

І. С. АФТАНАЗІВ, Л. І. ШЕВЧУК, О. І. СТРОГАН, Л. Р. СТРУТИНСЬКА

Національний університет «Львівська політехніка», Україна

ПІДВИЩЕННЯ МІЦНОСТІ ТА НАДІЙНОСТІ БАРАБАНІВ КОЛІС ЛІТАКІВ ЗМІЦНЮВАЛЬНОЮ ОБРОБКОЮ

Описані технологія, обладнання та результати стендових випробувань зміцнених поверхневим пластичним деформуванням барабанів і реборд коліс літаків. Запропонований авторами новий метод поверхневого зміцнення названо вібраційно-відцентровою зміцнювальною обробкою. Він належить до групи методів динамічного зміцнення деталей форми тіл обертання. Ґрунтується на ударній взаємодії оброблюваної деталі із масивним інструментом, що під дією вібрацій обкочується по зміцнюваній поверхні деталі. При цьому ударний контакт деталі та інструменту відбувається через незначну кількість деформівних тіл. Це забезпечує формування в місцях контакту в матеріалі деталі залишкових напружень стиску в межах 110МПа для магнієвих (сплав МЛ-12) та 250МПа для алюмінієвих барабанів (сплав АК6) коліс літаків. Ступінь зміцнення матеріалу поверхневих прошарків магнієвих барабанів складає 45÷59% при підвищенні поверхневої мікротвердості до 1150Н/м² і товщині зміцненого шару матеріалу 0,9...1,0 мм. При зміцненні алюмінієвих барабанів і реборд забезпечується товщина зміцненого шару 0,6...0,9 мм при ступені наклепу 25...30%.

Втомні дослідження партії зміцнених даним методом барабанів типу КТ-141 (магнієвий сплав МТ-12) засвідчили підвищення їх моторесурсу до 1000 злетопосадок при коефіцієнті надійності $n=3,5$. Довговічність зміцнених накатуванням роликком барабанів цього типу не перевищувала 750 злетопосадок, незміцнених – 500 злетопосадок при нижчих значеннях коефіцієнта надійності. Зміцнення ступичної частини барабанів КТ-150Д (алюмінієвий сплав АК6) в середньому на 28-30% підвищує їх довговічність.

Крім барабанів та реборд коліс літаків метод вібраційно-відцентрової зміцнювальної обробки придатний для підвищення довговічності різноманітних деталей шасі літаків круглого поперечного перерізу, для зміцнення дисків автомобільних коліс із кольорових металів, для зміцнення радіусних переходів та шийок сталевих валів тощо.

Ключові слова: барабан; реборда; колесо; літак; магнієвий сплав; алюмінієвий сплав; зміцнення; поверхневе пластичне деформування; залишкові напруження; товщина зміцнення.

Актуальність досліджень

Із моменту появи літальних апаратів міцності та надійності, а також довговічності їх вузлів та деталей завжди приділялись підвищені увага та вимоги. Це цілком закономірно та виправдано, оскільки руйнування деталей, враховуючи високі швидкості сучасних літальних апаратів, може приводити до катастрофічних наслідків. Саме тому при виготовленні деталей літальних апаратів використовують найкращі здобутки матеріалознавства та найдосконаліші технології виготовлення, спрямовані на максимальне використання міцнісних характеристик матеріалів. Обумовлено це одвічною проблемою літакобудування – технологічним процесом виготовлення та міцнісними характеристиками матеріалів забезпечити максимальний ступінь надійності при

мінімальній масі деталей. Тому і застосовують в процесі проектування літальних апаратів найсучасніші методики розрахунків та проектування деталей, що опираються на практично невичерпні можливості сучасних обчислювальних комп'ютерних технологій. І коли міцнісні характеристики та можливості використовуваних матеріалів практично вичерпано, конструктори та розробники звертають свої погляди у бік технологічних можливостей покращення експлуатаційних властивостей деталей та вузлів. Наприклад, за рахунок технологічного покращення характеристик найбільш навантажених поверхневих прошарків матеріалу деталей, зокрема їх шорсткості, поверхневої мікротвердості, формування спроможного проти-стояти експлуатаційним навантаженням напруженого стану матеріалу тощо. Яскравими прикладами такого технологічного покращення

ня властивостей матеріалів деталей є застосування при виготовленні сталевих деталей високотемпературних гартівних операцій, зокрема нормалізації, загартовування тощо, шліфування, полірування робочих поверхонь деталей та низка інших технологічних оздоблювально-виробничих операцій. Не останню позицію у їх переліку посідають і зміцнювальні операції поверхневих прошарків матеріалу деталей різноманітними методами поверхневого пластичного деформування, широко відомих у літературних першоджерелах під розповсюдженою аббревіатурою «методи ППД». Спільною перевагою кращих із доволі широкої когорти їх різновидів (накатування роликком, карбування, вигладжування, дробоструменева та віброзміцнювальна обробки тощо) є те, що не піддаючи деталі енергозатратному високо-температурному нагріванню покращуються міцнісні характеристики та експлуатаційні Властивості найнавантажениших поверхневих прошарків матеріалу деталей. Відповідно, використання в технологічних процесах виготовлення деталей методів ППД сприяє підвищенню їх надійності та довговічності.

1. Аналіз досліджень та публікацій

У переважачій більшості в машинобудуванні покращення експлуатаційних властивостей деталей завдяки їх зміцненню ППД використовують для деталей, виготовлених із конструкційних марок сталі. Певною мірою це обмежувало використання ППД при виготовленні деталей літальних апаратів, переважаючи більшість яких виготовлена із кольорових металів та сплавів. Однак, відомі і доволі вдалі спроби використання накатування роликком радіусних переходів виготовлених із магнієвих сплавів барабанів та реборд коліс літаків [1 - 3]. Ці деталі шасі літаків під час їх посадки зазнають значних ударних навантажень, які формують у поверхневих прошарках матеріалу втомні мікротріщини, накопичення котрих обумовлює руйнування барабанів та реборд [4]. І оскільки руйнація відповідальних деталей коліс літаків може привести до катастроф та непоправних наслідків, моторесурс барабанів та реборд жорстко обмежують на підставі даних регламентних контролів за наявністю в матеріалі втомних мікротріщин. Із метою підвищення довговічності барабанів та реборд (магнієвий сплав МЛ-12) коліс літаків у технологічний процес їх виготовлення було включено операцію поверхневого зміцнення накатуванням роликком радіусних переходів конічної частини барабанів та реборд у бурт та канавки під стопорне кільце. У результаті зміцнювальної обробки накатуванням роликком в матеріалі поверхневих прошарків відбуваються певні позитивні структурні

видозміни, підвищуються його твердість та міцність, знижується шорсткість зміцнених ділянок поверхні барабанів та реборд [4]. Стеновими втомними випробовуваннями та так званими «льотними» випробуваннями було підтверджено спроможність підвищення моторесурсу зміцнених барабанів та реборд моделі КТ-141 (сплав МЛ-12) до 750 злетопосадок проти 500 злетопосадок тих же незміцнених деталей (рис. 1). Тобто завдяки запровадженню зміцнювальної технології накатуванням роликком моторесурс таких вартісних і відповідальних деталей як барабани та реборди коліс літаків вдалося підвищити на третину.

