EAN '94

32th Conference of Experimental Stress Analysis
32. konference o experimentální analýze napětí
30. 5. - 2. 6. 1994 VŠST Liberec Czech Republic

OPTIMIZATION OF TOWER CRANE BALANCING BASED ON STRAIN ANALYSIS

OPTIMALIZACE VYVÁŽENÍ VĚŽOVÉHO VELKOJEŘÁBU NA ZÁKLADĚ TENZOMETRICKÉ ANALÝZY NAPĚTÍ

P. Jaroš

The modern giant cranes' structures have very high degree of material strength exploitation due to an effort to reach the highest load/own weight ratio. One of the most important parametres is a mass of the counterweight, which must be appreciated from the two contradictive points of view. Optimizing solution of the problem can be based on synthesis of service strain gage analysis and a simple calculation.

1.ÚVOD

Současné věžové otočné velkojeřáby předních světových výrobců (např. Potain-F, Liebherr-D, Kroll-DK atd.) jsou smělé ocelové konstrukce, které se s využitím dlouholetých zkušeností přibližují z hlediska stupně využití materiálu ke konstrukcím leteckým. I zde je totiž spolu s bezpečností vůči pevnostnímu selkání základním kriteriem progresivnosti konstrukce co nejvyšší poměr nosnost/vlastní hmotnost, jelikož se jedná o částečně mobilní zařízení.

V r. 1993 byla autorem prováděna komplexní pevnostní analýza velkojeřábu Kroll K-175 z důvodu vzniku jistých drobných závad po několikaletém provozu provázených pochybností o správném vyvážení výložníku. V příspěvku je ukázána důležitost tohoto vyvážení pro živostnost jeřábu a způsob požadovaného vyvážení při současném použití tenzometrického měření a jednoduchého výpočtového postupu.

2.VYBRANÉ TECHNICKÉ ÚDAJE

Typ: pojezdný věžový otočný velkojeřáb Kroll K-175

Rozměry: celková výška: 45 m; výška věže: 38,5 m

délka výložníku: 51,6 m; délka protivýložníku: 15,3 m

Hmotnost: protizávaží: 18230 kg (doporučeno výrobcem)

břemeno(t)/vyložení(m): 8/24; 6/31; 5/36,5; 4/44; 3,4/50

3.ROZBOR PROVOZNÍHO NAMÁHÁNÍ VĚŽE

Věž jeřábu je příhradová konstrukce složená ze 7 shodných sekcí spojených specielními šrouby (4 v každé rovině styku). Každá ze sekcí obsahuje 4 styčníková patra a skládá se ze čtyř rohových podélníků L 160x160x17, které jsou svařením projpojeny příčníky L 90x90x9 a diagnonálami L 100x100x10. Konstrukční provedení styčníku je schematicky zobrazeno v obr. 1. Provozní namáhání věže lze nahradit (obr. 2):

- vertikální silou F, která se směrem k zemi lineárně zvyšuje o vlastní váhu věže
- ohybovým momentem M, který vnáší do hlavice věže rameno jeřábu

$$M\ (kN.m) = m \cdot g \cdot r_T\ , \qquad (1)$$

kde m je hmotnost nevývažku a r_T je vzdálenost jeho těžiště. Napěťový účinek svislé síly v podélnících s plochou řezu S se projeví jako statické předpětí, které lze teoreticky vyjádřit

$$\sigma_1 = \frac{F}{4S}\ , \qquad (2)$$

ale nelze je bez demontáže nebo odvrtání tenzometricky určit. Pro sledovaný cíl je rozhodující napěťová odezva na účinek momentový. Extrémní napětí v podélnících na čtvercové základně nastává při úhlopříném postavení ramene (obr. 3), kdy tahové (tlakové) napětí je omezeno amplitudou, jejíž hodnotu lze přibližně vyjádřit

$$\sigma_a = \frac{M\sqrt{2}}{2a \cdot S} \qquad (3)$$

Tuto hodnotu lze určit z rozkmitu napětí na vybraném podlélníku jako rozdíl údaje při úhlopříčném postavení protizávaží nad tímto podélníkem vůči údaji v protilehlé poloze. Ke stanovení části protizávaží G, která se nepodílí na vyvážení výložníku, ale slouží jako protizávaží k břemeni na háku, je třeba provést měření ve dvou krocích:

I. Stanovení rozkmitu napětí v podélníku při otáčení prázdného jeřábu, kdy rozkmit napětí je úměrný ohybovému momentu vyvolaného dosud neznámým nevývažkem G na známém rameni r_G.

$$\Delta\sigma_G = k \cdot G \cdot r_G\ , \qquad r_G > 0, \qquad (5)$$

kde k je konstanta úměrnosti.

