ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1989

Seria: MECHANIKA z.99 Nr kol. 1057

SYMPOZJON "MODELOWANIE W MECHANICE"
POLSKIE TOWARZYSTWO MECHANIKI TEORETYCZNEJ I STOSOWANEJ
Beskid Śląski, 1990

Ryszard Kawiak
Katedra Mechaniki i Podstaw Konstrukcji Maszyn
Politechnika Szczecińska

MODELOWANIE FUNDAMENTOWEGO ZŁĄCZA ŚRUBOWEGO * SILNIKA OKRĘTOWEGO

Streszczenie. W pracy omówiono model fundamentowego złącza śrubowego silnika okrętowego, uwzględniający podatność styków. Opracowano go w oparciu o wyniki badań doświadczalnych, które w części zostały zaprezentowane. Nieliniowe zagadnienie rozwiązano korzystając z przyrostowych procedur metody elementów skończonych.

1. Wstęp

Technologia montażu okrętowych silników głównych, pomijając szczegóły, przewiduje :

- ustawienie silnika w określonym położeniu na śrubach odciskowych,
- umieszczenie pomiędzy podstawą silnika a fundamentem dopasowanych podkładek fundamentowych,
- odkręcenie śrub odciskowych i napięcie śrub fundamentowych.

Po odkręceniu śrub odciskowych, w wyniku działania ciężaru silnika i napięcia wstępnego śrub fundamentowych, elementy fundamentowego połączenia śrubowego (podstawa silnika , podkładka, fundament) i ich styki odkształcają się, tym samym silnik przemieszcza się do nowego położenia. Ostatecznie powinien on zająć żądane położenie względem linii wału, w niektórych przypadkach z toleran-

cją rzędu kilku setnych milimetra [1] . Z powyższego wynika, że wstępne napięcie śrub fundamentowych, decydujące o pewności zamocowania silnika na fundamencie, ma również wpływ na dokładność jego ustawienia.

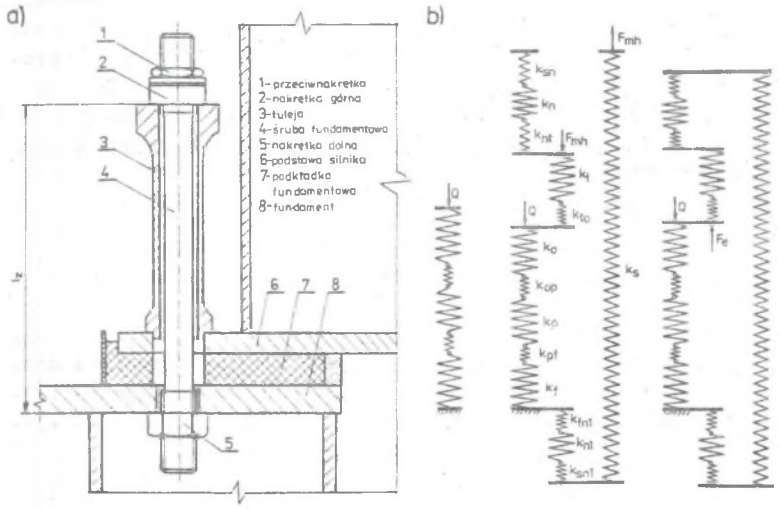
Pomimo tak dużego znaczenia praktycznego, zagadnienie racjonalnego wyznaczania wstępnego napięcia śrub fundamentowych nie zostało do tej pory należycie rozwiązane. Wyniki własnych badań doświadczalnych [2] , wykonanych na statku, na silniku B&W typ 7L45GBE, wskazują na małą dokładność i skuteczność w tym zakresie stosowanej instrukcji montażu [3]. Mając to na uwadze podjęto odpowiednie prace teoretyczne i eksperymentalne. Celem ich było opracowanie modelu odzwierciedlającego istotne właściwości rzeczywistego fundamentowego złącza śrubowego. W szczególności chodziło o uwzględnienie podatności stykowej. Rezultaty tych prac przedstawiono poniżej.