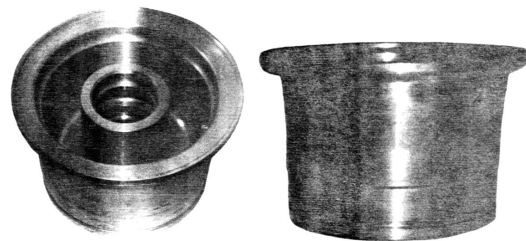


Рис. 1. Барабан моделі КТ-141 (магнієвий сплав МЛ-12) колеса літака

Дослідженнями ряду вітчизняних провідних науковців минулого століття переконливо доведено, що поряд із покращенням міцнісних характеристик матеріалу зміцнених ППД деталей на їх надійність, довговічність та спроможність протистояння експлуатаційним навантаженням визначний вплив мають сформовані в товщі зміцненого матеріалу залишкові напруження [5]. При цьому було доведено, що для деталей, котрі працюють при експлуатації в умовах поверхневого зношування, визначальними для їх довговічності є шорсткість поверхні та її мікротвердість, а для деталей, що піддаються циклічним навантаженням, особливо знакозмінним, першочерговим чинником, що обумовлює довговічність, є характер (стиску чи розтягу) та рівень залишкових напружень в товщі приповерхневих прошарків матеріалу [6]. Було доведено, що для пар тертя більш сприятливими із позицій довговічності є напруження розтягу в поверхневих прошарках, а для деталей, що піддаються ударним чи знакозмінним циклічним навантаженням – напруження стиску.

Через неперервний контакт деформівного ролика при зміцненні барабанів та реборд накатуванням роликком цей різновид зміцнювальної технології не у спроможності забезпечити формування в поверхневому прошарку зміцненого матеріалу стискальних напружень високого градієнту. Це означає, що технологічні можливості накатування роликком щодо подальшого підвищення моторесурсу барабанів та

реборд коліс літаків практично вичерпано. Необхідно переходити при здійсненні даної зміцнювальної технологічної операції або на зміцнення методами ППД динамічної групи (дробоструменеве чи віброударне зміцнення, карбування тощо), або створювати для таких відповідальних деталей, якими є деталі літакобудування, новий приналежний до ударної динамічної групи метод зміцнення ППД. Характерними особливостями цього нового зміцнювального методу повинні бути, перш за все, значні рівні енергії деформування для забезпечення формування у матеріалі зміцнених деталей залишкових напружень стиску високого градієнту та, по можливості, сприятна для такої масової деталі, як барабан колеса незначна тривалість зміцнювальної операції.

2. Постановка завдання дослідження

Метою даного дослідження є розробка нової технології та реалізуючого її обладнання для ефективного зміцнення поверхневим пластичним деформуванням барабанів та реборд коліс літаків, а також інших деталей круглого поперечного перерізу, для підвищення їх міцнісних характеристик, надійності та довговічності.

У задачі дослідження входили наступні пункти та етапи:

- аналіз експлуатаційних навантажень, що діють на барабани та реборди під час експлуатації літальних апаратів;
- аналіз технологічних можливостей та ефективності відомих різновидів методів поверхневого пластичного деформування у контексті придатності їх для зміцнення барабанів та реборд;
- розробка конструктивних схем нового зміцнювального технологічного обладнання, придатного для ефективної обробки барабанів та реборд;
- аналіз результатів стендових випробувань зміцнених новим методом ППД барабанів та реборд.

3. Технологія та обладнання вібраційно-відцентрового зміцнення барабанів та реборд коліс літаків

Як уже відзначалось, барабани та реборди коліс літаків, як власне вся конструкція шасі літака, доволі специфічні деталі та вузли, що обумовлено умовами їх експлуатації. Із одного боку в польоті літака це зайвий баласт, на транспортування якого витрачається вартісне паливо, з іншого – при злеті та посадці літальних апаратів на рівні із двигунами це найвідповідальніші вузли, що забезпечують безпеку польотів. Тобто із позицій економії пального ці деталі та вузли повинні бути мінімально легкими, а із

позицій безпеки польотів – максимально міцними та надійними. Ці цілком логічні підходи і обумовили специфіку конструювання та будови барабанів і реборд коліс літаків. Для максимального зменшення їх маси ці деталі виготовляють із легких кольорових металів, переважно із сплавів магнію чи алюмінію. А міцність забезпечують товщиною стінок цих деталей та якісним литвом чи штамповкою заготовок.

Барабан колеса літака призначений для встановлення на ньому пневматика і гальмівного механізму. В процесі експлуатування барабан, окрім ударного навантаження, підлягає знакозмінним циклічним навантаженням. При цьому нагрівання його в процесі гальмування літака при посадці досягає 120°C. Конструктивно барабан авіаційного колеса – це крупногабаритна складна деталь типу тіла обертання, яка складається із двох концентрично розміщених тонкостінних оболонок, торці яких з'єднані між собою. Зовнішня оболонка складається з плавно перехідних одна в одну циліндричних частин, конічної частини і незнімної реборди – бурта. Внутрішня оболонка – циліндричної форми і меншої довжини в порівнянні із зовнішньою. В просторі між оболонками розміщений гальмівний механізм, на зовнішній оболонці встановлюється пневматик і знімна реборда, а у внутрішній оболонці – опорні підшипники.

Знімні реборди (розрізані і нерозрізані) призначені для бокового підтискання пневматика і виготовлені з того матеріалу, що і барабан. Встановлюються на барабані за допомогою стопорного кільця, зафіксованого в канавці барабана. Виготовляють барабани і реборди із магнієвих і алюмінієвих сплавів. Основним способом промислового виготовлення барабанів і реборд авіаційних коліс є штампування чи лиття заготовок із наступним їх механічним оброблюванням.

Як відзначалось, статичні методи зміцнення ППД для зміцнювальної обробки барабанів та реборд (накатування роликком, вигладжування тощо) певною мірою підвищують моторесурс цих деталей. Однак через сталий контакт інструменту із матеріалом оброблюваної деталі ступінь зміцнення, а відповідно і зміцнювальний ефект тут недостатні для таких важко навантажених в ударних режимах роботи деталей, якими являються барабани та реборди коліс.

Із відомих динамічних методів зміцнення ППД ефективними до певної міри у даному випадку могли б бути карбування (*рос.* – чеканка), дробоструменева та віброударна зміцнювальні обробки [7].

Однак і вони не позбавлені певних недоліків, що обмежують можливість їх використання для барабанів та реборд. Так, карбування надто низькопродуктивне, енергія деформування матеріалу оброб-

люваної деталі при дробоструменевій та віброударній обробках обмежені швидкістю та масою дрібних деформівних кульок [8].

