

УДК 620.192 : 669.14.018.44

Канд. техн. наук О. А. Глотка

Запорізький національний технічний університет, м. Запоріжжя

## АНАЛІЗ ПРИЧИН РУЙНУВАННЯ УЩІЛЬНЮЮЧОГО КІЛЬЦЯ КОМПРЕСОРА НИЗЬКОГО ТИСКУ ДВИГУНА ТВЗ-117

*В роботі аналізується причина корозійного руйнування ущільнюючого кільця компресора низького тиску двигуна ТВЗ-117. Наводяться структури після кожної термічної обробки та встановлюється присутність слідів окислення. Наводяться рекомендації по усуненню невідправного дефекту, що суттєво збільшує вартість деталей.*

**Ключові слова:** ущільнююче кільце, умови експлуатації, корозія, термічна обробка, азотування.

Сучасні газотурбінні установки (ГТУ) відрізняються різноманітністю конструкцій та типів (закритого, відкритого циклів), робочого тіла (тих, що працюють за рахунок спалення палива або за рахунок зовнішнього джерела тепла, наприклад тепла газів, що отримані в виробничому процесі), призначення (стаціонарні, транспортні, авіаційні, судові). Серед стаціонарних слід згадати ГТУ, що призначені для перекачування газу в магістральних газопроводах та енергетичні, зокрема, призначені для покриття піків електричних напруг [1].

Газотурбінні двигуни, для забезпечення потреб сучасного авіабудування, розробляють з максимальними показниками навантаження, що викликає зростання температур експлуатації деталей до найбільших показників. Значно менші напруження і температури приймають деталі компресорного тракту, але вимоги до цих матеріалів залишаються доволі високими.

Сучасні компресори в потужних двигунах створюють потік повітря в осьовому напрямку. Вони складаються з ступеней, що утворені нерухомими соплами та лопатками, що обертаються. Від ступені до ступені потік повітря стискається, підвищується температура, ступінь стискання може сягати від 16 до 25 [2].

Для підвищення зносостійкості, контактної витривалості, корозійної стійкості, витривалості поверхні деталей ГТУ широко використовують азотування. Вироби, які пройшли таку хіміко-термічну обробку, експлуатуються до температур біля 300 °С довготривало зберігаючи властивості. Таким чином, навантажені деталі, за рахунок азотування, будуть теплостійкими та зносостійкими одночасно, що збільшує спектр їх використання у газотурбобудуванні.

Однією з таких деталей є ущільнююче кільце, яке повинно забезпечувати щільність з'єднання за рахунок контакту з корпусом компресора. Зона

інтенсивного зношення оброблюється азотуванням та експлуатується при температурі 550 °С. Вихід з ладу деталі призведе до порушення герметичності, що знизить експлуатаційні показники компресору.

Отже, аналіз причин виходу з ладу та обговорення можливостей вирішення поставленої задачі, такої важливої деталі як ущільнююче кільце, є актуальною проблемою газотурбінного виробництва.

### Матеріал і методика дослідження

Кільце ущільнююче виготовлено із конструкційної сталі 13X11H2B2MФ Ш (ЭИ 961 Ш), яка має хімічний склад та властивості у відповідності з ТУ 14 1 3297 82, ГОСТ 5632-72 та ГОСТ 5949 75. Проходить термічну обробку, до азотування, за режимом: гартування 1040 ± 10 °С, охолодження в маслі та відпускання 650 ± 10 °С, охолодження в маслі.

Аналіз мікроструктури та хімічного складу виконували на растровому електронному мікроскопі «РЕМ-1061», що оснащений системою енергодисперсійного аналізу, за прискорювальної напруги 20 кВ у вторинних електронах. Кількісний рентгеноспектральний мікроаналіз виконано порівнянням одержаних спектрограм з еталонними, які записані в базу комп'ютера від еталонних матеріалів. Точність детектування елементів спектрометром знаходилася на рівні 0,1 % (мас.).

Зразки перед випробуванням механічно шліфували, полірували та травили в 10% розчині НСІ впродовж 10...15 с.

### Обговорення результатів

Після повного спектру термічної обробки на поверхні, що пройшла азотування, були виявлені сліди корозії, які не допускаються нормативними документами (рис. 1).

Форма корозійних вкраплень має різний характер, від витягнутих до сферичних отворів, що

хаотично розміщуються по азотованому шару товщиною 200–250 мкм. Шар має щільну структуру без відшаровування від основного металу з плавною зоною переходу.

Основною метою було визначення причин утворення корозії в поверхневому шарі матеріалу. Для досягнення поставленої мети було запропоновано визначення хімічного складу матеріалу ущільнюючого кільця, для порівняння з технічними умовами постачання. Дослідження проводилося на растровому електронному мікроскопі РЕМ-106І, що оснащений системою енергодисперсійного аналізу, який показав результати, що узгоджуються з наведеними в документації значеннями (табл. 1).

Таким чином хімічний склад сталі відповідає нормованим значенням, а отже не може привести до збільшення швидкості корозії.

