

Szymon SWIERCZYNA*
Politechnika Śląska

BADANIE TARCIA OBROTOWEGO W POŁĄCZENIACH JEDNOCIĘTYCH NA SWORZNIĘ JEDNOSTRONNE

Streszczenie. W referacie przedstawiono pierwsze wyniki badania tarcia obrotowego w jednociętych połączeniach kształtowników cienkościennych, łączonych za pomocą sworzni jednostronnych typu BOM-R16 [1]. Opisano konstrukcję stanowiska badawczego oraz metodę badania. Celem badań jest ustalenie zależności między siłą tnącą i momentem skrętnym, działającymi na pojedynczy sworznię w połączeniu, a kątem obrotu zachodzącym wówczas między łączonymi blachami. Wyniki zostały przedstawione w postaci krzywych zależności moment skrętny – kąt obrotu, przy sile tnącej równej 25,0 kN.

INVESTIGATIONS OF JOURNAL FRICTION IN SINGLE-CUT JOINTS WITH BLIND BOLTS

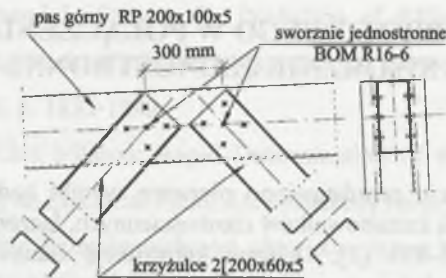
Summary. The paper presents the first results of investigations concerning the journal friction in single-cut joints of thin-walled steel sections, joined by blind bolts type BOM R-16 [1]. The structure of the test stand as well as the method of testing have been described. The aim of these investigations is to determine the interdependence between the cutting force and the torque moment exerted on any single bolt in the joint, and the angle of rotation occurring then between the connected steel sheets. The results have been presented in the form of relation curves: torque moment – angle of rotation, the cutting force being equal to 25,0 kN.

1. Wprowadzenie

W ostatnich kilkunastu latach powstało na terenie naszego kraju wiele obiektów w całości zaprojektowanych z kształtowników giętych na zimno z blach, o przekrojach otwartych oraz półzamkniętych i grubościach ścianek 3,0÷6,0 mm, łączonych zakładkowo m.in. za pomocą śrub częściowo sprężonych [2]. Obiekty tego rodzaju są nadal wznoszone przez firmy zagraniczne, wg ich własnych systemów konstrukcyjnych. Przy bogatej krajowej ofercie asortymentu tych kształtowników brak jest wystarczających danych pozwalających na

* Opiekun naukowy: Dr hab. inż. Walter Wuwer.

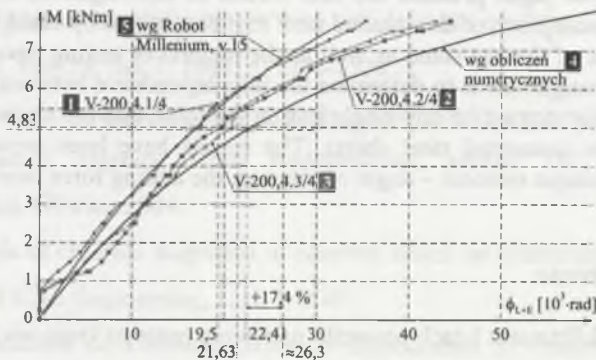
bezpieczne projektowanie takich konstrukcji. Problematyka węzłów podatnych w prętowych konstrukcjach cienkościennych, z połączeniami na sworznie jednostronne typu BOM, została szeroko omówiona w pracy [3]. Zamieszczone tam wyniki badań doświadczalnych i teoretycznych wykorzystano m.in. do zaprojektowania ramy z rygłem kratowym, którego jeden z węzłów pokazano na rys. 1, [4].



Rys. 1. Jednocięte połączenia gałęzi krzyżulców z górnym pasem rygla kratowego [4]

Fig. 1. Single-cut joints of the cross-brake branches with the top flange of the truss [4]

Przy określaniu sztywności połączeń uwzględniono tarcie posuwiste istniejące między łączonymi ściankami. Pominięto natomiast wpływ tarcia obrotowego, które występuje w połączeniach równocześnie ścinanych i zginanych, zwiększając ich sztywność nawet o kilkanaście procent, o czym się przekonano badając m.in. równocześnie ścinane i zginane 4-sworzniowe połączenie jednocięte ścianek o grubości 4,0 mm (rys. 2).