Із цих міркувань пропонується для зміцнення зовнішніх та внутрішніх поверхонь барабанів і реборд коліс літаків, а також інших деталей круглого поперечного перерізу шасі літаків, використовувати поверхневе зміцнення новою створеною авторами вібраційно-відцентровою зміцнювальною обробкою (ВВЗО) [9]. Відмінною особливістю цієї зміцнювальної обробки є те, що завдяки співударянням масивних оброблюваної деталі та інструменту при контактуванні їх через незначну кількість деформівних тіл в матеріалі оброблюваної деталі в місцях ударного контакту формуються значні контактні напруження, що обумовлюють високий ступінь зміцнення та формування залишкових напружень стиску значного градієнту [10]. Більш дохідливо суть цього методу зміцнювальної обробки розкрито при описі реалізуючого його обладнання.

Конструкція барабана включає ряд елементів, що в процесі їх експлуатації є концентраторами напружень. Це канавки під стопорне кільце і радіусний перехід в бурт. Саме в цих ділянках барабанів спостерігають зародження втомної тріщини, що приводить до ламання виробу. Тому доцільно на таких ділянках деталей забезпечити більшу товщину зміцненого шару.

При вібраційно-відцентровому зміцнювальному оброблюванні ця задача вирішується за допомогою пристроїв локального зміцнення. На рис. 2 подана принципова схема вібраційної машини для локального зміцнення барабанів і реборд авіаційних коліс, а на рис. 3 – її світлина. Вібромашина містить пружно встановлену на пружинах 1 на основі 2 платформу 3, до якої жорстко приєднана вісь 4 дебалансного віброзбудника. На осі на опорах кочення 5 встановлено корпус 6 з дебалансним вантажем 7. Через еластичну пелюсткову муфту 8 корпус віброзбудника з'єднано з валом електродвигуна 9. На платформі співвісно осі віброзбудника на пристосованні 10 за допомогою фланця 11 і гайки 12 жорстко закріплено оброблювану деталь 13, на якій вільно розташовано корпус 14 кільцевого обкатника. В корпусі кільцевого обкатника на осях 15 встановлені з можливістю обертання навколо власної осі та радіального переміщення оброблювальні (деформуючі) тіла у вигляді роликів 16, виготовлених із матеріалу, твердість якого перевищує твердість матеріалу оброблюваної деталі. Коловий крок t , з яким встановлені ролики 16, рівний

$$t=D+\Delta,$$

де D – діаметр роликів; Δ – проміжок, що гарантує незіткнення роликів.

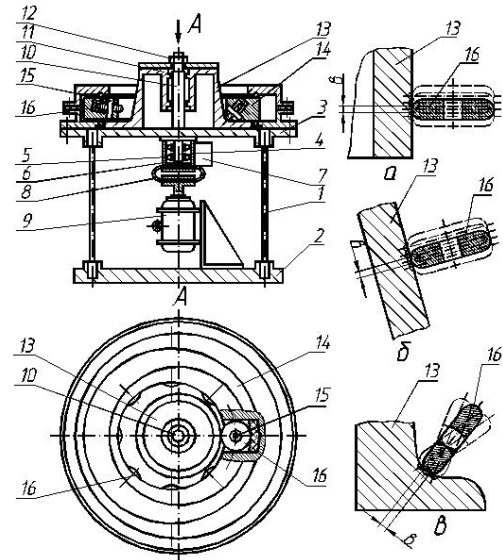


Рис. 2. Принципова схема вертикальної вібромашини

Діаметр, на якому встановлено ролики 16 в корпус обкатника 14, рівний

$$D_0 = D_n + D + 4A,$$

де D_n – діаметр зміцнюваної поверхні деталі в даному перерізі;

D – діаметр роликів;

A – амплітуда коливань платформи 3.

Величину діаметра D_0 вибрано із умови забезпечення максимальної сили взаємодії кільцевого обкатника 14 з оброблюваною деталлю 13 при стійкому режимі вібраційного підтримання обертання обкатника, який відповідно експериментальним дослідженням реалізується при дотриманні нерівностей

$$D_n + D < D_0 < D_n + D + 4A.$$

Осі обертання роликів 16 лежать в радіальних площинах, що проходять через вісь обкатника 14. При зміцненні циліндричних поверхонь деталі 13 площина обертання кожного із роликів, яка є його площиною симетрії, зміщена відносно площини обертання сусіднього ролика вздовж осі обкатника догори або донизу на величину, що дорівнює або менша ширини відбитку « ϵ » (рис. 2, а). При оброблюванні конічних поверхонь, крім вказаного осьового зміщення площин обертання роликів, має місце радіальне зміщення осей обертання сусідніх роликів, яке визначається величиною конусності оброблюваної поверхні (рис. 2, б). При оброблюванні криволінійних поверхонь, поряд із вказаними зміщеннями, виконують кутове зміщення площин обертання роликів 16, що є площинами їх симетрії

(рис. 2, в). Величини цих зміщень також визначаються розмірами відбитків "в", що повинні перекривати один одного. Для будь-якого із вказаних розміщень роликів кути між віссю обкатника 14 і площинами симетрії роликів 16 повинні бути такими, щоб при зіткненні ролика з деталлю 13 площина симетрії останнього була нормальна дотичній площині в точці дотику ролика і деталі. Контакткування роликів 16 з корпусом обкатника 14 здійснюється через пружні елементи, наприклад, гумові прокладки, встановлені під роликами. Обмеження переміщення кільцевого обкатника в осьовому напрямі оброблюваної деталі 13 здійснюється за допомогою закріплених на платформі 3 упорів, взаємне розміщення яких регулюється прокладками. Контакткування обкатника 14 з упорами здійснюється через розміщені в канавках упорів кульки. Зміцнення деталей відбувається таким чином. Деталь 13, що підлягає зміцненню, встановлюють на оправі 10 і за допомогою фланця 11 та гайки 12 жорстко закріплюють її на платформі 3. На деталі вільно встановлюють корпус обкатника 14 з роликами 16 і упорами 18. Упори 18 закріплюють на платформі 3. Вмиканням електродвигуна привода через еластичну муфту 8 надають обертання корпусу 6 із дебалансом 7 віброзбудника. При цьому платформа 3 здійснює кругові коливання із певною амплітудою та частотою, що дорівнює частоті обертання вала електродвигуна привода. Коливання платформи 3 передаються на жорстко встановлену на ній оброблювану деталь 13, під дією коливань якої вільно встановлений на її поверхні кільцевий обкатник 14 за рахунок ефекту вібраційного підтримування обертання втягується в обкатку. Контакткування корпусу обкатника із поверхнею оброблюваної деталі відбувається через деформуючі ролики 16. Вступ в контакт із поверхнею деталі кожного наступного ролика 16 в процесі обкатки кільцевого обкатника 14 відбувається з ударом, при чому тілами, що співударяються, є масивні оброблювана деталь 13 із платформою 3 з одного боку та кільцевий обкатник 14 – з другого. Співударяння кільцевого обкатника із оброблюваною поверхнею деталі при контактуванні їх через ролики 16 приводить до того, що в місцях контакту з роликами матеріал деталі в поверхневому його шарі пластично деформується і зміцнюється. Еліпсоподібні відбитки співударянь при цьому мають шорсткість, що дорівнює шорсткості полірованих деформуючих роликів 16. Обертання кільцевого обкатника 14 і вказане вище розміщення роликів 16 забезпечує перекриття відбитків співударянь, чим досягається рівномірність зміцнення по всій обробленій поверхні деталі.

