

УДК 621.824

ПІДВИЩЕННЯ ОПОРУ ФРЕТИНГ-КОРОЗІЙНІЙ ВТОМІ ПРЕСОВИХ З'ЄДНАНЬ У МОРСЬКІЙ ВОДІ

В. І. БАБІНЕЦЬ, О. В. КОБЗАРУК, Б. В. СМАЖИЛО

Одеський національний морський університет

Подані нові технологічні і конструктивні методи підвищення фретинг-корозійної втоми пресових з'єднань, що використовують у судновому машинобудуванні. Розроблено та експериментально випробувано вдосконалену конструкцію пресового з'єднання вал–маточина, що дає можливість збільшити його експлуатаційну надійність і довговічність за втоми в природній морській воді.

Ключові слова: *фретинг-корозійна втома пресового з'єднання вал–маточина, морська вода, поляризаційно-оптичний метод, картина смуг (ізохром).*

New technological and constructive methods for improvement of the fretting-corrosion fatigue of press-fit connection used in ship building are presented. An improved design of the shaft-hub press-fit connection has been developed and experimentally tested, which makes it possible to increase its operational reliability and fatigue life in natural sea water.

Keywords: *fretting-corrosion fatigue of a press-fit shaft-hub connection, sea water, polarization-optical method, strip pattern (isochrom).*

Вступ. Пресові з'єднання валів широко застосовують у транспортному машинобудуванні: з'єднання гребного вала з гвинтом у суднобудуванні, колеса з віссю у вагонобудуванні, щоки з шийками колінвалів у моторобудуванні тощо. Незважаючи на постійне вдосконалення конструкцій і технології виготовлення, пресові з'єднання досить часто виходять з ладу, що призводить у деяких випадках до їх відбраковування і вилучення з експлуатації під час ремонтних робіт, а іноді – навіть до катастроф і великих поломок, не кажучи про важкі наслідки за виходу з ладу гребного вала у відкритому морі.

Опір втоми валів у навантажених пресових з'єднаннях деталей машин знижується, в основному, внаслідок пошкоджень під торцями насаджених з натягом маточин. Причиною цього є концентрація тиску на валу від посадки напруженої маточини і від переданого навантаження в окремих небезпечних зонах (наприклад, на валу біля торця маточини); підвищена локальна концентрація напружень у плямах контакту пресового з'єднання через їх малу площу; періодичне мікрозміщення двох контактуючих поверхонь маточини та вала і виникнення на останньому фретинг-втомних пошкоджень [1].

Частини вала, що виступають за маточину, перешкоджають радіальному переміщенню суміжних перетинів вала біля її торця, що викликає концентрацію напружень. Розподіл тисків у підматочинній частині вала нерівномірний: у середній він підпорядковується формулі Ляме, а біля торців маточини значно збільшується. Напружений стан вала в зоні контакту з маточиною суттєво змінюється, якщо через пресове з'єднання передається навантаження. Вплив напруження на витривалість валів зумовлений не тільки концентрацією напружень, а й багатьма іншими причинами (конструкційними, технологічними та фізико-хімічними) [1].

Контактна особа: О. В. КОБЗАРУК, e-mail: tmkafedra@bigmir.net

Вважають [1], що виточки в торцях маточини підвищують втомну міцність валів з насадками, однак, щоб застосувати їх, у кожному конкретному випадку слід розрахувати товщину, конфігурацію і довжину перемички, що розділяє вал від маточини біля її торця, для максимального зниження піку напруги біля торців, а також недопущення значного зниження питомого тиску біля крайок насаджених деталей проти номінального. Зменшуючи жорсткість торців маточини конічним обточуванням або проточуванням паска, можна поліпшити витривалість зразків з таким напрусуванням [1].

Фретинг-пошкодження давно відомі і досить детально досліджені як вітчизняними [1–4], так і зарубіжними [5] вченими, але процеси фретингу вивчені недостатньо, зокрема, і під час експлуатації суднових технічних засобів. Тому актуально дослідити фретинг-втомні руйнування деталей машин пресових з'єднань і з'єднань судового гребного вала з гвинтом, а також розробити ефективні засоби збільшення опору фретинг-втомі в агресивному середовищі.

Мета і метод випроб. Вивчали фретинг-руйнування поверхонь контактуючих пар матеріалів пресових з'єднань, що перебувають у складнонапруженому стані і під впливом природної морської води. За результатами дослідження розробили конструктивні і технологічні методи підвищення їх циклічної довговічності у з'єднаннях гребний вал–гвинт.

Для посилення опору фретинг-корозійній втомі валів з напрусуванням змоделивали процес, щоб знизити пік контактної напруги, який неминуче виникає біля торця маточини під час напрусування її на вал, а також під час затиснення вала в маточині за роботи на вигин. Для цього враховували рекомендації різних авторів [1–2] про недоцільність випробувати вали зі втулками, довжина яких перевищує два діаметри вала. Товщини насадженої втулки однаково сильно впливає на питомий тиск у пресовому з'єднанні і його витривалість.

