

УДК 621.914

А.П. Тарасюк, О.Л. Кондратюк, А.О. Скоркін, О.О. Литвинова

Українська інженерно-педагогічна академія, Україна

Тел. (057) 733-78-26; E-mail: Kondr20071@yandex.ua

ДОСЛІДЖЕННЯ ТОЧНОСТІ ФРЕЗЕРУВАННЯ ПРОФІЛЮ ЛОПАТОК ПАРОВИХ ТУРБІН

В статті приведені дослідження точності фрезерування профілю лопаток парових турбін, розглянуто використання різного технологічного устаткування, а саме, фрезерних верстатів, що працюють із застосуванням копіїв або верстатів із ЧПК, приведені розрахунки, з яких зроблено висновок, що після фрезерної операції припуск на шліфування профілю нерівномірний по периметру перерізів уздовж осі лопатки, що є результатом неточності заготівлі і погрешностей роботи систем управління.

Ключові слова: парова турбіна, профіль лопатки, технологічна база, копір, «ялинковий паз», система ЧПУ.

Вступ

Лопаточний апарат парових турбін характеризується, окрім складності конструкції, великою трудомісткістю виготовлення. В середньому його трудомісткість складає 30-35% загальної трудомісткості виготовлення турбіни. Тому вдосконаленню операцій виготовлення елементів лопатки (робочого профілю, хвоста і голівки) приділялась раніше і нині, підвищена увага технологів і дослідників. Нині для обробки робочого профілю лопаток використовується різне технологічне устаткування, зокрема, фрезерні верстати, працюючі із застосуванням копіїв, або верстати, в яких управління обробкою виконують системи ЧПК [1]. Питання точності обробки в обох варіантах зважаючи на багатофакторність процесу ще до кінця не вивчені. У зв'язку з цим тему у вказаній постановці слід вважати актуальною. Для лопаток великих габаритів парових турбін питання вивчається уперше.

Мета дослідження – статистичними методами встановити точність фрезерування робочого профілю лопаток на верстатах різних конструкцій і на цій основі оптимізувати операцію і видати рекомендації по модернізації устаткування.

Основний зміст і результати роботи

Нижче описані результати статистичного дослідження точності робочого профілю лопаток парових турбін після фрезерної операції. Лопатки виготовляються на Харківському турбінному заводі. Матеріал лопаток – легована сталь 15X11МФШ по ГОСТ 18968-83.

Контрольні партії лопаток (у кожній по 20 штук) оброблялися на різних фрезерних верстатах – моделях "Starrag" і "Forest". Довжина лопатки – 1103 мм.

Верстат моделі "Starrag" є горизонтально-фрезерним верстатом. Одночасно обробляються п'ять лопаток. Радіальний і осьовий рух шпиндельної групи здійснюється по жорсткому копіру – еталонній лопатці.

Верстат моделі "Forest" обробляє одночасно чотири лопатки, встановлені у вертикальному положенні. Рух шпинделів з фрезами на цих верстатах виконується по командах системи ЧПК.

