

УДК 539.3

**Петро Ясній, Сергій Гладь, Віктор Скочиляс, Олександр Семенець**

## **ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ ДОРНУВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ОТВОРІВ НА ВТОМНУ ДОВГОВІЧНІСТЬ СИЛОВИХ КОНСТРУКТИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ КРИЛА ЛІТАКА**

*У роботі описано розрахунок методом скінчених елементів з використанням програмного забезпечення ANSYS одновісного пружно-пластичного деформування пластини з центральним деформаційно зміцненим отвором діаметром 8 мм та 10 мм після дорнування з натягом 1%, 2%, 3%. Побудовано залежності кількості циклів до зародження втомної тріщини довжиною 0,25 мм в зразках від номінальних і локальних нормальних напружень в околі функціонального отвору.*

***Ключові слова:** алюмінієвий сплав, дорнування отвору, одновісний циклічний розтяг, криві втоми.*

**Постановка проблеми.** Безпека експлуатації конструкції є надзвичайно важливою у авіабудуванні. Силкові конструктивні елементи, переріз яких ослаблений концентраторами напружень, дуже чутливі до процесів втомного руйнування під впливом внутрішніх напружень а також експлуатаційного навантаження. Для підвищення втомної довговічності силових конструктивних елементів використовують різні технологічні методи обробки поверхневим пластичним деформуванням шару матеріалу [1-4].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Відомо, що попередня пластична деформація істотно впливає на межу витривалості та швидкість росту втомних тріщин [5-7]. Незалежно від натягу дорнування тріщини зароджуються від кромки пластично деформованих отворів з боку входу дорна [8]. Кількість циклів до зародження втомної макротріщини на поверхні довжиною 0,25 мм від отворів збільшується із підвищенням відносного натягу дорнування [8].

Експериментально досліджено вплив геометрії дорна (конус або куля)

та натягу дорнування (до  $i=0\%..6\%$ ) на довговічність пластин з алюмінієвого сплаву 2024 T3 за одновісного розтягу [9]. З підвищенням відносного натягу дорнування від 1% до 2% ефективний коефіцієнт інтенсивності напружень та швидкість поширення втомної тріщини зменшуються [8]. Виявлено, що найбільше підвищення довговічності (у 6-7 разів при використанні конічного дорна та у 3-4 рази при використанні кулі) було досягнуто за натягу дорнування  $i=5\%$ . Глибина залягання залишкових напружень стиску досягає 5-6 мм [9].

Тому важливою є оптимізація параметрів дорнування з точки зору максимального підвищення довговічності елементів конструкцій з функціональними отворами з урахуванням розмірів отворів і амплітуди напруження.

Для моделювання та аналізу НДС конструктивних елементів під час технологічного і експлуатаційного деформування ефективно застосовується моделювання методом скінчених елементів [10-12].

**Мета роботи.** Методом скінчених елементів змоделювати напружений стан та побудувати криві втоми пластин із деформаційно зміцненими отворами за циклічного навантаження з урахуванням кінетики залишкових технологічних напружень.

**Методика дослідження.** Досліджували вплив дорнування отворів діаметром 8 мм, 10 мм та 12 мм в пластинах із алюмінієвого сплаву Д16чТ товщиною  $t=6$  мм та шириною робочої ділянки 60 мм на локальний напружений стан за циклічного пружно-пластичного деформування. Креслення зразків і дорна, а також методика дорнування детально описана в праці [4].

Для моделювання НДС отвору використовували програмний комплекс нелінійної динаміки ANSYS Explicit Dynamics. Для опису істинної діаграми пружно-пластичного деформування сплаву Д16чТ використано модель Steinberg Guinan Strength. Параметри діаграми подані в праці [4]. Діаграма деформування алюмінієвого сплаву Д16чТ отримана експериментально та за допомогою моделі Steinberg Guinan Strength зображена на рис. 1. Для розрахунку НДС в околі функціонального отвору після дорнування з різним відносним натягом та циклічного навантажування побудовано скінчено-елементну модель чверті досліджуваного плоского зразка з центральним отвором.

