

## ВИГОТОВЛЕННЯ ВАЛІВ РОТОРІВ ТУРБОКОМПРЕСОРІВ АВТОМОБІЛЬНИХ ДВИГУНІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ЗВАРЮВАННЯ ТЕРТЯМ

*Зягор І.В., кандидат технічних наук*

**Постановка проблеми.** Актуальною проблемою сучасного автомобільного двигунобудування є виготовлення біметалічних валів роторів турбокомпресорів (ТКР). Колеса вала ТКР виготовляють із жароміцних сплавів на нікелевій основі, хвостовики - з конструкційної сталі. Для одержання зварних біметалічних з'єднань використовується зварювання тертям (ЗТ) [1]. ЗТ є різновидом зварювання тиском, при якому зварне з'єднання утворюється у твердій фазі за рахунок локального нагрівання й спільного пластичного деформування заготовок при їхньому стисканні й відносному обертанні [2]. Одержання якісних з'єднань жароміцних нікелевих сплавів з конструкційними сталями пов'язано з рядом труднощів, обумовлених значною відмінністю фізико-механічних властивостей цих матеріалів.

**Аналіз останніх досліджень та постановка завдання.** Питання одержання якісних з'єднань жароміцних нікелевих сплавів із сталями залишається актуальним протягом багатьох років [1-6]. Заходи, спрямовані на підвищення жароміцності нікелевих сплавів, призводять до погіршення їх технологічності й особливо зварюваності. Проблема пов'язана із низькою пластичністю ливарних жароміцних сплавів на нікелевій основі внаслідок утворення великого відсотка зміцнюючої  $\gamma'$ -фази й наявності по границях дендритів евтектичних і карбідних фаз [7]. Відмінність теплофізичних властивостей, величин опору деформації при обробці тиском [8] жароміцних сплавів і конструкційних сталей призводять при зварюванні тертям до асиметрії температурних полів і неоднакового деформування зразків у зоні контакту [2-4]. При використанні традиційної технології конвенційного ЗТ у стиках з'являються периферійні непровари [3-5]. Необхідною умовою одержання задовільних з'єднань є застосування формуючих пристроїв, які встановлюються на зразок з конструкційної сталі; загальний час зварювання становить близько 30 с [4]. Крім того, спостерігається схильність до утворення перехідного прошарку змінного хімічного складу і пліткових включень [4-6], які знижують показники механічних властивостей з'єднань.

Мета досліджень полягала у визначенні умов одержання бездефектних зварних з'єднань жароміцних нікелевих сплавів з конструкційною сталлю і розробці технології ЗТ біметалічних валів роторів турбокомпресорів.

**Викладення основного матеріалу.** Для одержання біметалічних валів ротора ТКР виконували зварювання тертям коліс, виготовлених із різних типів жароміцних нікелевих сплавів, з хвостовиками зі сталі 40X. Хімічний склад матеріалів наведено у таблиці 1.

*Таблиця 1.*

**Хімічний склад матеріалів**

Марка сплаву	Вміст елементів, %									
	C	Cr	Ti	Al	Mo	W	Nb	Fe	Co	Ni
Сплав 1	0,12	21,5	3,5	2,5	0,6	3,9	0,3	0,07	10,6	Основа
Сплав 2	0,07	15,7	4,5	3,1	2,0	5,0	0,15	0,04	11,2	Основа
GMR-235	0,15	15,3	2,2	3,7	4,9	<1	-	10,5	1,5	Основа
ЖСЗДК	<0,1	13,5	2,5	5,0	3,9	4,5	1,3	0,4	6,5	Основа
Сталь 40X	0,4	0,9	-	-	-	-	-	Основа	-	<0,3

Експерименти проводилися на машинах СТ109А і СТ-120 модернізованих для реалізації способів ЗТ за патентами [9, 10]. Технологічні параметри зварювання тертям змінювали у таких межах: тиск при нагріванні  $P_n=50\text{...}400$  МПа, тиск проковки  $P_{np}=200\text{...}500$  МПа, окружна швидкість  $V=1\text{...}2$  м/с, час нагрівання  $t_n=3\text{...}30$  с. Значення часу гальмування обертання на заключній стадії процесу ЗТ змінювали у межах  $t_r=0,1\text{...}5,0$  с. Структуру біметалічних з'єднань вивчали з використанням оптичної мікроскопії ("Neophot-32") і растрової електронної мікроскопії (JSM- 35CA фірми "Jeol"). Енергодисперсійний аналіз зони з'єднання проводили на установці "INCA-450" фірми