Технологічний процес обробки названих лопаток передбачає (до фрезерування

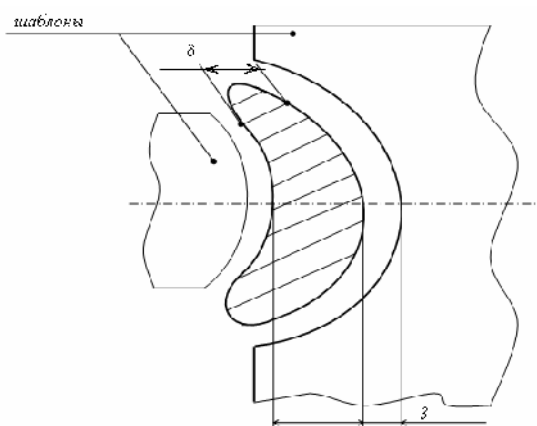


Рис. 1. Контрольовані розміри профілів

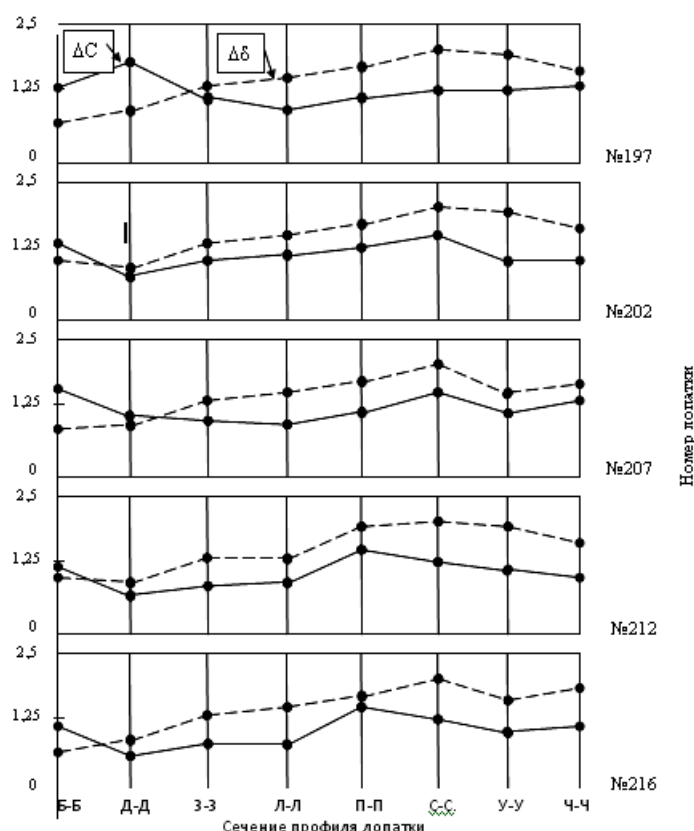


Рис. 2. Зміна відхилень розмірів "С" і "δ" від теоретичних після фрезерування робочого профілю на верстаті "Starrag"

(остаточних після операції шліфування) значень, середні значення цих відхилень ΔC і $\Delta \delta$ і їх розмах (таблиця. 1, таблиця. 2);

- визначені значення розмахів величин проміжків між робочим профілем і шаблонами (див. таблицю. 1, таблиця. 2);

- побудовані графіки відхилень ΔC і $\Delta \delta$ в різних перерізах однієї лопатки (рис. 2, рис. 3).

робочого профілю) ряд операцій підготовки технологічних баз для фрезерної операції. Базами на обох фрезерних верстатах є кільцеві трапецеїдального виду поверхні хвоста лопатки "ялинкові пази", вони ж і є конструкторськими базами при установці лопатки на ротор і центрові отвори в голівці лопатки [2].

При підготовці цих баз на токарних операціях в якості початкових баз використовується майданчики, що фрезеруються, у хвоста і на торці голівки заготовлі лопатки [3].

В досліджуваних партіях лопаток контролювалися наступні параметри перерізів робочого профілю (рис. 1):

С – максимальна товщина робочого профілю;

д – товщина вихідної кромки профілю;

З – проміжки між профілем і шаблонами, що характеризують просторове розташування профілю.

При вимірах лопатка встановлювалася в спеціальному пристосуванні у базах "хвіст і центр"; розміри "С" і "д" визначалися штангенциркулем, а проміжки – щупом [4, 5].

При обробці досліджуваних даних по двох верстатах були виконані наступні операції:

- визначені відхилення величин "С" і "д" від їх теоретичних

Таблиця 1. Статистичні характеристики відхилень розмірів робочого профілю після фрезерування на верстаті "Starrag"

№ лопатки	Середнє значення ΔC	Розмах значень ΔC	Середнє значення $\Delta \delta$	Розмах значень $\Delta \delta$	Розмах зазорів
197	1,04	1,05	1,375	1,1	0,5
198	1,05	0,90	1,49	1,2	0,5
199	0,93	0,80	1,275	0,90	0
200	0,92	0,80	1,337	1,30	0,50
201	0,90	0,60	1,425	1,10	0
202	1,09	0,60	1,331	0,85	0
203	0,94	0,90	1,56	1,65	0,50
204	0,85	0,85	1,17	1,25	0,50
205	0,85	0,70	1,42	0,85	0
206	1,0	0,90	1,54	1,45	0
207	1,02	0,70	1,34	0,90	0
208	0,90	0,80	1,35	1,20	0,50
209	1,05	0,70	1,40	1,10	0
210	1,09	0,50	1,325	1,40	0,50
211	0,97	0,60	1,44	1,0	0,50
212	0,89	0,90	1,33	1,25	0
213	0,86	0,95	1,52	1,45	0,50
214	0,90	0,80	1,27	1,25	0
215	0,87	0,90	1,36	1,40	0
216	1,08	0,90	1,61	1,50	0,50
Середнє значення по партії	0,96	0,792	1,39	1,20	

