для безпосереднього моніторингу внутрішньою частиною, що не дозволяє застосовувати при вимірюванні щільності бетону формулу (1). А також її пристосований до вимірювання щільності  $\rho$  обернений варіант:

$$\rho(\varepsilon) = C \varepsilon_0 \frac{S}{d}. \quad (2)$$

Для визначення  $\rho$  в якості результату вимірювання необхідно не тільки мати функцію  $\rho(\varepsilon)$  у явному (наприклад, табличному) вигляді та виміряти значення  $C$  та  $S$ , але й отримати невимірюване значення  $d$ .

Для розв'язання останнього завдання застосовували розпізнавання образу реального конденсатора у вигляді рівного йому за ємністю за допомогою методу віртуального об'єкта.

В рамках цього методу будемо шукати віртуальний конденсатор із умовно плоскою внутрішньою обкладинкою, ємність якого  $C_{\text{вірт}}$  дорівнювала б ємності  $C_{\text{вим}}$  реального вимірюваного конденсатора із повітряним шаром між обкладками для поточного об'єкта, тобто  $C_{\text{вим з повітрям}} = C_{\text{вірт}}$ . Таким чином отримуємо віртуальний образ реального конденсатора.

Вимірювання  $C_{\text{вим з повітрям}}$  здійснюється на робочому вимірювальному стенді [14] до заповнення опалубки із арматурою бетоном, тобто тоді, коли місце майбутнього бетону заповнене повітрям.

Далі заповнюємо опалубку із встановленою арматурою бетоном, виконуємо друге вимірювання ємності того ж конденсатора, але «з бетоном» і розраховуємо діелектричну проникність останнього за формулою:

$$\varepsilon_{\text{бетон}} = \frac{C_{\text{вим з бетоном}}}{C_{\text{вим з повітрям}}} \quad (3)$$

Для отримання залежності  $\rho_{\text{бетону}}$  (а саме цей показник є метою метрологічного процесу) від вимірюваного значення  $\varepsilon_{\text{бетон}}$  виконуємо експериментальне тарування засобу вимірювання, використовуючи віртуальне представлення об'єкта. Оскільки діелектрична проникність повітря  $\varepsilon_{\text{пов}}$  практично дорівнює 1, маємо з (2):

$$d_{\text{вирт}} = \varepsilon_0 \frac{S}{C_{\text{вим з повітрям}}} \quad (4)$$

Тарування виконували за допомогою окремого плоского конденсатора, в якому відстань між обкладками дорівнювала  $d_{\text{вирт}}$ . В результаті були теоретично-експериментально отримані моделі, необхідні для використання в системах автоматизованого проектування комплексних засобів вимірювання щільності бетону, необхідних при управлінні технологічним процесом виготовлення залізобетонних виробів великих розмірів із геометрично складною арматурою.

#### Список літератури:

1. Основні питання проектування та повірки цифрових вимірювальних приладів. URL: [http://elib.lutsk-ntu.com.ua/book/fepes/pruladobyd/2015/15-07/other/lekcziya\\_30\\_osnovni\\_pitannya\\_proektuvannya\\_ta\\_povirki\\_czifrovix\\_vimiryuval\\_nix\\_priladiv.pdf](http://elib.lutsk-ntu.com.ua/book/fepes/pruladobyd/2015/15-07/other/lekcziya_30_osnovni_pitannya_proektuvannya_ta_povirki_czifrovix_vimiryuval_nix_priladiv.pdf). (11.01.2018).
2. Оборский Г. А., Становский А. Л., Прокопович И. В., Духанина М. А. Выбор метрологического обеспечения управления сложными объектами литейного производства с трудноизмеримыми параметрами // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2014. № 6/3 (72). С. 41–47.
3. Brignell J. E., Young R. Computer-aided measurement // Journal of Physics E: Scientific Instruments. № 12(6).
4. Куц Ю. В., Лисенко Ю. Ю., Протасов А. Г. Принципи проектування засобів електромагнітного неруйнівного контролю // Матеріали 8-ї міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики машинобудівного і нафтогазопромислового обладнання». 2017. С. 44–45.
5. Щербинский В. Г., Пафос С. К., Гурвич А. К. Ультразвуковая дефектоскопия: вчера, сегодня, завтра // В мире неразрушающего контроля. 2002. № 4. С. 18.
6. Становская Т. П., Духанина М. А., Шихирева Ю. В. Инфракрасный метод измерения тепловых параметров затвердевания бетона // Холодильная техника і технологія. 2013. № 2 (142). С. 112–115.
7. Angrisani L., Béchou L., Dallet D., Daponte P., Ousten Y. Detection and location of defects in electronic devices by means of scanning ultrasonic microscopy and the wavelet transform measurement // In MEASUREMENT. 2002. № 31(2). P. 77–91.
8. Matlack K. H., Kim J.-Y., Jacobs L. J., Qu J. Review of Second Harmonic Generation Measurement Techniques for Material State Determination in Metals // Journal of Nondestructive Evaluation. 2015. № 34 (1). С. 273.
9. Clifford K. Ho., Robinson A., Miller D. R., Davis M. J. Overview of Sensors and Needs for Environmental Monitoring // Sensors. 2005. № 5. С. 4–37.
10. Яковлев М. Ю., Волобуев А. П. Оцінка метрологічної надійності засобів вимірювальної техніки авіаційних радіотехнічних систем на етапі проектування // Системи озброєння і військова техніка. 2007. № 2. С. 53–55.
11. Мищенко С. В., Цветков Э. И., Чернышова Т. И. Метрологическая надежность измерительных средств / Машиностроение, 2001. 96 с.
12. Чинков В. Н., Мельниченко А. Е. Избыточная модель надежной эксплуатации средств измерительной техники // Украинский метрологический журнал. 2004. № 2. С. 57–60.
13. Механічні методи неруйнівного контролю міцності бетону. URL: <http://budmayster.pp.ua/1511-mehanchn-metodi-neruynvnogo-kontrolyu-mcnost-betonu.html>. (11.11.2017).
14. Прокопович І. В., Духанина М. О., Становська І. І., Валід Ш. Х., Добровольська В. В., Торопенко О. В. Метрологічне забезпечення контролю щільності гетерогенних матеріалів // Вісник НТУ «ХП»: Механіко-технологічні системи та комплекси. Харків, 2016. № 50(1222). С. 22–28.

УДК 621.791 (075.8)

## НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ СВАРНЫХ И ПАЯНЫХ УЗЛОВ ИЗ РАЗНОРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПРОСЛОЙКОЙ ПРИ ТЕМПЕРАТУРНО-СИЛОВОМ НАГРУЖЕНИИ

Квасницкий<sup>1</sup> В.В., Ермолаев<sup>2</sup> Г.В., Матвиенко<sup>3</sup> М.В.

1 - КПИ имени Игоря Сикорского, г. Киев, Украина

2 - НУК имени адмирала Макарова, г. Николаев, Украина

3 - ХФ НУК имени адмирала Макарова, г. Херсон, Украина

*Аннотация:* С целью установления влияния прочности (предела текучести) материала промежуточных прослоек по сравнению с соединяемыми материалами (мягкие и твердые прослойки) при диффузионной сварке и пайке исследовано напряженно-деформированное состояние при температурно-силовом нагружении. Соединяли материалы одинаковой прочности, но отличающихся температурными коэффициентами линейного расширения, с мягкой (с меньшим пределом текучести) и твердой (с большим, чем у основного металла, пределом текучести) прослойками и средним ТКЛР. Анализировались поля и эпюры напряжений и пластических деформаций узлов. Анализ результатов моделирования показал, что термоциклирование под давлением должно способствовать образованию физического контакта и активации процессов формирования соединения в узлах с как с мягкой, так и твердой прослойкой, но недостатком твердой является недостаточная локализация деформаций в зоне стыка, приводящая к повышенным общим деформациям узла.

*Ключевые слова:* диффузионная сварка, пайка, разнородные материалы, прослойка, напряжения, деформация, моделирование.

Одной из основных проблем соединения разнородных материалов диффузионной сваркой (ДС) и пайкой является пластическая деформация и активация поверхностей соединяемых материалов, которые определяются напряженно-деформированным состоянием (НДС) в зоне соединения. НДС представляет интерес также и с точки зрения прочности готовых узлов после остывания. Поэтому исследование НДС таких узлов актуально.

Цель настоящей работы – установление влияния прочности (предела текучести) материала промежуточных прослоек по сравнению с соединяемыми материалами (мягкие и твердые прослойки) на формирование НДС при ДС и пайке.

Исследования проводили методом компьютерного моделирования с использованием программного комплекса ANSYS. Решали осесимметричные задачи для узлов типа цилиндр-цилиндр (Ц-Ц) и втулка-втулка (В-В) из материалов одинаковой прочности (рис. 1), но отличающихся температурными коэффициентами линейного расширения (ТКЛР =  $20 \cdot 10^{-6}$  и  $10 \cdot 10^{-6}$  1/град), с мягкой (с меньшим пределом текучести) и твердой (с большим, чем у основного металла, пределом текучести) прослойками и средним ТКЛР ( $15 \cdot 10^{-6}$  1/град). Модули упругости и коэффициенты Пуассона принимались одинаковыми и равными  $2 \cdot 10^5$  МПа и 0,3 соответственно, что позволяет выделить влияние именно пластической составляющей деформаций на НДС узла. Нагружение выполнялось совместным сжатием усилием 40 МПа и снижением температуры узла (после образования соединения) на 100 град. Полученные при таком нагружении результаты сохраняют свою силу и при смене охлаждения нагревом (при сварке с термоциклированием), но материалы 1 и 2, имеющие разные ТКЛР, при этом меняются местами. Результаты моделирования сравнивались с аналогичными узлами при разных видах нагружения (только силовом и только температурном) и между собой. Анализировались поля и эпюры всех составляющих напряжений и пластических деформаций узлов.

