

Walter WUWER

NOŚNOŚĆ WKREŃTÓW SAMOWIERCĄCYCH W STALOWYCH POŁĄCZENIACH ZAKŁADKOWYCH

Streszczenie. Celem badań było poszukiwanie sposobów prostego i efektywnego łączenia w lekkich konstrukcjach stalowych profilów giętych na zimno, o zamkniętych przekrojach kwadratowych oraz prostokątnych i grubościach ścianek od 3,0 mm do 5,0 mm. W przedstawionych wynikach doświadczalnych badań rozpoznawczych porównano zachowanie się w połączeniach zakładkowych wkrętów HILTI - samowiercących THB-6,3 i samogwintu-jących TS-MP52Z 6,3, a także śrub pasowanych M6. Wyniki badania połączeń na zmodyfikowane wkręty samowiercące pozwoliły ustalić ich nośności, różniące się od nośności określonych obowiązującymi przepisami, a także wartości tzw. przemieszczeń "luzowych".

LOADING CAPACITY OF SELF-DRILLING SCREWS IN STEEL LAP CONNECTIONS

Summary. The aim of the testing was to find techniques allowing simple and effective connections of cold-formed steel profiles of closed square and rectangular sections and wall thickness from 3,0mm to 5,0mm, in lightweight steel constructions. In the presented experimental findings of the introductory testing, the behaviour of HILTI screws - self -drilling THB-6,3 and self-tapping TS-MP52Z 6,3 and also fitted bolts M6 in lap connections - was presented. The obtained results of tested connections with modified self-drilling screws made it possible to determine their load capacities, which differ from the ones offered by existing regulations, and the values of so called "clearance" displacements.

CHARGE LIMITE DES VIS AUTOPERÇÉES DANS DES CONNEXIONS DE RECOUVREMENT D'ACIER

Résumé. L'objet de l'étude est la recherche des moyens simples et effectifs des connexions dans des constructions légères d'acier a profil plié a froid, de coupe fermée et rectangulaire, d'épaisseur de paroi de 3,0 mm a 5,0 mm.

Dans des résultats expérimentaux présentés on a comparé le comportement des vis HILTI THB-6,3 autoperçées et TS-MP52Z 6,3 autovissées et aussi des boulons ajustés M6 dans des connexions de recouvrement. Les résultats des recherches des connexions a vis autoperçées modifiées ont permis d'établir leurs charges limites, différentes des charges limites déterminées par des normes en vigueur ainsi que les valeurs des dites dislocations "de jeu".

1. WPROWADZENIE

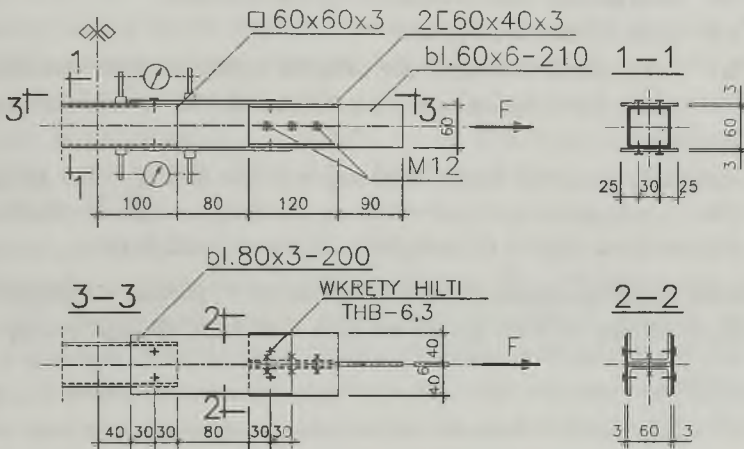
Zastosowanie stalowych profilów giętych na zimno o przekrojach cienkościennych w lekkich konstrukcjach prętowych (szczególnie w jednokondygnacyjnych budynkach halowych o rozpiętościach do 15 m) okazało się celowe z punktu widzenia wykorzystania cech wytrzymałościowych materiału. Zagadnienia związane z obliczaniem i projektowaniem takich konstrukcji zostały w latach 70. szeroko przedstawione w pracach J. Bródki[1]. Wymieniając wiele zalet tych profilów podkreśla się tam przede wszystkim korzyści polegające na zmniejszeniu zużycia stali o 30% do 50% w porównaniu z odpowiednimi konstrukcjami prętowymi, projektowanymi z kształtowników walcowanych na gorąco, a w [2] przedstawiono także wytyczne obliczania i projektowania prętów oraz spawanych węzłów kratownic.