Oxford Instruments" з діаметром зонду близько 1км. Вимір мікротвердості металу зони з'єднання проводили на мікротвердомірі М400 фірми "LECO" при навантаженні 1- 5 Н.

При механічних випробуваннях на розрив біметалічних валів, отриманих за традиційною технологією конвенційного ЗТ, руйнування відбувається у площині з'єднання (рис. 1). Використання формуючих пристроїв дозволяє зменшити площу периферійних непроварів, але не запобігає утворенню плівкових включень, які на поверхні зламу з'єднання мають вигляд «блискучих кілець». Фазовий склад металу «блискучих кілець» з обох боків зламу, відповідає складу нікелевого сплаву але з підвищеним вмістом карбідоутворюючих елементів – титану, ніобію, вольфраму [6]. Ці дані свідчать, що природа «блискучих кілець» пов'язана з утворенням у процесі ЗТ кільцевих ділянок з підвищеним вмістом карбідних фаз. Встановлено, що в процесі нагрівання спостерігається зміщення поверхні тертя в нікелевий сплав і в результаті переносу часток нікелевого сплаву на поверхню конструкційної сталі утворюється проміжний прошарок. Саме у площині максимальної зсувної деформації (площині тертя) відбувається ліквідація карбідоутворюючих елементів і спостерігається випадіння значної кількості карбідних фаз, які після зупинки обертання формують крихкі плівкові включення у зварному з'єднанні.



Рис.1. Поверхні руйнування з'єднань сплаву ЖСЗДК із сталлю 40Х після випробувань на розрив

Для дослідження поведінки контактуючих поверхневих шарів у зоні контакту при ЗТ сплаву ЖСЗДК із сталлю 40Х проводили експерименти по зупинці процесу нагрівання на його початкових стадіях і досліджували мікроструктуру з'єднань. Встановлено, що процес ЗТ на початкових стадіях супроводжується глибинним вириванням і інтенсивними змінами навколишніх шарів матеріалу на значну глибину. Для структури з'єднань, одержаних при часі нагрівання менше 1 с, характерним є виникнення локальних утворень з повним або частковим перемішуванням елементів структури (рис. 2, табл. 2).

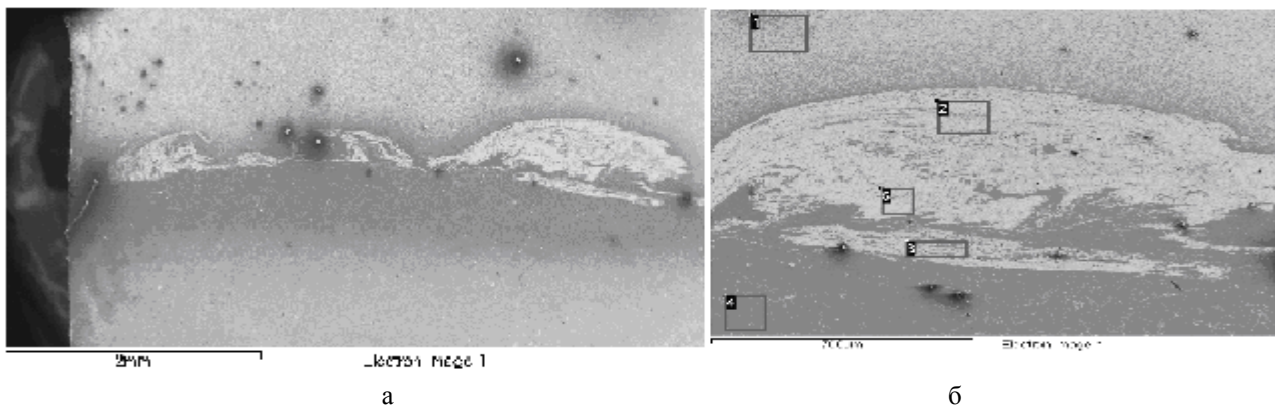


Рис. 2. Мікроструктура зони контакту сплаву ЖСЗ-ДК із сталлю 40Х на початковій стадії процесу ЗТ (а), локальне утворення з перемішуванням елементів структури

Таблиця 2.

