

УДК 539.3

П. Ясній, докт. техн. наук; С. Гладьо; В. Гладьо, канд. техн. наук

*Тернопільський національний технічний університет
імені Івана Пулюя, Україна*

ОЦІНЮВАННЯ МІКРОПОШКОДЖУВАНOSTІ ОТВОРІВ ПІД ПОТАЙНІ ЗАКЛЕПКИ

***Резюме.** Досліджено основні дефекти виготовлення отворів під потайні заклепки за допомогою аналізу поверхні на растровому електронному мікроскопі. Проведено оцінювання параметрів небезпечних мікрodefektів на циліндричній та конусній поверхні отвору. Проведено порівняльний аналіз різних способів виготовлення отворів під потайні заклепки.*

***Ключові слова:** алюмінієвий сплав, отвір, дефект, растровий електронний мікроскоп.*

P. Yasniy; S. Glado; V. Hlado

ASSESSMENT OF HOLES DAMAGEABILITY FOR COUNTERSUNK RIVETS

***The summary.** Main manufacturing defects of countersunk rivets holes are researched with scanning electron microscope. Characteristic of dangerous defects are qualified on conical and cylindrical surface. Comparative analysis of different holes manufacture methods is done. Main methods of surface quantity improvement are described.*

***Key words:** aluminum alloy, hole, defect, scanning electron microscope.*

Постановка проблеми. У конструкціях, які в процесі експлуатації піддаються випадковому спектру циклічних навантажень різної амплітуди і частоти, зазвичай використовуються заклепкові з'єднання завдяки високому ресурсу, низькій собівартості, можливості автоматизації складання та іншим факторам. При виготовленні отворів під заклепки утворюються виробничі мікрodefekти на стінках отворів. Особливо це стосується потайних заклепкових з'єднань з фаскою під потайну закладну (або замикаючу) головку. Основна циліндрична поверхня отвору виготовляється зазвичай за допомогою свердління, проте коли товщина листа незначна (3 мм), то доцільно отвір виконувати штампуванням, яке має високу продуктивність. Фаска під потайну головку заклепки виконується зенкуванням. У процесі виготовлення отвору, особливо при зенкуванні фаски на переході конусної ділянки отвору в циліндричну утворюються мікрodefekти: задири, мікротріщини, раковини, вириви. Ці мікрodefekти не видно неозброєним оком, але вони є небезпечними концентраторами напружень і знижують циклічну довговічність з'єднання. В процесі експлуатації при тривалих циклічних навантаженнях різної амплітуди і частоти зароджуються втомні мікротріщини. У потайних заклепкових з'єднаннях ці втомні мікротріщини взагалі закриті для візуального контролю, тому що поверхня переходу конусної ділянки отвору в циліндричну знаходиться під головкою потайної заклепки. Зародження та поширення таких прихованих втомних тріщин на багатьох заклепках ряду зменшує несучу здатність і може викликати раптове катастрофічне руйнування зовні неушкодженої конструкції.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Багато праць присвячено дослідженню процесів зародження та поширення втомних тріщин в алюмінієвих сплавах, а також аналізу прихованих втомних тріщин за допомогою вихрострумової дефектоскопії [1-7]. Значна увага приділяється впливу заклепкових з'єднань як концентраторів напружень

[8], та мікроструктури матеріалу на зародження втомних тріщин [9-11]. Виявлено, що у більшості випадків потайне заклепкне з'єднання руйнується у листах, переріз яких ослаблений фаскою під потайну закладну (або замикаючу) головку потайної заклепки. Технологічний процес виготовлення та обробки отворів описано в працях [12,13], а вплив способу виконання отвору та глибини зенкування фаски на втомну довговічність досліджено, зокрема, в [14]. Також проводилися дослідження процесу дорнування циліндричних отворів [15,16].

Метою даної роботи є оцінювання мікропошкоджуваності отворів під потайні заклепки за допомогою аналізу параметрів їх технологічних дефектів на растровому електронному мікроскопі РЕМ-106И, розгляд шляхів усунення мікроефектів поверхні отворів.

Методика дослідження. Зразки виготовляли з двосторонньо платерованих алюмінієвих листів (сплав 2024-T3) товщиною 3 мм. Хімічний склад та механічні властивості матеріалу наведено в таблиці 1.