Szeroki asortyment produkowanych obecnie w kraju stalowych profilów giętych na zimno - szczególnie o zamkniętych przekrojach kwadratowych oraz prostokątnych i grubościach ścianek od 3,0 mm do 5,0 mm - zainspirował autora artykułu do poszukiwań sposobów efektywniejszego niż za pomocą spawania ich łączenia w lekkich, oszczędnych konstrukcjach, takich jak np.: pawilony parterowe, kioski, garaże itp. Opracowanie nowej technologii łączenia prętów z profilów giętych na zimno może przyczynić się do zwiększenia dotychczasowego zakresu ich stosowania w budownictwie. Norma [3] dopuszcza (jako minimalne) grubości ścianek kształtowników wynoszące 3,0 mm, i to nawet w konstrukcjach narażonych na bezpośrednie działanie czynników atmosferycznych; wymagane w przekrojach rurowych, kłopotliwe w wykonaniu, szczelne zamknięcia końcówek prętów (gdy ich powierzchnie wewnętrzne nie są specjalnie zabezpieczone przed korozją) mogą okazać się zbędne, jeżeli uwzględnić znaczne większą ich odporność na korozję w porównaniu z przekrojami otwartymi, [4], a ponadto jeśli są wykonane ze stali trudnordzewiejących.

Autor artykułu, zanim podjął się próby poszukiwania nowych sposobów łączenia profilów giętych na zimno, wstępnie określił koszty zużycia stali i drewna na konstrukcję nośną klasycznego dachu czterospadowego o znacznych wymiarach rzutu poziomego i pochyleniach połączeń. Okazało się, że stal jako materiał konstrukcyjny może być konkurencyjny w stosunku do drewna. Kiedy w Stanach Zjednoczonych wzrosły w 1993 roku ceny drewna o 100%, wtedy prawie połowa spośród wszystkich przedsiębiorstw budowlanych zastąpiła drewno - stosowane do wykonywania konstrukcji domów mieszkalnych - stalą, podczas gdy jeszcze rok wcześniej dominacja drewna w budownictwie parterowym wydawała się niezagrożona[5].

2. DOŚWIADCZALNE BADANIA ROZPOZNAWCZE

W latach 1991-93 badano połączenia profili giętych na zimno z blachami stalowymi, a także blach z blachami, w których jako łączniki zastosowano samowierzące wkręty HILTI typu THB-6,3 [6]. Konstrukcje pierwszych modeli stanowiły pręty o przekrojach rurowych 60x60x3, obciążone na każdym końcu za pośrednictwem połączonych 4. wkrętami dwu blach grubości 3,0 mm (rys.1). Wkręty osadzono za pomocą zakrętarki HILTI typu TS-24,



Rys.1. Połączenie pręta o przekroju rurowym z blachami za pomocą wkrętów samowierzących HILTI

Fig. 1. Connection of a pipe section bar with sheets using self-drilling screws HILTI

unieruchamiając wzajemnie łączone elementy ściskami mechanicznymi, które początkowo próbowano zastąpić kilkoma odmianami szybkowiązających klejów Loctite. Jednak kleje te nie spełniły swojej roli, ponieważ połączenia klejone albo znacznie przewyższały nośność badanych połączeń na wkręty, albo też nie były zdolne przejść dynamicznych oddziaływań zakrętarki (ścięciu ulegała bowiem często zendra pokrywająca stykające się powierzchnie klejone).

Obciążenia modeli (doraźne i długotrwałe) realizowano w maszynie wytrzymałościowej ZD-10/90; czujniki zegarowe 0,001 mm umożliwiły pomiar wzajemnych przemieszczeń łączonych elementów, natomiast przyklejone do blach czujniki tensometryczne dostarczały informacji o rzeczywistym udziale blach w przenoszeniu obciążenia. Zakres obciążeń przekazywanych na połączenia w modelu ustalono wychodząc z wyrażenia na nośność obliczeniową pojedynczego wkręta na docisk [7]

$$f_d^x = \alpha f_q d \sum t \quad (1)$$

oraz z warunku nośności połączenia

$$F \leq F_{Rj} = n \eta f_d^x \quad (2)$$

gdzie: α - współczynnik docisku w stanie granicznym przechylenia trzpienia i rozerwania blachy, $\alpha = 3\sqrt{t/d} \leq 2$,

f_d - wytrzymałość obliczeniowa stali,

d - zewnętrzna średnica gwintu wkręta,

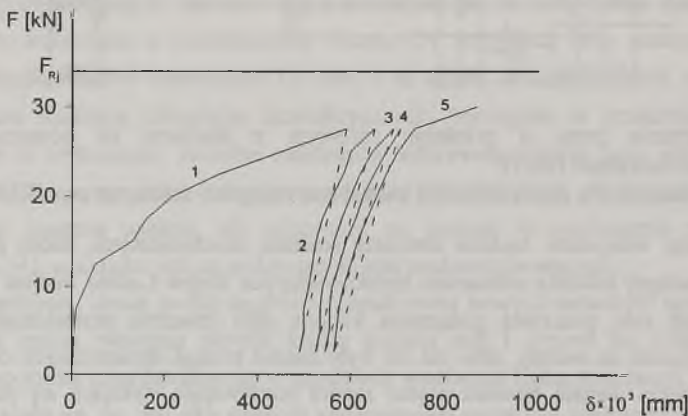
Σt - suma grubości blach dociskanych w jednym kierunku,

n - liczba wkrętów w połączeniu,

η - współczynnik redukcyjny, gdy odległość między skrajnymi łącznikami w kierunku skupionego obciążenia jest większa od $15d$; w badanych przypadkach $\eta = 1$.