Після завершення певного часу оброблювання, встановленого в кожному конкретному випадку

експериментальним шляхом в залежності від фізико-механічних властивостей матеріалу оброблюваної деталі і потрібних параметрів якості зміцнення, зупиняють електродвигун привода, знімають з платформи 3 упор 18 з кільцевим обкатником 14 і зміцнену деталь 13. На її місце встановлюють чергову підлягаючу зміцненню деталь і цикл оброблювання повторюють в описаному вище порядку. При зміцненні канавки під стопорне кільце барабана авіаційного колеса обкатник 14 з деформуючими роликами, профіль яких підбирають за профілем зміцнюваної поверхні, розміщують в зоні канавки.

Пристрій дає можливість здійснювати зміцнення зовнішньої поверхні барабанів по всій довжині її твірної. У цьому випадку обкатник з деформуючими роликами переміщують з певною осьовою подачею вздовж твірної оброблюваної поверхні. Аналогічно здійснюють зміцнення внутрішніх поверхонь барабанів і реборд, розміщуючи обкатник всередині зміцнюваних деталей.

Рівень показників якості зміцнювального оброблювання при використанні обкатника із закріпленими на ньому деформуючими роликами регламентується властиво масою обкатника з роликами, ексцентриситетом, з яким він встановлений на деталі, частотою коливань платформи та часом оброблювання.

Сила взаємодії зміцнюваної деталі із обкатником сконцентрована на одному, максимум двох, деформуючих роликах. Це дає змогу суттєво збільшити величину контактних тисків в місцях контакту, а відповідно і товщину зміцненого шару і ступінь наклепу. До того ж це вирішується дуже просто – підбором, наприклад, маси обкатника, регулювання якої здійснюють за рахунок приєднання до нього змінних вантажів.

При ВВЗО, чим вигідно відрізняється цей метод від інших методів ППД, практично не існує обмежень на величину енергії зміцнення, що надається зміцнюваній поверхні деталі. Збільшуючи масу обкатного елемента, ексцентриситет, з яким він встановлений, або частоту коливань приводного тіла можна досягнути таких енергій співударянь деформуючих елементів із оброблюваною поверхнею, які обмежуються тільки здатністю матеріалу зміцнюваної деталі до пластичного деформування. Мабуть, тільки процес зміцнення карбуванням має схожу властивість. Однак ВВЗО позбавлене такого важливого в практичному використанні недоліку, як низька продуктивність, що властива карбуванню.

На рис. 3 представлена світлина вібраційної машини для зміцнення вібраційно-відцентровою зміцнювальною обробкою локальних конструктивних елементів (радіусних переходів, канавок під

стопорне кільце тощо) барабанів та реборд авіаційних коліс.

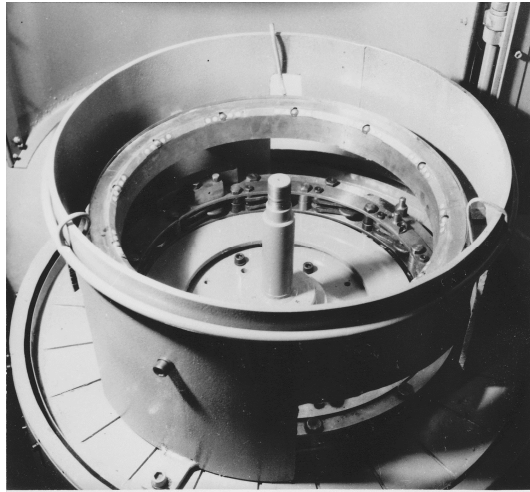


Рис. 3. Пристрій для зміцнення ВВЗО конструктивних елементів барабанів авіаційних коліс

Певною перевагою даної установки є те, що вона доволі універсальна і на її коливній платформі можна встановлювати і зміцнювати барабани та реборди різноманітних модифікацій та розмірів в діапазоні діаметрів від 250 мм до 750 мм, наприклад КТ-141, КТ-157, КТ-135, КН-9 тощо.

Однак, зрозуміло, що для кожного типорозміру зміцнювальних барабанів знадобиться індивідуальний зміцнювальний обкатник із встановленими на ньому деформівними роликми.

Дослідженнями ряду вітчизняних та зарубіжних провідних вчених-матеріалознавців [11 – 13] експериментально встановлено і теоретично підтверджено те, що для деталей, які в експлуатаційних умовах піддаються знакозмінним циклічним навантаженням втомні тріщини, що зумовлюють їх руйнування, зароджуються переважно у поверхневих прошарках матеріалу. Для барабанів та реборд коліс літаків при посадці літального апарату характерне саме поєднання значних ударних та закономірних циклічних навантажень. Тому з метою підвищення їх надійності та довговічності доречно, крім зміцнення локальних радіусних переходів, тобто концентраторів напружень, здійснити зміцнювальну обробку всіх зовнішніх та внутрішніх робочих поверхонь. Адже зміцнення ППД забезпечує формування у приповерхневих прошарках матеріалу залишкових стискальних напружень, які надійно протистоять не тільки зародженню, а і росту втомних мікро тріщин [14]. Тобто окрім зміцнення конструктивних концентраторів напружень на робочих поверхнях барабанів та реборд, доречно здійснити їх повну об'ємну зміцнювальну обробку, яка забезпечить покращення

механічних Властивостей матеріалу по всіх робочих поверхнях цих відповідальних деталей.

Для об'ємної вібраційно-відцентрової зміцнювальної обробки барабанів та реборд коліс літаків створено спеціальну вібраційну машину горизонтального типу, принципова схема якої відображена на рис. 4, а світлина – на рис. 5.

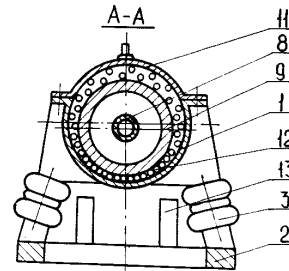
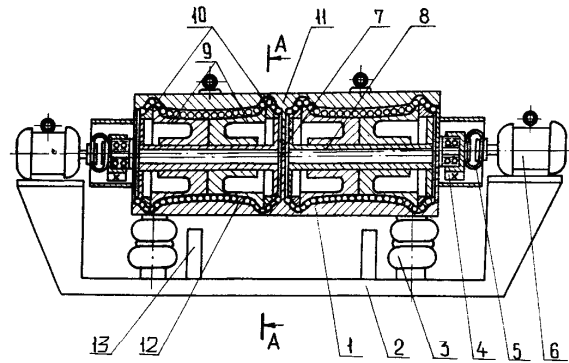


Рис. 4. Принципова схема вібраційної машини для зміцнення барабанів і реборд авіаційних коліс

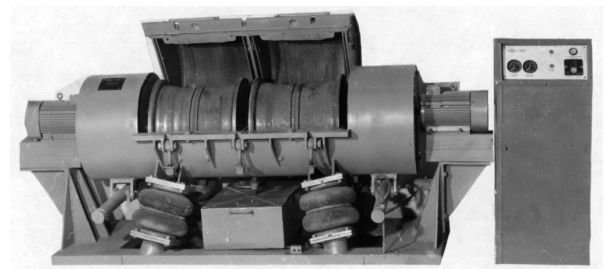


Рис. 5. Дослідна установка для об'ємного зміцнення барабанів та реборд авіаційних коліс

Вібраційна машина для зміцнення барабанів і реборд авіаційних коліс (див. рис. 4) включає в себе контейнер 1, встановлений на рамі 2 на гумокордних пневмобалонах 3. До торцевих стінок контейнера приєднані два дисбалансних вібробудувачі 4, які через еластичні муфти 5 з'єднані з валами електродвигунів 6.