Таблиця 1. Хімічний склад та механічні властивості алюмінієвого сплаву 2024-T3 при 20°C

Хімічний склад (%):					
	Cu	Mg	Mn	Fe	Zn
2024-T3	3,82-4,04	1,75-1,77	0,56	0,08-0,18	0,16
Механічні властивості в напрямку прокату					
	σ_B , МПа		$\sigma_{0,2}$, МПа	Δ , %	
	459 - 466		339 - 345	21,5 - 24,7	

Для досліджень використовували зразки двох типів. Отвори виготовлені свердлінням (10 зразків) та штампуванням (10 зразків), а фаска під потайну закладну головку – зенкуванням (рис. 1). Точність виготовлення отворів відповідає ГОСТу 14802-85.

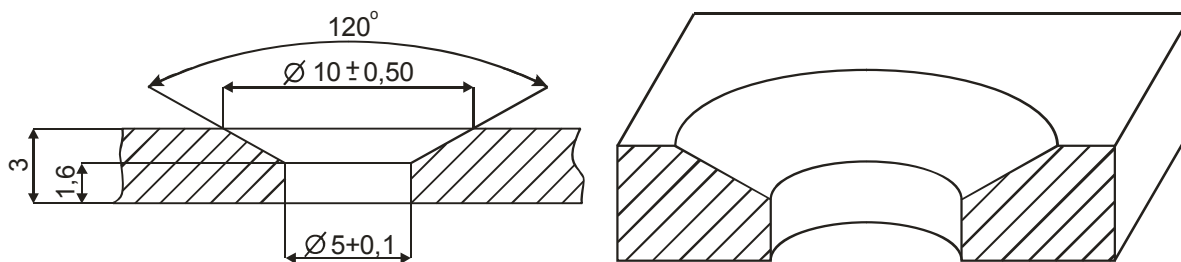


Рисунок 1. Креслення досліджуваних отворів

На растровому електронному мікроскопі РЕМ-106И аналізували поверхню отворів після виготовлення, а також після обробки поверхневим пластичним деформуванням (дорнуванням).

Результати розрахунків та їх обговорення. Основні мікроефекти після виготовлення виявлені на поверхні отвору, де конусна ділянка переходить у циліндричну. На цій ділянці найчастіше зароджуються втомні мікротріщини, які в подальшому, підрастаючи, можуть зруйнувати конструкцію.

Чистота обробки отвору згідно з вимогами нормативної документації не забезпечує повного усунення мікроефектів. Наприклад, такі дефекти, як задири усуваються чистовим зенкуванням з подальшим розвертуванням циліндричної частини отвору. Шліфування отвору після виготовлення покращує втомні характеристики поверхні й підвищує довговічність до 10 разів.

На рисунку 2 показано дефекти поверхні після штампування та зенкування – задир (рис. 2 а, б) довжиною 60-100 мкм та вирив (рис. 2 в, г) довжиною 150-200 мкм.