Как показал анализ результатов моделирования в обоих типах узлов, характер НДС в целом соответствует общим принципам механики и закономерностям, установленным в ранее выполненных нами исследованиях [1, 2, 3]. Поля всех напряжений подобны полям при чисто температурном нагружении, но их уровень заметно изменяется.

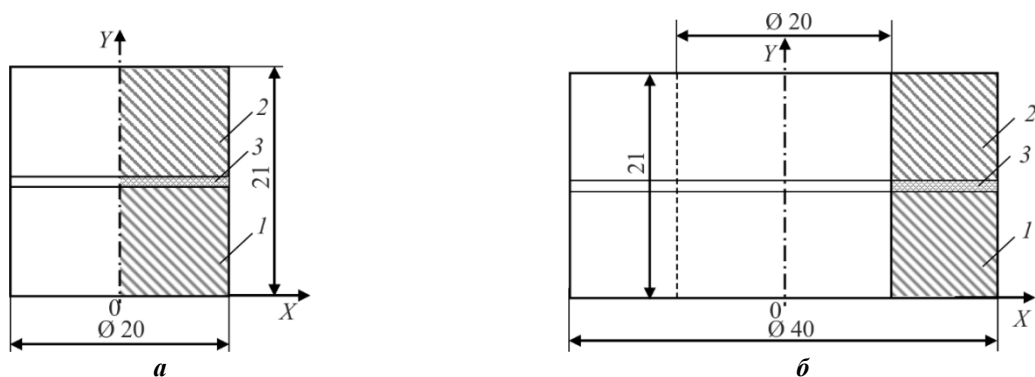


Рис.1. Физические модели узлов типа Ц-Ц (а) и В-В (б) с прослойками

Осевые напряжения растяжения в хрупких материалах с низким ТКЛР (керамика, графит и т.п.) на внешней поверхности узлов, ответственные за их разрушение при остывании после сварки (пайки), в узлах с твердой, так же как и с мягкой прослойкой, уменьшаются на величину сжимающей нагрузки при совместном нагружении сжатием и охлаждением (охлаждение под давлением). То есть совместное нагружение уменьшает риск разрушения хрупких материалов на стадии остывания после пайки.

Касательные и эквивалентные напряжения в зоне стыка (на поверхности раздела), определяющие образование металлического контакта и активацию процесса образования соединения при диффузионной сварке, при охлаждении под давлением узлов с твердой прослойкой в материале с меньшим ТКЛР увеличиваются. В материале с большим ТКЛР то же происходит при нагреве. В отличие от узлов с мягкой прослойкой, где картина обратная, напряжения заметно увеличиваются в материале с большим ТКЛР при охлаждении и материале с меньшим ТКЛР при нагреве [4]. То есть, термоциклирование под давлением должно способствовать образованию физического контакта и активации процессов формирования соединения в узлах с как с мягкой, так и твердой прослойкой.

Для удобства сравнения, максимальные значения всех составляющих и эквивалентных напряжений в материалах 1, 2 и прослойки для 2-х вариантов узлов приведены на рисунке 2, а пластических деформаций на рисунке 3.

Анализ диаграмм показывает, что уровень максимальных значений практически всех составляющих напряжений в обоих соединяемых материалах заметно выше в узлах с мягкой прослойкой, чем в узлах с твердой. При этом в материале 1 (с большим ТКЛР) различие более существенно (5...10 раз), чем в материале 2 (от 2 до 5 раз). При смене охлаждения нагревом (при сварке с термоциклированием) материалы поменяются местами.

В материале мягкой прослойки радиальные, окружные и эквивалентные напряжения ниже, а осевые и касательные выше, чем в материале твердой прослойки. Но отличие здесь меньше, чем в соединяемых материалах (20...50 %).

Максимальные значения пластических деформаций в соединяемых материалах (узлы с твердой прослойкой) отличаются более, чем в 2 раза. В материале 1 (с большим ТКЛР) они приближаются к 0,2 %, тогда как в материале 2 (с меньшим ТКЛР) они приближаются к 1 %. В материале мягкой прослойки максимальные значения пластических деформаций значительно больше максимальных в основных материалах.

Отличительной особенностью узлов с твердой прослойкой как при чисто силовом, так и совместном нагружении, является недостаточная локализация деформаций в зоне стыка и, как следствие, большие общие деформации после сварки.

Таким образом, наличие прослойки, как мягкой, так и твердой, благоприятно влияет на образование соединения при ДС, но недостатком твердой является недостаточная локализация деформаций в зоне стыка, приводящая к повышенным общим деформациям узла.

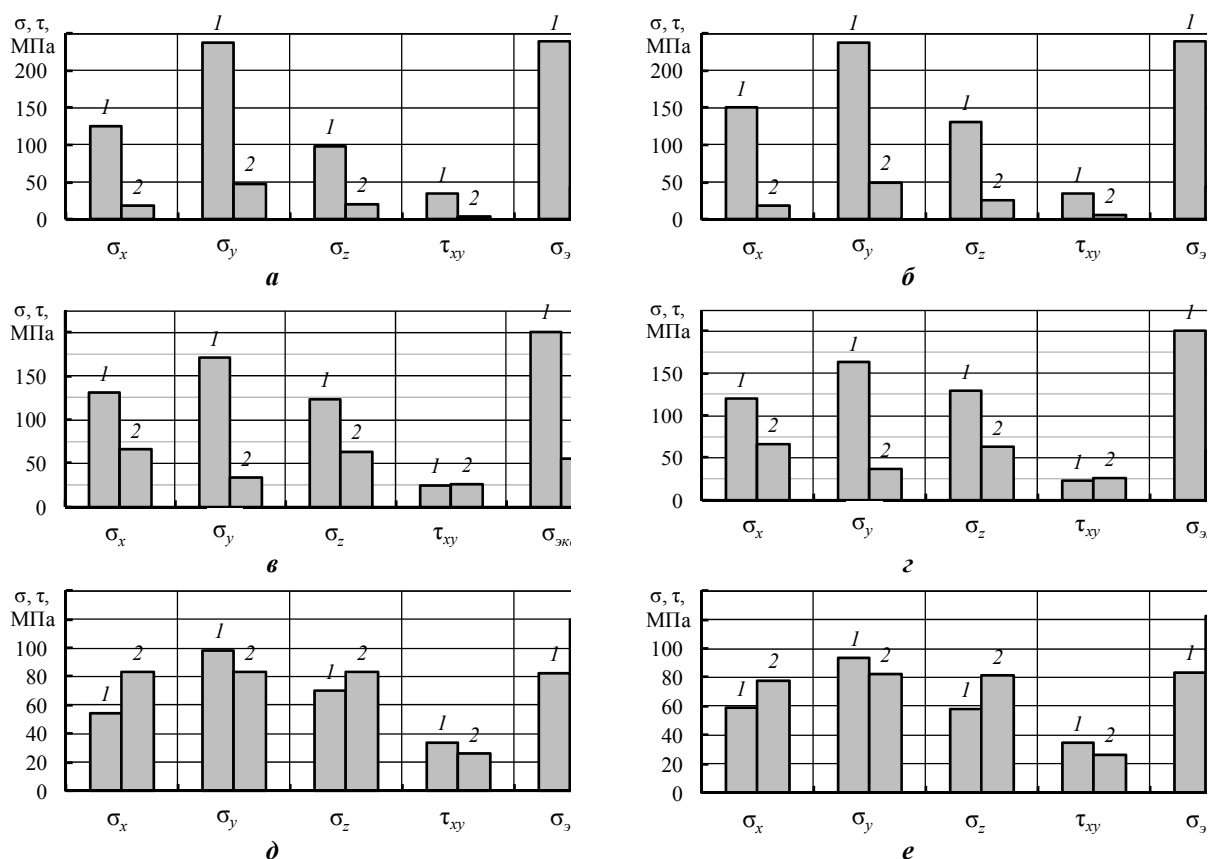


Рис. 2. Сравнение максимальных напряжений в материале 1 (а,б), 2 (в,г) и прослойке (д,е) в узлах Ц-Ц (а,в,д) и В-В (б,г,е) с мягкой (1) и твердой (2) прослойками при температурно-силовом нагружении