Хімічний склад металу з'єднання сплаву ЖСЗ-ДК із сталлю 40Х (до рис. 2,б).

Spectrum	Вміст елементу, мас %									
	Al	Ti	V	Cr	Fe	Co	Ni	Mo	W	Si
1	0.00	0.00	0.00	1.05	98.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25
2	0.36	0.49	0.00	2.48	82.47	1.46	11.35	1.38	0.00	0.00
3	1.34	0.97	0.29	4.72	62.68	3.38	24.01	1.09	1.52	0.00
4	3.65	2.81	0.32	11.86	0.00	8.46	64.94	3.97	4.00	0.00
5	0.76	0.88	0.00	3.91	71.47	1.98	18.51	1.18	0.90	0.41

Глибина взаємного проникнення поверхневих шарів залежить від встановлених параметрів

режиму зварювання. При збільшенні тиску при нагріванні у діапазоні  $P_n=100...400$  МПа і зменшенні окружної швидкості обертання у діапазоні  $V=2,0...0,5$  м/с, глибина перемішування поверхневих шарів збільшується в межах від 80 мкм до 1 мм. Хімічний склад локальних утворень (проміжний між нікелевим сплавом і сталлю), свідчить про те, що перемішування поверхневих шарів відбувається у рідкому або твердо-рідкому стані.

У процесі подальшого нагрівання і деформації ці локальні утворення поступово трансформуються у прошарок, для якого характерна наявність шарів металу змінного хімічного складу (рис. 3). Проміжний прошарок являє собою смуги твердих розчинів легуючих елементів сплаву на основі заліза і нікелю, що утворюються в результаті взаємного перемішування і дифузії. Проміжний прошарок може містити дисперсні карбідні та інтерметалідні фази, які підвищують твердість металу з'єднання.

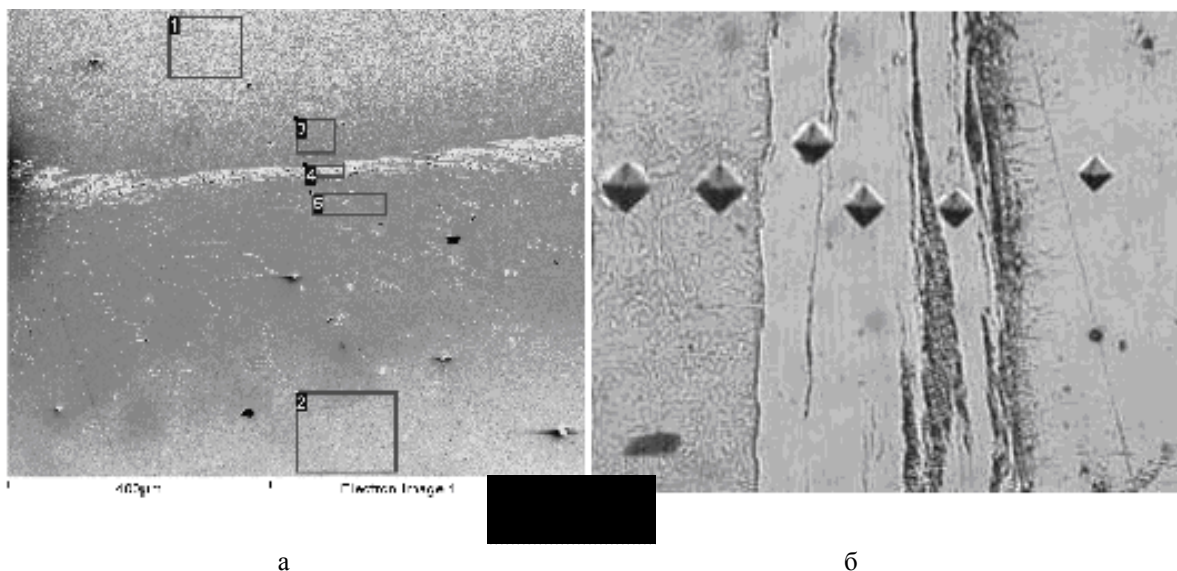


Рис. 3. Мікроструктура зони з'єднання сплаву ЖСЗДК із сталлю 40X при РЕМ (а) і оптичній мікроскопії (б)

Таблиця 3.