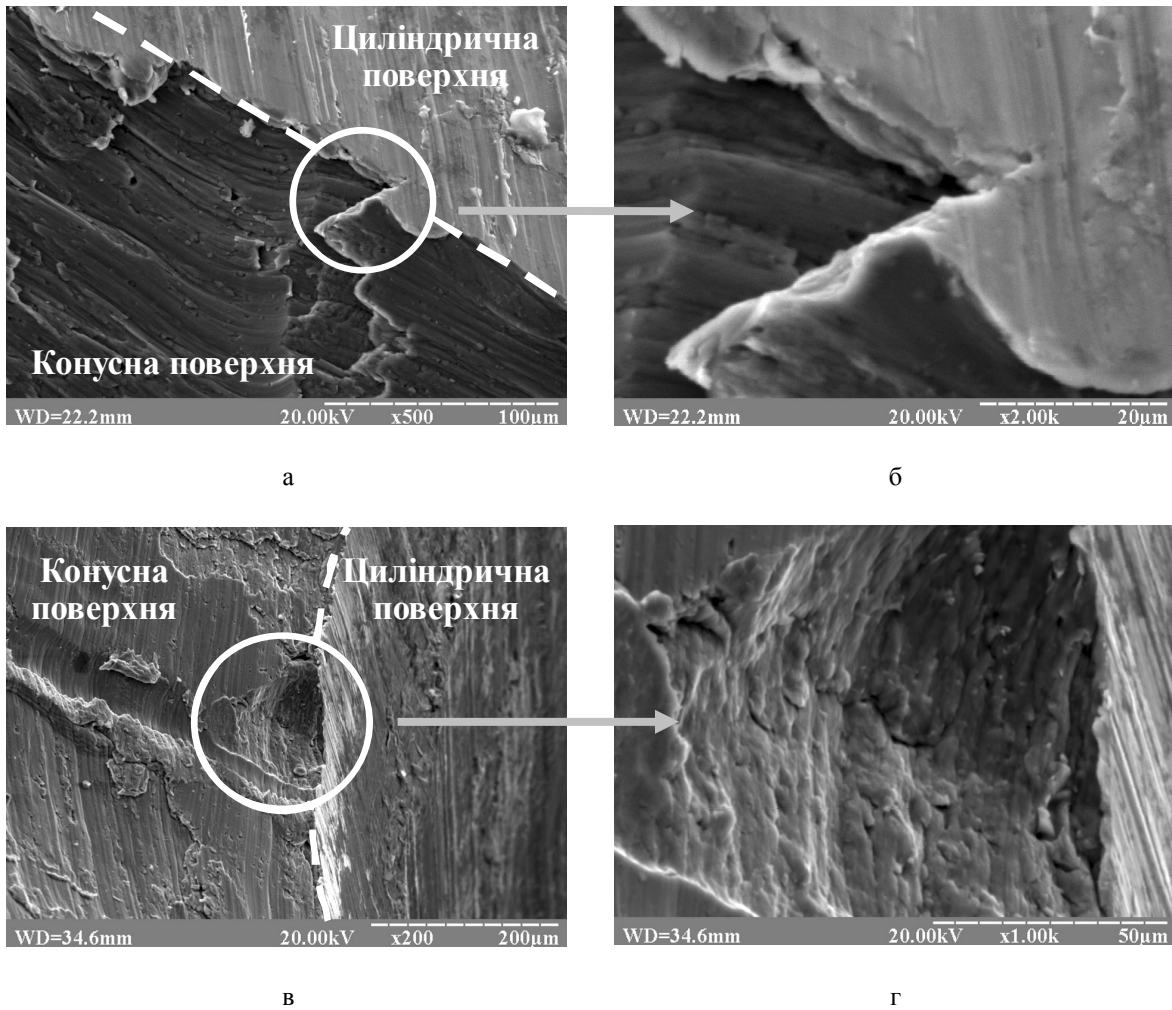
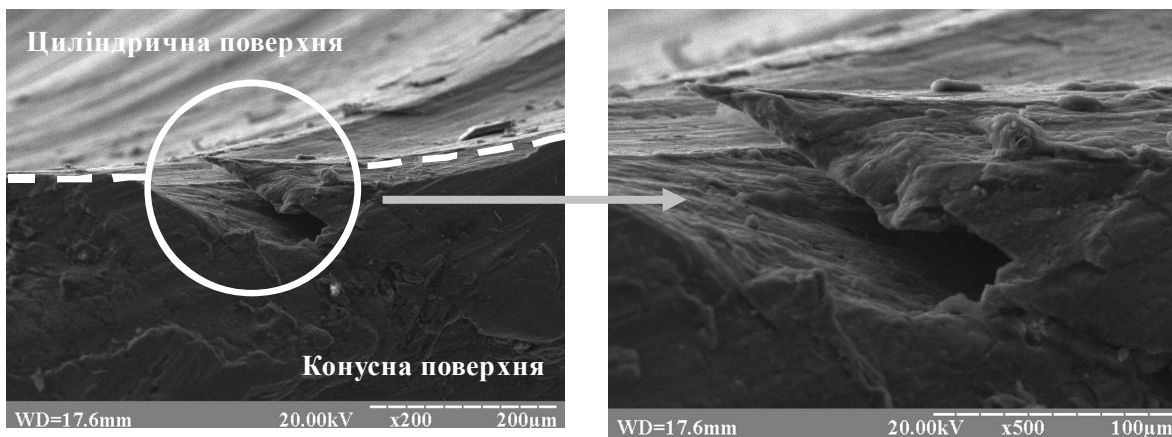


Рисунок 2. Дефекти поверхні після штампування та зенкування: а, б – гострий задир; в, г – вирив з видимою мікротріщиною (пунктиром показано перехід конусної ділянки отвору в циліндричну)

На рисунку 3 показано дефекти після свердління та зенкування – задир (рис. 3 а, б) довжиною 100-200 мкм та мікротріщини (рис. 3 в, г) довжиною 100-150 мкм на досліджуваній поверхні.



