

УДК 629.735.33.02.002:669.71

І.О. Воронько,
Ю.А. Воробйов, канд. техн. наук,
Ю.Ю. Донцова,
В.М. Степаненко

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ІМПУЛЬСНОГО ДОРНУВАННЯ ОТВОРІВ АВІАЦІЙНИХ КОНСТРУКЦІЙ ІЗ ТИТАНОВОГО СПЛАВУ VT-6С

У сучасному літальному апараті (ЛА) застосовують сотні марок матеріалів різних функціональних призначень [1]. У різні періоди часу для виготовлення ЛА використовувались різні матеріали. У різних фірмах-виробниках ЛА, таких, як Boeing, Airbus, Ан, співвідношення цих матеріалів принципово не відрізняються (рис. 1) [1-12].

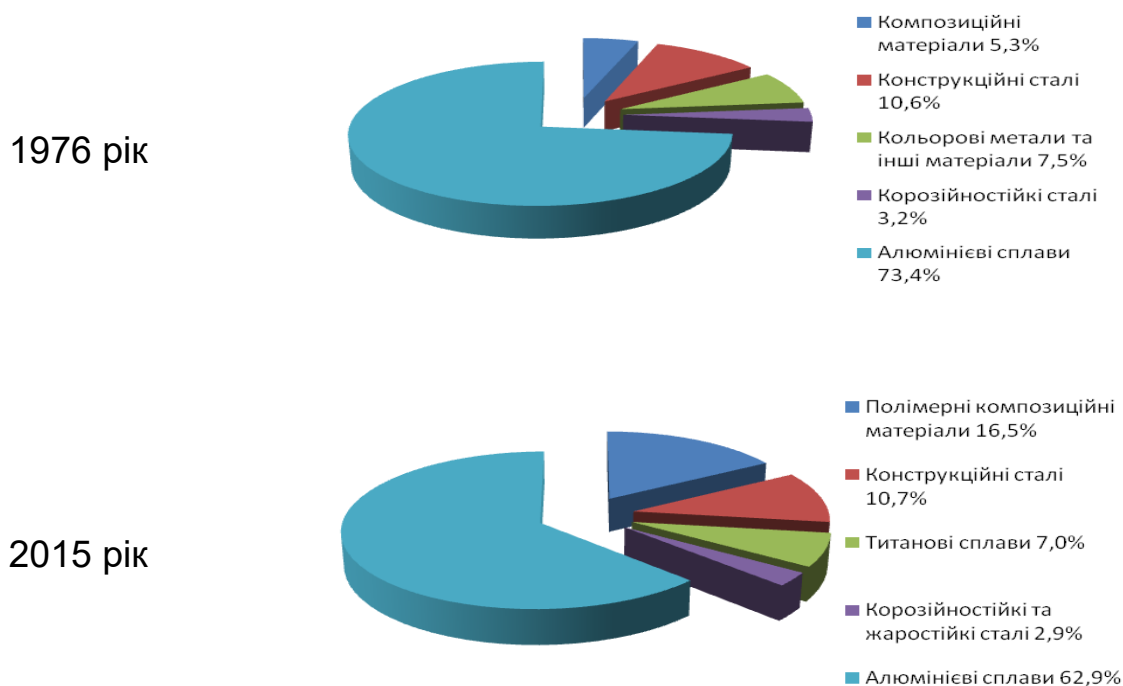


Рисунок 1 – Конструкційні матеріали, що застосовувалися в літакобудуванні в різні роки

Протягом багатьох років алюмінієві сплави є основним конструкційним матеріалом. Також важливе місце займають корозійностійкі сталі, композиційні матеріали та титанові сплави. Частка магнієвих сплавів знизилася в зв'язку з їх низькою корозійною стійкістю і збільшенням календарного ресурсу літака, а обсяг використання титанових сплавів, навпаки, зріс до 7%, а в деяких літаках – до 15%. На рис.2 подано елементи конструкцій літаків із титанових сплавів.