Rys. 2. Porównanie doświadczalnych i teoretycznych krzywych zależności $M-\phi$ niesymetrycznego połączenia 4-sworzniowego, ścinanego i zginanego [3]

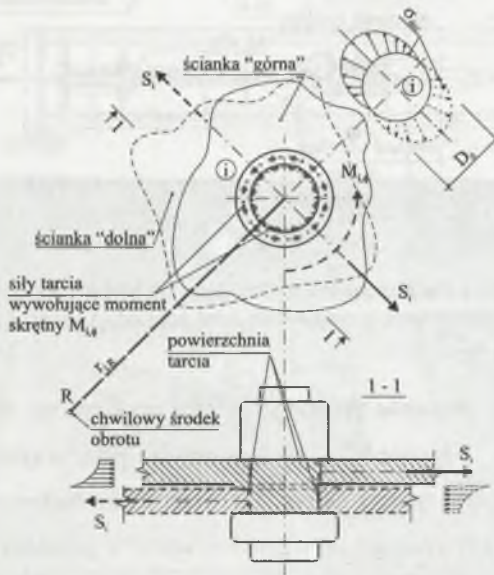
Fig. 2. Comparison of experimental and theoretical relations between the curves $M-\phi$ of an asymmetric cut and bent four-bolt joint [3]

Porównując na wykresie zależności moment zginający M – kąt obrotu ϕ , wyniki badania trzech jednakowych połączeń (linie łamane nr 1, 2 i 3) z wynikami obliczeń numerycznych (krzywa nr 4) można zauważyć, że rzeczywista sztywność połączenia jest większa od

sztywności teoretycznej, szczególnie przy większych wartościach momentów. Krzywą nr 4 na wykresie ustalono rozwiązując numerycznie podany w [3] układ równań opisujący zachowanie się połączenia, w którym pominięto momenty skrętne $M_{i,\phi}$ występujące w osi i -tego sworznia w połączeniu 1-ciętym (rys. 3). Na wartość momentu $M_{i,\phi}$ który zależy od obciążenia S_i ścinającego sworzzeń „ i ”, składają się siły tarcia obrotowego istniejące między:

- walcową powierzchnią sworznia, tj. jego pobocznica a ściankami w otworach,
- łebkami sworznia a powierzchniami zewnętrznymi łączonych ścianek,
- wewnętrznymi, przylegającymi do siebie powierzchniami łączonych ścianek, szczególnie w miejscach spęczenia.

Momenty skrętne $M_{i,\phi}$ w połączeniu przejmują część zewnętrznego obciążenia momentem zginającym M , wpływając jednocześnie na wzrost jego sztywności.



Rys. 3. Siły tarcia obrotowego w osi sworznia „ i ” w zakładkowym połączeniu równocześnie ścinanym i zginanym [3]

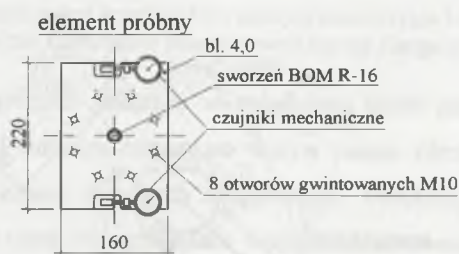
Fig. 3. Friction forces in the axis of the blind bolt „ i ” in a simultaneously cut and bent lap joint [3]

Aby uwzględnić tarcie obrotowe w analizie numerycznej niezbędne jest ustalenie zależności między siłą ścinającą S_i , momentem skrętnym $M_{i,\phi}$ i kątem obrotu ϕ między łączonymi blachami. Zależności te można wyznaczyć jedynie na drodze doświadczalnej. W niniejszym referacie zaprezentowano pierwsze wyniki badań w postaci zależności: $S_1 - \delta$ zachodzącej podczas wymuszania (w pierwszej kolejności) siły ścinającej S_1 , działającej na pojedynczy sworznień w połączeniu 1-ciętym ścianek o grubości 4,0 mm, gdzie δ oznacza

wzajemne przemieszczenie łączonych ścianek w osi sworznia, oraz zależności $M_{1,\phi} - \phi$, uzyskanej po przyłożeniu (w drugiej kolejności) momentu skrętnego w osi sworznia.

2. Opis elementu próbnego i stanowiska badawczego

Element próbny składał się z dwóch blach wyciętych z [200x60x4 o wymiarach 160x220 mm, połączonych ze sobą za pomocą jednego sworznia BOM R16-4 (rys. 4). Do jednej z blach przymocowano symetrycznie względem osi sworznia dwa czujniki mechaniczne o dokładności 0,01 mm, do drugiej blachy przyklejono – w odpowiednich wycięciach – krótkie kątowniki stykające się z trzpieniami czujników. Za pomocą czujników dokonywano pomiaru przemieszczeń liniowych i kątowych.