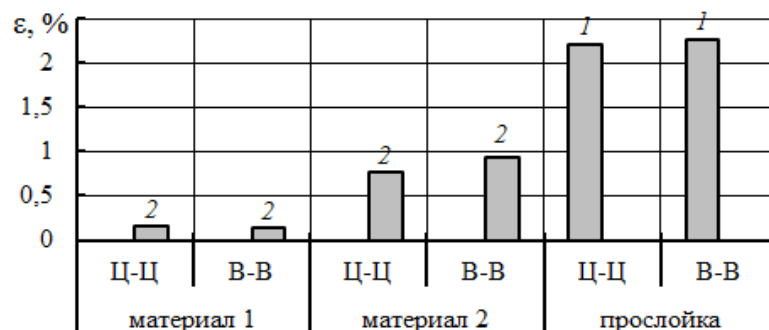


Рис. 3. Сравнение максимальных пластических деформаций в материалах 1, 2 и прослойке в узлах Ц-Ц и В-В с мягкой (1) и твердой (2) прослойками при температурно-силовом нагружении

**Список литературы:**

1. Квасницкий, В.В. Механика соединений при диффузионной сварке, пайке и напылении разнородных материалов в условиях упругости: монография / В.В. Квасницкий, Г.В. Ермолаев, М.В. Матвиенко; под общ. ред. Г.В. Ермолаева. Николаев: НУК, 2017. – 176 с.
2. Махненко В.И. Напряжён-деформированное состояние соединений при диффузионной сварке материалов с различными физико-механическими свойствами/ В.И. Махненко, В.В. Квасницкий, Г.В. Ермолаев // Автоматическая сварка. – 2008. – № 8. – С. 5 – 10.
3. Махненко В.И. Особенности формирования напряжён-деформированного состояния соединений разнородных материалов, полученных диффузионной сваркой / В.И. Махненко, В.В. Квасницкий // Автоматическая сварка. – 2009, № 8. – С. 11 – 16.
4. Колесар И.А. Напряжён-деформированное состояние при силовом и температурном нагружении узлов из разнородных сталей с мягкой прослойкой / И.А.Колесар, Г.В.Ермолаев // Автоматическая сварка. – 2014, №8. – С. 23 – 27.

УДК 621.791.3

## ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ПРОЦЕСИ ПРИ ПАЯННІ ЖАРОМІЦНИХ НІКЕЛЕВИХ СПЛАВІВ ГАЗОВИХ ТУРБІН

Квасницький В.Ф.<sup>1</sup>, Мьяльниця Г.Ф.<sup>2</sup>, Квасницька Ю.Г.<sup>3</sup>

1 - Національний технічний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

2 - ДП НВКГ «Зоря»-«Машпроект», м. Миколаїв, Україна

3 - Фізико-технологічний інститут сталі і сплавів, м. Київ, Україна

**Анотація:** Роботу присвячено паянню жароміцних нікелевих сплавів морських газових турбін нового покоління. Ці сплави суттєво відрізняються від авіаційних умовами експлуатації і необхідністю забезпечення стійкості проти високотемпературної сольової корозії (ВСК), швидкість якої може бути в сотні разів більшою швидкості корозії на повітрі або атмосфері кисню. Високу стійкість проти ВСК повинні мати також припої. Методом ВДТА досліджено критичні температури виплавлених припоїв, з яких відібрали сплави для дослідження процесів змочування, розтікання припою та заповнення зазорів. Паралельно проведено розрахунки стійкості сплавів проти сігматизації, критичних точок, складу і вмісту  $\gamma$  і  $\gamma'$ -фаз, карбідів, боридів тощо. Дослідження ВСК проводили одночасно для нових сплавів і припоїв у розплаві солей 75 %  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  + 25%  $\text{NaCl}$  при температурі 900 °С. протягом 24 годин. Для забезпечення жаростійкості припоїв використовували хром і тантал. Проведені роботи показали задовільні результати, які дозволили визначити напрямки подальших досліджень.

**Ключові слова:** жароміцні сплави, паяння, змочування, структура, високотемпературна корозія, технологічні властивості припоїв.

Жароміцні нікелеві сплави є основним конструкційним матеріалом в сучасному газотурбобудуванні. Підвищення температури робочого тіла, ресурсу і ефективності енергетичних установок вимагає розробки нових жароміцних сплавів, здатних протистояти усьому комплексу факторів впливу, існуючих у реальних умовах їх роботи. Авіаційні турбіни працюють на чистому авіаційному керосині з низьким вмістом шкідливих домішок, зокрема сірки і традиційно мають більш високі температури газів, порівняно з морськими. Паливо морських турбін містить сірку, натрій тощо, а в продуктах згоряння палива містяться солі, що потрапляють з парами морської води. Тому лопатки морських газових турбін піддаються інтенсивній корозії, швидкість якої може бути в сотні разів більшою швидкості корозії на повітрі або в атмосфері кисню [1]. Цей вид корозії називають високотемпературною сольовою корозією (ВСК). ВСК пов'язують з конденсацією солей лужних металів, з яких найбільш агресивним є сульфат натрію. Жароміцні нікелеві сплави є складнолегованими. За призначенням легуючі елементи поділяються на декілька класів. Жаростійкість сплавів забезпечує хром, що утворює щільну термодинамічно стійку оксидну плівку, але при згорянні палива, що містить сірку і натрій, внаслідок взаємодії натрію з  $\text{SO}_2$  і  $\text{SO}_3$ , утворюються солі  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , який руйнує захисну оксидну плівку  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ . Хлор, що утворюється при взаємодії солі  $\text{NaCl}$  з оксидами сірки сприяє ВСК. Для забезпечення високої стійкості сплавів морських турбін проти ВСК необхідно збільшувати в сплавах концентрацію хрому, але при цьому знижується їх тривала високотемпературна міцність. Оскільки швидкість корозії сплавів авіаційних турбін, що працюють на чистому паливі, значно менша ніж морських, то це дозволяє знизити в них концентрацію хрому підвищити їх жароміцність, температуру газу і ефективність, використовуючи також однакові інші способи зміцнення (твердорозчинне та дисперсійне). В цьому велика різниця між жароміцними нікелевими сплавами (матеріалами) авіаційних і морських турбін. Спільними особливостями цих сплавів є проблема їх зварювання і широке застосування паяння, зокрема способів дифузійного паяння, паяння композиційними припоями, а при можливості паяння з тиском, але при розробці припоїв для морських турбін необхідно забезпечити стійкість проти ВСК, а також, як і для авіаційних, високі технологічні



властивості (змочування, розтікання, заповнення зазорів) та можливість підвищення робочих температур і міцності з'єднань до рівня основного металу.

Дослідження паяння жароміцних нікелевих сплавів морських турбін орієнтовані на перспективні матеріали турбін нового покоління з підвищеними параметрами робочого тіла. В нових жароміцних нікелевих сплавах морських турбін традиційно використовують високу концентрацію хрому для забезпечення стійкості проти ВСК, а для підвищення жароміцності ідуть шляхом регулювання структури, оптимізації хімічного складу, легування танталом і ренієм тощо [2–4]. Враховуючи результати детальних досліджень нових сплавів при розробці припоїв було вибрано той же легуючих комплекс. А при виборі депресантів враховували температури солідус і ліквідус сплавів, температури паяння, технологічні властивості припоїв та їх вплив на стійкість проти ВСК і механічні і властивості з'єднань.

Відомо [5], що припої, залежно від депресантів (елементів, що знижують температуру плавлення сплаву), поділяють на три групи:

1) припої на основі нікелю з кремнієм і бором, які зазвичай сумісно для зниження концентрації кожного з них;

2) припої на основі легованого нікелю з елементами IV і V груп, що вводяться як депресанти;

3) припої на основі нікелю з паладієм для зниження температури плавлення і паяння.

Припої третьої групи не використовували оскільки в літературі їх стійкість не досліджувалась, та враховуючи високу коштовність паладію. В досліджуваних припоях використовували депресанти з першої та другої груп [6].

На першому етапі методом ВДТА дослуживали критичні температури виплавлених сплавів, з яких відібрали сплави для дослідження процесів змочування, розтікання припою та заповнення зазорів. Для цього використовували зразки клиноподібні зі зміною величини зазору від нуля до 0,6 мм, з постійним зазором 0,07 мм та пластинчасті (рис.1).

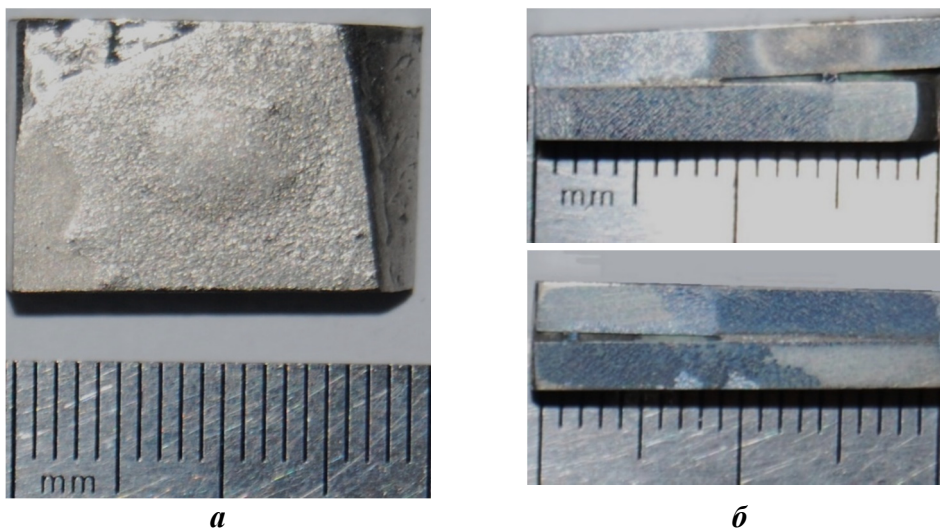


Рис.1. Розтікання припою по поверхні жароміцного нікелевого сплаву (а) та заповнення припоєм зазору (б)

Як видно з рис.1, припій добре змочує поверхню сплаву з крайовим кутом в декілька градусів і заповнює зазори. Мікроструктуру спаяного шва показано на рис.2.

