

Szymon SWIERCZYNA¹
Walter WUWER²

WSTĘPNE BADANIA NOŚNOŚCI NA DOCISK ZAKŁADKOWYCH POŁĄCZEŃ NA SWORZNI JEDNOSTRONNE

W referacie przedstawiono badania doświadczalne, których celem było określenie nośności na docisk jednociętych połączeń sworzniowych ścianek kształtowników giętych na zimno z blach. Złącza wykonano za pomocą sworzni jednostronnych HUCK BOM o wysokiej wytrzymałości, które po osadzeniu szczelnie wypełniają uprzednio wywiercony otwór. Ścianki elementów próbnych o jednakowych grubościach 3, 4 i 5 mm wykonano ze stali tego samego gatunku tj. S235, jednak dla każdej grubości blach ustalono odmienne parametry wytrzymałościowe. Do łączenia ścianek grubości 3 mm użyto sworzni BOM R10 i R16 o średnicach, odpowiednio, 8,5 mm oraz 13,6 mm, a do łączenia ścianek o grubościach 4 i 5 mm użyto sworzni BOM R16. Łącznie przebadano 24 elementy próbne. W referacie przedstawiono przebieg badania oraz sposób zniszczenia połączeń. Wyniki zilustrowano na wykresach zależności między obciążeniem pojedynczego sworznia siłą ścinającą i wzajemnym przemieszczeniem łączonych ścianek. Zachowanie się złączy opisano za pomocą funkcji wykładniczej. Ze względu na znaczną odkształcalność połączeń, jako kryterium nośności przyjęto wartość obciążenia, któremu odpowiada wzajemne graniczne przemieszczenie równe 3,0 mm. Zaproponowano wzory, za pomocą których nośność połączenia na docisk dla dowolnej wartości przemieszczenia granicznego można obliczyć na podstawie wytrzymałości na rozciąganie stali łączonych ścianek ich grubości oraz średnicy łącznika. Uzyskano dobrą zgodność wyników doświadczalnych z wartościami uzyskanymi na podstawie proponowanych wzorów.

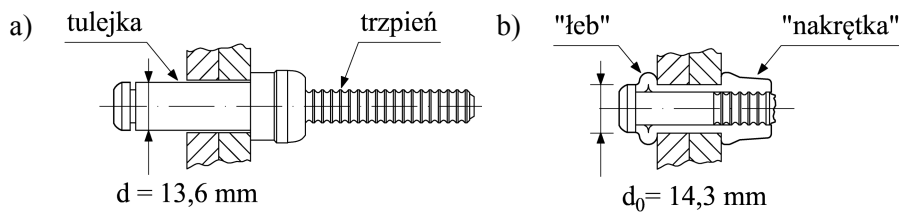
Słowa kluczowe: połączenia zakładkowe, sworznie jednostronne, nośność na docisk

¹ Autor do korespondencji: Szymon Swierczyna, Politechnika Śląska, ul. Akademicka 5, 44-100 Gliwice, tel. (32) 237 22 24, szymon.swierczyna@polsl.pl

² Walter Wuwer, Politechnika Śląska, ul. Akademicka 5, 44-100 Gliwice, tel. (32) 237 22 28, walter.wuwer@polsl.pl

1. Wprowadzenie

W lekkich konstrukcjach prętowych z kształtowników giętych istotnym zagadnieniem są połączenia elementów w węzłach. Wpływ na ich zachowanie się mają niewielkie grubości łączonych ścianek oraz istniejące w nich naprężenia własne, powstałe w procesie formowania kształtowników na zimno. Interesującą alternatywą dla szczegółowo opisanych w [1] połączeń spawanych mogą być sworznie jednostronne HUCK BOM (rys. 1), posiadające Aprobatę Techniczną ITB [2]. Łączniki te wyróżnia możliwość scalania elementów przy dostępie jednostronnym (np. ceownika z rurą prostokątną) oraz szczelne wypełnienie przez materiał tulejki uprzednio wykonanych otworów, co istotnie ogranicza poślizg w złączu w porównaniu do połączeń śrubowych. Normy nie podają formuł do obliczania nośności pojedynczego sworznia typu BOM. Jak pokazano w pracy [3], nośność tą można wyznaczyć doświadczalnie, kierując się np. wytycznymi europejskimi [4]. W działaniach inżynierskich niezbędne są jednak praktyczne wzory pozwalające obliczyć nośność dla dowolnych parametrów połączenia.