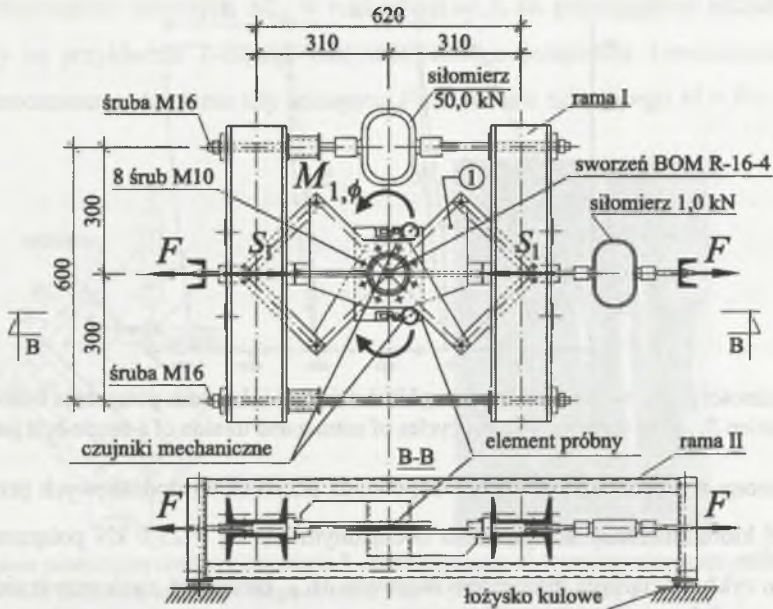
Rys. 4. Element próbny z połączeniem 1-sworzniowym do badania zależności $S_I - M_{1,\phi} - \phi$

Fig. 4. Experimental element with a single-bolt joint applied in investigations concerning the relation $S_I - M_{1,\phi} - \phi$

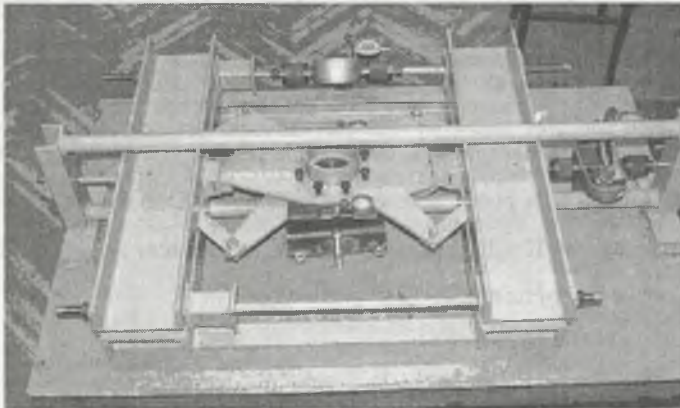
Każda ze ścianek elementu próbnego została przykręcona ośmioma śrubami M10 do dwóch oddzielnych, odpowiednio uźebrowanych płyt o grub. 10 mm, osadzonych w stanowisku badawczym (poz. 1 na rys. 5a). Stanowisko badawcze tworzą dwie niezależne ramy swobodnie przemieszczające się względem siebie w poziomie. Rama I, złożona z dwóch belek (2[140) połączonych ze sobą cięgnami $\phi 16$ mm, służy do wprowadzania siły ścinającej S_I , która na element próbny jest przekazywana za pośrednictwem płytek centrujących o powierzchni walcowej, co umożliwia wzajemny obrót płyt poz. 1 względem osi sworznia po przyłożeniu momentu skręcającego $M_{1,\phi}$. Na jednym z cięgien zamocowano siłomierz o zakresie 50,0 kN, który pozwala na kontrolowanie wartości siły ścinającej. Skręcanie w połączeniu 1-sworzniowym jest wywoływane przez naciąg siłą F dwóch par ramion mocowanych do płyt (połączonych ze sobą przegubowo pod kątem prostym). Siła F , kontrolowana za pomocą siłomierza o zakresie 1,0 kN, jest wywoływana za pośrednictwem

ciągów przymocowanych do ramy II opartej na łożyskach kulowych, dzięki którym nie krępuje przemieszczeń powstających przy skręcaniu i ścinaniu badanego połączenia.

