

# Trwałość połączeń kształtowych określona doświadczalnie i symulacją komputerową

Persistence of the shaped connections determined experimentally and by computer simulation

KRZYSZTOF TUBIELEWICZ  
KRZYSZTOF TURCZYŃSKI  
HUBERT MICHALCZUK  
IRENEUSZ PIOTR CHMIELIK \*

Materiały z XX SKWPIE, Jurata 2016 r.  
DOI: 10.17814/mechanik.2016.7.205

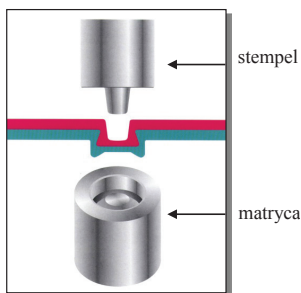
Przedstawiono przykładowe podejście do określenia odporności na wrywanie nierozłącznych połączeń formowanych na drodze odkształceń plastycznych. Porównano trwałość pojedynczych połączeń plastycznych na drodze doświadczalnej i określonej symulacją komputerową metodą elementów skończonych w procesie niszczenia przez wrywanie.

**SŁOWA KLUCZOWE:** połączenia prasowane, trwałość przy wrywaniu

*This summary presents examples of the approach to the determination of resistance to pulling out of inseparable connections formed in the way of plastic deformation. In the process of destruction by pulling out was compared the persistence of the plastic single connections determined experimentally and defined by computer simulation using finite elements method.*

**KEYWORDS:** pressed connections, pulling out persistence.

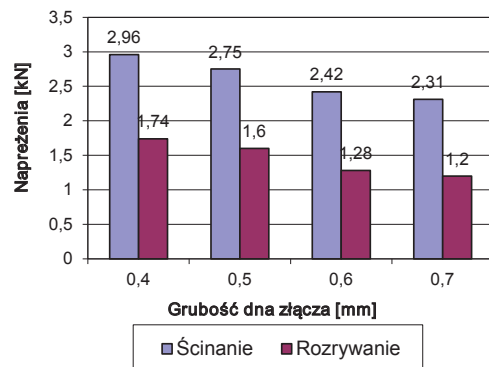
Jak przedstawiono i opisano w pracy [1] połączenia kształtowe powstają w wyniku działania sił powodujących występowanie pól naprężeń o wartościach przekraczających granicę plastyczności, czego skutkiem jest powstanie pól odkształceń trwałych powodujących odkształcenie ścianek w strefie przetłaczania. Schemat prasowania złącza kształtowego przedstawiono na rys. 1 [2].



Rys. 1. Schemat prasowania złącza kształtowego [2]

Stwierdzono, że im mniejsza jest grubość dna złącza, tym wytrzymałość złącza jest wyższa, przy czym należy pamiętać o pewnych granicach, po przekroczeniu których materiał łączony wskutek zbyt dużych sił prasowania podlega nadmiernemu pocienieniu i wówczas wytrzymałość złącza maleje [1]. Zależność wytrzymałości i przyrostu siły niszczącej od grubości dna złącza dla różnych przypadków odkształcenia niszczonego przedstawiono na rys. 2. Badanie to wykonano na blachach o grubości  $g = 2,0$  mm wykonanych ze stali gatunku St 1203.

\* Prof. dr hab. inż. Krzysztof Tubielewicz (krzysztoftubielewicz@op.pl) – Akademia Humanistyczno-Ekonomiczna w Łodzi; dr inż. Krzysztof Turczyński (kturczynski@komag.eu) – Instytut Techniki Górniczej „KOMAG” w Gliwicach; mgr inż. Hubert Michalczuk (hubertmichalczuk@poczta.onet.pl) – Politechnika Częstochowska, Instytut Technologii Mechanicznych; dr inż. Ireneusz Piotr Chmielik (p.chmielik@taylor-hobson.pl) – Taylor Hobson Polska