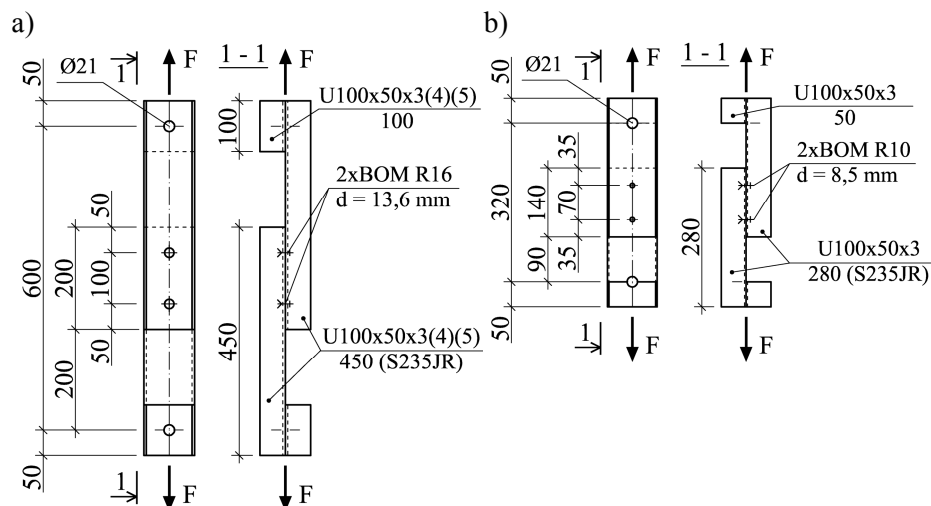


Rys. 1. Sworznie jednostronne BOM R16: a) przed osadzeniem, b) po osadzeniu w otworze
Fig. 1. Blind bolt BOM R16: a) before embedding, b) after embedding in the hole

W referacie przedstawiono wyniki badań doświadczalnych jednoczętych połączeń ścianek grubości 3, 4 i 5 mm na sworznie BOM, które posłużyły do opracowania wzoru na obliczanie nośności połączenia z uwagi na docisk sworznia do ścianek w otworze.

2. Badania doświadczalne

Zachowanie się połączeń badano doświadczalnie na przykładzie rozciąganych osiowo elementów próbnych typu „I” (rys. 2a), w których ścianki ceowników giętych na zimno ze stali S235JR, o jednakowych grubościach 3, 4 i 5 mm, łączono za pomocą dwóch sworzni BOM R16 o średnicy $d = 13,6$ mm.



Rys. 2. Elementy próbne typu „I”: a) z połączeniem na sworznie BOM R16, b) z połączeniem na sworznie BOM R10

Fig. 2. Test elements of the type „I”: a) with BOM R16 bolt joint, b) with BOM R10 bolt joint

W przypadku połączenia ścianek grubości 3 mm badano element próbny o mniejszych rozmiarach (rys. 2b), w którym zastosowano sworznię BOM R10 o średnicy $d = 8,5$ mm. Parametry badanych elementów zestawiono w tabeli 1.

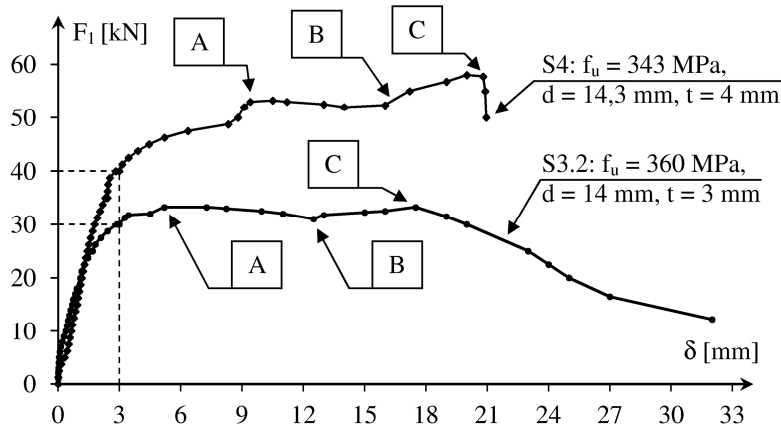
Tabela 1. Zestawienie parametrów elementów próbnych typu „I”