a)



b)



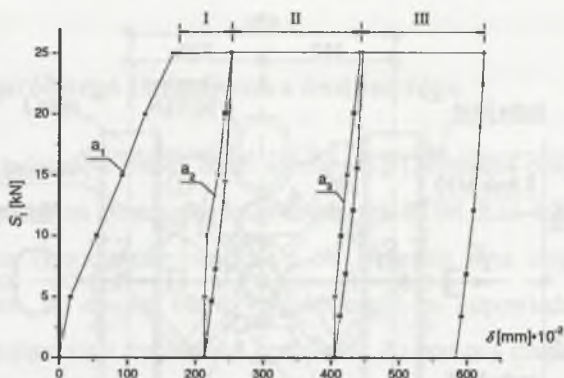
Rys. 5. Stanowisko badawcze: a) schemat stanowiska z zamontowanym elementem próbnym, b) widok stanowiska

Fig. 5. Test stand: a) diagram of the test stand with the fixed experimental element, b) view of the test stand

3. Badanie tarcia obrotowego w połączeniu 1-sworzniowym

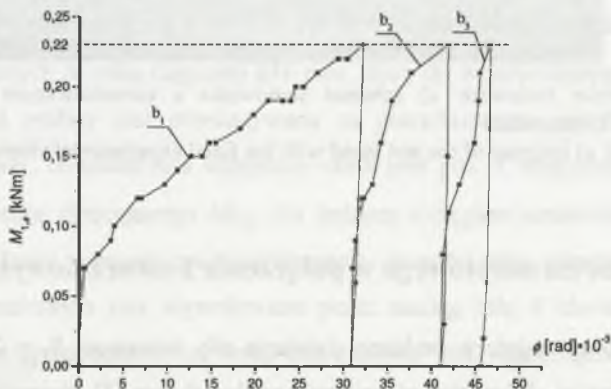
Element próbny najpierw poddano działaniu siły ścinającej $S_1 = 25,0$ kN, stanowiącej około 60% nośności obliczeniowej sworznia na docisk, wg [5]. Przemieszczenia zachodzące

między łączykami pod wpływem rosnącej siły ścinającej S_1 ilustruje krzywa a_1 na wykresie $S_1 - \delta$ (rys. 6).



Rys. 6. Zależności $S_1 - \delta$ w trzech kolejnych cyklach ścinania i skręcania połączenia 1-sworzniowego
Fig. 6. Relation $S_1 - \delta$ in three subsequent cycles of cutting and torsion of a single-bolt joint

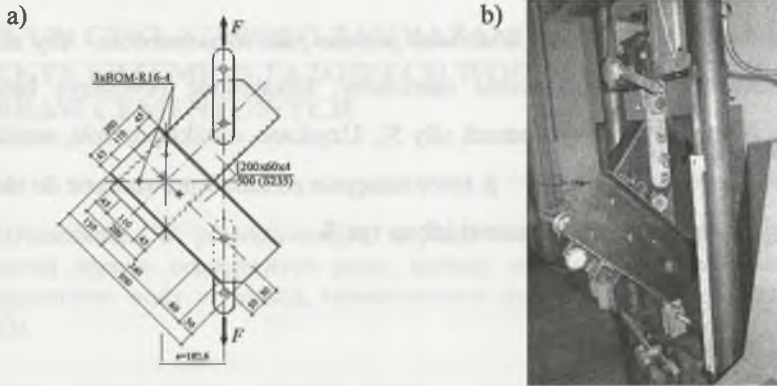
Zaznaczony na wykresie przedział I odpowiada przyrostowi dodatkowych przemieszczeń trwałych δ , które zaistniały w uprzednio obciążonym siłą $S_1 = 25,0$ kN połączeniu podczas pierwszego cyklu obciążenia momentem skrętnym $M_{1,\phi}$, natomiast zachowanie się połączenia podczas wzajemnego skręcania blach opisuje krzywa b_1 na wykresie zależności $M_{1,\phi} - \phi$ (rys. 7). Podczas pomiaru przemieszczeń kątowych dokonywano kontroli polegającej na utrzymaniu wartości siły ścinającej $S_1 = 25,0$ kN. Po odciążeniu połączenia do zera, tj. w kolejności wartości $M_{1,\phi}$ a następnie S_1 dwukrotnie powtórzono tę samą historię obciążenia, tj. najpierw siłą ścinającą, a potem momentem skrętnym. Zachowanie się ścinanego siłą S_1 połączenia, poddanego w II i III cyklu obciążeniu momentem $M_{1,\phi} = 0,22$ kNm, ilustrują odpowiednio krzywe b_2 i b_3 na rys. 7.