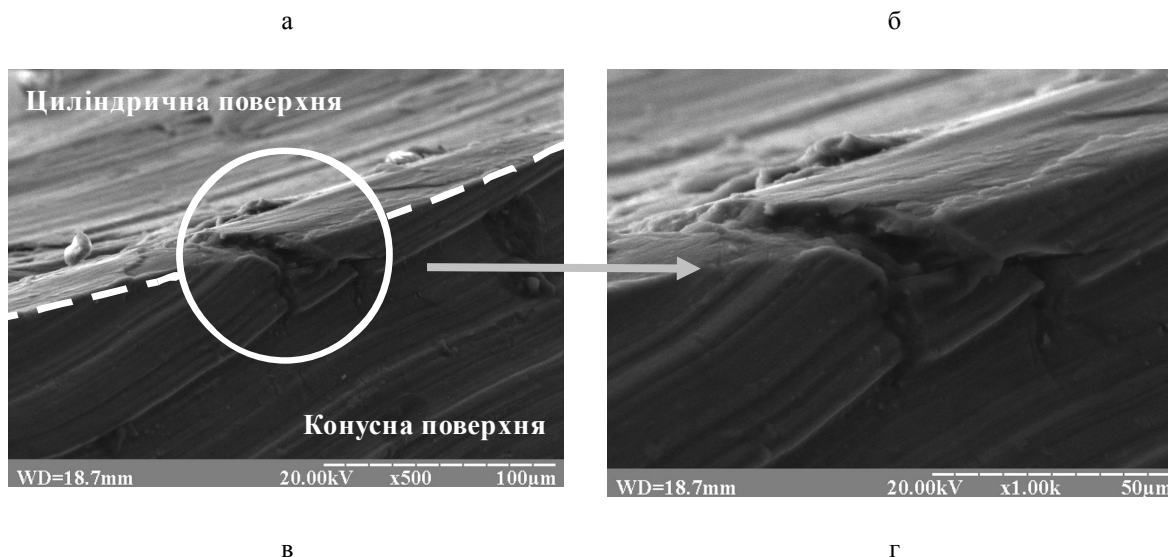


Рисунок 3. Дефекти поверхні після свердління та зенкування: а, б – гострий задир; в, г – мікротріщина (пунктиром показано перехід конусної ділянки отвору в циліндричну)

На рисунку 3 бачимо, що напрями обробки різальним інструментом при свердлінні та зенкуванні майже збігаються, тому на отриманій поверхні немає великої кількості мікрodefektів. При штампуванні напрями різання перпендикулярні (рис. 2 а). Саме тому отвори, які виготовляли штампуванням та зенкуванням, містять значно більше задирих та напливів порівняно зі свердлінням.

Задири (рис. 3 а,б) та мікротріщини (рис. 3 в,г) на поверхні переходу конусної ділянки отвору в циліндричну є гострими концентраторами. Вириви (рис. 2 в,г) утворюються внаслідок викришування масивних крихких включень в основному матеріалі.

За допомогою вихрострумового дефектоскопа виявляють дефекти та мікротріщини довжиною більше 500 мкм та шириною 30 мкм [1]. Менші дефекти, які після заклепування приховані під потайною головкою заклепки, важко виявити й контролювати (рис. 4).