BT3-1	• призначений для виготовлення відповідальних високонавантажених вузлів та агрегатів літака • елементи лонжерона, нервюри та шпангоута • кріпильні деталі • кронштейни; • арматура гідросистеми	BT10	• малонавантажені деталі складної конфігурації • деталі системи кондиціонування; • деталі • протизаморожувальної системи	OT41	• тонкостінні деталі складної конфігурації • деталі повітряної системи; • арматура	PT-7M	• трубопроводи різного призначення	TI-15V-3Cr-3Al-3Sn	• протизаморожувальна система
BT22	• призначений для виготовлення відповідальних високонавантажених вузлів та агрегатів літака • елементи лонжерона, нервюри та шпангоута • кронштейни крила і фюзеляжу; • деталі шасі (гідроциліндр, траферса, стійка); • болти і гайки великого діаметра	BT16	• призначений для виготовлення відповідальних високонавантажених вузлів та агрегатів літака • елементи лонжерона, нервюри та шпангоута • болти, гайки малого і середнього діаметрів	Комерційно чистий ТІ	• накладні пластини; • елементи панелі • трубопроводи; • фітинги, затискачі	TI-6Al-4V	• елементи нервюр • окантовка лобового скла; • фітинги, кріплення; • арматура гідросистеми	TI-13V-11Cr-3Al	• пружини
BT6	• призначений для виготовлення відповідальних високонавантажених вузлів та агрегатів літака • елементи лонжерона, нервюри та шпангоута • кронштейни; • настипи піддонів вантажних відсіків • кріпильні та інші різьбові деталі						TI-10V-2Fe-3Al	• поковки у підшипниках; • фітинги	
								TI-6Al-6V-2Sn	• елементи нервюр • кріплення закрилка; • арматура шасі
								TI-3Al-2.5V	• гідравлічні труби

Рисунок 2 – Застосування титанових сплавів у конструкції літаків

Аналіз конструкції із титанових сплавів сучасних літаків свідчить про те, що більшість отворів під кріпильні елементи мають діаметр 6 мм і більше. Для досліджень було вибрано зразки з мінімальним діаметром отвору, який дорівнює 6 мм, для мінімізації енергетичних витрат на їх зміцнення. Метою даної роботи є вивчення впливу імпульсного дорнування авіаційних конструкцій із титанового сплаву ВТ-6С на геометричні параметри зміцнених отворів і циклічну довговічність зразків.

Дослідження геометричних параметрів отворів після імпульсного дорнування

Виходячи з результатів пошукових дослідів та аналізу літератури, змінними факторами було вибрано [13–14]:

- енергія дорнування – 90 Дж;
- величина натягу – 0,3%, 0,6%, 0,8%, 1,1%, 1,4%, 1,7% и 2%;
- передній кут α – 1,5° та 3°;
- задній кут β – 3°;
- мастило: з мастилом і без нього.

Зразки та дорни було виготовлено ПАТ «ФЭД». Фото зразків і дорнів для експерименту зображено на рис.3. Креслення дорна подано на рис. 4.