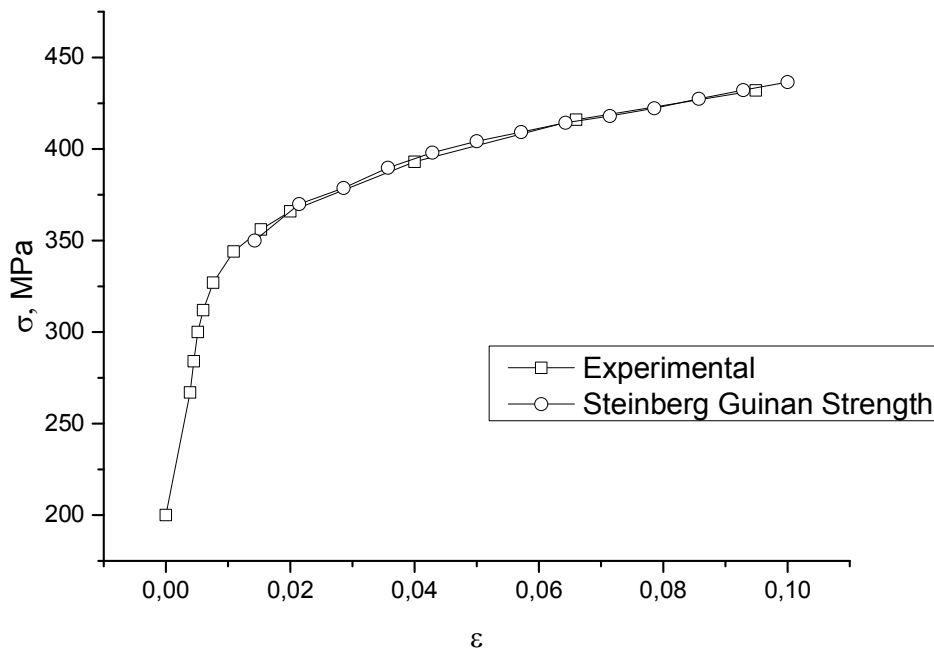


Рисунок 1. Діаграма пружно-пластичного деформування алюмінієвого сплаву Д16чТ.

Для побудови сітки використовували елемент Solid95, який має властивості повзучості, пластичності та враховує зміну жорсткості при навантаженні, значні переміщення та деформації.

Зусилля прикладали до однієї поверхні краю моделі зразка, а іншу поверхню фіксували і обмежували її вертикальне переміщення (вздовж напрямку прикладання сили).

НДС аналізували за локальними максимальними напруженнями  $\sigma_{yy}^{max}$ , мінімальними напруженнями  $\sigma_{yy}^{min}$ , а також за локальним розмахом напружень  $\Delta\sigma_{yy} = \sigma_{yy}^{min} - \sigma_{yy}^{max}$ .

Розглядали циклічне пружно-пластичне деформування розтягом пластини з центральним отвором із алюмінієвого сплаву Д16чТ в умовах м'якого навантаження за коефіцієнту асиметрії циклу навантаження  $R = \sigma_{min} / \sigma_{max} = 0$  тут  $\sigma_{min} = 0$  та  $\sigma_{max} = 147$  МПа відповідно найменше і найбільше номінальне напруження. Характеристики механічних властивостей сплаву Д16чТ за кімнатної температури: умовна границя текучості –  $\sigma_{0,2} = 300$  МПа ; тимчасовий опір руйнуванню –  $\sigma_B = 430$  МПа [4].

Будували залежності довговічності до зародження втомної тріщини довжиною 0,25 мм від локальних напружень ( $\sigma_{yy}$ ) та розмаху локальних

напружень ( $\Delta\sigma_{yy}$ ), розрахованих методом скінчених елементів.

**Результати дослідження та їх обговорення.** На рисунку 2 схематично зображено чверть робочої ділянки зразка з отвором та показано напрямок та область прикладання навантаження.