2. Badania doświadczalne

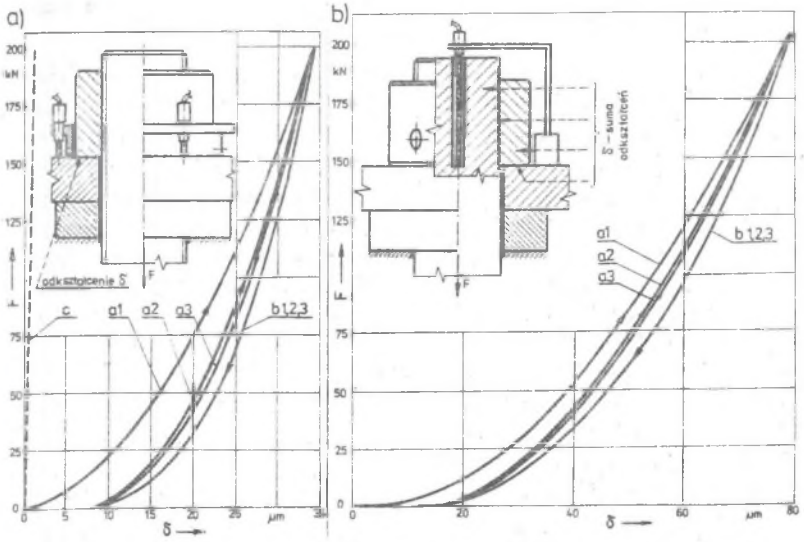
Wytyczne ustalania wstępnych napięć śrub fundamentowych, zawarte w instrukcji [3], podawane są bez jakichkolwiek uzasadnień. Stąd, budzą one określone wątpliwości. W celu ich wyjaśnienia wykonano odpowiednie pomiary na statku, dla dwunastu śrub fundamentowych silnika B & W typ 7L45GBE. Na ich podstawie stwierdzono, że wartość wstępnego napięcia śrub (159 kN), wywołana hydraulicznym urządzeniem napinającym, po dokręceniu nakrętki 2 do czołowej powierzchni tulei 3 (rys. 1a) i zmniejszeniu ciśnienia w cylindrze prasy do zera, średnio w pierwszym, drugim i trzecim cyklu napinania spada odpowiednio o 37,28,27 %. Natomiast według instrukcji [3] spadek ten wynosi tylko 15 %, niezależnie od tego, który jest to cykl napinania. Przy tak dużej rozbieżności wyników podjęto dalsze badania laboratoryjne. Wybrane wyniki przedstawiono na rys. 2.

Krzywe obciążania (a1,2 i 3) oraz odciążania (b1,2 i 3,rys.2) wskazują na nieliniową zależność stykowych odkształceń połączenia śrubowego od siły F rozciągającej śrubę. Odkształcenia te są sprężysto-plastyczne. W literaturze [4,5] dotyczącej połączeń śrubowych, w metodach ich obliczeń uwzględnia się odkształcenia stykowe w postaci tak zwanego osiadania, które w swojej istocie jest odkształceniem trwałym. Pomija się natomiast sprężyste odkształcenia styków, co w przekonaniu autora jest przyczyną znacz-

nej rozbieżności wyników obliczeń i badań doświadczalnych. Potwierdzeniem tych słów mogą być wyniki następujących obliczeń.



Rys. 1. Fundamentowe złącze śrubowe i jego model



Rys. 2. Doświadczalne charakterystyki złącza śrubowego

Z pomnożenia wartości odkształceń stykowych, odczytanych z krzywej a1 (rys. 2b) dla siły F=159 kN i sztywności badanej śruby fundamentowej otrzymano wartość spadku napięcia wstępnego, wywołanego odkształceniami stykowymi, równą 55,2 kN. Przy uwzględnieniu tylko odkształcenia trwałego spadek ten równa się 10 kN. Z badań doświadczalnych, wykonanych na statku, otrzymano natomiast średnią wartość spadku napięcia wstępnego równą 58,3 kN. Wnioski są oczywiste. Bazując na nich, opracowano i omówiono poniżej model fundamentowego złącza śrubowego, uwzględniający nieliniową podatność styków.

3. Model i metoda obliczeń

Fundamentowe połączenie wielośrubowe głównego silnika statku przyjęto traktować jako zbiór złączy jednośrubowych (rys.1a). Fizyczny model takich złączy pokazano na rys. 1b. Stanowią go elementy sprężyste, których sztywności wyznaczono następująco.

Sztywności: śruby k_s, tulei k_t, łapy korpusu silnika (obiektu posadawianego) k_o, podkładki fundamentowej k_p, płyty fundamentu k_f, nakrętek k_n i k_{n1} obliczono z zależności zalecanych przez VDI 2230 [4]. Są one stałe, niezależnie od obciążenia złącza.