Stąd dla połączenia elementów modelu wykonanych ze stali St3S ($f_d = 215$ MPa, [3]) na 4 wkręty THB-6,3, przy grubościach blach $t = 3,0$ mm, określono: $\alpha = 3\sqrt{3/6,3} = 2,07$ i $\alpha = 2,0$ oraz $f_d^x = 2 \cdot 215 \cdot 10^3 \cdot 6,3 \cdot 10^{-3} \cdot 3 \cdot 10^{-3} = 8,13$ kN, a $F_{Rj} = 4 \cdot 8,13 = 32,52$ kN.

Zachowanie się jednego z połączeń w modelu jak na rys. 1., podczas 5. kolejnych obciążeń pulsujących w zakresie od 0 kN lub 2,5 kN do $F = 27,5$ kN, ilustrują wykresy na rys.2.



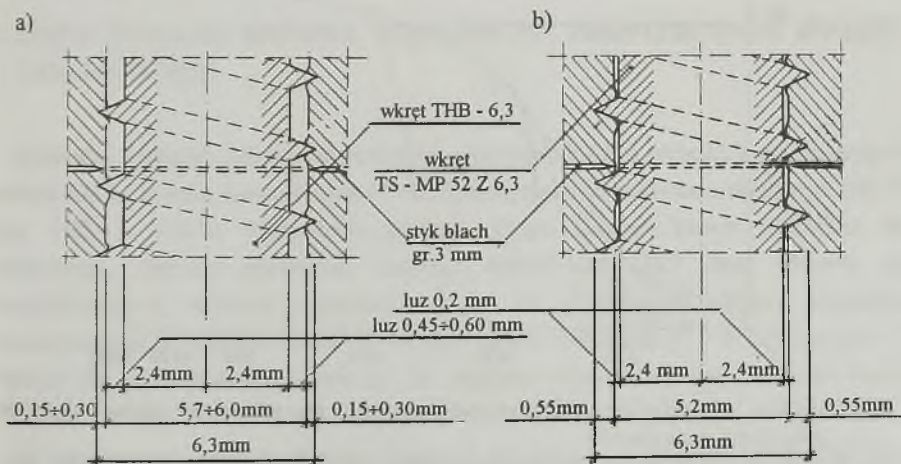
Rys.2. Wykres zależności obciążenie - przemieszczenie dla połączenia jak na rys. 1

Fig.2. Diagram of the dependency loading-displacement for the connection as in Fig. 1

Z rysunku tego wynika, że: podczas 1. obciążenia (krzywa 1) "wyzwoliły się" przemieszczenia trwałe rzędu 0,5 mm, wskutek występowania luzów pomiędzy gwintowanymi trzpieniami wkrętów a ściankami otworów w blachach (rys.5a); podczas działania następnych obciążeń (krzywe 2+5) przemieszczenia trwałe nadal sukcesywnie narastały, lecz w niewielkim przedziale (0,5+0,6) mm, nie wykazując przy tym stabilizacji; przy realizowaniu 5. obciążenia

na poziomie $F = 27,5$ kN, odpowiadającym wielkości $0,85F_{Rj}$, nie obserwowano jeszcze żadnych wyraźnych zmian w połączeniu, np. w postaci obrotu osi trzpieni wkrętów względem łączonych blach [7], ale już przy wprowadzeniu obciążenia $F = F_{Rj} = 32,5$ kN - po kilku minutach nastąpił spadek siły do wartości $F = 26,5$ kN (przyjęto $F_{Rj} = F_n$); po ponownym zwiększeniu obciążenia do $F = 37,5$ kN nastąpiło zerwanie i ścięcie trzpienia jednego z 4. wkrętów połączenia. Wyniki pomiarów tensometrycznych wskazywały na nierówny rozdział siły na dwie blachy, tj. $0,4F$ i $0,6F$ (blacha bardziej wyężona spowodowała ścięcie wkręta). Stąd siła niszcząca pojedynczy wkręt $F_{in} = 0,6 \cdot 0,5 \cdot F_n = 0,3 \cdot 32,5 = 9,75$ kN, a współczynnik bezpieczeństwa z uwagi na stan graniczny nośności $\gamma = F_{in}/f_d^x = 9,75/8,13 = 1,20$. Ponieważ dla 4. próbek wyciętych z elementów modeli badanych otrzymano $R_{e,min} = 259,5$ MPa, stąd $f_{d,dosw} = R_{e,min}/\gamma_s = 259,5/1,15 = 225,6$ MPa, a wg (1) $f_d^x = 8,53$ kN, przeto doświadczalny współczynnik bezpieczeństwa $\gamma_{dosw} = 9,5/8,53 = 1,14$. (Dla drugiego, podobnego modelu otrzymano: $F_n = 37,5$ kN, $F_{in} = 0,6 \cdot 0,5 \cdot F_n = 0,3 \cdot 37,5 = 11,25$ kN, $\gamma = 11,25/8,13 = 1,38$, $\gamma_{dosw} = 11,25/8,53 = 1,32$).

