

2. Rajan Sen, Steven Stroh. Design and Evaluation of Steel Bridges with Double Composite Action. Final report. February, 2010. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.dot.state.fl.us/research-center/Completed_Proj/Summary_STR/FD_OT_BD544-18_rpt.pdf.
3. Patel Purvik. LRFD design of double composite box girder bridges. 2009. Graduate Theses and Dissertations. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://scholarcommons.usf.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=3130&context=etd>.
4. Prestressed composite box girder bridges with corrugated webs. A critical comparison with flat steel webs. Ing. Gabriele Bertagnoli. Politecnico di Torino. October, 2010. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.aces.upatras.gr/userfiles/file/2nd_Workshop/ACES_workshop_Oct_2010_Bertagnoli.pdf.
5. Balázs KÖVESDI. Patch loading resistance of girders with corrugated webs. PhD Dissertation. Budapest, 2010. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://hsz.bme.hu/hsz/kutat_prog/fajlok/11/kovesdi_balazs_phd.pdf.
6. Bridges. With rolled sections. ArselorMittal Europe – Long Products Sections and Merchant Bars. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://sections.arcelormittal.com/fileadmin/redaction/4-Library/Sales_programme_Brochures/Bridge/Bridges_EN.pdf.
7. Composite bridge design for small and medium spans. PRF Report №13202. Design Guide with standard solutions documented in drawings and static analysis. 2002. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://sections.arcelormittal.com/fileadmin/redaction/pdf/PRF_133-02.pdf.
8. Сквозные балки пролетных строений автомобильных мостов: монография / В.М. Картопольцев, А.В. Картопольцев, Е.В. Балашов, А.Г. Боровиков ; под общ. ред. В.М. Картопольцева. – Томск : Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2015. – 136 с.
9. Круль Ю. Н. Сталежелезобетонное пролетное строение нового типа: дис. ... кандидата техн. наук: 05.23.01 / Круль Юрий Николаевич. – Харьков, 2015. – 260 с.

УДК 69.07

Бойко Т.К.

Харківський національний університет будівництва і архітектури

ОЦІНКА ПРАЦЕЗДАТНОСТІ НИЖНІХ ДВОСТУЛКОВИХ ВОРІТ СУДНОПЛАВНИХ ШЛЮЗІВ

При дослідженні технічного стану нижніх двостулкових воріт судноплавних шлюзів встановлено, що в процесі їх експлуатації в металоконструкціях воріт, в силу особливостей діючих циклічних навантажень, виникають втомні тріщини.

Теоретичний процес тріщиноутворення дуже різноманітний. Залежно від інтенсивності експлуатації розвиток тріщин відбувається з різною швидкістю. Дослідження показали, що основним місцем появи тріщин є елементи зі змінним поперечним перерізом, де змінюється напружений стан металоконструкцій, особливо при дії динамічних навантажень.

Необхідно визначити, чи зупинився розвиток тріщини або в конструкції створені деякі стаціонарні умови для її зростання. Рішення про можливість подальшої експлуатації металоконструкцій потрібно приймати на основі дослідження кінетики втомної тріщини.

При наявності в листових елементах металоконструкцій втомної тріщини в околиці її вершини виникає область концентрації напружень (рис. 1, точка А).

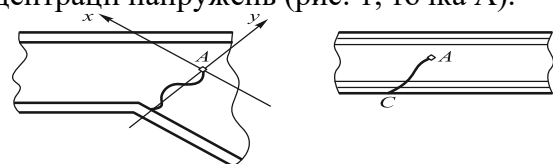


Рис. 1. Схема контуру концентратора напружень у вершині тріщини

Пікове напруження $\sigma_{\text{п}}$ в вістрі вершини тріщини автоматично орієнтує розвиток тріщин в перпендикулярному напрямку. Поки напруження $\sigma_{\text{п}}$ менше межі стиснутої текучості $\sigma_{\text{тс}}$, його можна визначити за допомогою коефіцієнта концентрації напружень K_{σ} . Якщо діюче напруження, наприклад в точці А, при відсутності тріщини дорівнює $\sigma_{\text{д}}$, то

$$\sigma_{\text{п}} = K_{\sigma}\sigma_{\text{д}}. \quad (1)$$

При відомих напруженнях $\sigma_{\text{д}}$ і $\sigma_{\text{п}}$ коефіцієнт концентрації напружень визначається тангенсом кута α_{σ} між напрямками їх дії (рис. 2):

$$K_{\sigma} = \sigma_{\text{п}}/\sigma_{\text{д}} = \text{tg } \alpha_{\sigma} \quad (2)$$