Sztywności styków : śruba-nakrętka 2 k_{sn}, nakrętka 2-tuleja-silnik k_{to}, silnik-podkładka k_{op}, podkładka-fundament k_{pf}, fundament-nakrętka 5 k_{fn1} oraz śruba-nakrętka 5 k_{sn1} zmieniają się nieliniowo wraz ze zmianą ich obciążenia (rys. 2). W dalszych rozważaniach, dla uproszczenia, nieliniowe charakterystyki styków zastąpiono odcinkowo-liniowymi charakterystykami. Stąd, korzystając ze znanych zależności opisujących podatność stykową normalną [6] oraz zakładając, że przyrost obciążenia złącza wywoła zmianę nacisków normalnych na powierzchni A styku z σ_1 na σ_2, sztywność styku można było obliczyć z równania:

$$k = \frac{A\,(\sigma_2 - \sigma_1)}{c(\sigma_2^{\,m} - \sigma_1^{\,m})}, \qquad (1)$$

gdzie c i m – parametry wyznaczone na podstawie krzywych a lub b (rys. 2), zależnie od tego, czy styk w danym etapie obliczeń jest obciążany, czy odciążany.

Model matematyczny opracowano w oparciu o koncepcję metody elementów skończonych. W wyniku zastosowanej powyżej linearyzacji rozwiązanie zagadnienia nieliniowego sprowadzono do wielokrotnego rozwiązania układu równań liniowych o postaci:

$$K(r)\Delta r = \Delta R, \tag{2}$$

gdzie : $K(r)$ - zmieniająca się macierz sztywności modelu rozważanego złącza śrubowego, Δr - wektor przyrostów przemieszczeń, ΔR - wektor przyrostów obciążeń. Rozwiązanie ostateczne otrzymano, dokonując po uzyskaniu każdego z kolejnych rozwiązań operacji akumulacji przemieszczeń, zdefiniowanej wzorem:

$$r^{(n)} = r^{(n-1)} + \Delta r^{(n)} \tag{3}$$

gdzie $r^{(n)}$ i $r^{(n-1)}$ - wektory przemieszczeń uzyskane odpowiednio po n i n-1 krokach obliczeń.

Wybrane wyniki obliczeń i wnioski z nich płynące, uzyskane za pomocą opracowanego modelu i metody obliczeń, przedstawione zostaną na sesji Sympozjonu.

LITERATURA

[1] Grudziński K., Jaroszewicz W., Lorkiewicz J.: Posadawiania maszyn na podkładkach z tworzyw sztucznych. Przegląd Mechaniczny, XLII, Nr 21/83.

[2] Kawiak R., Grudziński K., Zapłata M.: Pomiary oraz ustalenie wytycznych dla projektowania posadowień. Sprawozdanie z pracy naukowo-badawczej, Politechnika Szczecińska, Szczecin 1989.

[3] PR 610 TCF "CHOCKFAST ORANGE" chocks f. mein engine. Stocznia-Gdańsk. B&W DE.7L45GBE.

[4] Systematische Berechnung hochbeanspruchter Schraubenverbindungen. Richtlinien VDI 2230. Blatt 1, Düsseldorf, VDI - Verlag 1986.

[5] Ermüdungs - festigkeit, Stahlschraubenverbindungen, Berechnung. DDR - Standart TGL 38512, 1981.

[6] Lewina Z.M., Rešetov D.N.: Kontaktnaja žestkost' mašin. Mašinostroenie, Moskva, 1971.

МОДЕЛИРОВАНИЕ БОЛТОВОГО СОЕДИНЕНИЯ ФУНДАМЕНТОВ СУДОВОГО ДВИГАТЕЛЯ

Резюме

В работе описано модель болтового соединения фундамента судового двигателя которое учитывает податливость контакта. Модель разработано опираясь на экспериментальных результатах в части тоже представлены. Нелинейную контактную проблему решено пользуюсь инкрементальными процедурами методы конечных элементов.

MODELLING OF THE FOUNDATIONAL SHIP ENGINE SCREW JOINT

Summary

A model of the foundational ship engine screw joint including contact flexibility was described in the paper. It was developed on the base of experiments which were also presented. Non linear problem was solved applying incremental procedures in finite element method.