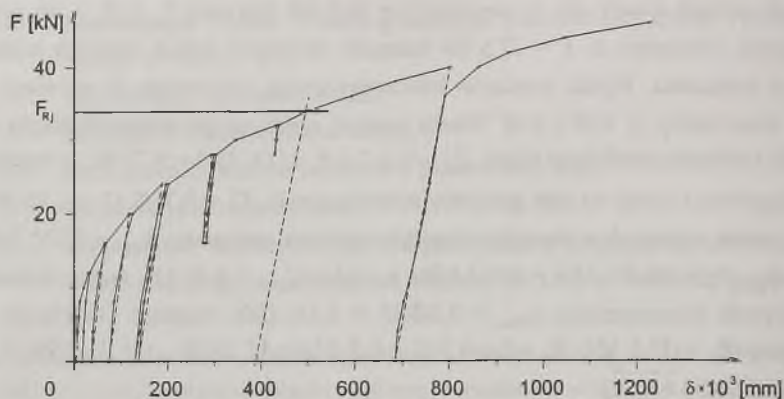
Wzajemne przemieszczenia elementów w połączeniach osiągały wartości rzędu 1,0 mm przy obciążeniach nie przekraczających nośności obliczeniowej F_{Rj} . Względnie duża podatność połączeń była spowodowana brakiem dostatecznego "przylegania" wkrętów do ścianek otworów w łączonych blachach (rys.3a). Podczas zakręcania wiertła grzbiet gwintu o średnicy $\varnothing 6,3$ mm, przy średnicy wiertła wynoszącej $\varnothing 5,7$ mm - częściowo skrawając ściankę otworu i częściowo się w nią wprasowując - wniknął na głębokość zaledwie 0,3 mm. Mając na uwadze,



Rys.3. Ilustracja kontaktu trzpieni wkrętów z materiałem blach łączonych: a - wkręta THB-6,3, b - wkręta TS-MP52Z 6,3

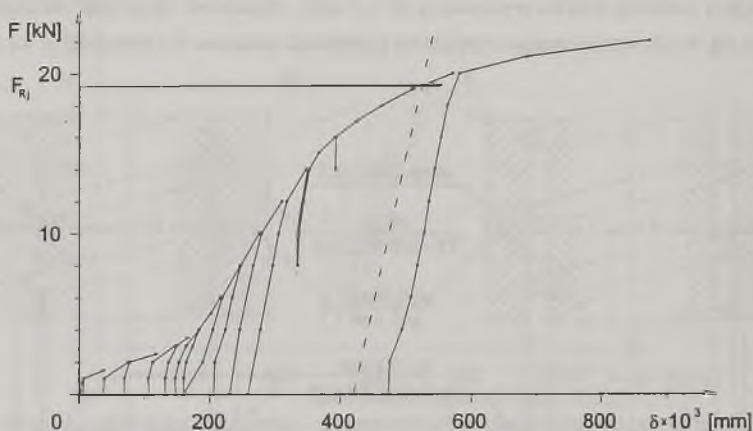
Fig.3. Illustration of the contact of screw rods with the material of connected sheets: a - screw THB-6,3, b - screw TS-MP52Z 6,3

iz wiertło mogło wskutek wibracji i trzepotania się wkręta w końcówce zakrętki wykonać ostatecznie otwór większy, o średnicy rzędu nawet 6,0 mm, to głębokość wnikania w materiał ścianki mogła wynosić tylko 0,15 mm.