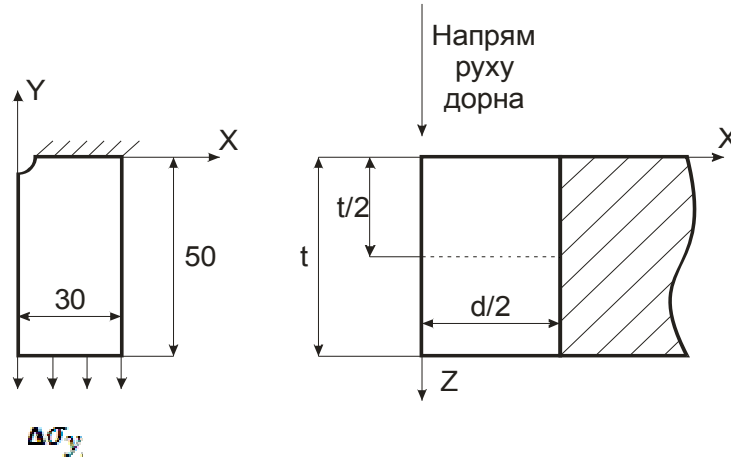


Рисунок 2. Схематичне креслення чверті робочої ділянки зразка.

На даній моделі досліджено НДС в околі отвору при циклічному навантажуванні, локальні напруження розраховані методом скінчених елементів ( $\sigma_{yy}$ ) напруження на циліндричній поверхні отвору ( $x = d/2$ ) на поверхні зразка з боку входу дорна ( $z = 0$ ) та середній частині ( $z = t/2$ ).

На рисунку 3 зображено залежності кількості циклів до зародження втомної тріщини довжиною 0,25 мм у пластинах з отвором від локальних максимальних напружень  $\sigma_{yy}$  в околі функціонального отвору діаметром 8 мм, 10 мм та натягів дорнування  $i=0\%...3\%$  на поверхні зразка з боку входу дорна ( $z = 0$ ) для другого півциклу навантаження.

На рисунку 4 зображено залежності кількості циклів до зародження втомної тріщини довжиною 0,25 мм у пластинах з отвором від розмаху локальних напружень  $\Delta\sigma_{yy}$  в околі функціонального отвору діаметром 8 мм, 10 мм та натягів дорнування  $i=0\%...3\%$  на поверхні зразка з боку входу дорна ( $z = 0$ ) для другого півциклу навантаження.

З рисунків 3, 4 слідує, що максимальні локальні напруження та розмах локальних напружень знижується із підвищенням натягу дорнування. Довговічність пластин до зародження втомної тріщини довжиною 0,25 мм від отвору діаметром 8 мм та 10 мм підвищується у 1,5-3 разів проти недорнованих пластин з отворами.

