

ИЗЧИСЛЯВАНЕ НА ЗАВАРЕНИ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ЗА ТРАНСПОРТ И МАНИПУЛИРАНЕ НА ГОЛЯМОГАБАРИТНИ ИНДУСТРИАЛНИ ТУРБИНИ

Иван МУХТАРОВ¹ Игнат ИГНАТОВ² Мирослав АНГЕЛОВ³

¹катедра „Съпротивление на материалите“, Технически университет - София, България

e-mail: i_muhtarov@tu-sofia.bg

²катедра „Механика“, Технически университет - София, България

e-mail: i_ignatov@tu-sofia.bg

³Технологичен отдел, Спартак АД, Бургас, България

e-mail: miroslavangelov91@yahoo.com

Резюме: Представена е статична якостна проверка на заваръчните шевове на приспособления предназначени за монтаж, демонтаж и транспорт на голямогабаритни индустриални турбини. Изчисленията за извършени аналитично и с МКЕ софтуер SolidWorks Simulation. При аналитичните изчисления са спазени изискванията на Eurocode 3 за анализ на заварени съединения. Компютърните модели отчитат непровара на шевовете и концентрацията на напрежения. Извършена е съпоставка и оценка на аналитичните и числените резултати.

Ключови думи: заваряване, МКЕ анализ, турбини

1. ВЪВЕДЕНИЕ

При изграждането на крупни турбинни енергетични съоръжения е необходимо да се използват специални приспособления осигуряващи надеждно манипулиране и транспорт на голямогабаритни и скъпи валове, турбини и други компоненти достигащи в сглобено състояние маса от порядъка на 100t. Тези приспособления се изработват за конкретни нужди, използват се няколкократно и имат голямо статично натоварване. Това налага много високи изисквания към тяхната якост и надеждност.

В статията са представени две приспособления произведени чрез ръчно многослойно електродъгово заваряване. Тяхното конструктивно оформление е съобразено с конкретното им приложение. Тъй като е нецелесъобразно изработените приспособления да бъдат изпитвани, особено важен е якостният анализ на заваръчните шевове. Необходимо е на проектен етап те да бъдат надеждно оразмерени. Обичайният подход е параметрите на заваръчните шевове да се предписват по технологични съображения, след което да се проверяват якостно. Проверката може да се извърши аналитично и с компютърни модели.

При аналитичните изчисления [1, 2, 3] е необходимо да се съставят изчислителни схеми разглеждащи конструкцията като съставена от

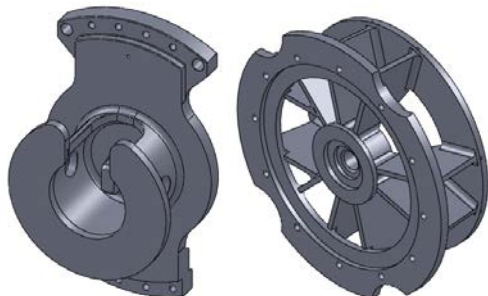
елементи – греди, пръти, плочи и т.н. Тъй като разглежданите приспособления са сложни пространствени тела, такова приважане към прости конструкционни елементи е свързано с опростявания – неотчитане на статична неопределеност, концентрация на напрежения и т.н. Всичко това намалява точността на изчисленията. От друга страна аналитичните изчисления, например по процедурите на Eurocode 3, често са нормативно изисквани.

При компютърните модели [4, 5] е важно да се зададат адекватни гранични условия и да се направи по-фина мрежа в областта на шевовете. Особено внимание трябва да се обърне при моделирането на непровара.

2. КОНСТРУКЦИЯ НА ПРИСПОСОБЛЕНИЯТА

Приспособленията са показани на фиг. 1. Те се монтират чрез резбови съединения към челните фланци на турбинните валове. Приспособление 1 се състои от фланец и подковообразна плоча заварени към прорязана втулка. Вписва се в габарити 1690x900x628mm и има маса 1,6t. Масивен централен болт позволява окачване посредством халка и кука. Приспособлението служи за манипулиране на сглобен вал с турбинни колела с обща маса 30t.

Приспособление 2 се състои от централна втулка, към която посредством масивни ребра се свързват два фланеца. Има габарити 1600x1600x470mm, маса 1,3t. Приспособлението манипулира вал и главина имащи маса 15t.



