

ПІДВИЩЕННЯ КОНСТРУКТИВНОЇ МІЦНОСТІ ШАТУННИХ БОЛТІВ ІОННИМ БОМБАРДУВАННЯМ

Розглянуто вплив іонного бомбардування титаном на механічні властивості шатунних болтів. Встановлено, що така обробка значно підвищує конструктивну міцність виробів, особливо тих, що мають конструктивні концентратори напружень: σ_s зростає на 69 %, $\sigma_{0,2}$ – на 84 % при збереженні показників пластичності.

Ключові слова: конструктивна міцність, конструктивні концентратори напружень, шатунний болт, іонне бомбардування.

Вступ

Різьбові з'єднання широко використовуються в різних конструкціях машин і механізмів та складають 15–20 % від загальної кількості з'єднань [1]. Сучасний легковий автомобіль містить від 2000 до 3500 болтів, з них близько 300 відіграють важливу роль в забезпеченні його надійності. Серед останніх особливо виділяють шатунні болти, руйнування яких може призвести до виходу з ладу всього агрегату. Саме тому їх виготовляють вельми ретельно, з плавними переходами між елементами конструкції і наступною термообробкою (покрощення).

Аналіз публікацій

Аналіз характеру відмов цих деталей показав, що незважаючи на значні конструктивні концентратори напружень тільки ~ 20 % з них носять втомний характер [2].

В процесі роботи шатунні болти піддаються змінним навантаженням одного знаку, основними з яких є сила інерції мас, що рухаються поступально: поршня і шатуна, а також, відцентрова сила мас, що обертаються, розташованих над площиною роз'єму кривошипної головки [3].

При недостатній жорсткості елементів шатунної групи опорні поверхні головки і гайки болта можуть перекошуватися, що призводить до його вигину і, отже, виникнення відповідних напружень, додатково ускладнюючи умови роботи.

Стрижні болтів мають проточки в місцях переходу до різьбової частини та поблизу головок. Це збільшує їх податливість і пристосовуваність при порушенні суворої паралельності між площинами прилягання шатунних гайок з відповідними поверхнями шатуна, а отже, попереджає і можливий перенатяг нарізей. Проточки роблять без підрізів з діаметром, що дорівнює внутрішньому діаметру різьби болта. У той же час довжина проточеної поверхні не в повній мірі розвантажує його різьбову частину. В деяких випадках напруження вигину можуть становити 25–30 % напружень розтягнення,

що виникають при затягуванні. Зазначені чинники значно знижують втомну міцність таких деталей [3].

При роботі двигуна сили інерції прагнуть розірвати болти. У зв'язку з цим рівень їх затягування повинен забезпечити щільність з'єднання.

На підставі аналізу умов роботи та особливостей конструкції шатунних болтів двигуна ЗМЗ-406, можна зробити висновок про необхідність забезпечення їх високої конструктивної міцності.

Попередні дослідження методів обробки, що забезпечують підвищення конструктивної міцності деталей машин [4] дали основу для вибору іонного бомбардування як найбільш ефективного способу.

Мета та постановка задачі

Метою роботи є встановлення впливу іонного бомбардування на показники конструктивної міцності сталевих виробів з конструктивними концентраторами напружень (на прикладі шатунних болтів).

Матеріал і методика досліджень

Дослідження проводили на шатунних болтах двигуна ЗМЗ-406, виготовлених зі сталі 40ХН. У розглянутій конструкції кришка кривошипної головки кріпиться до шатуна двома болтами. Останні є одночасно установчими, забезпечуючи однозначне положення кришки щодо шатуна. Це висуває високі вимоги до точності їх обробки, а також отворів під них в голівці. Тому всі болти мають шліфовану посадкову частину. Дослідження здійснювали на партії болтів (10 шт.), яку придбали у офіційного дилера заводу, що служило запорукою необхідного рівня якості, встановленого технічною документацією.

Механічні властивості визначали при випробуваннях на розтяг на універсальній машині моделі УИМ-50 (максимальне навантаження 10 тс). Швидкість навантаження болтів при випробуваннях відповідала 20 мм/хв (за стандартом [5] не більше 25 мм/хв). Щоб уникнути бокового навантаження зразка використовували самоцентрувальні затискачі розривної машини.

У процесі випробувань записували криві в координатах $P-\Delta l$, а потім за ними знаходили P_{\max} і $P_{0,2}$.