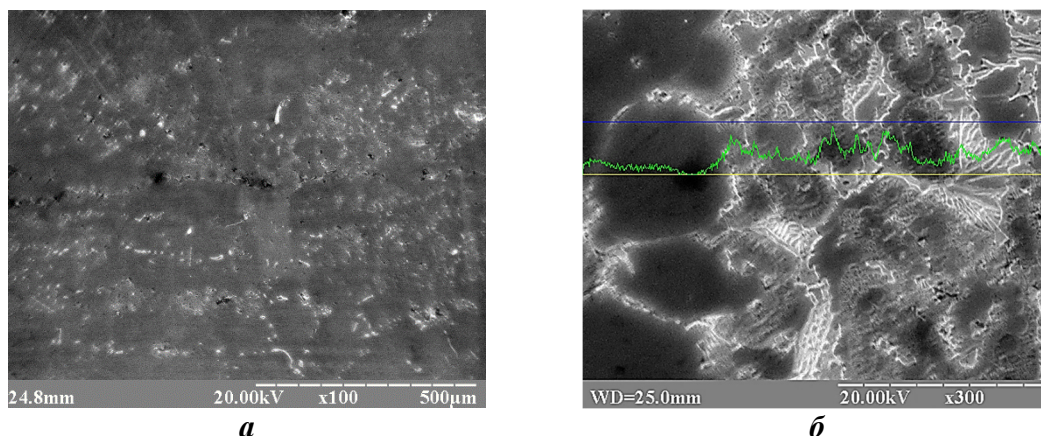


Рис.2. Мікроструктура спаяного з'єднання жароміцного нікелевого сплаву (без термічної обробки) при зазорах 0,02..0,03 мм (а) та 0,25 мм в зоні сплавлення з основним металом (б)

Паралельно проводили дослідження стійкості припоїв проти ВСК тигельним методом та розрахунку стійкості сплавів проти сігматизації, критичних точок, складу і вмісту  $\gamma$ -і  $\gamma'$  фаз, карбідів, боридів тощо.

Експериментальні дослідження стійкості проти ВСК проводилися одночасно для нових сплавів і припоїв у розплаві солей 75 %  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  + 25%  $\text{NaCl}$ . Тиглі з циліндричними зразками і солями завантажували в піч і витримували протягом певного часу при температурі 900 °С. Після випробувань зразки очищали від солі і окалини, визначали втрату їх маси, швидкість корозії ( $\text{мг}/\text{см}^2 \cdot \text{год}$ ) та глибину корозійного руйнування. Загальний вигляд зразків після випробувань показано на рис. 3, а, після очищення – на рис.3, б.

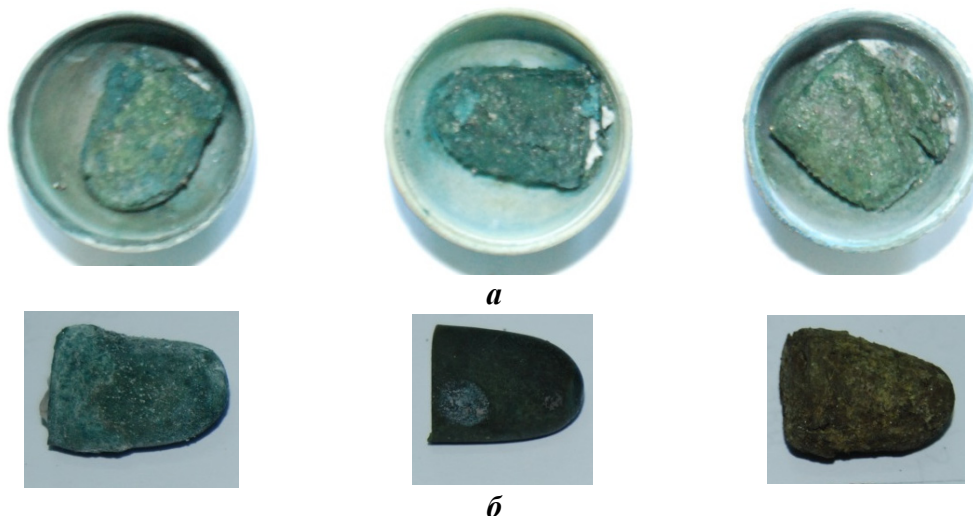


Рис.3. Загальний вигляд зразків припоїв після випробувань на стійкість проти ВСК протягом 24 год (а) та після очищення (б)

Тривалість випробувань повинна бути більшою від інкубаційного періоду, який в розплаві 75 %  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ + 25%  $\text{NaCl}$  не перевищує 10 год. Швидкість корозії залежить головним чином від концентрації в сплаві хрому. Для забезпечення високої стійкості припоїв проти ВСК припої легували танталом, який не взаємодіє з сульфатом натрію і цим сприяє утворенню щільної оксидної плівки та зниженню швидкості ВСК [7]. Тантал також зміцнює твердий розчин на основі нікелю, приймає участь в утворенні дисперсної карбідної і  $\gamma'$ -фази, а також знижує температуру плавлення припою.

Виконані дослідження показали задовільні результати, які дозволили визначити перспективні напрямки подальших робіт.

**Список літератури:**

1. Симс, Ч.Т. *Суперсплавы II: жаропрочные материалы для аэрокосмических и промышленных энергоустановок* / Ч.Т. Симс, Н.С. Столофф, У.К. Хагель. – М.: Металлургия, 1995. Т.1. – 384 с.
2. М'яльниця, Г.П. Вибір легуючого комплексу нового корозійностійкого сплаву для соплових лопаток ГТД / Г.П. М'яльниця, І.І. Максютя, Ю.Г. Квасницька, О.В. Михнян // *Металознавство та обробка металів*. – 2013, № 2. – С. 29 – 34.
3. М'яльниця, Г.П. *Обеспечение фазово-структурной стабильности высокохромистых жаропрочных сплавов для лопаток ГТУ* / Г.Ф. М'яльниця, И.И. Максютя, Ю.Г. Квасницкая, Е.В. Михнян, А.В. Нейма // *металл и литье Украины*. – 2012, № 11.– С. 16 – 20.
4. М'яльниця, Г.Ф. *Получение ориентированной структуры в отливках их жаропрочного никелевого сплава, легированного рением* / Г.Ф. М'яльниця, И.И. Максютя, Ю.Г. Квасницкая, Е.В. Михнян, А.В. Нейма // *Процессы литья*.– 2012, № 6.– С. 54 – 63.
5. *Паня матеріалів* / Г.В. Єрмолаєв, В.В. Квасницький, В.Ф. Квасницький, С.В. Максимова, В.Ф. Хорунов, В.В. Чигарьов, за загальн. ред. В.Ф. Хорунова і В.Ф. Квасницького. – Миколаїв: НУК, 2015.– 340 с.
6. *Квасницький, В.Ф. Влияние элементов-депрессантов на свойства никелевых припоев и жаропрочных сплавов* / В.Ф. Квасницький, А.М. Костин, В.В. Квасницький // *Адгезия расплавов и пайка материалов*. – 2002, № 35. С. 129 – 139.
7. *Жаропрочность литейных никелевых сплавов и защита их от окисления* / Б.Е. Патон, Г.Б. Строганов, С.Т. Кишкин и др. – К.: Наукова думка. – 1987. – 256 с.

---

УДК 621.791.927

## УПРАВЛЕНИЕ ФОРМИРОВАНИЕМ СОСТАВА И СВОЙСТВ МЕТАЛЛА ПРИ НАПЛАВКЕ СОСТАВНЫМ ЛЕНТОЧНЫМ ЭЛЕКТРОДОМ

**Матвиенко В. Н., Лещинский Л. К.**

ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь,  
Украина

*Аннотация:* Представлены результаты исследований и разработки перспективного пути изготовления и восстановления изделий машиностроения путём наплавки композиционных слоёв, высокая трещиностойкость и служебные характеристики которых обеспечивают увеличение ресурса эксплуатации изделий. Показано, что получить контрастный переход между отдельными слоями многослойной композиции, отличающейся высокой энергоёмкостью процесса разрушения, позволяет применение наплавки составным ленточным электродом, образуемым средней и двумя боковыми лентами, химический состав, взаимное расположение и скорость подачи которых регулируются автономно. С использованием математической модели установлено влияние зазора между лентами на очертания изотермы плавления основного металла (форму и размеры сварочной ванны), условия формирования макроразнородной композиции в каждом слое и от слоя к слою.

*Ключевые слова:* наплавка, составной ленточный электрод, слоистая композиция, макроразнородность, математическая модель.