Деформація в вершині тріщини при роботі елемента в пружній області

$$\epsilon_{\text{п}} = \sigma_{\text{п}}/E, \quad (3)$$

де E - модуль пружності матеріалу.

Деформація в точці А при відсутності тріщини

$$\epsilon_{\text{д}} = \sigma_{\text{д}}/E \quad (4)$$

З виразів (3) і (4) випливає, що

$$\epsilon_{\text{п}}/\epsilon_{\text{д}} = K_{\epsilon} = \text{tg } \alpha_{\sigma}. \quad (5)$$

де K_{ϵ} — коефіцієнт концентрації деформацій

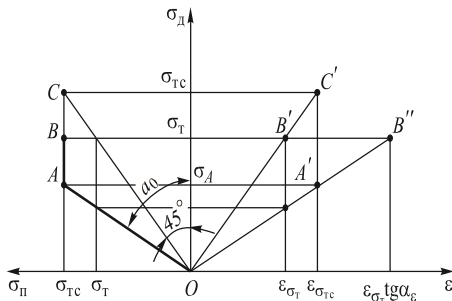


Рис. 2. Графік напруження - деформації в вершині тріщини

При роботі елемента в пружній області $K_{\sigma} = K_{\epsilon}$. В області пластичних деформацій умова коефіцієнтів порушується, при цьому $K_{\sigma} < K_{\epsilon}$.

При досягненні граничного значення коефіцієнта концентрації деформацій $K_{\epsilon\text{пр}}$ справедливо рівність $K_{\sigma} = K_{\epsilon\text{пр}}$. Воно є умовою, за якої тріщина в процесі експлуатації елемента зупиняється у своєму розвитку. Для визначення $K_{\epsilon\text{пр}}$ будують графік в координатах $(\sigma-\epsilon)$ (см.рис. 2) за умови рівності $\sigma_{\text{п}} = \sigma_{\text{д}}$.

При навантаженні елемента напруження $\sigma_{\text{п}}$ змінюються по лінії OA з кутом нахилу до осі $O\sigma_{\text{д}}$, рівним α_{σ} . До досягнення напруження $\sigma_{\text{п}}$ значення $\sigma_{\text{тс}}$ процес йде по прямій OA , елемент працює в умовах пружних деформацій, які при цьому змінюються по прямій OA' (права частина графіка на рис. 2) і досягає значення $\epsilon_{\sigma\text{тс}}$. При досягненні $\sigma_{\text{п}}$ значення $\sigma_{\text{тс}}$ і при подальшому збільшенні навантаження, деформація не змінюється і залишається рівною $\epsilon_{\sigma\text{т}}$ до тих пір, поки напруження в елементі за межами області пластичних деформацій не досягнуть межі текучості $\sigma_{\text{т}}$. У цьому випадку почнеться загальна пластична деформація елемента. Область концентрації напружень поблизу вершини тріщини наближено визначається розміром D (рис. 3).

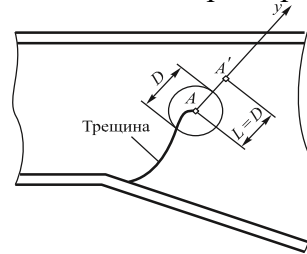


Рис. 3. Схема передбачуваного розвитку тріщини (Au — напрямок розвитку тріщини)

Виходячи з викладеного, оцінку працездатності металоконструкцій воріт шлюзу при наявності втомних тріщин можливо здійснювати наступним чином.

При виявленні тріщин ворота слід вивести з робочої зони і зупинити. За допомогою тензометрії чи іншими засобами визначають напруження. Датчики повинні бути розташовані перпендикулярно лінії розвитку тріщини. При можливості слід використовувати датчики у вигляді розеток для визначення напрямку головних напружень.