Таблиця 2. Статистичні характеристики відхилень розмірів робочого профілю після фрезерування на верстаті "Forest"

№ лопатки	Середнє значення ΔC	Розмах значень ΔC	Середнє значення $\Delta \delta$	Розмах значень $\Delta \delta$	Розмах зазорів
122	1,37	0,47	1,29	0,44	0,50
121	1,34	1,17	1,19	0,46	0,50
124	1,56	1,11	1,39	0,40	0,70
125	1,42	0,76	1,24	0,36	0,50
127	1,46	0,37	1,30	0,48	1,0
126	1,48	0,77	1,30	0,46	0,50
128	1,59	0,54	1,38	0,58	0,50
123	1,58	0,64	1,40	0,46	0,50
345	1,34	0,57	1,10	0,42	0,50
347	1,43	0,50	1,28	0,48	0,50
348	1,58	0,57	1,34	0,54	0,50
346	1,48	0,84	1,39	0,60	0,50
344	1,36	0,43	1,30	0,68	0,50
343	1,53	0,54	1,33	0,48	0,50
342	1,70	0,52	1,33	0,58	0,50
341	1,57	0,47	1,37	0,66	0
42	1,44	0,46	1,47	0,55	0,50
41	1,68	0,72	1,50	0,51	1,10
39	1,66	1,30	1,40	0,36	1,10
40	1,64	1,15	1,43	0,46	0,60
Середнє значення по партії	1,51	0,7	1,33	0,498	

Встановлено, що:

- середнє значення величини ΔC і $\Delta \delta$ (фактичний припуск на дві сторони під подальшу операцію шліфування) складає: для даних по верстату "Forest" – $\Delta C = 1,51$ мм, $\Delta \delta = 1,33$ мм, а по верстату "Starrag" – $\Delta C = 0,96$ мм, $\Delta \delta = 1,39$ мм;
- коливання ΔC в межах робочого профілю (розглядалися дані для усіх перерізів): по верстату "Starrag" – від 0,5 до 1,05 мм; по верстату "Forest" – від 0,43 до 1,17 мм;
- по периметру перерізів профілю припуск на шліфування неоднаковий і складає: по верстату "Starrag" мінімальна величина – 0,3 мм, максимальна – 1,2 мм, а по верстату "Forest" мінімальна величина – 0,45 мм, максимальна – 0,8 мм
- середнє значення розмаху величини ΔC складає: при фрезеруванні на "Starrag" – 0,792 мм; при фрезеруванні на "Forest" – 0,7 мм;
- розкид величин ΔC і $\Delta \delta$ не пов'язаний з розташуванням перерізів профілю уздовж від лопатки.