Фазовий склад металу з'єднання сплаву ЖСЗ-ДК із сталлю 40X (до рис. 3,а).

Spectrum	Al	Si	Ti	Nb	V	Cr	Co	Ni	Mo	W	Fe
1	0.00	0.29	0.00	0.00	0.00	1.04	0.00	0.70	0.00	0.00	97.97
2	3.16	0.00	2.65	0.00	0.00	12.59	7.53	65.39	4.50	4.18	0.00
3	0.00	0.00	0.23	0.00	0.00	1.07	0.00	0.51	0.00	0.00	98.19
4	1.61	0.00	1.31	0.00	0.00	5.54	3.90	29.71	1.88	2.38	53.68
5	3.91	0.00	3.13	0.00	0.00	11.69	7.85	66.29	4.16	2.96	0.00

Визначено вплив параметрів режиму ЗТ - частоти обертання  $n$ , тиску  $P_n$  і часу нагрівання  $t_n$ , на умови утворення проміжного шару й пов'язані з ним властивості з'єднань. Встановлено, що збільшення частоти обертання (окружної швидкості) на початковій стадії процесу ЗТ дозволяє зменшити глибину перемішування приконттактних об'ємів металу. В той же час, процес нагрівання при великих значеннях окружної швидкості характеризується досягненням більших значень температури в стикі і зменшенням швидкості деформації заготовок, що призводить до перегріву металу в зоні контакту і негативно позначається на властивостях з'єднань. При ЗТ із низькою частотою обертання інтенсифікується процес утворення в зоні з'єднання прошарків змінного складу.

На основі експериментальних досліджень встановлено, що для одержання якісних з'єднань жароміцних сплавів з конструкційними сталями циклограма зміни окружної швидкості і тиску в процесі ЗТ повинна сприяти мінімізації перемішування приконттактних об'ємів металу у твердо-рідкому стані на початкових стадіях процесу ЗТ і забезпечити максимальне витіснення перехідного прошарку зі стикі на його заключній стадії (при проковці).

Розроблена технологія ЗТ з програмним гальмуванням обертання [8,9] дозволяє забезпечити вказані умови формування зварних з'єднань. При ЗТ за цією технологією прикладення підвищеного

тиску проковки виконується в процесі гальмування обертання. Деформаційний вплив на метал у зоні з'єднання в процесі програмного гальмування обертання характеризується наявністю радіальної й тангенціальної складових. Завдяки цьому забезпечується витіснення за межі перетину заготовок проміжних прошарків, у з'єднанні формується перехідна зона із дрібнозернистої динамічно рекристалізованою структурою й різким перепадом концентрації легуючих елементів.

Зварювальна установка СТ109А (рис. 4,а), модернізована за патентом [9], успішно впроваджена на одному з підприємств України. Оцінка якості зварних з'єднань валів ротора ТКР різних типорозмірів (рис. 4,б) проводилась після термічної обробки за результатами механічних випробувань на розрив. Встановлено, що показники міцності з'єднань на 20...25% перевищують значення нормативних документів.