Rys.4. Wykres zależności obciążenie - przemieszczenie dla połączenia jak na rys.6b z wkrętami TS-MP52Z 6,3

Fig.4. Diagram of dependency loading-displacement for the connection as in Fig.6b, with screws TS-MP 52Z 6,3



Rys.5. Wykres zależności obciążenie - przemieszczenie dla połączenia jak na rys.6a ze śrubami pasowanymi M6

Fig.5. Diagram of dependency loading-displacement for the connection as in Fig.6a, with fitted bolts M6

Znacznie mniejszą podatnością cechowały się połączenia na wkręty samogwintujące HILTI typu TS-MP52Z 6,3 [6], których wykonywanie, z technologicznego punktu widzenia, jest

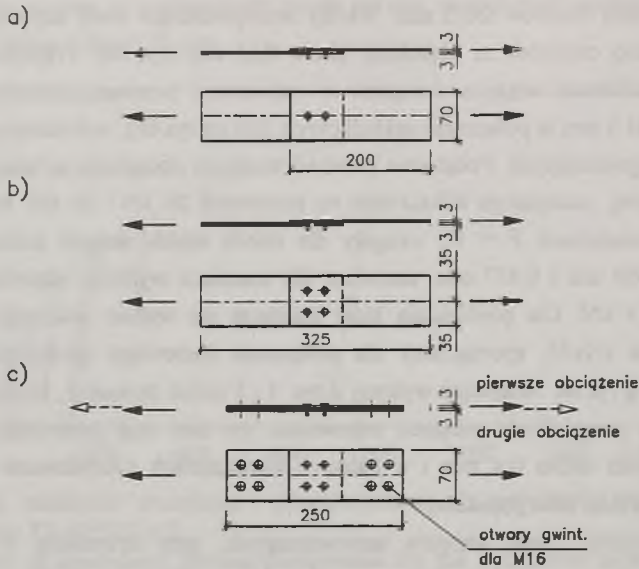
bardziej pracochłonne niż na wkręty samowierzące, ponieważ ich osadzenie w blachach wymaga wiercenia otworów $\varnothing 5,2$ mm. Wkręty samogwintujące miały zapewnione wnikanie gwintu w ścianki otworów na głębokość około 0,55 mm (rys.3b). Przykładowo na rys.4 zilustrowano zależność wiążącą obciążenie z wzajemnymi przemieszczeniami rozciąganych blach o grubości 3 mm w połączeniu zakładkowym (jak na rys.6b), wykonanym za pomocą 4. wkrętów samogwintujących. Połączenie poddano działaniu obciążenia narastającego od zera do siły niszczącej, pulsującego kilkakrotnie na poziomach 24 kN i 28 kN. Przemieszczenia blach przy obciążeniach $F = F_{Rj}$ osiągały dla trzech takich samych połączeń wartości: 0,321 mm, 0,569 mm i 0,437 mm, natomiast siły niszczące wynosiły odpowiednio: 51 kN, 51,5 kN i 54,5 kN. Dla porównania niżej przytacza się wykres zależności obciążenie - przemieszczenie (rys.5), sporządzony dla połączenia śrubowego (śruby pasowane M6), wykonanego wg rys.6a. Analizując wykresy z rys. 4 i 5 łatwo zauważyć, że obciążeniom $F = F_{Rj}$ w obydwu przypadkach połączeń odpowiadał ten sam rząd przemieszczeń trwałych, sięgający wartości około 0,4 mm i w dalszych rozważaniach zdecydowano się przeto na przyjęcie tej wartości jako granicznej.

Aby wykorzystać zalety wkrętów samowierzących, przy utrzymaniu w połączeniach przemieszczeń granicznych $\delta_{L_{gr}} = 0,4$ mm, wydawało się celowe zmodyfikowanie kształtu końcówek wkrętów polegające na zmniejszeniu ich średnic[9].

3. DOŚWIADCZALNE BADANIA POŁĄCZEŃ NA ZMODYFIKOWANE WKRETY SAMOWIERZĄCE

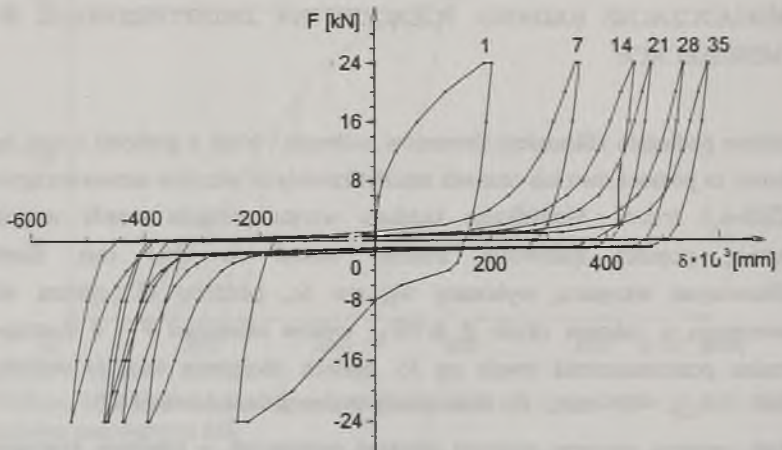
Badaniom podlegało kilkanaście elementów próbnych - blach o grubości 3 mm, łączonych zakładkowo za pomocą dwu lub czterech zmodyfikowanych wkrętów samowierzących HILTI typu THB-6,3 (rys.6). Modyfikacja każdego wkręta polegała przede wszystkim na zmniejszeniu, poprzez spiłowanie, średnicy wiertła do $\varnothing 5,1$ mm. Element ze zmodyfikowanymi wkrętami, wykonany wg rys. 6c, poddano 35. cyklom obciążenia naprzemiennego w zakresie około $\pm 0.75F_{Rj}$; wykres zależności $F - d$ ilustruje rys. 7. Maksymalne przemieszczenia trwałe po 35. cyklach obciążenia osiągały wartości około $|0,5|$ mm $> \delta_{L_{gr}} = 0,4$ mm, i nie wykazywały tendencji do stabilizacji[10].