Перспективы применения наплавки – одного из прогрессивных технологических процессов изготовления и восстановления изделий машиностроения во многом зависят от возможности получения композиционных наплавленных слоёв с заданным распределением структуры и свойств. Благодаря возникающему сочетанию повышенной трещиностойкости и улучшенных функциональных характеристик, возрастает ресурс наплавленных изделий. Реализация такой технологии связана с разработкой способа наплавки, обеспечивающего отсутствие дефектов формирования валика за счёт высокой стабильности параметров процесса наплавки. Вместе с тем, технология получения слоистых композиций требует

обеспечения контрастности на границах слоёв, возможной лишь при малом проникновении каждого последующего слоя в предыдущий. Перечисленным требованиям в значительной мере отвечает способ широкослойной наплавки составным ленточным электродом, образуемым средней и двумя боковыми лентами, химический состав, скорость подачи и взаимное расположение которых регулируются автономно (рис. 1). Преимущества процесса наплавки составным ленточным электродом связаны с возможностью изменения положения боковых лент относительно средней, регулирования соотношения массовых (линейных) скоростей подачи лент, а также зазора между ними. Это позволяет управлять распределением вводимого тепла по ширине сварочной ванны, плавлением ленточных электродов, условиями теплопередачи основному металлу, определяет условия образования и размеры сварочной ванны, форму валика, геометрию зоны проплавления. Благодаря влиянию на характер процесса наплавки под флюсом (доля тока шунтирования дуги расплавленным шлаком может составлять от 30...35 до 50...55 % общего тока), в значительной мере изменяются условия расплавления лент составного электрода, эффективность и равномерность проплавления изделия. Кроме того, изменение вектора скорости перемещения дуги по торцу лент составного электрода влияет на степень взаимодействия дуги с расплавом ванны и интенсивность воздействия на движение расплавленного металла. Реализация преимуществ процесса наплавки составным ленточным электродом во многом зависит от оптимальности выбора его геометрических размеров. Такой выбор целесообразно осуществлять путём математического моделирования, что определяется точностью расчёта размеров зоны проплавления (положения изотермы плавления), его соответствия экспериментальным данным. Методика расчёта основана на решении методом конечных элементов нелинейного трёхмерного дифференциального уравнения теплопроводности, в котором учитывается зависимость от температуры теплофизических свойств основного металла.

Условия получения макроразнородного состава и структуры в пределах одинарного наплавленного валика (рис. 2) зависят от угла поворота  $\alpha$  боковых лент к средней ленте и соотношения массовых скоростей их подачи, но, главным образом, от зазора  $e$  между лентами. Математическое моделирование позволило выявить, что для составного электрода со средней лентой Св-20Х13 сечением  $50 \times 0,5$  мм и боковыми лентами Св-08кп сечением  $25 \times 0,7$  мм ( $\alpha = 120^\circ$ ), с ростом зазора  $e$  между лентами до 6...8 мм расчётная форма ванны (рис. 3, а) изменяется незначительно, хотя увеличивается её ширина. С дальнейшим ростом зазора  $e$  (до 10...12 мм) в очертаниях изотермы плавления появляются признаки разделения общей ванны (рис. 3, б), а на поперечном сечении валика в зоне зазора уменьшается глубина проплавления. Увеличение зазора  $e$  до 15 мм сопровождается нарушением формирования и разделением общей ванны (рис. 3, в). Из-за недостатка расплавленного металла исчезают перемычки между отдельными частями и образуются три отдельных ванны.

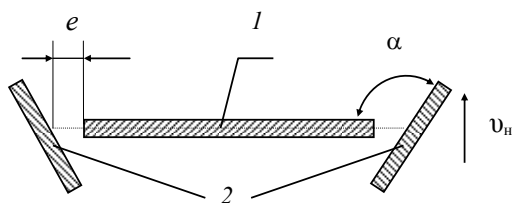


Рис. 1. Поперечное сечение составного ленточного электрода с зазором  $e$  между средней  $1$  и боковыми  $2$  лентами:  $\alpha$  – угол поворота боковых лент

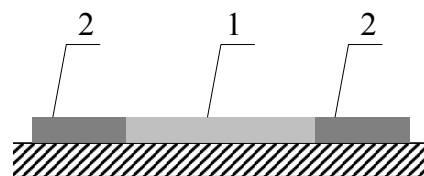


Рис. 2. Схема макроразнородной структуры валика, наплавленного составным ленточным электродом:  $1, 2$  – наплавленный металл в зоне средней и боковых лент

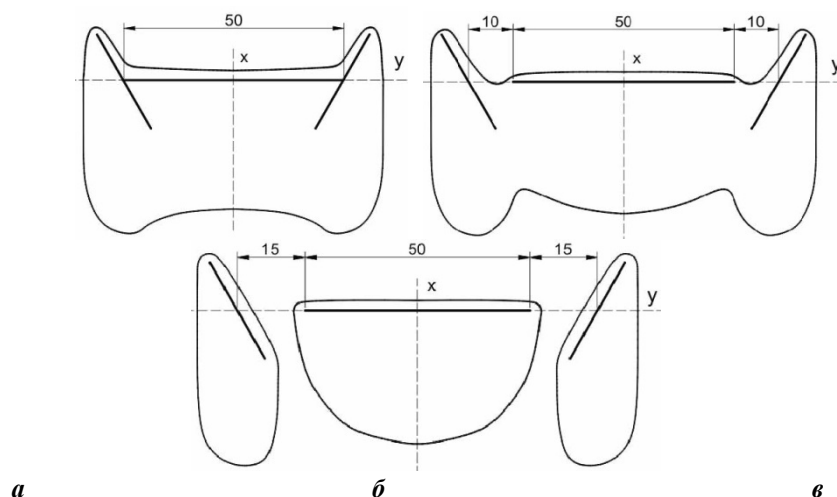


Рис. 3. Расчётная форма ванны при наплавке составным ленточным электродом:  
*a* – без зазора между средней и боковыми лентами; *б* – зазор 10 мм; *в* – 15 мм

Ширина сварочной ванны, при зазоре 5 мм между основной и боковыми лентами, возрастает за счёт теплопередачи жидким металлом, поступающим на периферию ванны при плавлении расположенных под углом боковых лент. Вместе с тем, ослабевает интенсивность поперечного потока в направлении от края к середине, прежде всего, в верхних слоях расплава ванны. Это ослабление сопровождается движением расплава стали 20X13, направленным от середины к краям ванны. При увеличении зазора между лентами до 8...10 мм значительный рост ширины и площади зеркала сварочной ванны (при неизменном значении погонной энергии и массовой скорости плавления составного электрода) приводит к повышенному теплоотводу и более высокой скорости охлаждения расплавленного металла. Вследствие снижения жидкотекучести и интенсивности потоков расплавленного металла, затрудняется перемешивание расплава сталей 20X13 и 08кп. В средней части поперечного сечения валика (в зоне, образованной при плавлении ленты Св-20X13) формируется структура высокохромистого металла высокой твёрдости (380...390 НВ), которая снижается до 150...160 НВ на краях (в зоне плавления лент Св-08кп). В отличие от однослойной, наплавленная многослойная композиция позволяет сочетать высокую энергоёмкость разрушения со специфическими свойствами каждого слоя (прочностью, пластичностью, износостойкостью).

УДК 629.113

## ПОЛІПШЕННЯ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ ЛЕГКОВИХ АВТОМОБІЛІВ В УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Славін<sup>1</sup> В.В., Фірман<sup>2</sup> П.І., Гоферюк<sup>1</sup> В.В.

1 - Чернівецький Національний університет імені Юрія Федьковича, м. Чернівці, Україна

2 - Чернівецький факультет, Національний технічний університет «ХПІ»

**Анотація:** У роботі наведено переваги сучасних систем живлення бензинового двигуна паливом над карбюратором. Представлені результати досліджень паливної економічності колісного транспортного засобу категорії М в умовах експлуатації з штатною карбюраторною системою живлення та електронною розподіленою системою впорскування бензину із зворотнім зв'язком та системою зниження токсичності відпрацьованих газів. Головна ідея дорожніх випробувань полягає у визначенні експлуатаційних витрат палива розповсюдженим представником колісних транспортних засобів категорії М з карбюраторними двигунами для обґрунтування доцільності встановлення системи впорскування. Автори провели дорожні випробування для визначення динамічних якостей обраного колісного транспортного засобу з карбюраторною системою та системою впорскування, яка підтримує екологічні норми рівня «Євро-2».

**Ключові слова:** динаміка, паливна економічність, система впорскування бензину, карбюраторна система живлення, колісний транспортний засіб.

Одним із шляхів поліпшення основних показників автомобілів з карбюраторними двигунами в умовах експлуатації є заміна їх на системи впорскування бензину. Автомобілі з карбюраторними системами живлення є споживачем світлих нафтопродуктів та основним джерелом викидів шкідливих речовин у навколишнє середовище. Переваги систем впорскування бензину над карбюраторами однозначні, завдяки дозованому впорскуванню палива в залежності від навантаження двигуна та змінних величин (поточне положення дроселя, температура охолодної рідини і впускного повітря, тиск навколишнього середовища) можна значно покращити основні експлуатаційні показники автомобіля: збільшується потужність на 15-25%; зростає паливна економічність двигуна на 10-15%; знижується токсичність відпрацьованих газів [1].