Table 1. List of parameters of test elements of the type „I”

Lp.	Elementy próbne „I”	Typ sworznia	$f_{u,obs}$ ¹⁾ [MPa]	d_0 ²⁾ [mm]	t_{cor} ³⁾ [mm]	Liczba elementów
1	S3.1	BOM-R10	360,0	9,0	3	1
2	S3.2	BOM-R16	360,0	14,0	3	3
3	S4		343,0	14,3	4	5
4	S4OC		343,0	14,0	4	2
			379,0	14,0	4	3
5	W4		444,7	14,3	4	5
6	W5		423,5	14,0	5	5

¹⁾ wytrzymałość na rozciąganie stali łączonych ścianek, ²⁾ po osadzeniu średnica sworznia równa średnicy otworu, ³⁾ nominalna grubość rdzenia łączonych ścianek (bez powłoki ochronnej)

Na rys. 3 zilustrowano przykładowe obwiednie ścieżek równowagi statycznej, tj. zależności między obciążeniem pojedynczego sworznia siłą ścinającą $F_1 = 0,5F$ (por. rys. 2) i wzajemnym przemieszczeniem δ łączonych ścianek uzyskane w badaniu elementów grup S3.2 i S4.



Rys. 3. Porównanie zachowania się połączenia ścianek grubości 3 oraz 4 mm aż do zniszczenia
 Fig. 3. Comparison of the behavior of the joint with walls 3 and 4 mm thick until the destruction of

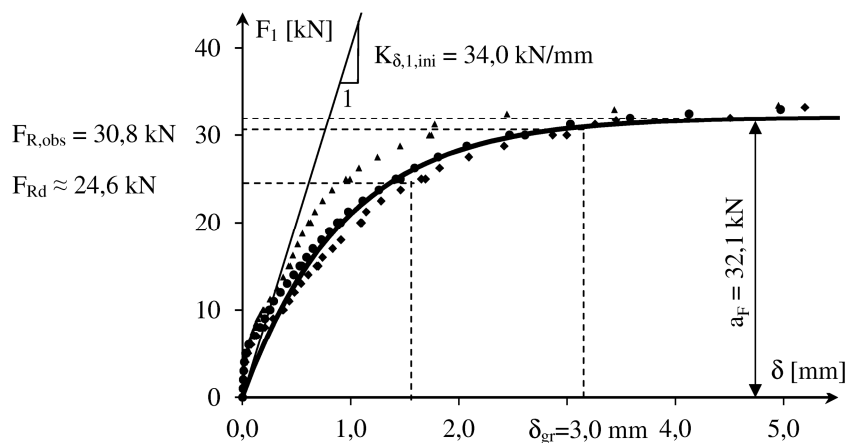
Na wykresie oznaczono punkty charakterystyczne w zachowaniu się badanych połączeń. Literą A oznaczono początek wyraźnego przechylenia się łączników w owalizujących się otworach. Litera B odpowiada wzajemnemu przemieszczeniu się łączonych ścianek, przy przechyle sworzni sięgającym prawie 90° (łączniki były rozciągane przy nieznacznym wzroście siły F). Punkt C z kolei oznacza maksymalną wartość obciążenia przenoszonego przez złącze. Ostateczne zniszczenie połączeń polegało na przeciągnięciu łączników przez silnie zdeformowane otwory.

3. Nośność na docisk pojedynczego łącznika

Badania elementów próbných „I” wykazały, że połączenia na sworznie BOM charakteryzuje zachowanie sprężysto-plastyczne w całym zakresie obciążenia. Badaną zależność $F_1-\delta$ dobrze opisuje funkcja wykładnicza postaci