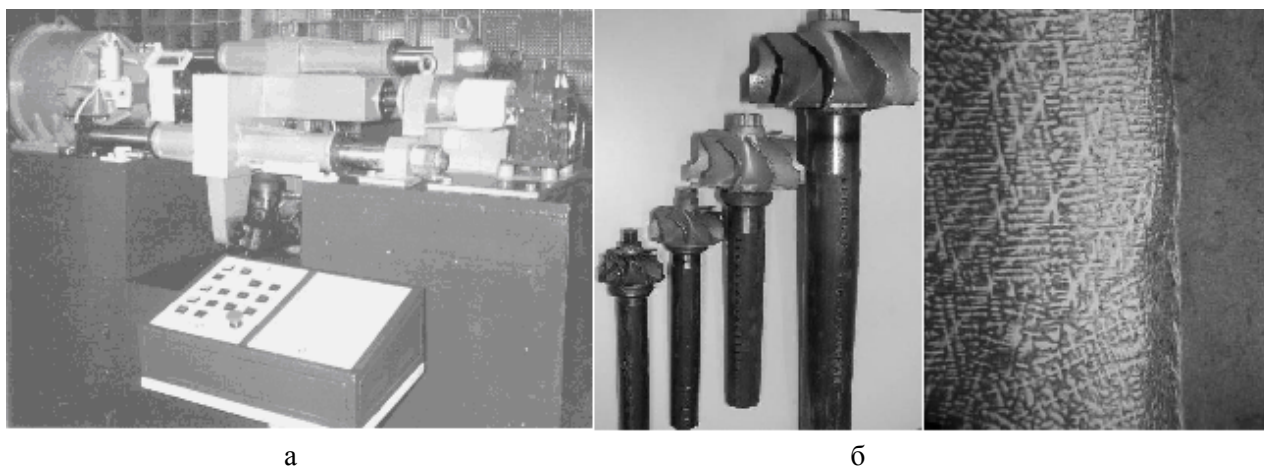


Рис.4. Модернізована установка СТ109А для зварювання тертям (а), зварні вали ротора ТКР (б)

#### Висновки

1. Процес ЗТ біметалічних з'єднань на початкових стадіях супроводжується глибинним вириванням і виникнення у зоні контакту локальних утворень з перемішуванням елементів структури. Перемішування поверхневих шарів відбувається у рідкому або твердо-рідкому стані.

2. У процесі нагрівання і деформації локальні структурні утворення трансформуються у прошарок змінного складу. Внаслідок ліквідації карбідоутворюючих елементів у площині тертя і спостерігається випадіння карбідних фаз і утворення крихких плівкових включення у з'єднанні.

3. Розроблена технологія ЗТ з програмним гальмуванням обертання сприяє мінімізації перемішування приконтактних об'ємів металу у твердо-рідкому стані на стадії нагріву і забезпечує витіснення перехідного прошарку зі стику при проковці.

#### Література

1. *Сварка трением*. Машиностроение: Энциклопедия. Т.Ш-4.-М.: Машиностроение, 2006.-с.153-157.
2. *Сварка трением*. Справочник / В.К. Лебедев, И.А. Черненко, В.И. Вилль и др. – Л.: Машиностроение, 1987.-236 с.
3. *Кучук-Яценко С.И., Зяхор И.В.* Особенности сварки трением разнородных металлов и сплавов. - Автомат. сварка.-2000.-№5.-С.37-46.
4. *Импульсная сварка трением сплава ЖС6-К и стали 40Г* / В.П. Воинов, Р.Н. Болдырев, К.И. Мулюков и др. // Сварочное пр-во. – 1976. – №3. – С. 28-30.
5. *Сварка трением жаропрочных никелевых сплавов с конструкционными сталями* / Кучук-Яценко С.И., Зяхор И.В. // Междунар. конф. «Современные проблемы сварки и ресурса конструкций», 24-27 нояб. 2003 г., Киев. – К., 2003. – С. 4.
6. *Зяхор И.В.* Формування з'єднань при зварюванні тертям жароміцного сплаву ЖСЗ-ДК із сталлю 40Х.- Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Збірник - Чернігів: ЧДТУ, 2010 - №42.- С. 148-155.
7. *Жаропрочные сплавы*. Симс Ч., Хагель В. Пер. с англ. - М.: Металлургия, 1976. - 568 с.
8. *Сопrotивление деформации легированных сталей и жаропрочных сплавов* / Ш.Д Кошаев., В.К. Смирнов, В.В. Бойцов, С.В. Харитонин. – Авиационная пром.-сть. –1976, №12. – С. 54-56.