Карбюраторна система живлення



Система розподіленого впорскування бензину

Рис. 1. Обладнання легкового автомобіля сучасною системою впорскування в умовах експлуатації

Доцільність конструктивних змін щодо переобладнання легкового автомобіля з карбюраторним двигуном на сучасну систему впорскування бензину із зворотнім зв'язком та

трикомпонентним каталітичним нейтралізатором і системою вловлювання випарів бензину (рис. 1) перевірено експериментальним методом.

У роботі досліджується електронна система розподіленого впорскування бензину типу LH-Motronic, яка підтримує зворотній зв'язок по датчику кисню, а також у своєму складі містить систему забезпечення чистоти повітря навколо автомобіля - система вловлювання випарів бензину [2].

Спочатку проводилися дорожні випробування автомобіля з карбюраторною системою живлення та електронною розподіленою системою впорскування бензину. Для визначення експлуатаційної витрати палива проведено дорожні випробування автомобіля з різними системами живлення в міських умовах.

Для обох систем живлення проведено 7 заїздів в один і той же час протягом двох днів. Результати дорожніх випробувань наведено в табл. 1.

З таблиці видно, що система впорскування забезпечує зниження витрати палива в середньому на 7,3%. Результати міських випробувань показують, що система впорскування ефективно працює в перехідних режимах роботи двигуна.

Таблиця 1

**Результати дорожніх випробувань легкового автомобіля в умовах міста**

№ п/п заїзду	Система впорскування			Карбюратор			Q <sub>s</sub> , %
	Q <sub>s</sub> , л/100км	V <sub>a</sub> , км/год	t <sub>ср</sub> , с	Q <sub>s</sub> , л/100км	V <sub>a</sub> , км/год	t <sub>ср</sub> , с	
1	7,948	27,238	793	7,292	33,23	650	
2	7,380	29,916	722	8,579	28,761	751	
3	7,065	32,238	670	8,440	31,395	688	
4	7,544	31,718	681	8,037	33,23	650	
5	7,204	29,15	741	8,049	29,875	723	
6	7,443	31	697	7,683	32,628	662	
7	7,002	33,282	649	7,570	32,628	662	
<b>Серед.</b>	<b>7,37</b>	<b>30,65</b>	<b>707,571</b>	<b>7,95</b>	<b>31,678</b>	<b>683,714</b>	
<b>σ<sub>x</sub></b>	±0,122	±0,773	±18,441	±0,176	±0,663	±14,884	
<b>ρ<sub>x</sub></b>	±0,082	±0,522	±12,438	±0,118	±0,447	±10,039	
<b>σ<sub>макс</sub></b>	0,366	2,321	55,324	0,528	1,989	44,654	
<b>δ</b>	±1,117*10 <sup>-2</sup>	±1,7*10 <sup>-2</sup>	±1,75*10 <sup>-2</sup>	±1,49*10 <sup>-2</sup>	±1,41*10 <sup>-2</sup>	±1,468*10 <sup>-2</sup>	

Відомо, що система живлення впливає на потужність двигуна, і як наслідок характеризує динамічні властивості автомобіля. Для перевірки цього проведено порівняльні випробування для визначення динаміки розгону автомобіля до швидкості 90 км/год з карбюратором і системою впорскування бензину при проміжному положенні дросельної заслінки (φ=70%), яке широко використовується в умовах експлуатації. Визначено, що перехід до системи впорскування забезпечує зниження часу розгону на 4,81%, при цьому витрата палива за розгін знижується на 7,75%.

**Список літератури:**

1. Славін В. В. Вплив типу системи живлення на показники паливної економічності автомобілів / В. В. Славін // Проблеми транспорту: збір. наук праць. – 2012. - Випуск 9. – с. 198-201.
2. Гунько А. В. Шляхи зниження шкідливих викидів легковими автомобілями в умовах експлуатації / А. В. Гунько, В. В. Славін, І. В. Манько // Вісник НТУ. – 2011. – №22. – с. 118– 126.

УДК 621.664

## УДОСКОНАЛЕННЯ РЕВЕРСИВНОГО ШЕСТЕРЕННОГО НАСОСА ІЗ САМОДІЮЧИМ КЛАПАНОМ

Гузенко Ю.М.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

Найбільш прості шестеренні насоси для перекачування рідини містять корпус з двома шестернями, а також одну всмоктувальну і нагнітальну порожнини, розміщені одна напроти другої по осі, розташованій перпендикулярно до осі розміщення обох своїх шестерень [1]. Проте такі шестеренні насоси не забезпечують перекачування рідини в одному напрямку при реверсивному обертанні їх привода.

Для забезпечення такої можливості відомий реверсивний шестеренний насос, який містить корпус з двома шестернями, двома всмоктувальними і нагнітальними порожнинами, а також самодіючий клапан із встановленою в його порожнині кулькою, при цьому обидві всмоктувальні порожнини розміщені одна напроти другої по осі шестерень і під прямим кутом до осі розміщення обох нагнітальних порожнин [2]. Проте використання такого шестеренного насоса не забезпечує достатню надійність автоматичного перекривання ним по черзі обох нагнітальних порожнин при реверсивному обертанні свого привода, оскільки тільки одна розміщена в порожнині самодіючого клапана кулька перекриває їх при дії на неї тиску перекачуваної рідини.

Виконання самодіючого клапана з двома встановленими в його порожнині кульками і однією розташованою між ними циліндричною пружиною стиску (рис. 1) забезпечує в цьому шестеренному насосі підвищення надійності автоматичного перекривання по черзі обох його нагнітальних порожнин при реверсивному обертанні привода [3].

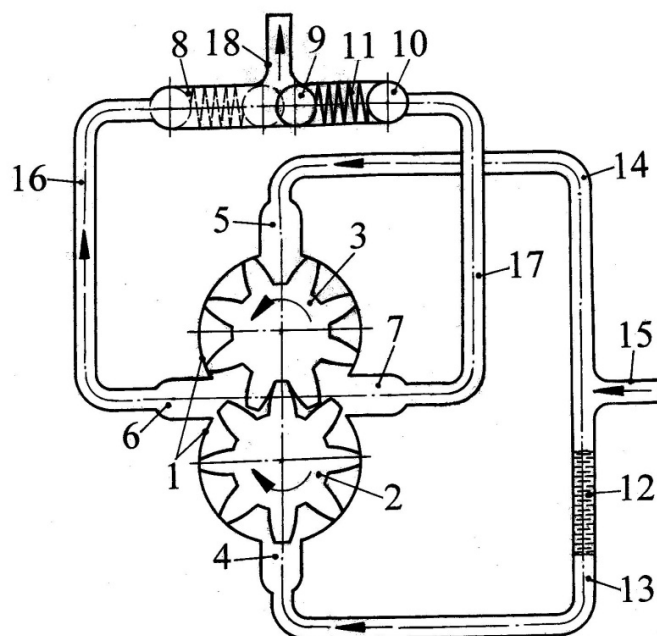


Рис. 1. Схема удосконаленого реверсивного шестеренного насоса із самодіючим клапаном:

1 – корпус; 2 – ведуча шестірня; 3 – ведена шестірня; 4, 5 – всмоктувальні порожнини; 6, 7 – нагнітальні порожнини; 8 – самодіючий клапан; 9, 10 – кульки; 11 – циліндрична пружина стиску; 12 – перекачувана рідина; 13, 14, 16, 17 – трубопроводи; 15 – вхідний патрубок; 18 – вихідний патрубок



При відсутності обертального руху обох шестерень в корпусі насоса відсутній також рух в ньому рідини та надходження її в порожнину самодіючого клапана з обома кульками і однією розташованою між ними пружиною стиску. В результаті відбувається дія зазначеної пружини стиску в сторони розміщення обох кульок і одночасне закривання ними отворів трубопроводів, з'єднаних з нагнітальними порожнинами корпусу.

При обертанні ведучої шестірні по годинниковій стрілці і веденої шестірні проти годинникової стрілки перекачувана в насосі рідина надходить в корпус через обидві його всмоктувальні порожнини, які трубопроводами з'єднані з вхідним патрубком. Всмоктана в корпус насоса рідина перекачується далі в нагнітальну порожнину самодіючого клапана з її кульками та пружиною стиску.

Одночасне надходження рідини в порожнину вказаного самодіючого клапана саме з цієї сторони створює тиск на одну кульку, яка при здійсненні повздовжнього переміщення в порожнині самодіючого клапана діє на пружину стиску, а вона на другу таку кульку. Разом з цим, забезпечується закривання другою кулькою вхідного отвору трубопроводу, з'єданого з цієї сторони нагнітальною порожниною корпусу насоса, а також надходження у вихідний патрубок перекачуваної рідини.

При обертальних рухах ведучої і веденої шестерень в зворотних від вказаних до цього напрямках (не показано) перекачувана в насосі рідина також спочатку надходить в корпус через обидві його всмоктувальні порожнини, з'єднані трубопроводами з вхідним патрубком. Тільки після цього всмоктана в корпус насоса рідина перекачується в другу його нагнітальну порожнину і по з'єданому з нею трубопроводу знову надходить в порожнину самодіючого клапана з її кульками та пружиною стиску.

Одночасне надходження рідини в порожнину самодіючого клапана вже з його другої сторони також викликає створення тиску на одну кульку, яка при здійсненні повздовжнього переміщення в порожнині самодіючого клапана знову діє на пружину стиску, а вона на другу кульку. При цих умовах друга кулька забезпечує закривання вхідного отвору трубопроводу, з'єданого вже з цієї сторони нагнітальною порожниною корпусу, що відповідно забезпечує можливість надходження перекачуваної рідини у вихідний патрубок.