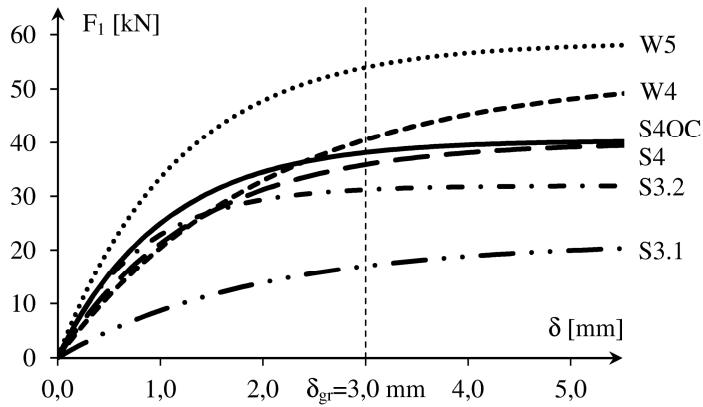
$$F_1 = a_F \cdot (1 - e^{-b_F \cdot \delta}), \quad (1)$$

gdzie parametr a_F określa na wykresie jej asymptotę poziomą, iloczyn a_F i b_F zaś – współczynnik kierunkowy prostej stycznej $K_{\delta,1,ini}$ do krzywej wykładniczej w początku układu współrzędnych $F_1-\delta$ (rys. 4). Parametr a_F można interpretować jako wartość siły powodującej pełne uplastycznienie połączenia 1-sworzniowego, a wartość $K_{\delta,1,ini}$ odpowiada jego początkowej sztywności translacyjnej.

Rys. 4. Zależności F_1 - δ w połączeniach grupy S3.2Fig. 5. Relation F_1 - δ in joint group S3.2

Dla każdej z przebadanych grup złączy wyznaczono wartości parametrów funkcji (1), a następnie sporządzono tzw. krzywe wynikowe F_1 - δ . Przykładowo, na rys. 4 zilustrowano krzywą wynikową, którą można porównać z punktami leżącymi na obwiedniach ścieżek równowagi statycznej uzyskanych w trzech jednakowych elementach próbnym grupy S3.2. Na wykresie oznaczono wartość przemieszczenia $\delta_{gr} = 3,0$ mm, która wg [4] odpowiada charakterystycznej nośności sworznia na docisk $F_{R,obs} = 30,8$ kN. Naniesiono ponadto prostą odpowiadającą sztywności początkowej połączenia $K_{\delta,1,ini} = 34,0$ kN/mm oraz wartość obciążenia $a_F = 32,1$ kN, powodującego uplastycznienie złącza. Wartość charakterystyczna nośności na docisk jest zbliżona do siły powodującej uplastycznienie, jednak nośność obliczeniowa F_{Rd} , wynosząca w przybliżeniu $F_{R,obs}/\gamma_{M2} = 30,8/1,25 = 24,6$ kN, mieści się w zakresie odkształceń sprężysto-plastycznych.

Na kolejnym wykresie F_1 - δ (rys. 5) można porównać krzywe wynikowe ilustrujące zachowanie się poszczególnych grup połączeń.



Rys. 5. Zachowanie się połączeń w poszczególnych grupach zestawionych w tabeli 1

Fig. 5. The behavior of the joints in the groups listed in table 1

Wyniki badania elementów próbných typu „I” analizowano, poszukując związków między parametrami fizycznymi danego połączenia, a uzyskanymi w badaniach wartościami a_F i b_F . W tym celu obliczono sztywności początkowe $K_{\delta,1,ini}$ pojedynczego sworznia wg wzoru:

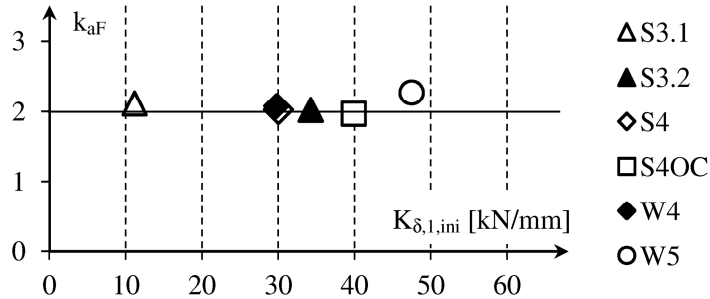
$$K_{\delta,1,ini} = a_F \cdot b_F, \quad (2)$$

oraz wyznaczono następujący współczynnik:

$$k_{aF} = \frac{a_F}{f_{u,obs} \cdot z \cdot d_0 \cdot t_{obs,cor}}, \quad (3)$$

gdzie: $z = \sqrt{390 / f_u}$, dla $f_u \geq 390$ MPa, oraz $z = 1$ w pozostałych przypadkach, wg [5].