W celu ustalenia najpierw poziomu obciążeń pulsujących, a następnie naprzemiennych, którym odpowiadałaby stabilizacja przemieszczeń w połączeniach, przebadano 4 takie same elementy próbne (rys.6b) poddając je 58. cyklom obciążenia pulsującego (28. cykłem na poziomie $F = 16$ kN oraz po 15 cykli na poziomach 20 kN i 21 kN), a następnie 3 elementy (rys.6c) poddając je 45. cykłem obciążenia naprzemiennego (10. cykłem na poziomie ± 8 kN,



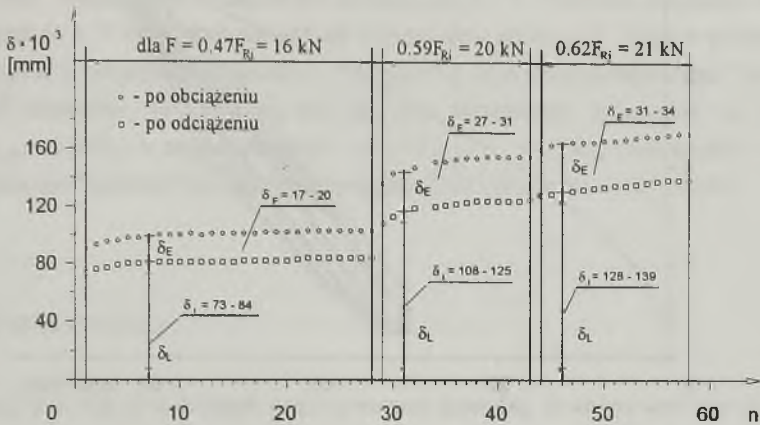
Rys.6. Modele badanych połączeń zakładkowych: a,b - dla obciążeń pulsujących, c- dla obciążeń naprzemiennych

Fig.6. Models of tested lap connections: a,b - for pulsating loading, c - for alternate loading



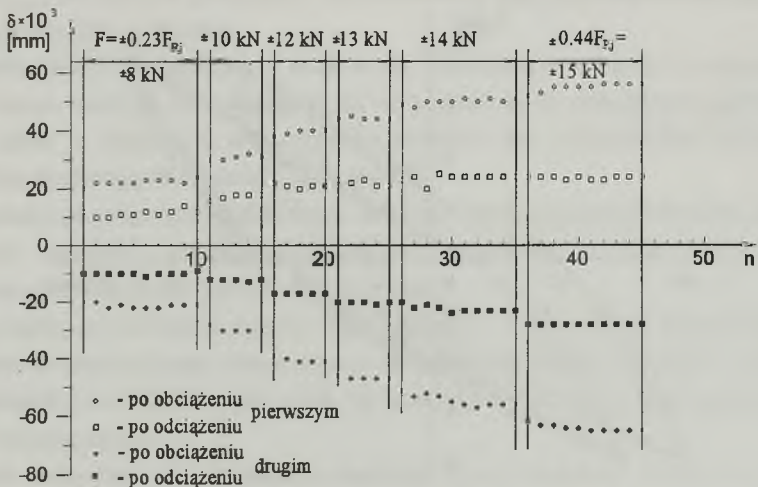
Rys.7. Wykres zależności naprężenie- obciążenie - przemieszczenie dla połączenia jak na rys. 6c ze zmodyfikowanymi wkrętami THB-6,3

Fig.7. Diagram of dependency alternate loading-displacement for the connection as in Fig. 6c, with modified screws THB-6,3