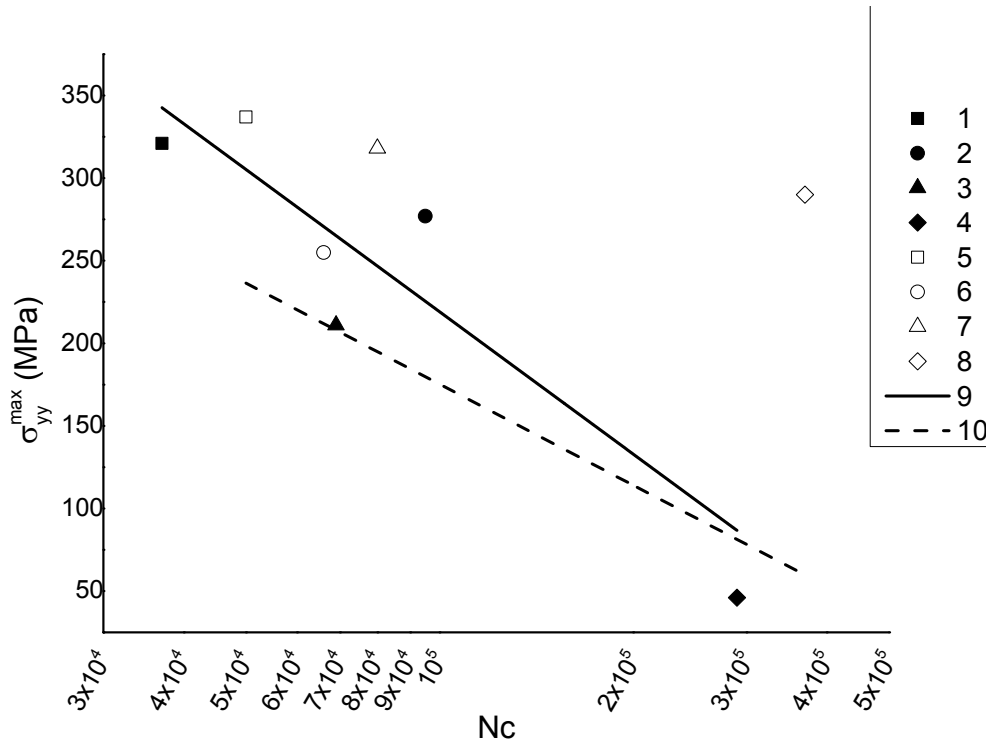


Рисунок 3. Залежність кількості циклів до зародження втомної тріщини (довжиною 0,25 мм) на поверхні зразка ( $Z = 0$ ) у пластинах з отвором від максимальних напружень  $\sigma_{yy}^{\max}$  в околі функціонального отвору діаметром 8 мм (1-4) та 10 мм (5-8) за натягу дорнування 0%(1,5), 1%(2,6), 2%(3,7), 3%(4,8)

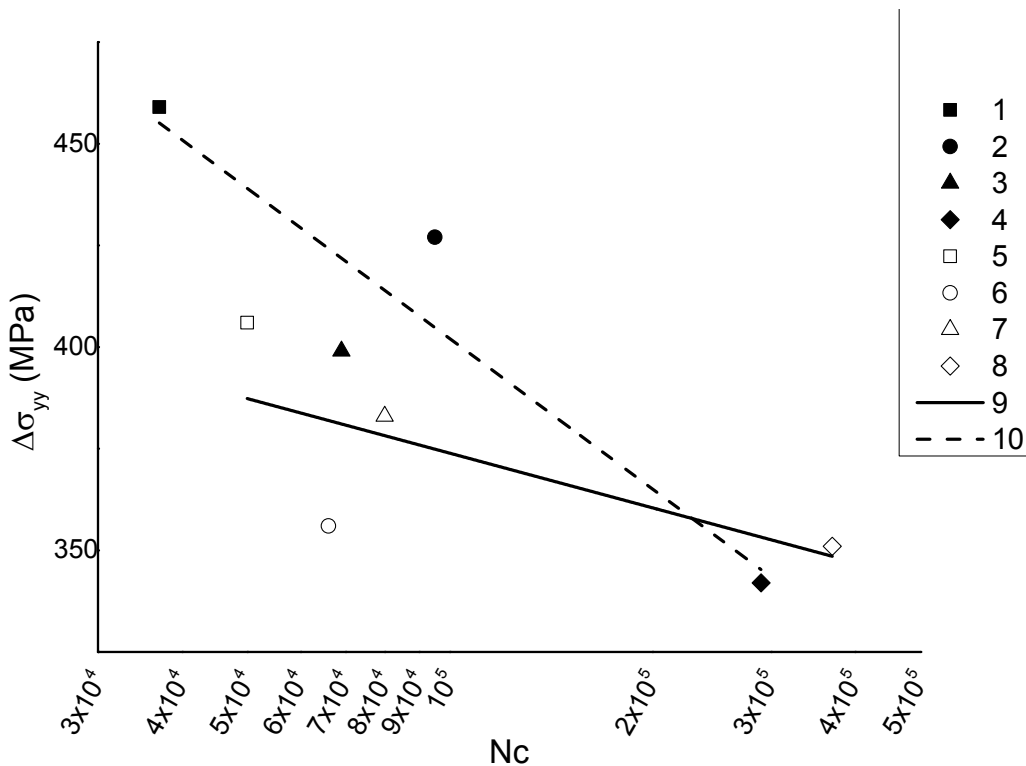


Рисунок 4. Залежність кількості циклів до зародження втомної тріщини (довжиною 0,25 мм) на поверхні зразка ( $Z = 0$ ) у пластинах з отвором від розмаху локальних напружень  $\Delta\sigma_{yy}$  в околі функціонального отвору діаметром 8 мм (1-4) та 10 мм (5-8) за натягу дорнування 0%(1,5), 1%(2,6), 2%(3,7), 3%(4,8)

Аналогічна залежність спостерігається для дорнування з натягом  $i=2\%$ . З подальшим підвищенням натягу дорнування (до  $i=3\%$ ) довговічність до зародження втомної тріщини підвищується у 7-10 разів проти недорнованих пластин з отворами.

### **Висновки.**

Методом скінчених елементів з використанням програмного модуля ANSYS обчислено найбільші і найменші локальні напруження за циклічного пружно-пластичного деформування розтягом алюмінієвих пластини з центральним отвором діаметром 8 мм, 10 мм після дорнування з натягом 1%, 2%, 3%.