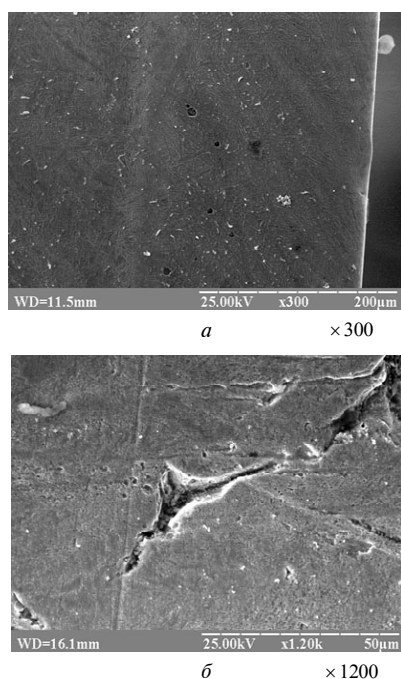


Рис. 1. Мікроструктура азотованого шару після термічного оброблення

Ймовірно руйнування поверхнього шару проходить на деякому етапі термічного оброблення, на якому не дотримуються технічних рекомендацій. Детальний аналіз мікроструктури (рис. 2), після кожного виду термічної обробки, виявив утворення в поверхневих шарах окисли після гартування від температури  $1040 \pm 10$  °С. Нагрівання проходить в печі СНО, що є неприпустимим для сталі 13X11H2B2MФ Ш (ЭИ-961 Ш), оскільки інтенсивне окислення в ній розвивається при температурі 750 °С. Хоча виріб після гартування і проходить обдирання поверхні, для зняття окислів, однак повністю вони не зникають, а подальше азотування зберігає в структурі сліди корозії, що починають інтенсивно розвиватися.

Таким чином деталь має невірний дефект, що змушує виробника повністю утилізувати виріб, без можливості зняття пошкодженого шару поверхні.



Рис. 2. Мікроструктура сталі після гартування

Для усунення вказаного недоліку термообробки, з максимально наближеними технологіями до технологій підприємства, можливо зробити наступні кроки:

- збільшити припуск на механічну обробку (обдирання), для повного усунення шару зі слідами корозії;
- виконувати нагрівання під гартування в захисній атмосфері, що повністю усунуть присутність корозії та таку операцію як обдирання;

Таблиця 1 – Хімічний склад сталі 13X11H2B2MФ Ш (ЭИ 961 Ш) згідно ГОСТ 5632-72 та експериментальні значення

	Масова частка елементів, %										
	C	Si	Mn	Cr	Ni	W	Mo	V	Fe	S	P
ГОСТ 5632-72	0,1–0,16	Не більш 0,6	Не більш 0,6	10,5–12,0	1,50–1,80	1,6–2,0	0,35–0,5	0,18–0,3	основа	Не більш 0,025	Не більш 0,030
Експериментальний результат	0,1	0,5	0,54	11,7	1,62	1,78	0,42	0,27	основа	–	–

- змінити марку сталі на більш леговану (з рівнем хрому на рівні 17-20% (мас.), що підвищить корозійну стійкість виробів, але може привести до незначного збільшення часу азотування.

#### Висновки

Виходячи з аналізу отриманих результатів, можливо зробити наступні висновки:

1. Виявлена корозія поверхневого азотованого шару сталі 13X11H2B2MФ-Ш (ЭИ-961 Ш), що знижує експлуатаційні властивості ущільнюючого кільця компресора низького тиску двигуна ТВЗ-117. Такий дефект є невилправним, тому суттєво впливає на вартість виробництва.

2. Встановлено причини виникнення корозії в поверхневому азотованому шарі сталі 13X11H2B2MФ-Ш (ЭИ-961 Ш), це викликано недосконалістю процесу термообробки.

3. Приведені рекомендації по усуненню подальшого виникнення такого виду невилправного дефекту.

#### Список літератури

1. Гецов Л. Б. Детали газовых турбин: Материалы и прочность / Л. Б. Гецов – Л. : Машиностроение, 1982. – 296 с.
2. Каблов Е. Н. Литые лопатки газотурбинных двигателей (сплавы, технология, покрытия) / Е. Н. Каблов – М. : МИСИС, 2001. – 632 с.

*Поступила в редакцию 20.11.2012*

#### **Глотка А.А. Анализ причин разрушения уплотнительного кольца компрессора низкого давления двигателя ТВЗ-117**

В работе анализируется причина коррозионного разрушения уплотнительного кольца компрессора низкого давления двигателя ТВЗ-117. Приводятся структуры после каждой термической обработки и устанавливается присутствие оксидов. Приводятся рекомендации по устранению неисправимого дефекта, что существенно увеличивает стоимость деталей.

**Ключевые слова:** *уплотнительное кольцо, условия эксплуатации, коррозия, термическая обработка, азотирование.*

#### **Glotka A. Analysis of causes of destruction of low-pressure compressor sealing ring of TV3-117 engine**

*The work analyses the causes of corrosive damage of low-pressure compressor sealing ring of TV3-117 engine. Structures after each heat treatment are presented, and presence of oxides is established. Given in the work are recommendations on elimination of nonrepairable defect that significantly increases parts cost.*

**Key words:** *sealing ring, operating conditions, corrosion, heat treatment, nitriding.*