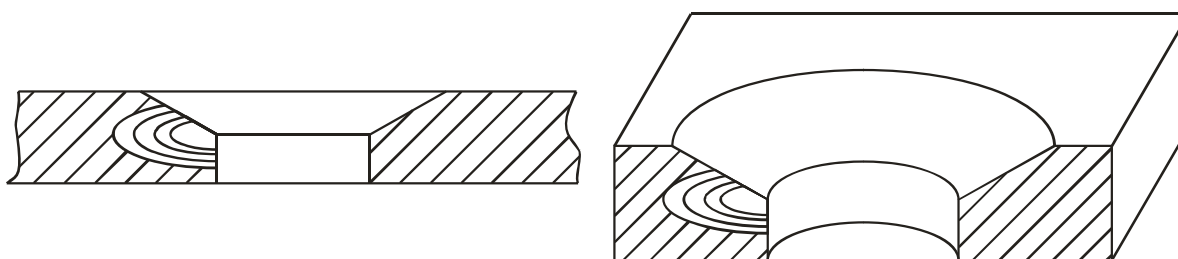


Рисунок 4. Форма та напрям поширення втомної тріщини

Мікрodefekти отворів після виготовлення змінюють НДС та знижують циклічну довговічність заклепкового з'єднання. Ці дефекти незначні порівняно з розмірами отвору як основного концентратора напружень, але в процесі експлуатації, при змінноамплітудних циклічних навантаженнях, на пошкоджених отворах накопичуються пошкодження та зароджуються втомні тріщини, які поширюються в основному матеріалі алюмінієвого листа без виходу на поверхню.

У конструкції планера літака 75%-90% становлять заклепкові з'єднання. Для

відповідної аеродинаміки та обтікання обшивки 60%-70% з них складають потайні заклепкові з'єднання. Для підвищення довговічності конструкції планера літака більшість з'єднань виконуються з радіальним натягом, проте є велика кількість з'єднань без натягу або навіть зі зазором. При виготовленні заклепкового з'єднання з високим радіальним натягом (5...7%) матеріал заклепки рівномірніше заповнює отвір і частково нівелює вплив мікрodefektів на втомну довговічність. У процесі розклепування замикаючої головки заклепки такі дефекти, як мікротріщини чи задири можуть збільшуватися в розмірі.

Для часткового усунення мікрodefektів після виготовлення на відповідальних навантажених з'єднаннях, необхідно додатково виконувати обробку поверхні отвору методами поверхневого пластичного деформування (дорнування, розкатування, чеканка). Після такої обробки навколо отвору створюється поле залишкових стискаючих напружень, яке позитивно впливає на циклічну міцність і довговічність з'єднання.

На рис. 5 показано поверхню отвору після свердління (рис. 5 а,б) та наступного дорнування (рис. 5 в,г) з відносним натягом 5,9%.