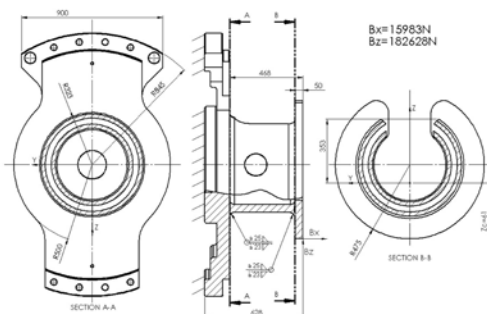
Фиг. 1 Приспособления за манипулиране на индустриални турбини

Елементите на двете приспособления са изработени от стомана S235JR. След механична обработка, те се заваряват ръчно с многослойни ъглови шевове изпълнени в подходяща последователност. Дебелините на шевове се определя в зависимост от дебелините на свързаните стени [2, 3]. Провеждат се натурни технологични проби за точно определяне на непровара. Граничното (допустимо) напрежение на заваръчните шевове съгласно Eurocode 3 е:

$$s_{w,Rd}^{EUR} = \frac{f_u}{b_w \gamma_m} = 360 \text{ MPa} \quad (1)$$

където: $f_u = 360 \text{ MPa}$ - якост на опън за стомана S235JR; $b_w = 0,8$ - корелационен коефициент; $\gamma_m = 1,25$ - коефициент на сигурност на материала.

3. АНАЛИЗ НА ПРИСПОСОБЛЕНИЕ 1



Фиг. 2 Изчислителна схема и застрашени сечения на приспособление 1

3.1. Аналитична проверка

Най-неблагоприятната работна позиция на приспособлението е при подпиране по периферията на подковообразната плоча. Аналитичната изчислителна схема при този случай е показана на фиг. 2. Приспособлението се разглежда като запъната греда натоварена на огъване, срязване и опън от силите B_x и B_z . Изчисляват се напреженията в застрашените сечения А-А и В-В минаващи през заваръчните шевове. Необходимите геометрични характеристики се определят с отчитане на непровар равен на 80% от дебелината на по-тънката свързвана стена (съгласно технологични проби).

За напреженията в сечение А-А се получава:

$$\sigma = \frac{N_x}{A} + \frac{M_y}{I_y} \cdot z_{\max} = 8,7 \text{ MPa}, \quad (2)$$

$$\tau = \frac{Q_z \cdot S_y}{b \cdot I_y} = 8,1 \text{ MPa}, \quad (3)$$

$$\sigma_{w,y}^{EUR}(A-A) = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2} = 16,5 \text{ MPa}, \quad (4)$$

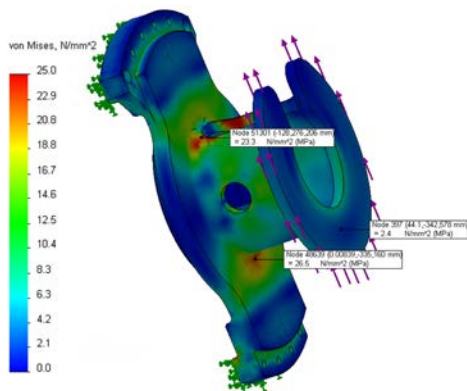
където: $A = 0,08738 \text{ m}^2$ - площ на сечението; $I_y = I_z = 0,00354 \text{ m}^4$ - осов инерционен момент; $S_y = 7,87 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ - статичен момент; $N_x = 15983 \text{ N}$ - нормална сила; $Q_z = 182628 \text{ N}$ - срязваща сила; $M_y = 93062 \text{ Nm}$ - огъващ момент.

За сечение В-В по аналогичен начин получавме максимално еквивалентно напрежение $\sigma_{w,y}^{EUR}(B-B) = 1,6 \text{ MPa}$.

Вижда се, че максималните еквивалентни напрежения и в двете сечения са по-малки от граничните напрежения определени в (1).

3.2. Проверка с МКЕ

Изграден е компютърен модел с 31540 пирамидални елемента. Общият брой възли е 51470 при среден размер на елементите 44 mm. Непроварът е моделиран като канал, чийто размери са съобразени с резултатите от технологичните проби. Този канал има много малка дебелина, която внимателно се подбира, за да не предизвика нереална концентрация на напрежения в модела. На фиг. 3 е показано изчисленото поле на напреженията.



фиг. 3 Напрежения изчисление с МКЕ

Максималното еквивалентно напрежение в шевове на сечение А-А е 26,5МПа. За сечение В-В напрежението е 2,4МПа.

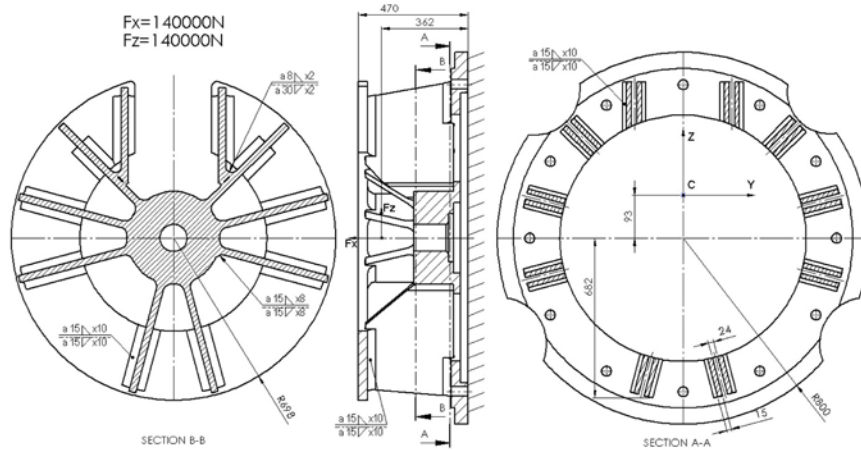
4. АНАЛИЗ НА ПРИСПОСОБЛЕНИЕ 2

4.1. Аналитична проверка

Изчислителната схема за най-неблагоприятно разположение на натоварващите сили F_x и F_z е показана на фиг. 4. Приспособлението се разглежда като греда натоварена на огъване, опън и срязване.