Відомі [6] способи підвищення опору втомі і корозійній втомі підматочинних частин валів у з'єднаннях запресовуванням у виточки торця маточини циліндричних кілець з іншого матеріалу. Для цього в парі зі сталевим валом застосовують матеріали кілець, які менш схильні до утворення пошкоджень під час фретингу і сприяють плавнішому розподілу піку напруги на валу біля торця маточини. Виявили [6], що виточки біля торця практично не впливають на опір втомі вала з напрусуванням у повітрі. Обнадійливий результат збільшення опору корозійній втомі в морській воді валів з маточинами, в яких запресовані кільця з капролону і протекторного матеріалу, підштовхнув до подальшого удосконалення конструкції торцевої ділянки маточини з такими кільцями, щоб плавно знизити пік напруги в підматочинній частині вала і зменшити пошкодження від фретингу. Створення таких сприятливих умов вбачали у виборі матеріалу кільця, його конфігурації і методу ущільнення. Ним став рекомендований багатьма авторами і перевірений на практиці [6] капролон В (ТУ 6-05-988-78).

Поляризаційно-оптичні дослідження. Щоб вибрати конфігурацію ущільнювального кільця, досліджували розподіл напружень на валу під напрусуванням поляризаційно-оптичним методом (методом фотопружності), використовуючи плоску прозору модель, що імітує вал і напрусовану маточину з виточками під елементи вставних кілець різної конфігурації. Цей метод [7] заснований на властивості двопробного переломлення більшості прозорих ізотропних матеріалів, які під дією навантаження стають оптично анізотропними. Це пов'язано з виникненням пружних деформацій, які заміряли, просвічуючи плоску модель у поляроскопі. Інтерференційні картини, які при цьому виникають, називають картинами смуг або ізохром. Як матеріал моделі застосовували склотекстоліт Стеф-1, ГОСТ 12652-74. Навантажували силами $P = 144 \text{ N}$; $N = 80 \text{ N}$ і $M = 37,3 \text{ N}$ (рис. 1).

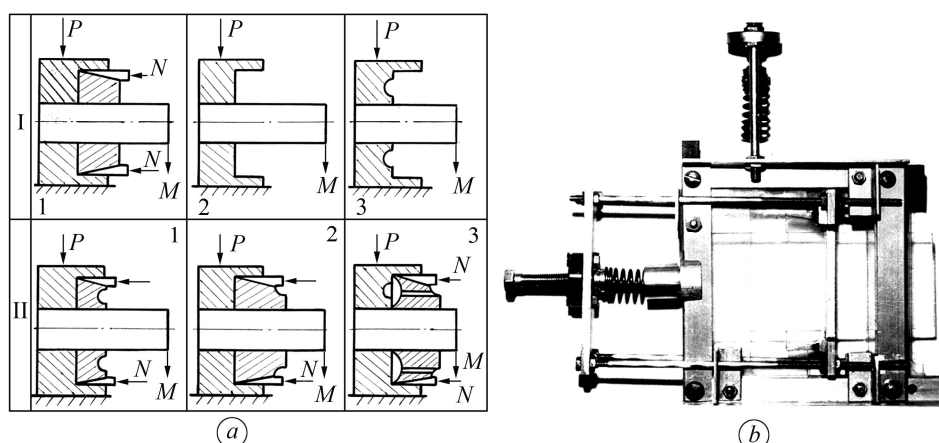


Рис. 1. Схема навантаження моделей (а) і вигляд навантажувального пристрою (b).

Fig. 1. A chart of models loading (a) and a view of the loading device (b).

Відомо [7], що результати теоретичних розрахунків задовільно збігаються з експериментальними для плоских моделей. Тому обрана методика придатна для вивчення інтенсивності напружень у пресовому з'єднанні. Змінюючи конфігурацію вставного елемента (плоскої моделі вставки), досягали найменшої інтенсивності концентрації напружень у найнебезпечніших зонах з'єднання. Обрали вставку з фігурною порожниною (схема Π_3 на рис. 2) для заповнення антифрикційним мастилом [8]. Картини смуг фіксували з екрана поляризаційно-оптичної установки. У випробах застосовували поляроскоп-полярометр ПКС-250.