Електродвигуни встановлені на рамі 2 на підставках. Контейнер 1 перегородкою 7 розділений на дві секції. В кожній із секцій контейнера на монтажному пристосуванні 8 вільно встановлені по два ба-

рабани 9 і по дві реборди 10. Зверху контейнер закривається кришкою 11, що утворює з ним замкнений циліндр. Простір між внутрішньою поверхнею контейнера і поверхнею барабанів, що підлягає оброблюванню, на $0,35 \div 0,50$ об'єму заповнений сталевими загартованими кульками 12, твердість матеріалу яких вища від твердості матеріалу барабанів і реборд. Довжина секції контейнера вібромашини прийнята такою, щоб при вільному встановленні в контейнер зібраних на пристосуванні 8 барабанів і реборд зазор між торцевими стінками контейнера і оброблюваними деталями не перевищував половини діаметра оброблювальних кульок. Внутрішня поверхня контейнера 1 виконана еквідистантною оброблюваною поверхнею барабанів і реборд при співвідношенні їх розміщенні з контейнером і для зменшення зношування і кращої звукоізоляції футерована гумою. Тиск повітря в гумокордових балонах 3 забезпечує власну частоту коливань контейнера в межах $3 \div 5$ Гц, а робота машини здійснювалася в позарезонансному режимі. При відсутності тиску в балонах контейнер встановлюється на рамі 2 на опорах 13.

Для видалення продуктів зношування і регулювання температури в зоні оброблювання вібраційна машина забезпечена системою подачі і видалення мастильно-охолоджувальної рідини, в даному випадку – 5 %-го водного розчину кальцинованої соди.

Зміцнення барабанів та реборд на вібраційній машині здійснюють таким чином. На установочних пристосуваннях 8 збирають барабани і реборди, що підлягають оброблюванню (по два барабани і дві реборди на кожному), після чого пристосування 8 вільно встановлюють в секції контейнера 1 і закривають контейнер кришкою 11. Вмиканням електродвигунів 6 через еластичні муфти 5 надають обертання дебалансам віброзбуджувачів 4. Обертання обох дебалансів віброзбуджувачів є однаковим за напрямком, синхронним та синфазним за рахунок ефекту самосинхронізації. При цьому контейнер здійснює кругові коливання з певною амплітудою і частотою, що дорівнює частоті обертання валів електродвигунів.

В процесі оброблювання зібрані на пристосуваннях 8 барабани і реборди обкочуються по внутрішній поверхні контейнера по моношару оброблювальних кульок за рахунок ефекту вібраційної підтримки їх обертання. Для за безпечення вібраційної підтримки обертання барабанів і реборд в контейнері 1 діаметр його внутрішньої поверхні в довільному поперечному перерізі виконаний таким, що дорівнює

$$D_k = D_6 + 2D + 4A,$$

де D_6 – діаметр оброблюваних барабанів і реборд в даному перерізі;

D – діаметр оброблювальних кульок;

A – амплітуда коливань контейнера.

У кожний момент часу барабани і реборди контактують з контейнером через незначну кількість оброблювальних кульок, розміщених вздовж твірної їх зовнішньої поверхні, котра підлягає зміцненню. Вступ у контактування із черговою групою кульок відбувається з ударом, причому тілами, що співударяються, є оброблювані деталі із пристосуванням, на якому вони встановлені, з однієї сторони, і контейнер – з другої. Оскільки твердість оброблювальних кульок перевищує твердість матеріалу барабанів і реборд, вони у місцях контактування з кульками пластично деформуються, зміцнюються. Сліди співударянь на поверхні оброблювальних деталей подані у вигляді сферичних лунок з діаметром сферичної поверхні, що дорівнює діаметрові оброблювальних кульок. Обертання барабанів і реборд в процесі обкочування їх по внутрішній поверхні контейнера навколо своєї геометричної осі сприяють рівномірному покриттю слідами співударянь всієї зміцнюваної зовнішньої поверхні барабанів і реборд, тобто рівномірному їх зміцненню. Товщина зміцненого шару при цьому визначається силою деформування матеріалу деталей, що припадає на одну оброблювальну кульку, яка дорівнює

$$P = \frac{m \cdot e \cdot D \cdot \omega^2}{H \cdot K},$$

де m – маса пристосування із зібраними на ньому барабанами і ребордами;

e – ексцентриситет, з котрим встановлені оброблювані деталі в контейнері;

D – діаметр оброблювальних кульок;

ω – кругова частота коливань контейнера;

H – сумарна довжина твірної оброблюваних поверхонь барабанів і реборд в одній секції контейнера;

$K = 0,75 \dots 0,8$ – коефіцієнт, що враховує щільність розташування кульок по довжині твірної оброблюваної поверхні.

При необхідності збільшення товщини зміцненого шару збільшують масу пристосування, на якому зібрані барабани і реборди, за рахунок кріплення до нього додаткових вантажів, діаметр оброблювальних кульок (якщо цьому не перешкоджають конструктивні елементи оброблюваної поверхні деталі) або ж частоту коливань контейнера.

Крім вищезгаданих, важливим технологічним параметром, що має суттєвий вплив на основні показники якості зміцнення (товщину зміцненого шару, залишкові напруження та шорсткість оброблених поверхонь), є час оброблювання, величину якого при зміцненні магнієвих барабанів і реборд

приймають в межах 25...30 хвилин, а при зміцненні алюмінієвих барабанів і реборд – 40...45 хвилин.

При необхідності спільного зміцнення зовнішніх і внутрішніх поверхонь барабанів і реборд внутрішню порожнину підлягаючих зміцненню деталей на 0,75...0,80 їх об'єму заповнюють оброблювальними кульками. Обкочування барабанів і реборд по поверхні контейнера супроводжується інтенсивним перемішуванням кульок всередині оброблюваних деталей, їх співударяннями із підлягаючими зміцненню внутрішніми поверхнями. Матеріал барабанів і реборд при цьому в місцях співударянь із кульками пластичне деформується, зміцнюється. Висока частота обкочування деталей та їх обертання навколо своєї геометричної вісі сприяють рівномірному вкриттю слідами співударянь всіх внутрішніх поверхонь, тобто рівномірному їх зміцненню.

Всі вібраційні машини для поверхневого зміцнення барабанів і реборд авіаційних коліс прості та надійні в експлуатації, не вимагають висококваліфікованого обслуговуючого персоналу, споряджені пультом керування, що дає змогу здійснювати дистанційне керування процесом поверхневого зміцнення.