9. Кучук-Яценко С.И., Зяхор І.В., Нікольніков О.В. “Спосіб зварювання тертям”. Патент №64789 Україна, 15.03.2004, Бюл. №3.

10. Кучук-Яценко С.И., Зяхор І.В. “Спосіб зварювання тертям і машина для його реалізації”. Патент №46460, Україна, 15.11.2004, Бюл. №11.

УДК 658.286:656.064

## СИТУАЦІЙНИЙ ПІДХІД ДО АНАЛІЗУ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСУ

*Ігнатенко Д.О., кандидат технічних наук*

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** Сучасний транспортний комплекс все більшою мірою потребує дослідницького підходу. Цей підхід сприяє динамічності і перспективності управління, зростанню його інноваційного потенціалу і підвищенню професіоналізму фахівців в ухваленні управлінських рішень, науковості управління. Сучасний менеджер не має бути науковцем в традиційному сенсі цього слова, але він має володіти основними прийомами дослідницької діяльності й уміти організувати її для пошуку нових можливостей підвищення ефективності управління. Зокрема, дослідженнями доведено, що у сучасному управлінні дослідницька діяльність повинна складати не менше 30% робочого часу і зусиль менеджера [1]. Якщо його діяльність успішна, то потрібно розуміти, за рахунок чого це було досягнуто, як це можна закріпити. Якщо його рішення невдалі, треба бачити дійсні причини невдачі. Йому необхідно розуміти це, відчувати не лише інтуїтивно, але й бути впевненим у необхідності обґрунтувань, за допомогою наукового апарату дослідження. Неможливо сьогодні приймати рішення, спираючись лише на досвід і інтуїцію, здоровий глузд або формально засвоєні знання. Необхідне дослідження ситуацій, проблем, умов, чинників ефективності діяльності, обґрунтований вибір рішень зі все зростаючої різноманітності і кількості їх варіантів. Саме ці обставини та явища визначають актуальність наукової проблеми, розв'язанню якої присвячена ця стаття.

Дослідження цього напрямку виконувались в межах науково-дослідної роботи за тематикою Національного транспортного університету.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій** свідчить, що ефективна діяльність неможлива без врахування постійних змін зовнішнього середовища, і тому потрібне постійне регулювання діяльності з боку менеджера. Воно досягається завдяки розробці та реалізації багатобічних рішень, від рівня й оперативності яких залежить ефективність діяльності. Багато учених приділяли цьому питанню значне місце у своїх наукових працях. Серед них можна виділити праці українських учених Й.С. Завадського [1], І.Л. Карданської [2], В.І. Мухина [3], Є.В. Фрейдина [4], В.Б. Ременникова [5] та інших.

У той же час **невирішеною раніше частиною загальної проблеми** є визначення можливостей адаптувати усталені підходи аналізу систем управління до умов вирішення питань забезпечення функціонування транспортного комплексу, оскільки діяльність менеджерів транспорту має певні особливості за складністю, об'єктивністю, оперативністю, стратегічною спрямованістю та іншими ознаками.

Таким чином, автор ставить за **мету** адаптувати підходи аналізу систем управління до аналізу функціонування транспортного комплексу.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Вирішення низки завдань забезпечення функціонування транспортного комплексу, обумовлених швидкоплинністю зміни умов управління, вимагає оперативного проведення необхідних робіт і прийняття обґрунтованих управлінських рішень. Такі завдання можуть ставитися у разі виникнення непрогнозованих проблем управління, що вимагають швидкого розв'язання, і викликаних, наприклад, проведенням не в установлені планові періоди робіт по реструктуризації системи управління, раптовими змінами в ринковому середовищі, в економічному, соціальному житті населення, необхідністю швидкого реагування на такі зміни. У сучасних умовах ціна затримки у проведенні дослідження і ухвалення за його результатами навіть правильних управлінських рішень може виявитися високою, тому важливість оперативності проведення дослідження системи управління транспортним комплексом не підлягає сумніву.

У таких умовах доцільним слід вважати застосування ситуаційного підходу до дослідження у сфері забезпечення функціонування транспортного комплексу. При такому підході цей комплекс