Номінальний діаметр нарізей розглянутих болтів $d = 10$ мм, а крок – 1 мм. Розрахунок показників міцності виконувався за номінальною площею поперечного перерізу [5], а середній діаметр різьби d_2 і внутрішній діаметр різьби d_3 за формулами (ГОСТ 24705–81. Резьба метрическая. Основные размеры).

Параметри іонного бомбардування (ІБ) вибирали таким чином, щоб не допустити перегріву витків нарізей та згідно з рекомендаціями, наведеними в [4]. Загальна тривалість обробки для першого режиму ІБ становила 4 хв, для другого – 2 хв. Болти після обробки витримували у вакуумній камері протягом 30 хв, для виключення можливого окиснення поверхні.

Теорія та аналіз отриманих результатів

Досліджувані шатунні болти двигуна до обробки та після ІБ зображені на рис. 1.



Рис. 1. Шатунні болти двигуна ЗМЗ-406 у вихідному стані (а) та після ІБ (б)

Як видно з представленого рисунка при ІБ одночасно з розпиленням поверхні болтів відбувається осадження титану (головним чином у вигляді крапель), що і викликає зміну кольору їх поверхні.

Криві розтягання шатунних болтів у вихідному стані та після ІБ за двома режимами, представлені на рис. 2.

У результаті розрахунку були отримані такі значення механічних характеристик для болтів у вихідному стані: тимчасовий опір 574 МПа, умовна границя текучості 443 МПа (середні арифметичні вибірки).

Проведення ІБ за першим режимом, дозволило підвищити σ_s на 25 % (з 574 до 718 МПа), $\sigma_{0,2}$ на 37 % (з 443 до 607 МПа), за другим режимом – σ_s на 69 % (до 970 МПа), $\sigma_{0,2}$ на 84 % (до 815 МПа) відповідно. При цьому другий режим ІБ забезпечує мінімальне розсіювання механічних характеристик як у порівнянні з вихідним станом, так і з першим режимом ІБ. Показник пластичності δ практично не змінився, незважаючи на таке значне зміцнення. Більш високі значення міцності після ІБ за другим режимом пов'язані з меншою тривалістю обробки (нагріву) витків різьби, які мають малий поперечний переріз і, отже, більш схильних до процесу довідпуску.

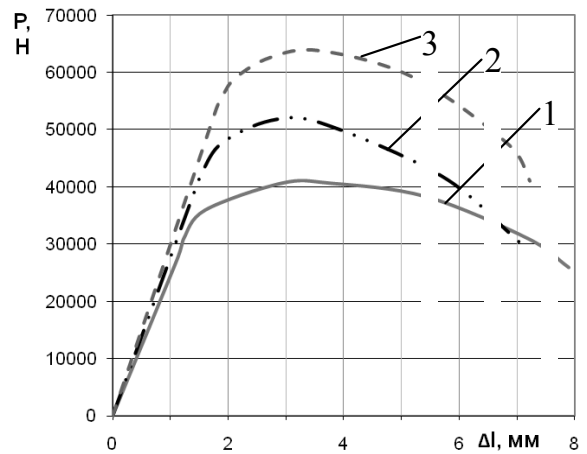


Рис. 2. Криві розтягання шатунних болтів у вихідному стані та після ІБ за двома режимами: 1 – вихідний стан; 2 – перший режим ІБ; 3 – другий режим ІБ

Висновки

Запропонований спосіб забезпечує унікальне підвищення конструктивної міцності виробів, яке не досягається жодною із відомих комбінованих обробок, відноситься до ресурсозберігаючих технологій і є екологічно безпечним. На основі отриманих результатів було отримано Патент України на корисну модель [6].