Отримано залежності кількості циклів до зародження втомної тріщини в алюмінієвих зразках від локальних максимальних напружень  $\sigma_{zz}$  та розмаху локальних напружень  $\Delta\sigma_{zz}$  в околі функціонального отвору діаметром 8 мм та 10 мм. Дорнування з натягом  $i=1\%$  підвищує довговічність пластин до зародження втомної тріщини довжиною 0,25 мм у 1,5-3 разів проти недорнованих пластин. Аналогічна залежність спостерігається для дорнування з натягом  $i=2\%$ . З подальшим підвищенням натягу дорнування (до  $i=3\%$ ) довговічність до зародження втомної тріщини підвищується у 7-10 разів проти недорнованих пластин з отворами.

### **Література**

1. Pasta S. Fatigue crack propagation from a cold-worked hole. // Engineering Fracture Mechanics – 2007. – №74. – P. 1525-1538.
2. Степанова Т.Ю. Технологии поверхностного упрочнения деталей машин. Иваново, 2009. – 64 с.
3. Ясній П.В., Гладько С.В., Сорочак А.П. Дослідження мікромеханізмів руйнування алюмінієвого сплаву Д16чТ після поверхневого зміцнення // Машинознавство.– 2013. – №3-4. – С. 16-19.
4. Ясній П., Гладько С. Вплив дорнування отворів на зародження та поширення втомних тріщин в алюмінієвому сплаві // Вісник

Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя. – 2014. – № 1. – С. 7-17.

5. Troshchenko V.T., Yasnii P.V., Pokrovskii V.V., Timofeev B.T., Fedorova V.A. Effect of single plastic prestraining on crack resistance. 1. The rate of fatigue crack growth in heat-resistant steel // *Strength of Materials*. – 1988.– 20 (12), pp. 1552-1558.

6. P.F.P. de Matos, A.J. McEvily, P.M.G.P. Moreira, P.M.S.T. de Castro. Analysis of the effect of cold-working of rivet holes on the fatigue life of an aluminum alloy // *International Journal of Fatigue*.– 2007.– 29 .– pp. 575–586.

7. Pasta S. Fatigue crack propagation from a cold-worked hole // *Engineering Fracture Mechanics*, 74 (2007), pp. 1525–1538.

8. Ясній П., Гладьо С. Вплив дорнування отворів на кінетику зародження та поширення втомних тріщин в алюмінієвому сплаві Д16чТ // *Збірник тез доповідей XVII наукової конференції ТНТУ ім. І. Пулюя: Том II. – "Матеріалознавство та машинобудування" – Тернопіль, 20-21 листопада, 2013. – С. 83.*

9. H.D. Gopalakrishna, H.N. Narasimha Murthy, M. Krishna, M.S. Vinod, A.V. Suresh. Cold expansion of holes and resulting fatigue life enhancement and residual stresses in Al 2024 T3 alloy – An experimental study. // *Engineering Failure Analysis*. – 2010. – №17. P. 361-368.

10. Басов К.А. ANSYS: справочник пользователя / К.А. Басов. – М.: ДМК Пресс, 2005. – 640 с.

11. Морозов Е.М. ANSYS в руках инженера: Механика разрушения / Е.М. Морозов, А.Ю. Муйземнек, А.С. Шадский. – М.: Ленанд, 2008. – 456 с.

12. Дашченко А.Ф. Ansys в задачах инженерной механики / А.Ф. Дашченко, Д.В. Лазарева, Н.Г. Сурьянинов. – Одесса: Астропринт, 2007. – 488 с.

**Petro Yasniy, Sergii Glado, Viktor Skochylyas, Oleksandr Semenets**

**INFLUENCE OF FUNCTIONAL HOLES BURNISHING  
PARAMETERS ON THE FATIGUE LIFE OF A CONSTRUCTIVE  
ELEMENT OF AIRCRAFT WING**

*The paper deals with the calculation of uniaxial elastic-plastic deformation of the plate with a central holes after burnishing using the finite element method. The dependences of number of cycles fatigue crack initiation (length 0,25 mm) in samples on nominal and local normal stresses near the functional hole were obtained.*

**Keywords:** *aluminium alloy, hole burnishing, monaxonic cyclic loading, fatigue curves.*