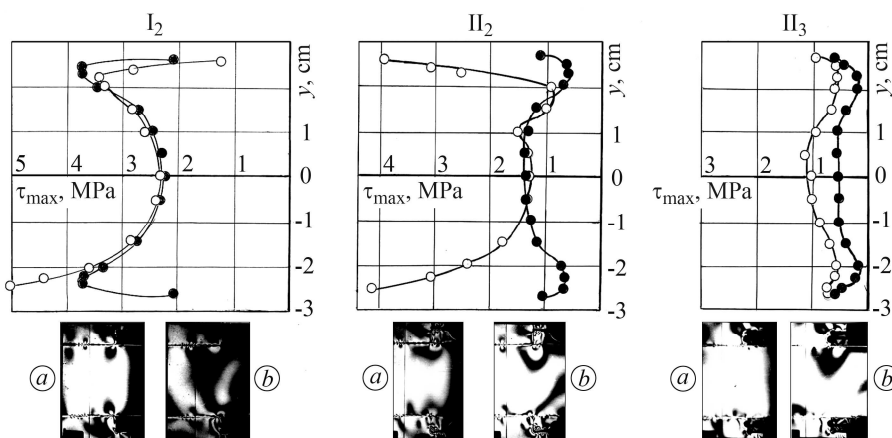


Рис. 2. Дотичні напруження за результатами досліджень за схемами I_2 , Π_2 , Π_3 (а, \circ – за стиску силою P ; б, \bullet – за одночасного стиску силою P і вигину силою M).

Fig. 2. Tangential stresses determined by the test results according to schemes I_2 , Π_2 , Π_3 (а, \circ – for compression by force P ; б, \bullet – for simultaneous compression by force P and bending by force M).

За картинами смуг просвіченої плоскої моделі маточини з валом порівняльно оцінювали дотичні напруження τ_{\max} , що виникають на валу біля крайки маточини за різних конструкцій. Під час випроб підраховували кількість ізохром за картинами смуг, які характеризували певну концентрацію напружень на валу біля крайки маточини. За результатами оптичних експериментів конструювали натурне пресове з'єднання. Розподіл напружень у моделях під час навантаження

вивчали за відомою методикою [7], яка полягала у визначенні дотичних напружень τ_{\max} на валу біля краю маточини і побудові графіків їх розподілу по перетину вала за різних конфігурацій моделей ущільнювальних вставок і без них (рис. 2).

Під графіками подано ізохрами цих моделей під навантаженням силами, що імітують посадку за одночасного стиску і вигину. Цим методом можна вибрати конфігурацію маточини і капролонової вставки, яка знижує пік контактного тиску на торці маточини, а під час роботи пресового з'єднання на вигин ефективніше захищає з'єднання від фретинг-корозійної втоми.

На рис. 3 зображено вузол конструкції вдосконаленого пресового з'єднання вала 1 з маточиною 2, в технологічній виточці якої є фігурна вставка 3, рівномірно притиснута до вала через регульоване осьове переміщення конусного кільця 6. На торці капролонової вставки для анодного захисту з'єднання запроєктований кільцевий протектор 4 з цинково-алюмінієвого сплаву. Фігурну порожнину 7 між вставкою і маточиною через отвір 5 заповнювали антифретинговим мастилом (20% порошку MoS_2 і мастила середньої в'язкості).

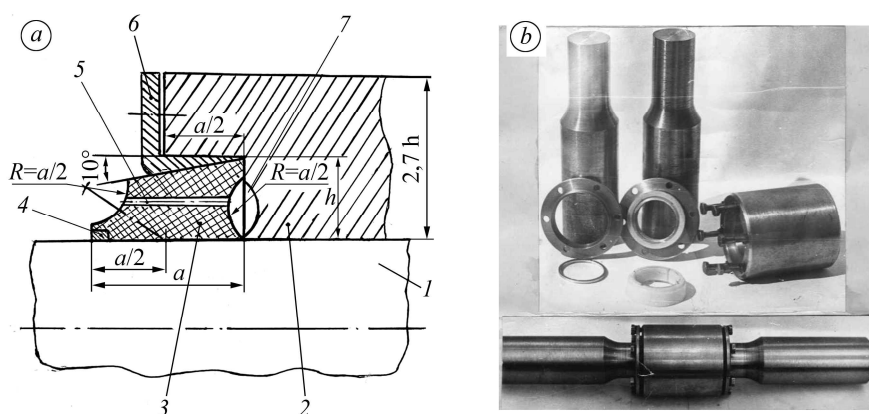


Рис. 3. Вузол конструкції вдосконаленого пресового з'єднання (а) та його загальний вигляд (б).

Fig. 3. A unit of the advanced press-fit connection assembly (a) and its total view (b).