Список літератури

1. Гельфанд М. Л. Сборка резьбовых соединений / М. Л. Гельфанд, Я. И. Ципенюк, О. К. Кузнецов. – М. : Машиностроение, 1978. – 109 с.
2. Косырев С. П. Повышение надежности шатунных болтов высокофорсированных дизелей / С. П. Косырев, А. В. Разуваев, Л. А. Сорокина // Двигателестроение. – 2001. – № 4. – С. 5–6.
3. Колчин А. И. Расчет автомобильных и тракторных двигателей : учеб. пособие для вузов / А. И. Колчин, В. П. Демидов. – [2-е изд.]. – М. : Высш. школа, 1980. – 400 с.
4. Дьяченко С. С. Возможности получения наноструктуры в массивных изделиях и влияние наноструктурирования на их свойства / С. С. Дьяченко, И. В. Пономаренко, В. А. Золотко // Физическая инженерия поверхности. – 2009. – Т. 7, № 4. – С. 385–396.
5. Болты, гвинты і шпильки. Номінальні довжини та довжини нарізів болтів загального призначення : ДСТУ ISO 888:2005.
6. Патент України на корисну модель 55911, МПК С 2104. Спосіб підвищення конструктивної міцності сталевих виробів / Пономаренко І. В., Д'яченко С. С., Подригалю М. А., Лобанов В. К., Пашкова Г. І.; Харківський національний автомобільно-дорожній університет. – № u201008421 ; заявл. 05.07.10 ; опубл. 27.12.10, Бюл. № 24.

Одержано 27.12.2013

Пономаренко И.В. Повышение конструктивной прочности шатунных болтов ионной бомбардировкой

Рассмотрено влияние ионной бомбардировки титаном на механические свойства шатунных болтов. Установлено, что такая обработка значительно повышает конструктивную прочность изделий, особенно с конструктивными концентраторами напряжений: σ_g возрастает на 69 %, $\sigma_{0,2}$ – на 84 % при сохранении показателей пластичности.

Ключевые слова: конструктивная прочность, конструктивные концентраторы напряжений, шатунный болт, ионная бомбардировка.

Ponomarenko I. Improving structural strength of connecting-rod bolts

The effect of titanium ion bombardment on the mechanical properties of connecting-rod bolts is considered. It is found that such treatment significantly increases items structural strength, especially those that have structural stress concentrators: σ_g increases by 69 %, $\sigma_{0,2}$ – by 84 % without decreasing ductility.

Key words: structural items strength, structural stress concentrators, connecting-rod bolt, ion bombardment.

УДК 669.295:621.431.75

Канд. техн. наук Т. А. Коваленко

АО «Мотор Сич», г. Запорожье

ВЛИЯНИЕ ИНТЕНСИВНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ НА СТАРЕНИЕ $\alpha + \beta$ -ТИТАНОВОГО СПЛАВА

Исследовано влияние интенсивной пластической деформации методом винтовой экструзии на старение сложнлегированного титанового сплава BT25U. Показано, что распад метастабильных фаз сплава BT25U протекает непосредственно при интенсивной деформации при более низких температурах, чем при стандартном структурном состоянии сплава, с образованием дисперсной $\alpha + \beta$ -структуры с повышенной твердостью.

Ключевые слова: титановый сплав, винтовая экструзия, субмикроструктурная структура, старение, метастабильная фаза, распад.

Введение и цель работы

На протяжении более чем 50-ти лет титановые сплавы успешно применяются для ответственных деталей газотурбинных двигателей (ГТД). За эти годы накоплен значительный опыт в области металловедения и технологий изготовления полуфабрикатов и деталей из титановых сплавов. Механические свойства существующих титановых сплавов имеют достаточно широкий интервал разброса и в отдельных случаях уже не отвечают новым требованиям, предъявляемым к предельно нагруженным деталям газотурбинных двигателей нового поколения (моноколеса, компрессорные рабочие лопатки и диски).

Анализ публикаций позволил сделать вывод о том, что набор легирующих элементов в титановых сплавах остается одинаковым в течение многих лет, недостаточно сведений о разработках новых режимов их термообработки. Как показано в работе Н.А. Ночовой [1], проблемы титановых сплавов могут быть решены на основе создания сплавов с нестандартной кристал-

лической структурой. К таким технологиям, позволяющим получить принципиально новое структурное состояние с повышенными механическими свойствами, можно отнести технологию интенсивной пластической деформации (ИПД), позволяющую измельчить структуру до субмикроструктурных (СМК) и наноразмеров.

В ранее проведенных исследованиях [2–4] показана эффективность ИПД для титановых сплавов, определены температуры структурных и фазовых превращений СМК титана, температуры рекристаллизации и полиморфного превращения СМК титановых сплавов. Установленные особенности позволили предположить, что кинетика старения субмикроструктурных титановых сплавов также может изменять свой характер под влиянием ИПД, что особенно актуально в условиях формирования СМК структуры в предварительно закаленных сплавах типа BT25U [5]. Кроме того, о возможном изменении механизмов фазово-структурных превращений под влиянием ИПД неоднократно отме-