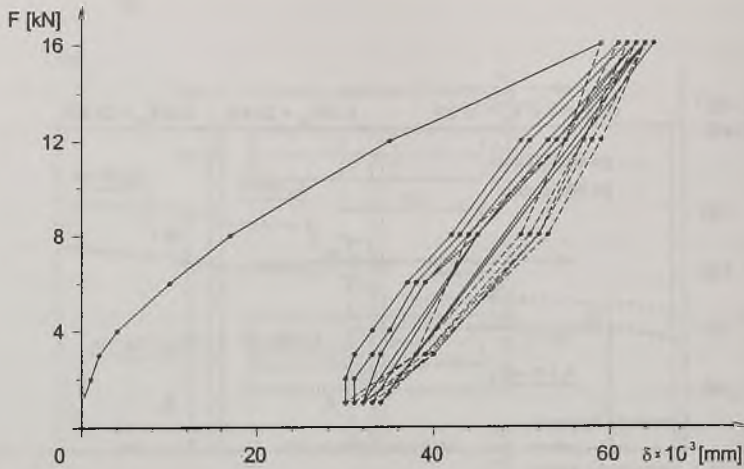
Rys.8. Związek między liczbą cykli n obciążeń pulsujących i przemieszczeniami δ dla połączenia jak na rys. 6b ze zmodyfikowanymi wkrętami THB-6,3

Fig.8. Relationship between the number of cycles n of the pulsating loading and displacements δ , for the connection as in Fig. 6b, with modified screws THB-6,3



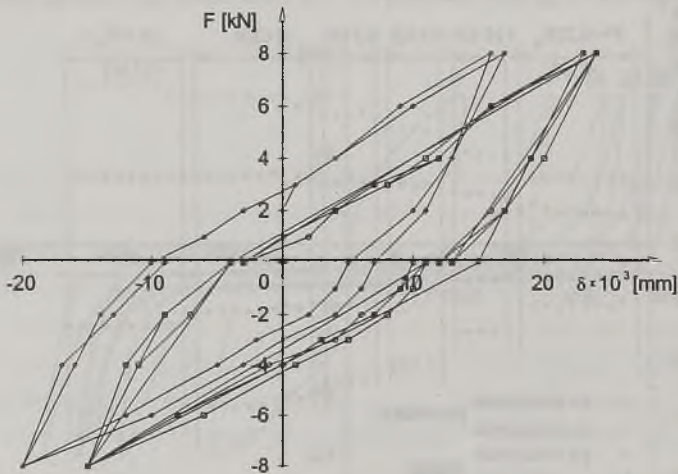
Rys.9. Związek między liczbą cykli n obciążeń naprzemiennych i przemieszczeniami δ dla połączenia jak na rys. 6c ze zmodyfikowanymi wkrętami THB-6,3

Fig.9. Relationship between the number of cycles n of the alternate loading and displacements δ , for the connection as in Fig. 6c, with modified screws THB-6,3



Rys.10. Wykres zależności obciążenie - przemieszczenie dla 9. cykli obciążenia pulsującego w połączeniu jak na rys.8

Fig.10. Diagram of dependency loading-displacement for 9 cycles of pulsating loading, for the connection as in Fig.8



Rys.11. Wykres zależności obciążenie - przemieszczenie dla 7. cykli obciążenia naprzemiennego w połączeniu jak na rys.9

Fig.11. Diagram of dependency loading-displacement for 7 cycles of alternate loading, for the connection as in Fig.9

po 5 cykli na poziomach ± 10 kN, ± 12 kN, ± 13 kN oraz po 10 cykli na poziomach ± 14 kN} i ± 15 kN). Przykładowe wyniki badań ilustrują rys. 8 i 9. Charakter zależności $F - \delta$ dla pierwszych 9. i 7. cykli obciążeń opisują odpowiednio rys.10 i 11. Pomiar przemieszczeń całkowitych, tj. sprężystych δ_E łącznie z "luzowymi" δ_L oraz tylko przemieszczeń "luzowych", pozwolił stwierdzić, że stabilizują się one przy obciążeniach pulsujących na poziomie $F = F_{Rj,zred} = 0.59F_{Rj}$ i naprzemiennych - $F = F_{Rj,zred} = \pm 0,44F_{Rj}$. Maksymalne wartości przemieszczeń "luzowych" δ_L sięgały odpowiednio: 0,125 mm oraz $\pm 0,025$ mm[6].

4. PODSUMOWANIE

Wyniki doświadczalnych badań rozpoznawczych dowodzą, iż wkręty samowierzące HILTI typu THB-6,3 nie powinny stanowić łączników nośnych w połączeniach, głównie z powodu występowania nadmiernych wzajemnych przemieszczeń elementów łączonych, sięgających 1,0 mm i braku stabilizacji przemieszczeń przy obciążeniach cyklicznych.

Przytoczone wyniki badań nośności połączeń zakładkowych, wykonanych za pomocą zmodyfikowanych wkrętów typu THB-6,3, pozwoliły wyznaczyć wartości zredukowanych nośności $F_{Rj,zred}$ dla obciążeń pulsujących i naprzemiennych, przy zagwarantowaniu sprężystej współpracy łączników z blachami.