Wartości średnie dla poszczególnych grup połączeń obliczone na podstawie wzorów (2) i (3) zilustrowano na wykresie zależności $k_{aF} - K_{\delta,1,ini}$ (rys. 6).

Rys. 6. Zależność k_{aF} - $K_{\delta,1,ini}$ dla połączeń według tabeli 1Fig. 6. Relation k_{aF} - $K_{\delta,1,ini}$ for joints according to table 1

Można zauważyć, że wartość współczynnika k_{aF} jest dla wszystkich grup połączeń jest zbliżona do 2, wartości sztywności początkowej $K_{\delta,1,ini}$ zaś są następujące: S3.1 – 11 kN/mm; S3.2, S4; W4 – 30 kN/mm; S4OC – 40 kN/mm; W5 – 47,5 kN/mm. Przy takich założeniach można z kolei obliczyć – wychodząc z zależności (3) i (2) – wartości parametrów $a_{F,t}$ i $b_{F,t}$:

$$a_{F,t} = 2 \cdot f_u \cdot z \cdot d_0 \cdot t, \quad b_{F,t} = \frac{K_{\delta,1,ini}}{a_{F,t}}, \quad (4a, 4b)$$

Obliczone wg powyższych formuł wartości $a_{F,t}$ i $b_{F,t}$ dla poszczególnych grup połączeń zamieszczono w tabeli 2.

Uwzględniając zależności na $a_{F,t}$ i $b_{F,t}$ można zapisać:

$$F_R = \alpha_{bb} \cdot f_u \cdot z \cdot d_0 \cdot t, \quad (5)$$

gdzie: $\alpha_{bb} = 2 \left(1 - e^{-b_{F,t} \cdot \delta_{gr}} \right)$.

Należy podkreślić, że wzór (5) pozwala obliczyć nośność połączenia dla dowolnej wartości przemieszczenia granicznego δ_{gr} , zależnej np. od danej sytuacji projektowej.

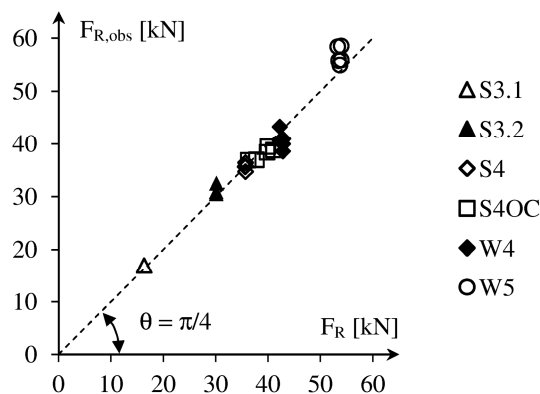
Tabela 2. Parametry krzywych wykładniczych opisanych funkcją (1)

Table 2. Parameters of exponential functions described by function (1)

Lp.	Grupa połączeń	Wg badań doświadczalnych		Wg zaproponowanych wzorów		Różnice [%]	
		a_F [kN]	b_F [1/mm]	$a_{F,t}$ wg (4a) [kN]	$b_{F,t}$ wg (4b) [1/mm]	$[(5)/(3)-1]$ $\cdot 100$	$[(6)/(4)-1]$ $\cdot 100$
1	2	3	4	5	6	7	8
1	S3.1	21,54 ²⁾	0,517 ²⁾	20,41	0,539	-5,2	4,3
2	S3.2	32,39 ¹⁾	1,244 ¹⁾	31,75	0,945	-2,0	-24,0
		32,09 ²⁾	1,060 ²⁾			-1,1	-10,8
3	S4	40,35 ¹⁾	0,748 ¹⁾	39,24	0,765	-2,8	2,3
		40,06 ²⁾	0,753 ²⁾			-2,0	1,6
4	S4OC	40,54 ¹⁾	0,992 ¹⁾	40,84	0,980	0,7	-1,2
		40,40 ²⁾	0,960 ²⁾			1,1	2,1
5	W4	50,19 ¹⁾	0,602 ¹⁾	47,64	0,630	-5,1	4,7
		52,70 ²⁾	0,489 ²⁾			-9,6	28,8
6	W5	64,28 ¹⁾	0,744 ¹⁾	56,90	0,835	-11,5	12,2
		58,58 ²⁾	0,846 ²⁾			-2,9	-1,3