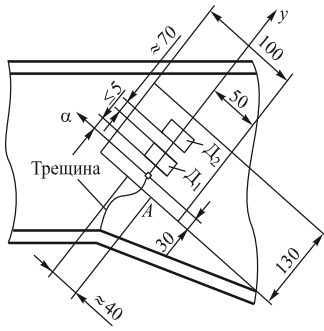


Рис. 4. Схема визначення напружень поблизу тріщини

У зоні концентрації напружень визначають напруження $\sigma_{\text{п}}$ (датчик D_1) і $\sigma_{\text{д}}$ (датчик D_2). Розраховують максимальний згинальний момент в даному перетині. Визначають розрахункове напруження $\sigma_{\text{д}}$ в точці знаходження датчика D_2 в напрямку, перпендикулярному напрямку розвитку тріщини.

У разі, якщо виміряне $\sigma_{\text{д}}$ і розрахункове ($\sigma_{\text{д}}^{\text{рас}}$ напруження розрізняються не більше ніж на 5%, визначають коефіцієнт концентрації напружень за формулою (2). Якщо значення $\sigma_{\text{д}}$ та $\sigma_{\text{д}}^{\text{рас}}$ відрізняються більш ніж на 5%, слід встановити причину розбіжності і провести нові виміри.

Обчислити наближене значення коефіцієнта концентрації за умови $l_2 - l_1 \geq c$ за формулою:

$$K = \frac{\sigma_1}{\sigma_2} \left(\frac{l_2 - l_1}{c} \right),$$

де σ_1, σ_2 – максимальна напруга в перетинах 1-1 і 2-2; l_1, l_2 – висота перерізу 2-2; c – відстань між перетинами (рис.5).

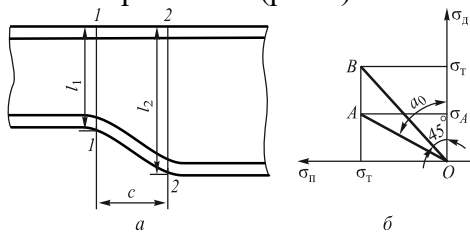


Рис. 5. Схема до визначення коефіцієнта концентрації

За отриманими даними для матеріалу елемента воріт будують графік в координатах $\sigma_{\text{д}} - \sigma_{\text{п}}$.

Від осі $O\sigma_{\text{д}}$ відкладають кут α_{σ} з умови (3) (див. рис. 2). Якщо діюче напруження $\sigma_{\text{д}}$ не перевищує напруження $\sigma_{\text{А}}$, то, розвиток тріщини зупинився. При $\sigma_{\text{д}} > \sigma_{\text{А}}$ тріщина буде розвиватися.

Якщо умова $\sigma_{\text{д}} > \sigma_{\text{А}}$ дотримується, але $\sigma_{\text{д}} < \sigma_{\text{Т}}$, то потрібно знову провести дослідження елемента в місці появи тріщини. Як правило, тріщини виникають в місцях, де при робочому навантаженні воріт «хвилі» деформації зустрічають на своєму шляху перешкоди у вигляді змін профілю перетину або площі поперечного перерізу, нерівномірного розподілу напружень в близьких перетинах, тобто відхилень хвилі деформацій від прямолінійного шляху. В існуючих конструкціях для зупинки процесу розвитку тріщини потрібне проведення робіт з часткового усунення причин та факторів, що викликають цей розвиток. Як правило, це посилення конструкції, яке передусім знижує діючі напруження до умови $\sigma_{\text{д}} \leq \sigma_{\text{А}}$. У цьому випадку можна використовувати кілька типових технологій, наприклад, посилити місце переходу одного перерізу елемента в інше, приваривши ребро жорсткості.

Відремонтовані елементи металоконструкцій піддають діагностуванню. Одним з методів діагностування є перевірочний розрахунок реальних металоконструкцій в дійсному технічному стані, оскільки на практиці фактична завантаженість нижніх воріт шлюзу часто не відповідає паспортному режиму роботи. В результаті тривалої експлуатації металоконструкції піддаються впливу навколишнього середовища, зазнають різного роду ремонти та реконструкції. Тому перевірочні розрахунки металоконструкцій необхідно вести за уточненими дійсним експлуатаційним навантаженням з урахуванням реальних впливів і експлуатаційних факторів.