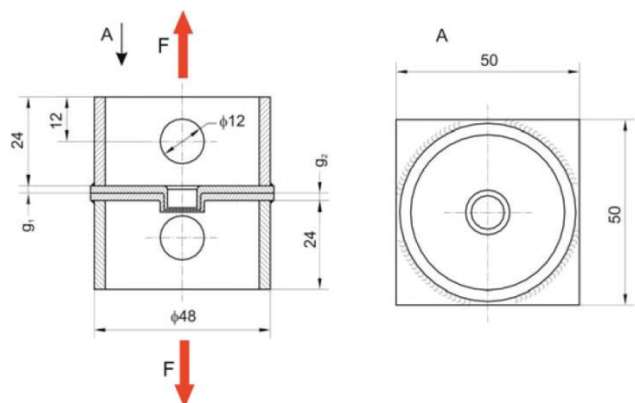
Rys. 2. Zależność naprężeń od grubości dna złącza (złącze o średnicy 8,0 mm) [3]

Badania wykazały, że wytrzymałość złącza kształtowanego prasowaniem, określona siłami ścinającymi i zrywającymi, jest porównywalna z wytrzymałością połączenia zgrzewanego lub spawanego punktowo.

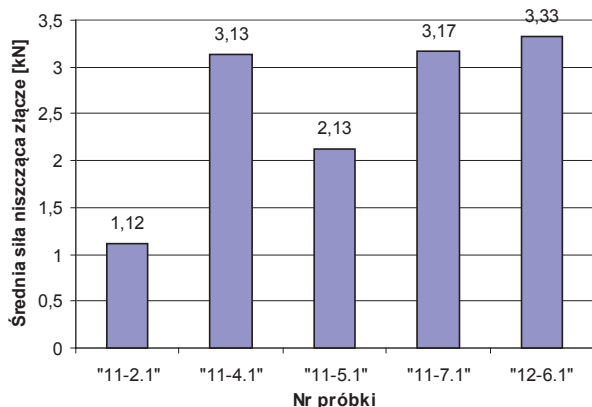
## Analiza trwałości połączeń

O ile w pracy [4] dokonano opisu badań obciążeń przy rozciąganiu, to poniżej przedstawiono badania wytrzymałościowe złącz kształtowych na zrywanie na próbkach pokazanych na rys. 3.

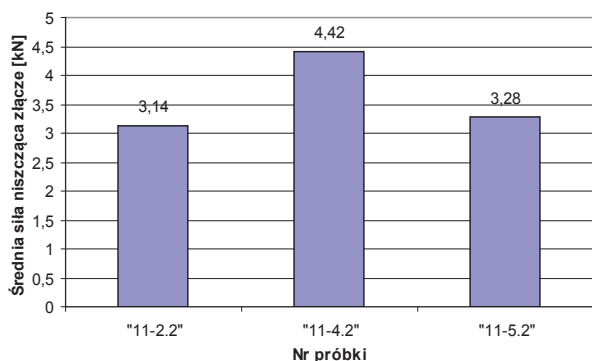
W badaniach doświadczalnych złącze pod wpływem obciążenia ulega zniszczeniu przez wrywanie jednej części ukształtowanego złącza z drugiej jego części. Przykładowe wyniki badań doświadczalnych przedstawiono na rys. 4 i 5. Badania doświadczalne przeprowadzone w tej serii wykazały konieczność właściwego dopasowania parametrów łączenia, głównie średnicy matrycy i stempla oraz głębokości włączania.