Після припинення обертального руху обох шестерень в корпусі насоса перекачування рідини припиняється і знову відбувається в самодіючому клапані дія його пружини стиску на обидві кульки з надійним закриванням ними вхідних отворів трубопроводів, з'єднаних з нагнітальними порожнинами корпусу. При повторному відновленні роботи насоса незалежно від напрямку обертального руху обох його шестерень перекачувана в ньому рідина буде по трубопроводу надходити до самодіючого клапана з будь-якої сторони та автоматично і по черзі здійснювати перекривання однієї з нагнітальних порожнин корпусу насоса.

Таким чином, здійснене удосконалення реверсивного шестеренного насоса підвищує надійність автоматичного перекривання по черзі обох нагнітальних порожнин незалежно від напрямку обертання свого привода. Разом з цим, значно покращується працездатність цього ж насоса при використанні замість обох кульок циліндричних стрижнів з плоскими торцями на одних кінцях і напівсферичними торцями на других кінцях [4], а також при допоміжному виконанні із сторони плоских торців стрижнів глухих отворів для кінців пружин [5].

#### Список літератури.

1. Юдин Е.М. Шестеренные насосы. – М.: Машиностроение, 1964. – 236 с.
2. А. с. СССР № 171266, МПК F 04 C 2/04; F 04 C 2/08; F 04 C 15/02. Реверсивный шестеренчатый насос /А.И. Степанов, С.В. Павленко, А.Н. Лысенко. – Заявл. 23.12.1960. Оpubл. 11.05.1965. Бюл. № 10. – 2 с.
3. Патент України на корисну модель № 89193, МПК F 04 C 2/04; F 04 C 2/08; F 04 C 15/00. Реверсивный шестеренный насос /Ю.М. Гузенко: власник НТУУ «КПІ». – Заявл. 22.11.2013. Оpubл. 10.04.2014. Бюл. № 7..
4. Патент України на корисну модель № 105213, МПК F 04 C 2/04; F 04 C 2/08; F 04 C 15/00. Реверсивный шестеренный насос /Ю.М. Гузенко: власник НТУУ «КПІ». – Заявл. 20.08.2015. Оpubл. 10.03.2016. Бюл. № 5.
5. Патент України на корисну модель № 114378, МПК F 04 C 2/00; F 04 C 15/00. Реверсивный шестеренный насос /Ю.М. Гузенко: власник НТУУ «КПІ». – Заявл. 05.08.2016. Оpubл. 10.03.2017. Бюл. № 5. – 4 с.

УДК 621.002:004.896

## ФОРМАЛІЗОВАНИЙ СИНТЕЗ СТРУКТУРИ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ МЕХАНІЧНОГО ОБРОБЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИНОБУДУВАННЯ

**Войтенко В.І.**

КПІ ім. Ігоря Сікорського м.Київ, Україна

*Анотація:* Розглядається методика формалізованого (алгоритмічного) синтезу структури технологічних процесів механічної обробки деталей машино- та приладобудування. Синтез виконується після автоматизованого проектування принципової схеми технологічного процесу. Подано приклад синтезу формули структури технологічного процесу обробки деталі «Ступінчатий вал».

*Ключові слова:* структура технологічного процесу, принципова схема технологічного процесу; системи автоматизованого проектування.

Проектування структури технологічного процесу (що традиційно називають проектуванням маршрутного ТП) виконується на другому рівні деталізації проектування, після вже сформованої, на першому рівні, принципової схеми [1,2,3,4].

Основи методики формалізованого синтезу

Вихідними даними при проектуванні структури є один, або декілька варіантів принципової схеми ТП, відомості про форму деталі, розміри її поверхонь з якісними вимогами до них, лінійні та кутові розміри, що встановлюють взаємне розташування поверхонь поміж собою, відомості про форму та розміри заготовки, а також відомості про програму випуску.

Метою проектування на цьому рівні є вибір найбільш раціонального варіанту складу та послідовності технологічних операцій, вибір технологічних баз, металорізального обладнання та затискних пристроїв на кожну операцію.

Технологічний процес ( його структура) формується послідовно, по етапам, від молодших етапів до старших. Це є першим ключовим моментом формалізованого синтезу структури ТП. Послідовність операцій в межах одного із етапів встановлюється з урахуванням технологічних можливостей наявного обладнання та оснастки, форми та габаритів деталі, вимог точності взаємного розташування поверхонь деталі, лінійних та кутових розмірних ланцюгів між поверхнями деталі, також враховується величина програми випуску.

Алгоритм синтезу структури ТП складається з наступних основних блоків:

1). Формування на кожному із призначених етапів укрупнених технологічних операцій (у відповідності до типів прийнятих методів обробки). Утворюються “Токарні”, “Фрезерні”, “Свердлувальні” та інші укрупнені операції. Однак, слід відмітити, що при проектуванні ТП корпусних деталей для обробки базової поверхні слід виділяти окрему операцію.

2). Ранжування укрупнених операцій – присвоєння кожній укрупненій операції відповідного рангу і встановлення таким чином послідовності їх виконання. Ранжування операцій є другим ключовим моментом формалізованого синтезу структури ТП.

3). Розділення укрупнених операцій на прості і встановлення послідовності їх виконання в складі конкретної укрупненої операції.

4). Вибір типу та моделі металорізального обладнання для кожної простої операції.

Ранг технологічної операції визначається значеннями рангів поверхонь, обробка яких виконується в складі конкретної операції. Розрізняють поверхні першого, другого, третього і т.д. рангів. Поверхні першого рангу – базові поверхні (для деталей, що не є “тілами обертання”) , або ж поверхні основного контуру деталей типу “тіла обертання” (циліндричні, конічні, сферичні та торцеві поверхні, вісі яких співпадають із віссю деталі). Слід відмітити,

що для деталей типу “тіла обертання” поверхонь першого рангу, як правило, декілька. Бо послідовність обробки їх між собою не впливає на їх взаємне розташування (при обробці з однієї установки). Натомість для деталей типу “не тіла обертання” поверхня першого рангу завжди одна. Порядок обробки поверхні першого рангу не вимагає обов’язкової попередньої обробки якоїсь із поверхонь. Порядок обробки поверхні другого рангу залежний в часі від попередньої до неї обробки відповідної поверхні першого рангу. Аналогічно поверхні третього та наступних рангів можуть бути обробленими тільки після обов’язкової попередньої обробки поверхонь відповідного (на одиницю меншого) рангу.

Ранг всієї укрупненої операції визначається найбільшим рангом поверхні, що обробляється в складі цієї операції. Наприклад, якщо в складі певної операції обробляється деяка кількість поверхонь другого рангу і одна поверхня четвертого рангу, всій операції буде присвоєно четвертий ранг.

Технологічний процес в межах кожного із технологічних етапів формується, починаючи з першого рангу, в послідовності збільшення рангів технологічних операцій.

Визначення послідовності виконання укрупнених технологічних операцій однакового рангу виконується із застосуванням принципу суміщення конструкторських баз із технологічними. В першу чергу враховується наявність чи відсутність в кресленні деталі розмірних (лінійних чи кутових) ланцюгів з високими якісними вимогами, що регламентують взаємне розташування плоских поверхонь, пазів, нецентральных отворів, зубчатих, шліцевих поверхонь і т.п. між собою. При наявності таких регламентацій враховують наявні технологічні можливості обробки і залежну від них певну традиційну виробничу “пріоритетність” технологічних операцій. Наприклад, наявність в кресленні деталі високих вимог забезпечення кутового розміру між впадиною одного із зуб’ів зубчатого вінця та площиною уступу, вимагає (з огляду на можливості обробки) першочергової обробки зубчатого вінця. Потім, з базуванням по впадині між зуб’ями, можна вести обробку уступу, забезпечуючи заданий кутовий розмір. Подібний виробничий досвід фіксується набором евристичних правил, які і використовуються для формального визначення послідовності обробки поверхонь однакового рангу. Далі подається приклад деяких таких правил:

1. при визначенні послідовності обробки плоских поверхонь, пазів, нецентральных отворів, зубчатих поверхонь, шліцевих поверхонь і т.п. пріоритет, як правило, віддається плоским поверхням найбільших габаритів;
2. при наявності високих вимог точності взаємного розташування зубчатих, або шліцевих поверхонь по відношенню до пазів, або нецентральных отворів, першими обробляють зубчаті, або ж шліцові поверхні. Обробка пазів та нецентральных отворів ведеться з базуванням по зубчатій, або шліцевій поверхні; при відсутності вищезазначених вимог, або коли вони невисокі, спочатку обробляють пази та нецентральні отвори, а вже потім обробляють зубчаті та шліцові поверхні;
3. при наявності високих вимог до точності взаємного розташування пазів по відношенню до нецентральных отворів, першими обробляють нецентральні отвори. Далі, з базуванням по отвору, виконується обробка пазів;
4. вікна, або колодязі прямокутної форми, як правило, обробляють також після нецентральных отворів. Пов’язано це з тим, що при обробці нецентральных отворів доцільно обробити також і технологічний отвір, що забезпечить при фрезеруванні занурення кінцевої фрези на задану глибину;
5. зовнішні різі з високими вимогами до їх точності, обробляються в кінці маршруту технологічного процесу з метою забезпечення неушкодженості різі при переміщенні між заготовки між робочими місцями.