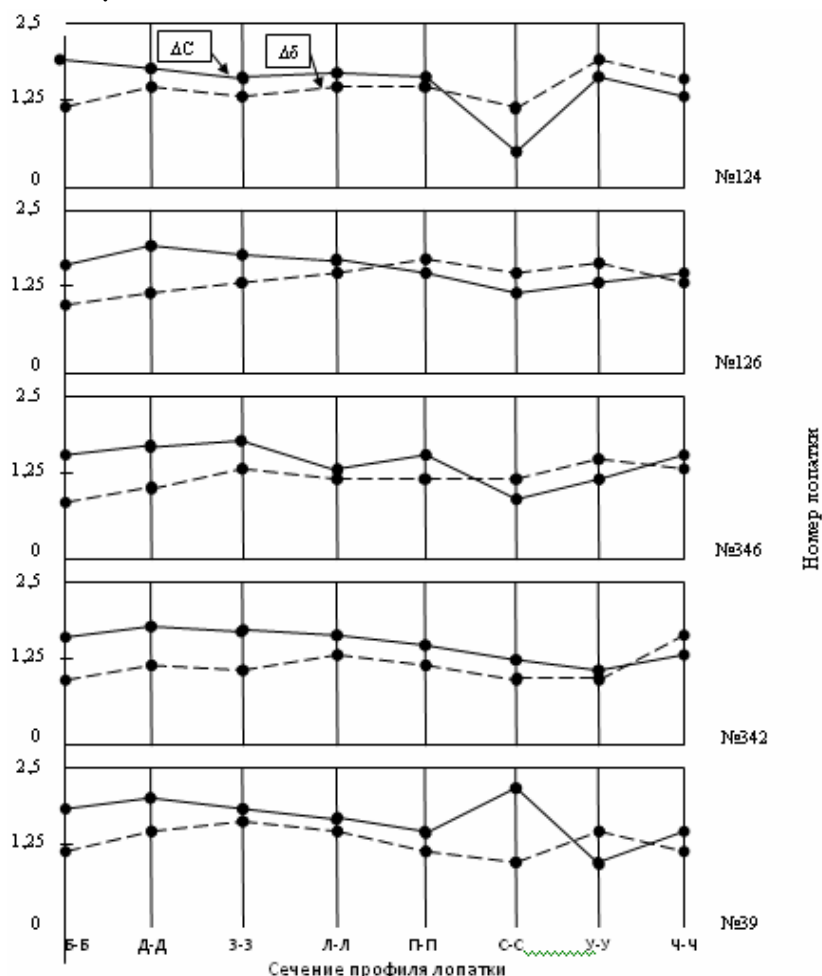


Рис. 3. Зміна відхилень розмірів "С" і "δ" від теоретичних після фрезерування робочого профілю на верстаті "Forest"

Як видно з розрахунків, після фрезерної операції припуск на шліфування профілю нерівномірний по периметру перерізів і уздовж осі лопатки, що, виходячи з теорії формування розмірів при механічній обробці, є результатом неточності заготівлі і погрешностей роботи систем управління.

Висновки

Припуск, що залишається після фрезерування робочого профілю, під шліфувальну операцію не рівномірний. Його коливання доходить до 52% від середнього значення (верстат "Starrag") і до 28% від середнього значення (верстат "Forest").

Точність операції фрезерування робочого профілю вище при використанні

модернізованих фрезерних верстатів з ЧПК.

Резервом підвищення точності фрезерування профілю є перегляд і оптимізації підготовки баз "ялинкового паза" і центрального отвору під дану операцію.

Таким чином, якісніша обробка настановних баз і модернізація копіювально-фрезерних верстатів на управління від систем ЧПК дозволяє знайти точність і якість фрезерування під шліфувальну операцію і зменшити припуски на шліфовку.

Список літератури:

1. Косилова А.Г. Справочник технолога-машиностроителя / А.Г. Косилова, Р.К. Мещеряков. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985. – Т. 2 – 568 с.
2. Пособие по прогрессивной фрезерной обработке. – М: Прамет, 2009. – 344 с.: ил.
3. Долматовский Г.А. Справочник технолога по обработке металлов резанием / Г.А. Долматовский. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машгиз, 1962. – 1240 с.
4. Направленное формирование свойств изделий машиностроения / А.С. Васильев, А.М. Дальский, Ю.М. Золотаревский и др.; под ред. А.И. Кондакова. – М.: Машиностроение, 2008. – 352 с.
5. Технологическое обеспечение эксплуатационных характеристик деталей ГТД. Лопатки компрессора и вентилятора: монография / В.А. Богуслаев, Ф.М. Муравченко, П.Д. Жеманюк и др. – Запорожье: изд. ОАО «Мотор Сич», 2007. – Ч. 1. – 396 с.

Надійшла до редколегії 20.02.2012.

А. П. Тарасюк, О. Л. Кондратюк, А. О. Скоркін, О. О. Литвинова
ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ
ФРЕЗЕРОВАНИЯ ПРОФИЛЯ ЛОПАТОК
ПАРОВЫХ ТУРБИН

В статье приведены исследования точности фрезерования профиля лопаток паровых турбин, рассмотрено использование разного технологического оборудования, а именно, фрезерных станков, которые работают с применением копиров или станков с ЧПУ, приведены расчеты, из которых заключено, что после фрезерной операции припуск на шлифование профиля неравномерный по периметру сечений вдоль оси лопатки, что является результатом неточности заготовки и погрешностей работы систем управления.

Ключевые слова: паровая турбина, профиль лопатки, технологическая база, копир, «елочный паз», система ЧПУ.

A. P. Tarasuk, O. L. Kondratuk, A. O. Skorkin, E. O. Litvinova
RESEARCH OF THE MILLING PRECISION
OF THE STEAM TURBINE BLADES
PROFILE

In the article, research of the milling precision of the steam turbine blades profile is given; usage of different technological equipment, namely milling machine, which are worked using face cams or CNC machines is considered; calculations are carried out, from which is concluded that tolerance for profile grinding after milling operation is non-uniform along the perimeter of profile drawing along the blade axis, that is result of rough piece inaccuracy and uncertainty of the control system operation.

Keywords: steam turbine, blade profile, technological base, face cam, herringbone fillet, CNC system.