¹⁾ średnia arytmetyczna z wyników badań, ²⁾ wg krzywej wynikowej

Na kolejnym wykresie (rys. 7) naniesiono punkty, których współrzędne odpowiadają: na osi poziomej – wartościom F_R obliczonym wg wzoru (5), na osi pionowej – wartościom $F_{R,obs}$ uzyskanym doświadczalnie dla $\delta_{gr} = 3,0$ mm (por. rys. 4).



Rys. 7. Zależność między wartościami nośności na docisk wg formuły (5) oraz na podstawie wyników badań doświadczalnych

Fig. 7. Relation between values of bearing resistance according to formula (5) and on the basis of experimental investigations

Wyniki mieszczą się na prostej nachylonej do osi współrzędnych pod kątem $\theta = \pi / 4$, z dokładnością średnio $\pm 1\%$, przy maksymalnych odchyleniach $\pm 9\%$.

4. Podsumowanie

W celu upewnienia się, że zaproponowana procedura obliczania nośności na docisk połączeń 1-ciętych, wykonanych przy użyciu łączników typu BOM jest – przy istniejących rozrzutach wyników badań doświadczalnych – poprawna i bezpieczna, należy uzupełnić badania w odpowiednim zakresie, różnicując w elementach próbnym grubości i gatunek stali łączonych ścianek oraz średnice łączników. Wówczas można będzie dokonać statystycznej kalibracji zaproponowanych wzorów, zgodnie z załącznikiem D8 w [6].

Literatura

- [1] PN-EN 1993-1-8:2006. Eurokod 3. Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-8: Projektowanie węzłów.
- [2] Sworznie typu Huck do wykonywania połączeń elementów konstrukcji metalowych, Aprobata Techniczna Instytutu Techniki Budowlanej, Nr AT-15-3487/99, Warszawa 1999.
- [3] Swierczyna S.: Nośność i sztywność jednociętych połączeń sworzniowych w konstrukcjach z kształtowników giętych. Rozprawa doktorska, Gliwice 2011.
- [4] ECCS TC7 TWG 7.10. Connections in Cold-formed Steel Structures. The testing of connections with mechanical fasteners in steel sheeting and sections. ECCS No 124, 2nd edition, 2009.

- [5] Zadanfarrokh F.: Analysis and design of bolted connections in cold formed steel members. PhD Thesis, Department of Civil Engineering, University of Salford, 1991.
- [6] PN-EN 1990:2004. Eurokod. Podstawy projektowania konstrukcji.

PRELIMINARY INVESTIGATION ON BEARING RESISTANCE OF BLIND BOLT LAP-JOINTS

Summary

The paper presents an experimental investigation, which aim was to determine the bearing resistance of the single cut bolt joint of cold-formed steel sections. Joint were made by means of high strength blind fasteners HUCK BOM, which after embedding tightly fill the previously drilled hole. The walls of test elements with same thicknesses 3, 4 and 5 mm, were made of the same steel grade, ie S235, but for each plate thickness different set of strength parameters were determined. To connect walls 3 mm thick BOM R10 and R16 bolts were used with diameters, respectively, 8.5 mm and 13.6 mm, and to connect walls 4 and 5 mm thick BOM R16 bolt was used. A total of 24 elements were tested. This paper presents the conduct of the tests and failure mode of the joint. The results are illustrated on the diagrams of the relationship between the shearing force acting on a single bolt and mutual displacement of joined walls. The behaviour of the joints was described by an exponential function. Because of the large deformability of connections, as a criterion for the bearing resistance the load corresponding to the mutual deformation equal to 3.0 mm was taken. The formulas was purposed, by which the bearing resistance can be calculated basing on the tensile strength of the steel plates, their thickness and diameter of the fastener for any value of deformation limit. A good consistency of the experimental results with the values obtained on the basis of the proposed formulas was achieved.

Keywords: lap joints, blind bolts, bearing resistance

DOI: 10.7862/rb.2013.29

Przesłano do redakcji: w maju 2013 r.

Przyjęto do druku: w lipcu 2013 r.