Badania dostarczyły informacji o wielkościach przemieszczeń trwałych w połączeniu o jednym stopniu swobody luzu, mogących stanowić podstawę do wyznaczania granicznych wartości luzów w układach o wielu stopniach swobody, przy wykorzystaniu równań dla powierzchni granicznej przemieszczeń "luzowych"[8].

Zachowanie się połączenia zakładkowego na wkręty współpracującego z blachami opisuje model ciała sprężysto - plastycznego z liniowym wzmocnieniem, gdzie z obciążeniem związane są przemieszczenia "luzowe" - δ_L i sprężyste - δ_E .

Dla uzyskania możliwości łączenia blach grubszych niż użytych w doświadczeniu i zwiększenia nośności połączeń celowa wydaje się dalsza modyfikacja łączników - wkrętów samowierzących na drodze pewnych zmian ich kształtu i wymiarów, co zaproponowano w projekcie wynalazczym[9].

Przed praktycznym wykorzystaniem rezultatów badań należałoby jeszcze ich wyniki zweryfikować doświadczalnie na konstrukcji wykonanej w skali naturalnej, zaprojektowanej z profili giętych na zimno, a następnie porównać je z wynikami teoretycznymi uzyskanymi z rozwiązania analitycznego[10].

LITERATURA

- [1] Bródka J. i inni: Obliczanie i projektowanie konstrukcji z rur prostokątnych. Zeszyty Problemowe "Mostostal", Warszawa 1977.
- [2] Bródka J., Czechowski A.: Tymczasowe wytyczne obliczania i projektowania konstrukcji z rur prostokątnych. Praca COBPKM "Mostostal", Zeszyt 5, Warszawa 1975.
- [3] PN-90/B-03200. Konstrukcje stalowe. Obliczenia statyczne i projektowanie.
- [4] Birjulew W. W. i inni: Projektowanie i wykonanie konstrukcji stalowych. Strojizdat, Leningrad 1990.
- [5] Stepiński Z.: Rok stali. Murator, nr 4/94.
- [6] Wuwer W.: Badania połączeń konstrukcyjnych profili zinnogiętych z uwzględnieniem obciążeń długotrwałych. Prace BK-567/RB-2/92/93 - Sprawozdanie przejściowe (1992) i końcowe (1993), Politechnika Śląska, Instytut Konstrukcji Budowlanych, Gliwice 1993 (prace nie publikowane)
- [7] BN - projekt normy. Konstrukcje stalowe. Połączenia blach i kształtowników cienkich, 1987.
- [8] Gawęcki A.: Sprężysto - plastyczne konstrukcje prętowe z luzami. Rozprawy nr 185, Politechnika Poznańska, Poznań 1987.
- [9] Wuwer W.: Wkręt łączeniowy, zwłaszcza elementów stalowych. Projekt wynalazczy P 304730, Urząd Patentowy RP, 1994.
- [10] Wuwer W.: Połączenia zakładkowe na wkręty z uwzględnieniem luzów. Dziewiąta Międzynarodowa Konferencja "Konstrukcje metalowe", Kraków 1995.

Recenzent: Prof. zw. dr hab. inż. Jan Kubik

Wpłynęło do Redakcji 5.06.1995 r.

Abstract

The paper presents findings of introductory testing of connections made with: self-drilling screws of HILTI type THB-6,3 (Fig. 1), self-tapping screws type TS-MP 52Z 6,3 (Fig. 6b) and with fitted bolts M6 (Fig. 6a). The findings of the testing were illustrated with respective diagrams as shown in Figures 2, 4, and 5, demonstrating the relationship between mutual displacements δ of the connected elements and tensile loading F .

Due to technological advantages of self-drilling screws, they were applied in further testing of lap connections (Fig. 6), but the connections were made using modified screws HILTI THB-6,3 (reduction of the diameters of screw ends from 5,7mm to 5,1mm) ensuring appropriate adhesion between the screw rod and hole wall of the connected sheets. The measurements made with dial indicators 0.001mm made it possible to state that total displacements in tested connections, i.e. elastic δ_E together with "clearance" δ_L , and also "clearance" displacements taken separately, stabilize for a specified number of cycles n and

under pulsating loadings which reach the level $F_{Rj,red} = 0.59F_{Rj}$ and alternate ones - $F_{Rj,red} = \pm 0.44F_{Rj}$ (Fig. 8 and 9), where F_{Rj} denotes calculation pressure load capacity of the connection.

When the connection model made acc. Fig. 6c is subjected to 35 cycles of alternate loading within the range $\pm 0.75F_{Rj}$, the stabilization of mutual displacements of stretched elements is not attained (Fig. 7).