Розрахунок слід вести за методом граничних станів. Граничним вважається стан, при якому експлуатація воріт шлюзу практично неможлива або технічно недоцільна. Розрізняють три групи граничних станів:

1) за втратою несучої здатності і непридатності до експлуатації від одноразового впливу максимальних навантажень в результаті порушення міцності або стійкості металоконструкції, або її елементів;

2) за втратою несучої здатності чи непридатності до нормальної експлуатації при багаторазових впливах різних навантажень, що викликаються руйнуваннями від втоми або зносу елементів металоконструкції;

3) за непридатністю до нормальної експлуатації внаслідок неприпустимих пружних деформацій і коливань.

Для запобігання настання граничного стану проводять відповідні розрахунки в залежності від його групи: на міцність і стійкість проти одноразового максимального навантаження в робочому або неробочому станах по першій групі з наступною умовою міцності

$$\sigma_{\max} \leq R_v \gamma'_c \quad (7)$$

де σ_{\max} — максимальне напруження від розрахункового навантаження; R_v — розрахунковий опір; γ'_c — коефіцієнт умов роботи на витривалість, знос або нагрів по другій групі з наступною умовою:

$$aR_v \gamma_v \leq R_u \gamma_u \quad (8)$$

де aR_v , γ_v — коефіцієнти при розрахунку опору елементів конструкції розтягування, стиснення, вигину за межею текучості; γ_u , R_u — коефіцієнт надійності і розрахунковий опір елементів конструкції розтягування, стиснення, вигину з тимчасового опору; на пружні деформації або коливання по третій групі за умов $f_{ст} \leq f_{пред}$,

де $f_{ст}$, $f_{пред}$ — статичний і граничний прогини елементів конструкції. Достовірність перевірконого розрахунку в чому визначається адекватністю коефіцієнта умов роботи, γ'_c який враховує ступінь впливу відмови на металоконструкцію (γ_{c1}), можливість пошкодження елементів в процесі

експлуатації і монтажу елементів воріт (γ_{c2}) і можливі відхилення від умов дійсної роботи металоконструкції або її елементів (γ_{c3}),

$$\gamma' = \gamma_{c1} \gamma_{c2} \gamma_{c3}. \quad (10)$$

ЛІТЕРАТУРА:

1. Головешкин Ю.В., Тузлукова Н.И. Напряженно-деформированное состояние вблизи ребер жесткости в прессованных и сварных панелях и их влияние на развитие трещин. // Проблемы прочности.-1993.- № 10. -с.89-96.
2. Георгиев М.Н., Козлов В.Н. Статическая трещиностойкость низколегированной стали 09Г2С при наличии коротких трещин. // ФХММ. - 1989. -№ 4.-е. 114-117.
3. Броуде Б.М. Предельные состояния стальных балок.-М.-Ленинград.-Гос. изд-во лит-ры по строительству и архитектуре.-1953.-215с.
4. Вайншток В.А., Красовский А .Я. Критерии и устойчивые формы роста несквозных трещин при циклическом нагружении. Сообщение 1. // Проблемы прочности.-1990.-№ 8.-С.3-9. Сообщение 2. // Проблемы прочности.-1990.-№ 9.-е. 11-16.
5. Куркин С.А., Николаев Г.А. Сварные конструкции. Механика разрушения и критерии работоспособности.-М.: Машиностроение.-1996.-576с.
6. Демидко В.Г., Химченко Н.В. Классификация дефектов сварных стыковых соединений по данным ультразвукового контроля.// Автоматическая сварка.-1979.-№ 4.-С.38-39.
7. Зайнуллин Р.С. К методике оценки статической трещиностойкости листовых сталей. // Заводская лаборатория.-1987.-№ 5.-С.65-67.
8. Соколов С.А., Карзов Г.П. Прочность и долговечность металлических конструкций. Ленинград, ЛПИ, 1989, 88 с.