Рисунок 3 – Зразки і дорни для експерименту

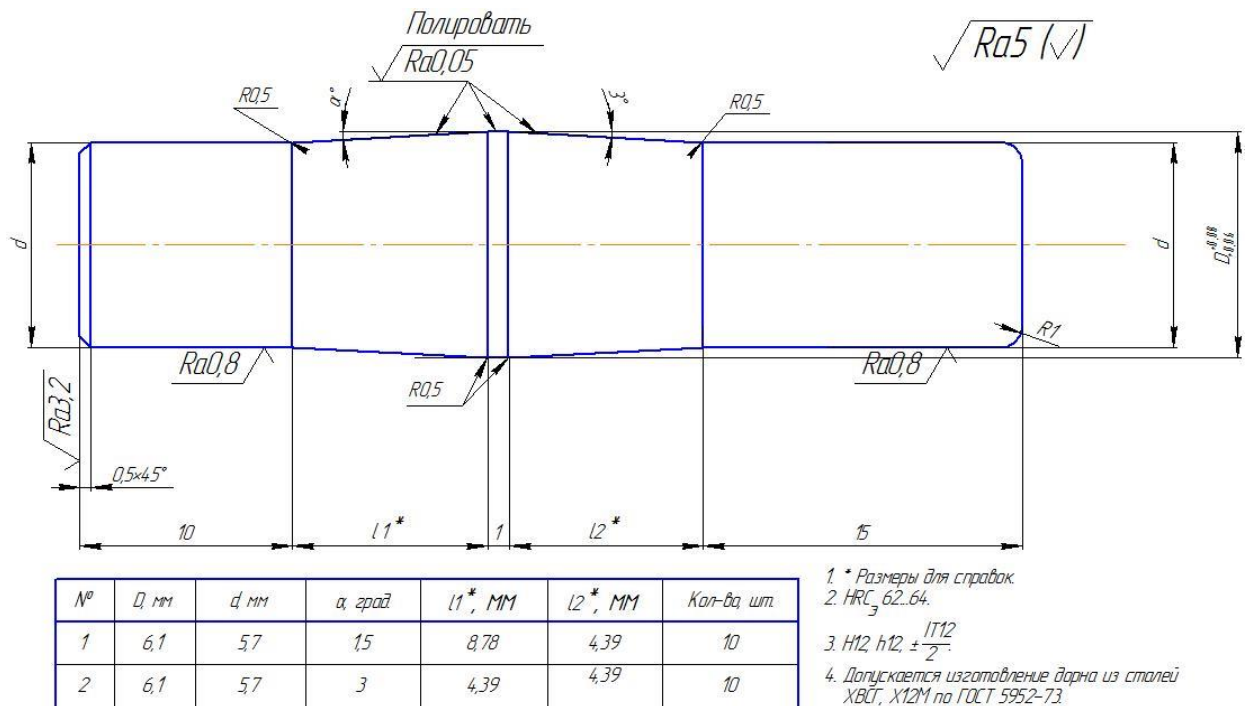


Рисунок 4 – Геометричні параметри дорну (згідно з ПИ-6843 [15])

Дорнування отворів виконувались за допомогою пневмоімпульсного пристрою МПІ-90М. Заміри зразків до та після експерименту здійснювали електронним штангенциркулем Sigma (похибка $\pm 0,02$ мм); діаметра отворів – нутромір з вимірювальною вставкою TGL 7483-1 (клас точності – 1 мкм). Результати замірів відхилення отворів подано на рис. 5.