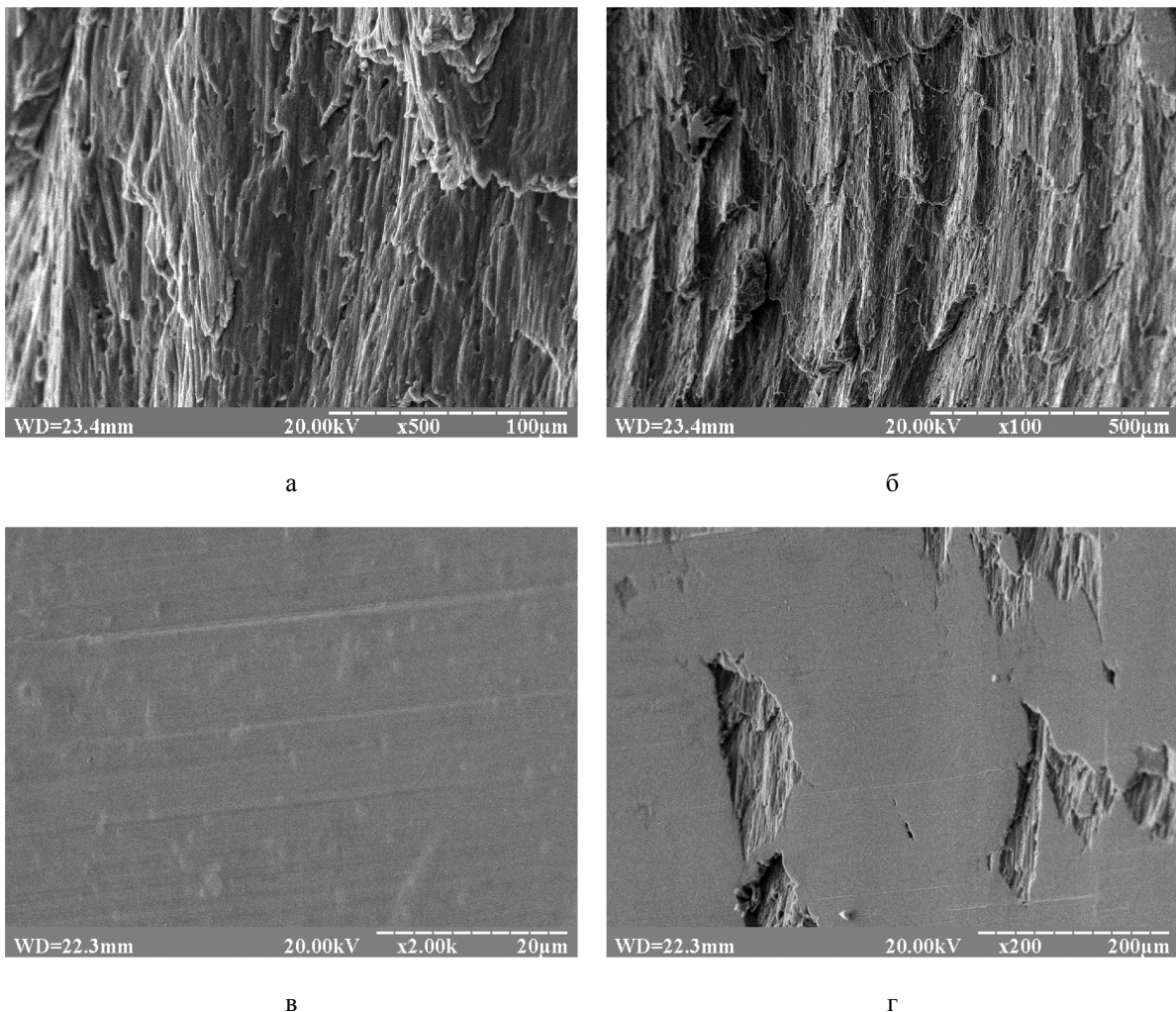


Рисунок 5. Циліндрична поверхня отвору:
а, б – після свердління; в, г – після дорнування з відносним натягом 5,9%

З рис. 5 а,б бачимо що шорсткість поверхні після свердління досить висока і тому

значно підвищується ризик зародження втомних мікротріщин. Після наступного дорнування отвору з високим натягом (5,9%) на поверхні частково (рис. 5 г) або повністю (рис. 5 в) згладжуються мікронерівності, спричинені свердлінням. Мікродефекти на поверхні отвору (задири, вириви, мікротріщини) також частково або повністю, залежно від їх розміру, згладжуються після дорнування з високим натягом.

З іншого боку, тверді та крихкі включення в основному матеріалі при дорнуванні поверхні отвору можуть розтріскуватися й утворювати канавки в напрямку протяжки дорна (рис.6 а,б). Але ці дефекти після дорнування неглибокі та не є гострими концентраторами.

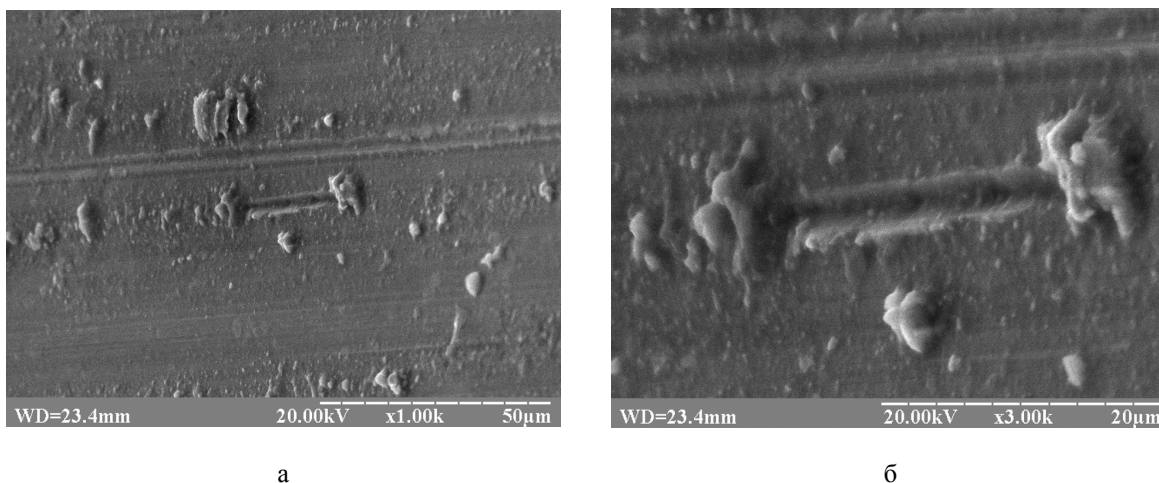


Рисунок 6. Канавки на циліндричній поверхні отвору після дорнування з натягом 5,9%

Висновки. Досліджено вплив способу отримання отворів під потайні заклепки (штамбування, свердління, зенкування) на пошкодженість їх поверхні. Отвори під потайні заклепки виготовлені методом свердління та зенкування фаски мають значно менше мікродефектів порівняно з отворами, які виготовлені штампуванням та зенкуванням. Поверхнєве пластичне деформування отворів дорнуванням з високим радіальним натягом частково або повністю усуває мікродефекти поверхні й відповідно їхній негативний вплив на циклічну міцність і довговічність.