Втомні дослідження. Для експериментальної перевірки роботоздатності вдосконаленого пресового з'єднання виконали корозійно-втомні випробування його зразків, які порівнювали з досліджуваними у праці [6]. Нормалізовані (нагрів до 870°C , охолодження у повітрі) вали $\varnothing 27$ mm з довжиною робочої частини 125 mm і загальною довжиною 285 mm зібрані з удосконаленими маточинами $\varnothing 54$ mm зі сталі 45 тепловим способом (натяг коливався в межах $40\text{--}50\ \mu\text{m}$). Випробовували нове з'єднання в природній морській воді на тому ж обладнанні і за тією ж схемою, що і раніше [6] (машина ФМ1-30, чистий вигин, частота 50 Hz, база випробувань у морській воді $5 \cdot 10^7$ cycles). Виявили (рис. 4), що опір фретинг-втомі валів з удосконаленим пресовим з'єднанням (крива 3) вищий, ніж у всіх раніше досліджених [6]: σ_{-1} вдосконаленого з'єднання становило 120 МПа, що вище, ніж для з'єднань з капролоновими циліндричними вставками (крива 5, $\sigma_{-1} = 75$ МПа), а також з цими ж вставками з цинково-алюмінієвими протекторами (крива 4, $\sigma_{-1} = 95$ МПа). Під час серійних випробувань вдосконаленого з'єднання з валом, зміцненим поверхнево-пластичним деформуванням, зафіксували ще вищий результат: $\sigma_{-1} = 130$ МПа (крива 2). Режим обкочування на токарному верстаті такий: один поздовжній прохід зі швидкістю 40 m/min роликком $\varnothing 11,6$ mm з профільним радіусом 600 mm, зусиллям 5 kN. Для порівняння побудували криву 1, що характеризує результати випробувань у повітрі гладкого вала без

напресовування [6], а також криву 6, що описує дослідження у морській воді вала з напресованою маточиною без вставних кілець [6]. Вставні кільця в конструкціях маточин незначно ускладнюють технологію їх виготовлення, значно підвищуючи при цьому ресурс валів.

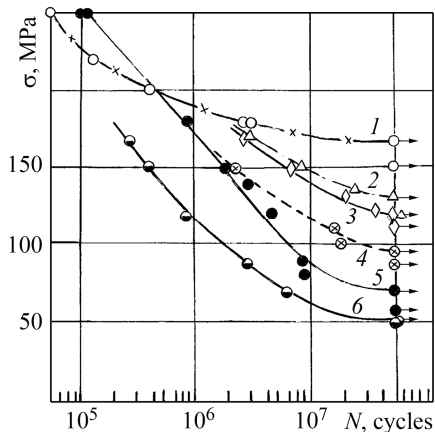


Рис. 4. Опір втомі зразків під час випробувань у повітрі і морській воді.

Fig. 4. Fatigue resistance of samples under tests in air and sea water.

ВИСНОВКИ

Розроблено конструкцію пресового з'єднання, яка дає можливість суттєво знизити пік контактного тиску на вал біля торця маточини і значно підвищити його опір фретинг-корозійній втомі в морській воді. Поверхнево-пластичне деформування поверхні вала в підматочинній зоні посадки підвищує опір втомі вдосконаленого пресового з'єднання в морській воді на 8% порівняно з аналогічним з незміцненим валом.

формування поверхні вала в підматочинній зоні посадки підвищує опір втомі вдосконаленого пресового з'єднання в морській воді на 8% порівняно з аналогічним з незміцненим валом.

1. Балацкий Л. Т. Прочность пресовых соединений. – К.: Техніка, 1982. – 180 с.
2. Похмурский В. И., Филимонов Г. Н., Балацкий Л. Т. О выборе базового числа нагруженный при испытании на выносливость в условиях фреттинга // Технология судостроения. – 1983. – № 3. – С. 76–79.
3. Pokhmurskyi V. I. and Kalakhan O. S. Plasma coatings and their ability to protect titanium alloys against corrosion fretting-fatigue fracture // Material Science. – 1997. – 33, № 3. – P. 331–335.
4. Розробка та дослідження покриттів для захисту від фретинг-корозії / В. І. Похмурський, В. М. Мацевітій, О. С. Калахан, І. Б. Казак, К. В. Вакуленко, С. В. Ляшок // Проблеми машиностроения. – 2010. – 13, № 2. – С. 61–67.
5. Parsons B. and Wilson E. A. A method for determining the surface contact stresses resulting from interference fits // J. of Eng. of Industry. – 1970. – 92, № 1. – P. 208–218.
6. Балацкий Л. Т., Бабинец В. И., Филимонов Г. Н. Повышение сопротивления усталости валов в зоне фреттинга // Проблемы прочности. – 1984. – № 9. – С. 109–111.
7. Пироговский Н. И. Методы и средства определения полей деформаций и напряжений. – М.: Машиностроение, 1983. – 248 с.
8. А. с. № 1191640, кл. F16D. Пресовое соединение ступицы с валом / В. И. Бабинец, В. Г. Кычин. – Оpub. 01.06.1983; Бюл. № 14.

Одержано 10.12.2020