Rys. 7. Zależność $M_{1,\phi} - \phi$ w połączeniu 1-sworzniowym przy stałej sile ścinającej $S_1 = 25,0$ kN
Fig. 7. Relation $M_{1,\phi} - \phi$ in a single-bolt joint at a constant cutting force $S_1 = 25,0$ kN

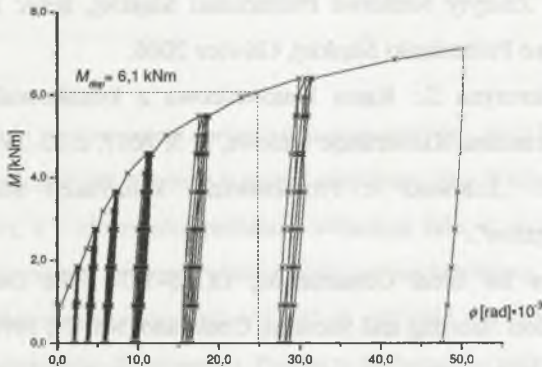
4. Badanie niesymetrycznego połączenia 3-sworzniowego

Udział momentów skrętnych $M_{i,\phi}$ w rozkładzie sił S_i na poszczególne łączniki zostanie sprawdzony na przykładzie 1-ciętego niesymetrycznego połączenia 3-sworzniowego, poddanego jednoczesnemu działaniu siły ścinającej F i momentu zginającego $M = F \cdot e$ (rys. 8).



Rys. 8. Badanie niesymetrycznego połączenia 3-sworzniowego: a) wymiary elementu próbnego „V”, b) widok elementu zabudowanego w maszynie wytrzymałościowej
 Fig. 8. Investigations concerning an asymmetric 3-bolt joint: a) dimensions of the experimental element „V”, b) view of the element inserted in the testing machine

Połączenie obciążano cyklicznie, co najmniej czterokrotnie przy danej sile F , na pięciu różnych poziomach, kierując się wytycznymi europejskimi [6]. Na podstawie wyników sporządzono wykres zależności $M-\phi$ (rys. 9). Na wykres naniesiono wartość momentu $M_{dop} = 6,1$ kNm, którą obliczono z pominięciem wpływu „wędrującego” w połączeniu środka obrotu.



Rys. 9. Ścieżka równowagi statycznej $M-\phi$ połączenia 3-sworzniowego w elemencie próbnym „V”
 Fig. 9. Path of static equilibrium $M-\phi$ of a 3-bolt joint in the experimental element „V”

Obwiednia ŚRS na rys. 9 zostanie porównana z krzywą teoretyczną, która będzie ustalona na drodze rozwiązania podanego w [3] układu równań opisującego zachowanie się połączenia 3-sworzniowego z uwzględnieniem momentów skrętnych.

5. Zakończenie

Przedstawione wyniki badań należy traktować jedynie jako rozpoznawcze. Aby mogły one stanowić podstawę do wnioskowania należałoby, kilkakrotnie powtórzyć badanie zależności $M_{1,\phi} - \phi$ przy różnych poziomach siły S_1 . Uzyskane wyniki pozwolą ustalić na drodze statystycznej zależności $S_1 - M_{1,\phi} - \phi$, które następnie zostaną wprowadzone do układu równań opisującego zachowanie się połączenia jak na rys. 8.

LITERATURA

1. Sworznie typu Huck do wykonywania połączeń elementów konstrukcji metalowych. Aprobata Techniczna Instytutu Techniki Budowlanej nr AT-15-3487/99, Warszawa 1999.
2. Wuwer W.: Próba oceny podatności węzłów w systemach konstrukcyjnych z kształtowników giętych. Inżynieria i Budownictwo, nr 10, 2002, s. 573-577.
3. Wuwer W.: Podatne połączenia na sworznie jednostronne w prętowych konstrukcjach cienkościennych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria: Budownictwo, zeszyt: 105, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2006.
4. Wuwer W., Swierczyna S.: Rama kratownicowa z kształtowników cienkościennych połączonych sworzniami. Konstrukcje Stalowe, nr 3, 2007, s. 22-24.
5. PN-EN 1993-1-8 „Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych; Część 1-8: Projektowanie węzłów”.
6. Recommendations for Steel Construction, ECCS-TC7: The Design and Testing of Connections In Steel Sheeting and Sections, Constrado, No. 21, 1990.