Література

1. Ясній П. Дослідження зародження та поширення коротких втомних тріщин в алюмінієвому сплаві 2024-Т3 методом вихрострумової дефектоскопії [Текст] / П. Ясній, В. Гуцайлюк, С. Гладько // Вісник Тернопільського державного технічного університету. – 2010. – Т. 15, № 2. – С. 7–14.
2. Гуцайлюк В.Б. Микромеханизмы зарождения и развития усталостных трещин алюминиевого сплава 2024-Т3 в условиях постоянного циклического нагружения [Текст] / В.Б. Гуцайлюк, С.В. Гладько // Вестник Тамбовского университета. – 2010. – Т. 15, № 3. – С. 833–834.
3. Miller K.J., de los Rios, E.R. (Editors). Short fatigue cracks. ESIS Publication 13, Mechanical Engineering Publications, London, 1992.
4. Miller K.J. The two thresholds of fatigue behaviour // Fatigue Fract. Engng Mater. Struct. 18, (9) p. 931-939, 1993.
5. Wanhill R.J.H. Flight simulation fatigue crack growth guidelines. Proc. 8th Int. Congress Fatigue 2002, 1/5, p. 573-584, Sweden, 2002.
6. Halliday M. D., Cooper C., Poole P., Bowen P. On predicting small fatigue crack growth and fatigue life from long crack data in 2024 aluminium alloy // Int. J. of Fatigue. Vol. 25, p.709-718, 2003.

7. Li X.D. Micromechanical model of stage I to stage II crack growth transition for aluminium alloys // Theoretical and Applied Fracture Mechanics. Vol. 24, p. 217-231, 1996.
8. D. Kocańda, V. Hutsaylyuk, V.Hlado: Analyze propagation short fatigue ckrack from hole and micromechanism fracture lamer sheet aluminium alloy 2024-T3. Biuletyn WAT, 2007 4 (648), pp. 37—54.
9. S. Person: Investigation of fatigue cracks in commercial aluminum alloys and subsequent propagation of very short fatigue cracks. Engineering Fracture Mechanics, 7 (1975); pp. 235–247.
10. K.J. Miller: Short crack problem, Fatigue of Engineering Materiale and Structures, 5 (1982), pp. 223–232.
11. K.J. Miller: Initiation and growth rates of short fatigue cracks, In. Fundamentals of Deformation and Fracture, Eshelby Memorial Symposium, Cambridge University Press, 1985, pp. 477–500.
12. Технология конструкционных материалов: учеб. пособие для вузов [Текст] / под ред. М. А. Шатерина. – СПб.: Политехника, 2005. –597 с.
13. Технология конструкционных материалов. Практикум по технологическим методам обработки заготовок: учебное пособие [Текст] / Ю.М. Барон, Г.П. Дзельтен, В.С. Кобчиков, В.С. Медко, М.Т. Коротких, В.И. Никифоров, Л.А. Ушомирская; под ред. В. И. Никифорова. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2007. – 304 с.
14. Сопротивление усталости элементов конструкций [Текст] / С64 А.З. Воробьев, Б.И. Олькин, В.Н. Стебенев и др. – М.:Машиностроение, 1990. – С. 164–166.
15. Воронько, В.В. Розробка технологічного процесу та інструменту швидкісного дорнування отворів авіаційних конструкцій із алюмінієвих сплавів [Текст] автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.07.02. „Проектування, виробництво та випробування літальних апаратів” / В.В. Воронько. – Харків, 2007.
16. Голованов, Д.С. Расчетное определение остаточных напряжений в поверхностном слое деталей при дорновании отверстий с учетом теплового и силового воздействий: автореф. дис. на получение науч. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.02.08. „Технология машиностроения” / Д.С. Голованов – Рыбинск, 2010.