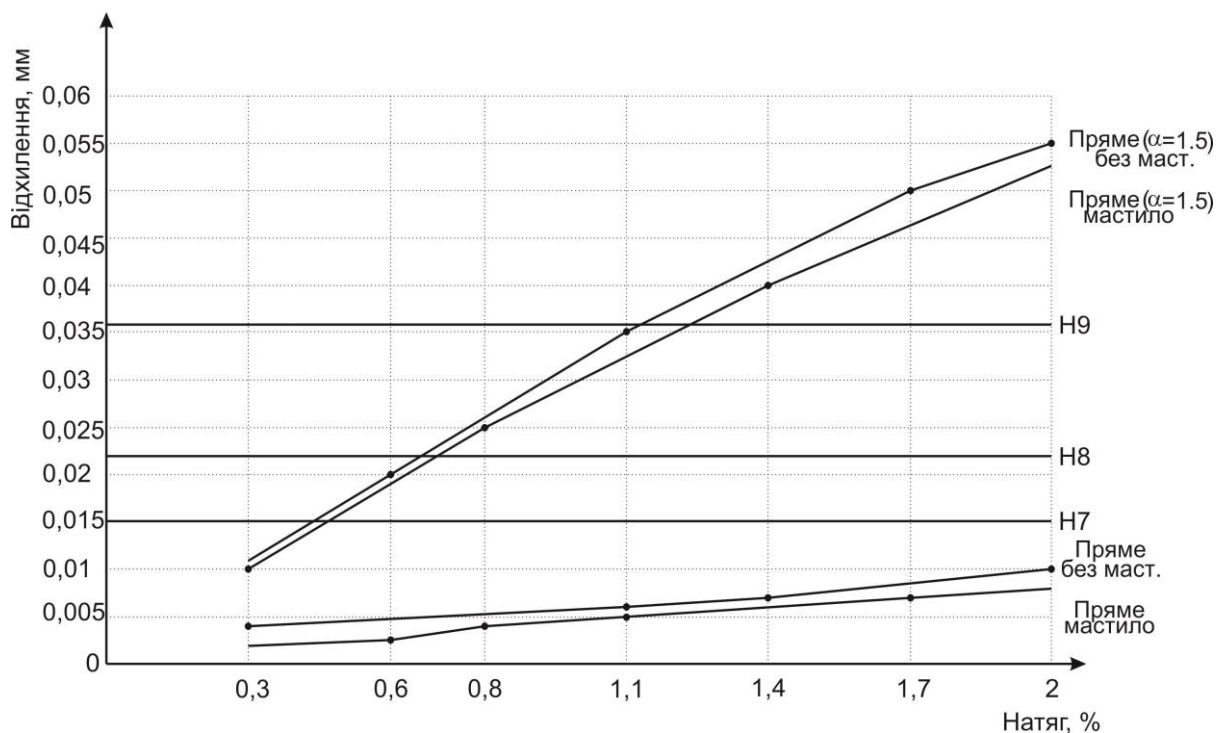


Рисунок 5 – Відхилення твірної отвору після імпульсного дорнування

Результати показали таке:

- використання мастила зменшує відхилення твірної отвору приблизно на 10%;
- при вимозі до точності отвору Н9 можна використовувати дорни з переднім кутом $\alpha = 1,5^\circ$ до натягу 1,1%, а з $\alpha = 3^\circ$ – до натягу 2%.

Дослідження циклічної довговічності після імпульсного дорнування

Виходячи з результатів аналізу літератури [13, 14] та результатів дослідження геометричних параметрів отворів після імпульсного дорнування, для дослідження циклічної довговічності зразків змінними факторами було вибрано:

- енергія дорнування – 90 Дж;
- величина натягу – 1,1%;
- передній кут α – $1,5^\circ$ та 3° ;
- задній кут β – 3° ;
- мастило: машинне масло, олеїнова кислота, без мастила.

Випробування проводилися при рівню діючих напруженнях у перерізі бруто $\sigma_{max} = 250 \text{ МПа}$ / $\sigma_{min} = 25 \text{ МПа}$ (рис. 6).



Рисунок 6 – Процес дослідження зразків на циклічну довговічність на установці «УИМ-10»

Результати дослідження, які подано у вигляді графіка (рис. 7), показали таке:

- використання при імпульсному дорнуванні машинного мастила або відсутність мастила зменшують довговічність зразків;
- використання при імпульсному дорнуванні олеїнової кислоти збільшує довговічність зразків.