II. Opakování postupu při otáčení jeřábu se známým břemenem Q na rameni r_Q, kdy rozkmit napětí je úměrný superpozici příslušného ohybového momentu a momentu ad I.

$$\Delta\sigma_{G+Q} = k\,(G\,r_G - Q\,r_Q)\ ,\quad r_G > 0\ ;\ r_Q > 0 \qquad (6)$$

Pozn: Rozkmit napětí je třeba důsledně uvažovat i se znaménkem, t.j. definovat výchozí (nulový stav při identické poloze ramene při obou krocích.

Rovnice (5) a (6) představují soustavu pro dvě neznámé k a G, jejímž řešením po vyloučení k je

$$G = \frac{\Delta\sigma_G}{\Delta\sigma_G - \Delta\sigma_{G+Q}} \cdot \frac{r_Q}{r_G} \cdot Q \qquad (7)$$

4. PROVEDENÍ EXPERIMENTU

Na základě výsledků metody křehkých laků byly v místě jednoho styčníku přibližně uprostřed věže instalovány 3 teplotně kompenzované tenzometry SVÚSS typu S-9-A (obr.1), kterými byla snímána jak špička napětí pro posouzení únavové životnosti, tak údaj pro stanovení rozkmitu deformace. Údaj rozkmitu napětí pro vyhodnocení vztahu (7) byl stanoven ze všech tří tenzometrů průměrováním

$$\sigma = \frac{E}{3} \sum_{i=1}^{3} \Delta\epsilon_i \qquad (8)$$

kde E je Youngův modul pružnosti oceli

$\Delta\epsilon_i$ je rozkmit deformace i-tého tenzometru při protilehlých úhlopříčných polohách ramene.

Konkrétní údaje pro realizované měření v krocích I a II jsou uvedeny v následující tabulce.

TAB 1 Přehled vstupních a vyhodnocených hodnot

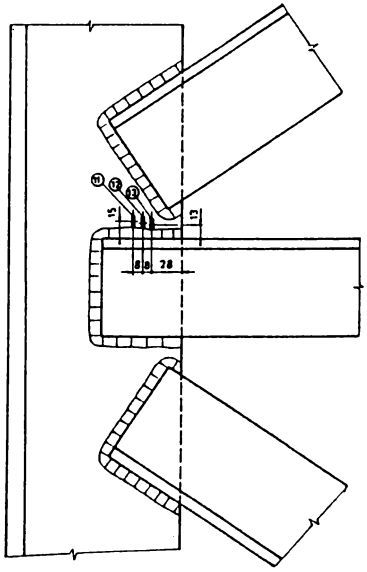
ČÍSLO MĚŘ.	$\Delta\sigma$ (MPa)	r (m)	HMOTNOST (kg)
I	285	r_G = 14,45	G = ?
II	498	r_G = 14,45 r_Q = 36	G = ? Q = 4750

Dosazení do vztahu (7) obdržíme hodnotu nevývažku nezatíženého jeřábu G = 6770 kg.

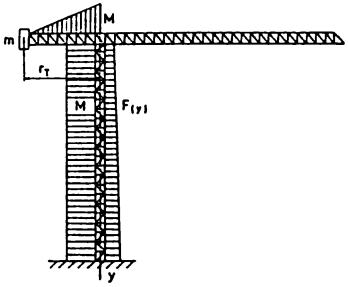
5. VYUŽITÍ VÝSLEDKŮ

Tento nevývažek je zbytečně velký na kompenzaci účinků břemene při maximální nosnosti, které vyvolává ohybový moment M_{MAX} = 1884 kNm. Tento moment by měl být přinejmenším dvojnásobkem absolutní hodnoty momentu od nevývažku G r_G = -960 kNm. Pro běžnou práci jeřábu, kdy jsou po většinu času přenášeny jen zlomky nosnosti a zhruba 50 % pohybů se vykonává s prázdným hákem, je dokonce účelné snížit hmotnost protizávaží co nejvíce, ovšem s ohledem na dodržení bezpečné nosnosti. V analyzovaném případě bylo realizováno odstranění jednoho segmentu potizávaží s hmotností 2100 kg, které snížilo ohybové namáhání nezatíženého jeřábu o 29,4 % což představuje zvýšení únavové životnosti věže na 3 až 10 násobek. Následná změna nosnosti se týkala pouze zkrácení ramene vyložení, a to nejvýše o 2 m. Změna diagramu nosnosti bude uvedena při přednášce.

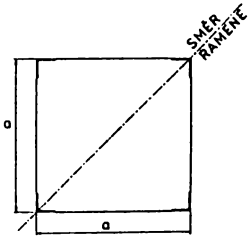
Petr Jaroš, Ing.CSc
SVÚSS a.s. 190 11 Praha 9
Tel: (02)734151/2710 Fax: (02)742078



Obr.1



Obr.2



Obr.3