В результаті поверхневого зміцнення магнієвих (сплав МЛ-12) барабанів і реборд авіаційних коліс вібраційно-відцентровим зміцнювальним оброблюванням в поверхневому шарі утворюються залишкові напруження стиску до 120 МПа, забезпечується товщина зміцненого шару 0,9...1,0 мм на зовнішній, та 0,5...0,6 мм на внутрішній поверхнях, поверхнева мікротвердість підвищується до 1150Н/м², шорсткість оброблених поверхонь складає $R_a = 0,8...1,1$ мкм. Фасонна внутрішня поверхня контейнера та обертання деталей в процесі оброблювання навколо своєї геометричної вісі забезпечує високу рівномірність зміцнення різних конструктивних елементів оброблюваних деталей. Ступінь зміцнення поверхні магнієвих барабанів і реборд складає 45...59 %, що суттєво перевищує ступінь зміцнення поверхні барабанів і реборд обкочуванням роликом.

При зміцненні алюмінієвих барабанів і реборд (сплав АК6) забезпечується товщина зміцненого шару 0,6...0,9 мм, рівень залишкових напружень стиску 250 МПа при ступені наклепу 25...30 %.

Проведені порівняльні втомні дослідження партії зміцнених ВВЗО барабанів типу КТ-141 засвідчили підвищення моторесурсу барабанів до 1000 злетопосадок при коефіцієнті надійності $n = 3,5$. Довговічність зміцнених накатуванням роликом барабанів цього типу не перевищувала 750 злетопосадок при більш низькому коефіцієнті надійності. Зміцнення ВВЗО ступичної частини барабанів КТ-

150Д із алюмінієвого сплаву АК6 в середньому на 30 % підвищує їх довговічність.

При цьому продуктивність праці на операції зміцнення за рахунок скорочення машинного часу та одночасного оброблювання декількох деталей підвищується в 4 - 5 разів порівняно із накатуванням роликом.

Ефективне зміцнення зовнішніх та внутрішніх поверхонь барабанів і реборд авіаційних коліс ВВЗО дає можливість не тільки підвищити надійність та довговічність цих важливих деталей, але й на 15÷20 % знизити їх масу за рахунок зменшення товщини стінок. Це забезпечить суттєвий ефект як по вартості самого матеріалу, що використовують для виготовлення барабанів і реборд, так і по зниженню витрат пального за рахунок зменшення маси літака [15, 16].

Суттєвою перевагою ВВЗО є те, що завдяки високому градієнту наведених в приповерхневому шарі матеріалу залишкових напружень стиску, суттєво знижується швидкість зростання втомних мікротріщин, що виникають в поверхневому шарі матеріалу барабанів і реборд при експлуатації літака. Це дає можливість не тільки продовжити час експлуатації барабанів і реборд, але й рекомендувати ВВЗО для відновлення деталей, які були в експлуатації. Відповідно до даних експериментальних досліджень повторне зміцнення ВВЗО барабанів і реборд, що пройшли повний цикл експлуатації, дозволить на 75 % відновити їх ресурс.

Окрім барабанів та реборд коліс літаків, вібраційно-відцентрове зміцнення може з успіхом використовуватись для підвищення міцності, надійності та довговічності інших деталей круглого поперечного перерізу. Зокрема, дисків автомобільних коліс із кольорових металів, круглих поверхонь різноманітних деталей шасі літаків [17], шийок та радіусних переходів валів, крупнокаліберних стволів артилерійських і танкових гармат тощо.

Висновки

Створено новий метод зміцнення поверхневим пластичним деформуванням деталей круглого поперечного перерізу, названий авторами вібраційно-відцентровою зміцнювальною обробкою. Його характерною відмінністю від інших зміцнювальних обробок ППД є високий рівень енергії деформування матеріалу зміцнюваної деталі. Цим забезпечується вищий рівень ступеня зміцнення та формування у приповерхневих прошарках зміцненого матеріалу залишкових напружень стиску високого градієнту, що ефективно протистоять ударним та знакозмінним циклічним експлуатаційним навантаженням.

Розроблено принципові схеми та виготовлено дослідні зразки устаткування для вібраційно-

відцентрової зміцнювальної обробки барабанів та реборд коліс літаків. Зміцнення на цьому обладнанні барабанів та реборд моделі КТ-141 із магнієвого сплаву МЛ-12 забезпечує підвищення до 1000 зле-топосадов моторесурс коліс літаків, що на 25 % перевищує моторесурс цих же барабанів, зміцнених накачуванням роликів і вдвічі моторесурс незміцнених барабанів.

Крім зміцнення барабанів та реборд коліс літаків, новостворений метод вібраційно-відцентрового зміцнення може із значною ефективністю Використовуватись для підвищення міцності, надійності та довговічності цілого ряду інших відповідальних деталей, зокрема дисків автомобільних коліс із кольорових металів, сталевих валів, у тому числі і торсіонних, циліндричних робочих поверхонь шасі літальних апаратів, стволів танкових та артилерійських гармат тощо.