Застосування методики синтезу

Розробку принципової схеми ТП, формування укрупнених технологічних операцій, встановлення їх послідовності виконання та синтез формули структури ТП розглянемо на прикладі деталі типу ступінчатого вала [1. Стр. 184]. Деталь має тринадцять поверхонь, що підлягають обробці.

В якості заготовки використовується штампівка з мінімально-доцільними припусками. При цьому вважається, що крайні торці та центрові гнізда попередньо оброблені при виконанні фрезерно-центрувальної операції.

Перші сім поверхонь складають основний контур деталі. Серед них циліндричні поверхні та проміжні між ними торцеві поверхні. Всі ці поверхні являються поверхнями першого рангу. На структурно-технологічній моделі деталі [1. Стр. 184] вони відображені низкою горизонтальних векторів. Відомості про головні розміри поверхонь, вимоги до їх точності та шорсткості подані частково на структурно-технологічній моделі та у відповідних стовпчиках принципової схеми ТП [1. Стр. 186].

При об'єднанні технологічних операцій та переходів по різновидам методів обробки, одержуємо такий склад укрупнених технологічних операцій та їх ранги:

**ТОК<sup>4</sup> (Тч<sub>1</sub>^Тч<sub>2</sub>^ Тч<sub>3</sub>^ Тч<sub>4</sub>^ Тч<sub>5</sub>^ Тч<sub>6</sub>^ Тч<sub>7</sub>) - I ранг;**  
**СВЕРДЛ<sup>4</sup> (Св<sub>10</sub>^ Св<sub>12</sub>) - III ранг; ФРЕЗ<sup>4</sup> (Фр<sub>13</sub>) - II ранг;**  
**ФрезШпон<sup>4</sup> (ФШ<sub>11</sub>) - II ранг; ЗубФрез<sup>4</sup> (Зфр<sub>9</sub>) - II ранг;**  
**РізНар<sup>4</sup> (Рнр<sub>8</sub>) - II ранг;**  
**КругШл<sup>8</sup> (Шл<sub>1</sub>^Шл<sub>3</sub>^ Шл<sub>7</sub>) - I ранг; ТорцШл<sup>8</sup> (Тшл<sub>2</sub>) - I ранг;**  
**ЗубШл<sup>8</sup> (Зшл<sub>9</sub>) - II ранг; ПлШл<sup>8</sup> (Пшл<sub>13</sub>) - II ранг;**  
**ТорцШл<sup>11</sup> (Тшл<sub>2</sub>) - I ранг; РізШл<sup>11</sup> (Ршл<sub>8</sub>) - II ранг.**

Згідно з евристичними алгоритмами традиції сучасного машинобудування наступною має виконуватись обробка плоскої поверхні – уступу (пов. 13). Для встановлення послідовності виконання зубонарізної та шпоночно-фрезерної операцій враховуємо наявність високих вимог до кутового розміру між впадиною зубчатого вінця (пов. 9) та уступом (пов. 13). Тому спочатку доцільно обробити зубчатий вінець, а далі, з базуванням по середині однієї із його впадин, обробити уступ, а потім шпоночний паз. Така ж послідовність виконання збережеться для зубчатої поверхні та уступу і в 8-му етапі.

Третій ранг свердлувальної операції, обумовлений третім рангом поверхні з номером 12, визначає останнє її положення в складі операцій 4-го етапу.

Враховуючи ранги операцій, типи поверхонь і наявні вимоги точності і взаємного розташування зубчатої поверхні із шпоночним пазом і уступом, формула структури технологічного процесу приймає вигляд:

$$\begin{aligned} \text{ТП} = & \text{ТОК}^4 (\text{Тч}_1 \text{Тч}_2 \text{Тч}_3 \text{Тч}_4 \text{Тч}_5 \text{Тч}_6 \text{Тч}_7) \wedge \text{РізНар}^4 (\text{Рнр}_8) \wedge \\ & \text{ЗубФрез}^4 (\text{Зфр}_9) \wedge \text{ФРЕЗ}^4 (\text{Фр}_{13}) \wedge \text{ФрезШпон}^4 (\text{ФШ}_{11}) \wedge \\ & \text{СВЕРДЛ}^4 (\text{Св}_{10} \text{Св}_{12}) \wedge \text{КругШл}^8 (\text{Шл}_1 \text{Шл}_3 \text{Шл}_7) \wedge \text{ТорцШл}^8 (\text{Тшл}_2) \wedge \\ & \text{ЗубШл}^8 (\text{Зшл}_9) \wedge \text{ПлШл}^8 (\text{Пшл}_{13}) \wedge \text{ТорцШл}^{11} (\text{Тшл}_2) \wedge \text{РізШл}^{11} (\text{Ршл}_8). \end{aligned}$$

В одержаній формулі вся токарна обробка в 4-му етапі сконцентрована в одній операції. Така обробка можлива, але є недоцільною, бо при обробці поверхонь, що розташовані зліва виникнуть проблеми передачі крутного моменту. Тому, з метою забезпечення можливості використання доцільних режимів різання необхідно укрупнену операцію 4-го етапу розділити мінімум на дві “прості”. Остаточне рішення залежить від партії деталей та типу виробництва. При реальному проектуванні та необхідності забезпечення синхронізації, слід враховувати трудомісткість елементарних операцій. Далі подано приклад формули структури ТП при розділенні токарної напівчистої обробки в четвертому етапі на дві операції.

$$\begin{aligned}
 \text{ТП} = \{ & \text{ТОК}^4(\text{Тч}_1 \wedge \text{Тч}_2 \wedge \text{Тч}_3 \wedge \text{Тч}_4) \wedge \text{ТОК}^4(\text{Тч}_5 \wedge \text{Тч}_6 \wedge \text{Тч}_7) \wedge \text{РізНар}^4(\text{Рнр88}) \wedge \\
 & \text{ЗубФрез}^4(\text{Зфр9}) \wedge \text{ФРЕЗ}^4(\text{Фр13}) \wedge \text{ФрезШпон}^4(\text{ФШ11}) \wedge \text{СВЕРДЛ}^4(\text{Св10} \wedge \text{Св12}) \wedge \\
 & \text{КругШл}^8(\text{Шл}_1 \wedge \text{Шл}_3 \wedge \text{Шл}_7) \wedge \text{ТорцШл}^8(\text{Тшл}_2) \wedge \text{ЗубШл}^8(\text{Зшл}_9) \wedge \\
 & \text{ПлШл}^8(\text{Пшл13}) \wedge \text{ТорцШл}^{11}(\text{Тшл}_2) \wedge \text{РізШл}^{11}(\text{Ршл8}_8) \}
 \end{aligned}$$

## Висновки

Розглянута методика формалізованого синтезу структури технологічних процесів виготовлення деталей машинобудування сприяє значному підвищенню рівня автоматизації проектування і скороченню трудомісткості проектування. Проведені дослідження реальних витрат часу на проектування технологічних процесів обробки деталей середньої складності [7]. Результати досліджень доводять, що застосування викладеної методики, разом з САПР ТП розробки автора, скорочує трудомісткість від 10 -80 годин при традиційному проектування до 1 – 1,5 годин при автоматизованому.

## Список літератури:

1. *Войтенко В.І. Системи автоматизованого проектування технологічних процесів машинобудування*. Навчальний посібник. К.: НТУУ „КПІ”, 2012. -232 с. – Бібліогр.: с. 226-228. Гриф МОНМС України. (Лист №1/11-2321 від 21.02.2012 р.). УДК 621.002:004.896(075.8) ББК 34.5-5-05я73 ISBN 978-966-622-488-3-232с.
2. *Войтенко В.І. Программный продукт «Система автоматизированного проектирования технологических процессов механической обработки «Sapг\_2017»*. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 69883. від 18.01.2017. Державна служба інтелектуальної власності України. Бюлетень. ”Авторське право та суміжні права” № 42.
3. *Войтенко В.І. Табличные модели назначения маршрута обработки поверхности*. <http://moiidei.com/education/education-teaching.html>. 16.06.2014.
4. *Войтенко В.І. Структурно-параметрический синтез ТП механообработки*. IX Междун. конференция «Стратегия качества в промышленности и образовании». 08 – 16 июня 2013, г. Варна, Болгария: материалы в 3-х т. Т1(1.3).- Днепропетровск-Варна, 2013.- С.-. (Международ. науч. журн. Acta Universitatis Pontica Euxinus/ Спец. выпуск).
5. *Цветков В.Д. Системно-структурное моделирование и автоматизация проектирования технологических процессов*. - Минск: Наука и техника, 1979,- 264 с.:ил.
6. *Войтенко В.І. Формализованный синтез структуры технологических процессов обработки деталей машиностроения*. Журнал «Современный научный вестник» № 17 (213) 02.04.2014. Серия: Технические науки. Днепропетровск, из-во «Наука и образование»
7. *Войтенко В.И., Крусъ А.В. Трудоёмкость автоматизированного проектирования технологических процессов механообработки*. <http://www.moiidei.com/образование|обучение>. 05.02.2011.