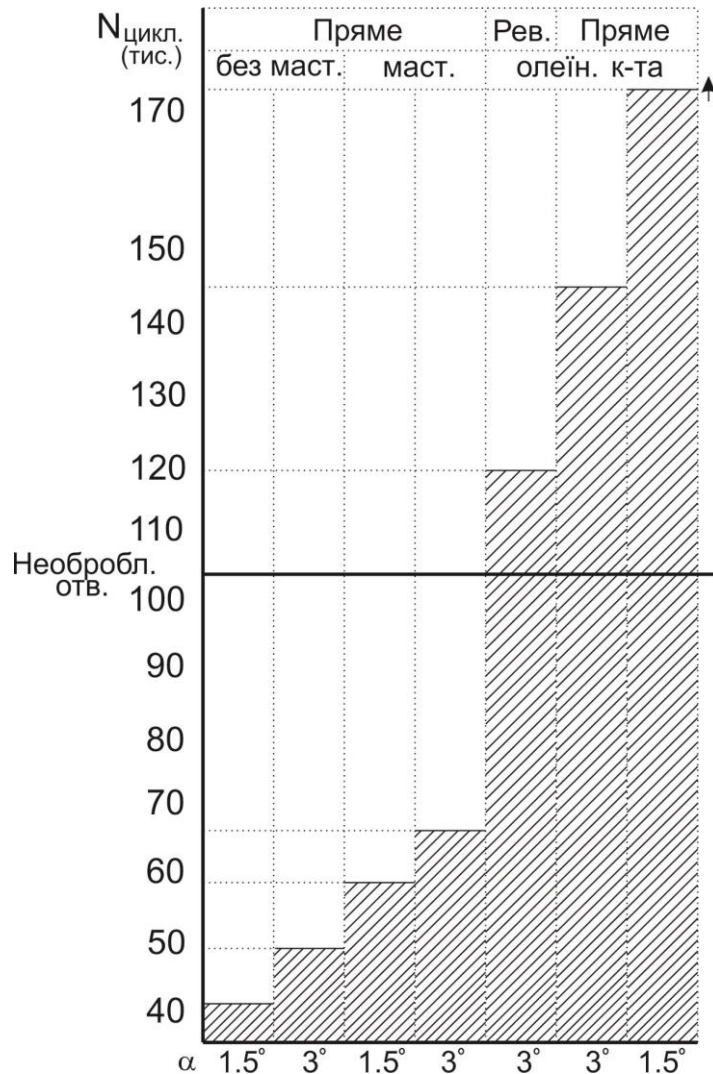


Рисунок 7 – Результати дослідження зразків на циклічну довговічність на установці «УИМ10»

Висновки

Результати експериментальних досліджень процесу імпульсного дорнування отворів авіаційних конструкцій із титанового сплаву ВТ-6С дозволяють зробити такі висновки:

- при дорнуванні отворів із заданою точністю Н7 необхідно використовувати дорни з кутами $\alpha = 3^\circ$ і $\beta = 3^\circ$;

- при дорнуванні отворів необхідно використовувати олеїнову кислоту;
- у подальших дослідженнях необхідно додатково дослідити вплив інших мастил на геометрію отворів після зміцнення та циклічну довговічність зразків, для чого провести повнофакторний експеримент.

Список використаних джерел

1. Конструкционные материалы в самолетостроении [Текст] / А.Г. Моляр, А.А. Коцюба, А.С. Бычков, О.Ю. Нечипоренко – Киев: КВИЦ, 2015. – 400 с.
2. Moiseyev, V.N. Titanium Alloys - Russian Aircraft and Aerospace Applications [Text] / 2006. Taylor and Francis, LLC, p. 207.
3. Edited by C. Leyens and M. Peters, Titanium and Titanium Alloys – Fundamentals and Applications [Text] / 2003. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, p. 514
4. Materials Research Society, The Science, Technology, and Implementation of TiAl Alloys in Commercial Aircraft Engines [Text] / Vol. 1516. 2013, Mater. Res. Soc. Symp. Proc
5. American Society for Metals, Advanced materials & processes. 2003, ASM International
6. R.R. Boyer, New Titanium Applications on the Boeing 777 Airplane, 1992, JOM
7. R.R. Boyer, Titanium for Aerospace: Rationale and Applications, 1995, Kluwer Academic Publishers, Boston.
8. R.R. Boyer, An overview on the use of titanium in the aerospace industry, 1996, Materials Science and Engineering
9. Manfred Peters, Titanium Alloys for Aerospace Applications, Advanced Engineering Materials
10. Gerd Lütjering, James C. Williams, Titanium, 2nd edition, 2003, 2007, Springer-Verlag Berlin Heidelberg
11. James C. Williams, Edgar A. Starke, Jr., Progress in structural materials for aerospace systems, 2003 Acta Materialia Inc. Published by Elsevier Ltd
12. Application and Features of Titanium for the Aerospace Industry, NIPPON STEEL & SUMITOMO METAL TECHNICAL REPORT No. 106 JULY 2014.
13. Численное моделирование процесса импульсного дорнования отверстий авиационных конструкций из титановых сплавов с помощью LS-DYNA [Текст] / В.Е. Зайцев, Ю.А. Воробьев, И.А. Воронько // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков Нац. аэрокосм. ун-т им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», 2012. – Вып. 57. – С. 78-85.
14. Воробьев, Ю.А. Исследование технологии импульсного упроч-

нения дорнованием отверстий в авиационных изделиях из титановых сплавов [Текст] / Ю.А. Воробьев, И.А. Воронько // XVIII міжнародний конгрес двигунобудівників: Тези доп. / М-во освіти і науки України, Нац. аерокосм. ун-т ім. М.Є. Жуковського «ХАІ». – Х., 2013. – С. 149.

15. Упрочнение отверстий болтовых соединений в конструкциях из алюминиевых сплавов [Текст] – Производственная инструкция ПИ-6843. Изд. 4. – 1987. – 16 с.

Поступила в редакцию 05.10.2017.

*Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.И. Планковский,
Национальный аэрокосмический университет
им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», г. Харьков.*