Література

1. Степнов, М. Н. Эффективность упрочнения легких сплавов поверхностным наклепом [Текст] / М. Н. Степнов, Н. А. Бородин, И. И. Хазанов // *Машиноведение*. – 1968. – № 3. – С. 18-23.
2. Степнов, М. Н. Усталость легких конструкционных сплавов [Текст] / М. Н. Степанов, Е. В. Гуацинтов. – М. : Машиностроение, 1973. – 256 с.
3. Сиротинский, Б. С. Об усталостной прочностности и долговечности лопастей вертолетов, [Текст] / Б. С. Сиротинський // *Прочность и долговечность авиационных конструкций*. – Киев : КНИГА, 1965. – 214 с.
4. Эксплуатационная надежность авиационных колес [Текст] / И. И. Хазанов, В. В. Мозалев, С. С. Коконин и др. – М. : Транспорт, 1975. – 224 с.
5. Кудрявцев, И. В. Повышение прочностности и долговечности крупных деталей машин поверхностным наклепом [Текст] / И. В. Кудрявцев, Я. Л. Минков, Е. Э. Дворникова // *Информтяжсмаш*. – М. : Транспорт, 1970. – № 12-69-18. – 145 с.
6. Кравчук, В. С. Исследование и расчетная оценка выносливости деталей с поверхностным упрочнением [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук / В. С. Кравчук. – Одесса, 1978. – 175 с.
7. Папиев, Д. Д. Отделочно-упрочняющая обработка сталей поверхностным пластическим деформированием [Текст] / Д. Д. Папиев // *Размерно-чистовая обработка деталей машин пластическим деформированием*. – М. : Машиностроение. 1965. – С. 29-37.
8. Петросов, В. В. Гидродробеструйное упрочнение деталей и инструмента [Текст] / В. В. Петросов. – М. : Машиностроение, 1977. – 199 с.
9. Повидайло, В. А. Поверхностное упрочнение барабанов авиационных колес вибрационно-центробежной обработкой [Текст] / В. А. Повидайло, И. С. Афтаназив // *Прогрессивная отделочно-упрочняющая обработка*. – Ростов-на-Дону : РИСХМ, 1982. – С. 52-57.
10. Афтаназив, И. С. Оптимизация параметров вибрационно-центробежной упрочняющей обработки барабанов авиационных колес [Текст] / И. С. Афтаназив // *Вестник Львовского политехнического института «Технология машиностроения и динамическая прочность машин»*. – Львов : Вища школа, Изд-во при Львов ун-те, 1981. – № 162. – С. 10-12.
11. Кусий, Я. М. Розроблення методу вібраційно-відцентрового зміцнення для технічного забезпечення безвідмовності деталей машин [Текст] / Я. М. Кусий, А. М. Кук // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. – 2015. № 1/7(73). – С. 41-51. doi: 10.15587/1729-4061.2015.36336
12. Афтаназив, І. С. Підвищення довговічності торсіонних валів та довгомірних деталей поверхневим пластичним деформуванням [Текст] / І. С. Афтаназив, Л. І. Шевчук, О. І. Строган // *Scientific Journal "ScienceRise"* – 2016. – №4/2(21). – С. 37-44. Doi: 10.15587/2313-8416.2016.67693.
13. Пат. 116268 Україна, МПК В24В 39/02 (2006.01), В23Р 9/04 (2006.01) Пристрій для зміцнення поверхневим пластичним деформуванням внутрішніх циліндричних поверхонь довгомірних деталей [Текст] / Афтаназив І. С., Шевчук Л. І. – № а201603003 ; Заявл. 23.02.2016 ; Опубл. 26.02.2018, Бюл. № 4.
14. Stotsko, Z. Research of vibratoru-centrifugal strain hardening on surface quality of cylindric long-sized machine parts [Text] / Z. Stotsko, J. Kusyj, V. Topilnytskyj // *Journal of Manufacturing and Industrial Engineering*. – 2012. – Vol. 11, Issue 1. – P. 15-17.
15. Selective laser melting of AlSi10Mg alloy: Process optimization and mechanical properties development [Text] / N. Read, W. Wang, K. Essa et al. // *Materials&Design*. – 2015. – Vol. 65. – P. 417-424. Doi: 10.1016/j.matdes.2014.09.044.
16. Fine-structured aluminium products with controllable texture by selective laser melting of pre-alloyed AlSi10Mg powder [Text] / L. Thijs, K. Kempen, J.-P. Kruth, J. Van Humbeeck // *Acta Mater*. – 2013. – Vol. 61. – P. 1809-1819. doi: 10.1016/j.actamat.2012.11.052.
17. Guan, K. Effects of processing parameters on tensile properties of selective laser melted 304 stainless steel [Text] / K. Guan, Z. M. Wang, M. Goa // *Materials&Design*. – 2013. – Vol. 50. – P. 581-586. doi: 10.1016/j.matdes.2013.03.056

References

1. Stepnov, M. N., Borodin, N. A., Khazanov, I. I. Jeffektivnost' uprochnenija legkih splavov poverhnostnym naklepom [Efficiency of hardening of light alloys by superficial slander]. *Mashinovedenie – Machine Science*, 1968, no. 3, pp. 18-23.

2. Stepanov, M. N., Giacintov, E. V. *Ustalost' legkih konstrukcionnyh splavov* [Fatigue of light structural alloys]. Moscow, Mechanical engineering Publ., 1973. 256 p.

3. Sirotinsky, B. S. Ob ustalostnoj prochnosti i dolgovechnosti lopastej vertoletov [On fatigue strength and durability of helicopter blades]. In the book: *Strength and durability of aviation constructions*, Kiev, BOOK Publ., 1965. 214 p.

4. Khazanov, I. I., Mozalev, V. V., Kokonin, S. S. and others. *Jekspluacionnaja nadezhnost' aviacionnyh koles* [Operational reliability of aviation wheels]. Moscow, Transport Publ., 1975. 224 p.

5. Kudryavtsev, I. V., Minkov, Ya. L., Dvornikova, E. E. Povyshenie prochnosti i dolgovechnosti krupnyh detalej mashin poverhnostnym naklepom [Increase of durability and durability of large parts of machines by superficial slander]. *InformTyazhmash*, Moscow, Transport Publ., 1975, no. 12-69-18. 145 p.

6. Kravchuk, V. C. Issledovanie i raschetnaja ocenka vynoslivosti detalej s poverhnostnym uprochneniem. Avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk [Investigation and calculation of endurance of parts with surface hardening. Abstract. dis. ... cand. tech. of sciences]. Odessa, 1978. 175 p.

7. Papshev, D. D. Otdelochno-uprochnjajushhaja obrabotka stalej poverhnostnym plasticheskim deformirovaniem [Finishing-strengthening treatment of steels by surface plastic deformation]: In the book. Dimensional and finishing machining of machine parts by plastic deformation, Moscow, Mechanical engineering Publ., 1965, pp. 29-37.

8. Petrosov, V. V. *Gidrodobestrujnoe uprochnenie detalej i instrumenta* [Hydroblasting hardening of parts and tools]. Moscow, Mechanical engineering Publ., 1977. 199 p.

9. Povidailo, V. A., Aftanaziv, I. S. Poverhnostnoe uprochnenie barabanov aviacionnyh koles vibracionno-centrobezhoj obrabotkoj [Surface hardening of aviation wheel drums with vibrating-centro-processing]: In the book *Progressive finishing-hardening treatment*. Rostov-on-Don, RISCHM Publ., 1982, pp. 52-57.

10. Aftanaziv, I. S. Optimizacija parametrov vibracionno-centrobezhoj uprochnjajushhej obrabotki barabanov aviacionnyh koles [Optimization of parameters of vibration-centrifugal hardening of

aviation wheel drums]. *Bulletin of the Lviv Polytechnic Institute "Technology of Mechanical Engineering and Dynamic Strength of Machines"*, Lvov, Higher school publishing Lvov un-te Publ., 1981, no. 162, pp. 10-12.

11. Kysyi, J. M., Kyk, A. M. Rozroblennya metodu vibratsiyno-vidsentrovoho zmitsnennya dlya tekhnichnoho zabezpechennya bezvidmovnosti detaley mashyn [Method devised to improve technological reliability of machine parts]. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2015, no. 1/7 (73), pp. 41-51. doi: 10.15587 / 1729-4061.2015.36336

12. Aftanaziv, I. S., Shevchyk, L. I., Strogan, O. I. Pidvyshchennya dovhovichnosti torsionnykh valiv ta dovhomirnykh detaley poverkhnevym plastychnym deformuvannjam [Improvement of durability of torsion shafts and long details by surface plastic deformation]. *Scientific Journal "ScienceRise"*, 2016, no. 4/2 (21), pp. 37-44. Doi: 10.15587 / 2313-8416.2016.67693.

13. Aftanaziv, I. S., Shevchyk, L. I. *Prystryi dlya zmitsnennya poverkhnevym plastychnym deformuvannjam vnutrishnikh tsylindrychnykh poverkhon' dovhomirnykh detaley* [Device for strengthening superficial plastic deformation of internal cylindrical surfaces of long-length parts]. Patent Ukraine, no. 116268, 2018.

14. Stotsko, Z., Kusyj, J., Topilnytskyj, V. Research of vibratoru-centrifugal strain hardening on surface quality of cylindric long-sized machine parts. *Journal of Manufacturing and Industrial Engineering*, 2012, vol. 11, iss. 1, pp. 15-17.