В сечение А-А максималното еквивалентно напрежение е 9,5МПа.

За изчисляване на напреженията в шевове свързващи подковообразния фланец с ребрата не може да се използва прост градови аналитичен модел, тъй като двата товара не създават вътрешни усилия в това сечение. Необходимо е да се разработи аналитична схема с плоча и пръти, с която изчисленията ще бъдат необосновано трудоемки.

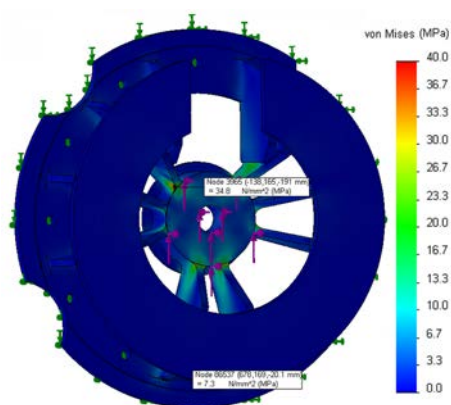


фиг. 4 Изчислителна схема и застрашени сечения на приспособление 2

4.2. Проверка с МКЕ

В компютърния модел силите са редуцирани към предната повърхност на главината. Мрежата е изградена от 61485 пирамидални елемента със среден размер 29,9mm. Полето на напреженията е показано на фиг.5.

В сечение А-А максималното напрежение е 7,3МПа. В шевове свързващи ребрата с подковообразния фланец напреженията са 1,3МПа. Най-голямо напрежение относно цялото приспособление възникват в шевове свързващи главината с ребрата. Това напрежение е 34,8МПа.



фиг. 5 Поле на напреженията определени с МКЕ

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Могат да се направят следните изводи:

- двата анализа показват, че напреженията в шевове на приспособленията не надвишават 35MPa. При гранично напрежение от 360MPa (1), това осигурява голям коефициент на сигурност и дава възможност за понасяне на удари и претоварвания;
- разликата в резултатите от аналитичните изчисления и изчисленията с МКЕ достига 40% и се дължи главно на особеностите при отчитане на концентрацията на напрежения;

- вижда се, че аналитичните методи са практически неприложими за елементи от сложни тела като разгледаното приспособление 2;
- особено внимание е необходимо да се обърне при моделиране на непровар с помощта на тънък канал. В такъв случай възникват нереално високи напрежения в околността на ръбовете на канала;

Благодарности

Настоящият доклад се осъществи с подкрепата на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси” по проект № BG051PO 001-3.3.06-0046 “Подкрепа за развитието на докторанти, постдокторанти и млади учени в областта на виртуалното инженерство и индустриалните технологии”.

Литература

1. Толстоногов А., Янковский В., Глобенко В. Примеры расчета резбовых и сварных соединений. Самара, 2002
2. Hicks J. Welded design – theory and practice, Abington Publishing, Cambridge, England, 2000
3. Gorenic B., Tinyou R., Arun S. Steel Designers' Handbook, NUSW Press, Sidney, 2005
4. Goldak J., Akhalaghi M. Computational welding mechanics, Springer, 2005
5. Lindgren L. Computational Welding Mechanics, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, England, 2007

DESIGN OF WELDED INSTRUMENTS FOR MANIPULATION AND TRANSPORTATION OF LARGE INDUSTRIAL TURBINES

Ivan MUHTAROV¹ Ignat IGNATOV² Mirosлав ANGELOV³

¹Department of Strength of Materials, Technical University, Sofia, Bulgaria
e-mail: i_muhtrov@tu-sofia.bg

²Department of Mechanics, Technical University, Sofia, Bulgaria
e-mail: i_ignatov@tu-sofia.bg

³ Department of Technologies, Spartak AD, Bourgas, Bulgaria
e-mail: miroslavangelov91@yahoo.com

Abstract: In the present paper static strength analysis of welded instruments for mounting, unmounting and transportation of large industrial turbines is presented. The calculations are realized analytically and computationally using FEM software SolidWorks Simulation. The analytical approach is carried out following welding design requirements of Eurocode 3. The computational models account for welding imperfections and stress concentrations. Results from analytical and computational models are discussed.

Keywords: welding, FEM analysis, turbines