15. Read, N., Wang, W., Essa, K. et al. Selective laser melting of AlSi10Mg alloy: Process optimization and mechanical properties development. *Materials&Design*, 2015, vol. 65, pp. 417-424. Doi: 10.1016/j.matdes.2014.09.044

16. Thijs, L., Kempen, K., Kruth, J.-P., Humbeek, J. Van. Fine-structured aluminium products with controllable texture by selective laser melting of pre-alloyed AlSi10Mg powder. *Acta Mater*, 2013, vol. 61, pp. 1809-1819. doi: 10.1016/j.actamat.2012.11.052.

17. Guan, K., Wang, Z. M., Goa, M. Effects of processing parameters on tensile properties of selective laser melted 304 stainless steel. *Materials&Design*, 2013, vol. 50, pp. 581-586. doi: 10.1016/j.matdes.2013.03.056.

Надійшла до редакції 5.09.2018, розглянута не редколлеґії 3.10.2018

ПОВЫШЕНИЕ ПРОЧНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ БАРАБАНОВ КОЛЕС САМОЛЕТОВ УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКОЙ

И. С. Афтаназив, Л. И. Шевчук, О. И. Стрган, Л. Р. Струтинская

Описаны технология, оборудование и результаты стендовых испытаний, упрочнённых поверхностным пластическим деформированием барабанов и реборд колёс самолётов. Предложенный авторами новый метод поверхностного упрочнения назван вибрационно-центробежной упрочняющей обработкой. Он относится к группе методов динамического упрочнения деталей формы тел вращения. Основывается на ударном взаимодействии обрабатываемой детали с массивным инструментом, который под действием вибраций обкатывается по упрочняемой поверхности детали. При этом ударный контакт детали и инструмента происходит через небольшое количество деформирующих тел. Это обеспечивает формирование в местах контакта в материале детали остаточных напряжений сжатия в пределах 110 МПа для магниевых (сплав МЛ-12) и

250 МПа для алюминиевых барабанов (сплав АК6) колёс самолётов. Степень упрочнения материала поверхностных слоёв магниевых барабанов составляет 45...59 % при повышении поверхностной микротвёрдости до 1150 Н/м² и толщине упрочнённого слоя материала 0,9...1,0 мм. При упрочнении алюминиевых барабанов и реборд обеспечивается толщина упрочнённого слоя 0,6...0,9 мм при степени наклёпа 25...30 %.

Усталостные исследования партии упрочнённых данным методом барабанов типа КТ-141 (магниевый сплав МТ-12) показали повышение их моторесурса до 1000 взлётопосадок при коэффициенте надёжности $n = 3,5$. Долговечность упрочнённых накатыванием роликом барабанов этого типа не превышала 750 взлётопосадок, неупрочнённых 500 взлётопосадок при более низких значениях коэффициента надёжности. Упрочнение ступичной части барабанов КТ-150К (алюминиевый сплав АК6) в среднем на 28...30 % повышает их долговечность.

Кроме барабанов и реборд колёс самолётов метод вибрационно-центробежной упрочняющей обработки пригоден для повышения долговечности различных деталей шасси самолётов круглого сечения, для упрочнения дисков автомобильных колёс из цветных металлов, для упрочнения радиусных переходов и шеек стальных валов и тому подобное.

Ключевые слова: барабан; реборда; колесо; самолёт; магниевый сплав; алюминиевый сплав; упрочнение; поверхностное пластическое деформирование; остаточные напряжения; толщина упрочнения.

INCREASING DURABILITY AND ROBUSTNESS OF PLANE WHEEL HUBS BY STRENGTHENING TREATMENT

I. S. Aftanaziv, L. I. Shevchuk, O. I. Strohan, L. R. Strutynska

Technology, equipment, and results of stand tests of plane wheel hubs and flanges strengthened by surface plastic deformation are described. The new method suggested by the authors is called vibrational-centrifugal strengthening treatment. It belongs to the method group of dynamic strengthening of revolutional shape parts. It is based on impact interaction of the part processed with a massive tool which is rolled over the strengthened surface of the part when under vibration. Moreover, the impact contact between the part and the tool occurs through a small number of deformable bodies. This provides formation of compressive residual stress in the contact places in the part material. For magnesium wheel hubs (alloy ML-12) residual compressive stress is within 110 MPa, for aluminium ones (alloy AK6) it is within 250 MPa. The degree of strengthening of outer zone material for magnesium wheel hubs is 45...59 % with surface micro-hardness increasing up to 1150 N/m² and the thickness of the strengthened layer being 0.9...1.0 mm. When strengthening aluminium wheel hubs and flanges, the thickness of the strengthened layer is to be 0.6...0.9 mm with a degree of cold work being 25...30 %.

Fatigue studies of a party of KT-141 type wheel hubs strengthened by the method (magnesium alloy MT-12) demonstrated their service life increasing up to 1000 take-offs and landings at the safety coefficient of $n = 3.5$. The lifetime of this type of wheel hubs strengthened by roller burnishing did not exceed 750 take-offs and landings; for unstrengthened ones, it made 500 take-offs and landings at lower values of the safety coefficient. Strengthening the wheel hub web KT-150K (aluminium alloy AK6) increases their lifetime by 28...30 % on average.

Apart from plane wheel hubs and flanges, the method of vibrational-centrifugal strengthening treatment can be applied for increasing the lifespan of various parts of chassis components of circular section, for strengthening non-ferrous metal webs of car wheels, radius blends and steel shaft journals etc.

Keywords: hub; flange; wheel; plane; magnesium alloy; aluminium alloy; strengthening; surface plastic deformation; residual stress; strengthening thickness.

Афтаназів Іван Семенович – д-р техн. наук, проф., зав. кафедри нарисної геометрії і графіки, Національний університет «Львівська політехніка», Львів, Україна, e-mail: ivan.aftanaziv@gmail.com.

Шевчук Лілія Іванівна – д-р техн. наук, професор кафедри технології органічних продуктів, Національний університет «Львівська політехніка», Львів, Україна, e-mail: shev.lili2206@gmail.com.

Строган Орія Іванівна – канд. техн. наук, асистент кафедри нарисної геометрії і графіки, Національний університет «Львівська політехніка», Львів, Україна, e-mail: orestastrogan@gmail.com.

Струтинська Лєся Романівна – канд. екон. наук, доц. кафедри менеджменту і управління персоналом, Національний університет «Львівська політехніка», Львів, Україна, e-mail: Lesiastryt@gmail.com.

Aftanaziv Ivan – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Chair of Descriptive Geometry and Graphics National University "Lviv Polytechnic", Lviv, Ukraine, e-mail: ivan.aftanaziv@gmail.com.

Shevchuk Lilia – Doctor of Technical Sciences, Professor, Chair of Technology of Organic Products, National University "Lviv Polytechnic", Lviv, Ukraine, e-mail: shev-lili@mail.ru.

Strogan Orysia – Assistant, Candidate of Technical Sciences Chair of Geometry and Graphics National University "Lviv Polytechnic", Lviv, Ukraine, e-mail: OrestaStrogan@gmail.com,

Strutynska Lesya – Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Chair of Personnel Management and Administration, National University "Lviv Polytechnic", Lviv, Ukraine, e-mail: lesyastrytyn@gmail.com.