Rys. 3. Próbkę do badań wytrzymałościowych na wrywanie złącz pojedynczych



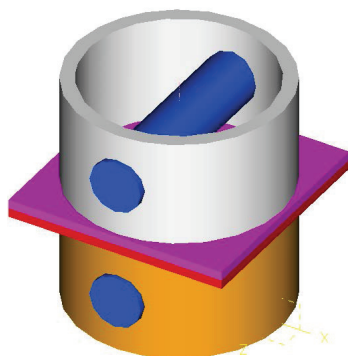
Rys. 4. Siły wrywające złącze pojedyncze z blach surowo czarnych o grubości 1,5 mm



Rys. 5. Siły wrywające złącze pojedyncze z blach surowo – czarnych (od strony stempła o grubości 1,5 mm, od strony matrycy o grubości 2,0 mm)

Właściwego doboru tych wielkości dla danej konstrukcji połączenia można dokonać na podstawie analizy badań wytrzymałości na ścinanie [1, 4] i wrywanie [5].

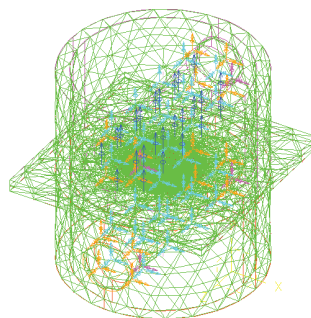
Badanie symulacyjne obciążeń przy wrywaniu przeprowadzono na próbkach o kształcie przedstawionym na rys. 3 z zastosowaniem systemu „I-DEAS-Master Series”. Wyniki modelowania przedstawione są w postaci map i pól przemieszczeń oraz naprężeń. Przyjęto mechanizm obciążenia próbek podobny jak w badaniach doświadczalnych, przy czym zamocowanie zrealizowano przez odebranie wszystkich stopni swobody dzięki wprowadzeniu dodatkowego sworznia osadzonego w tulei dolnej, a do drugiej części przyłożono siłę prostopadłą do powierzchni blachy. Rys. 6 przedstawia widok ogólny złącza, które obciążono siłą 500 N. Efektem przeprowadzonej symulacji metodą elementów skończonych było uzyskanie map przemieszczeń i naprężeń.



Rys. 6. Ogólny widok modelu złącza

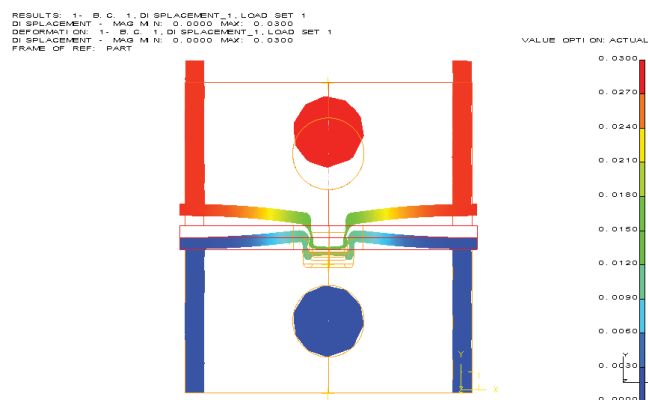
W celu sprawdzenia wytrzymałości połączenia na wrywanie, podobnie jak w badaniach doświadczalnych, postanowiono dokonać wizualizacji, zaprojektowanego modelowego złącza zgodnie z rys. 3. Przyjęto mechanizm obciążenia próbek podobny jak w badaniach doświadczalnych (stanowiskowych).

Zaznaczając płaszczyznę górnego sworznia, a następnie przykładając do niej siłę odpowiednio ukierunkowaną, system pokaże model utwierdzony i obciążony. Następnie na model nałożono siatkę elementów skończonych (rys. 7) pamiętając o jego podziale na partycje, co umożliwi miejscowe zagęszczenie siatki.



Rys. 7. Model złącza pokryty siatką

Pole odkształceń przedstawiono na rys. 8.



Rys. 8. Pole odkształceń

Dokładny opis przebiegu symulacji i porównanie ich z badaniami doświadczalnymi przedstawiono w pracy [1].

## Podsumowanie

Analizując wyniki badań, których niewielki fragment przedstawiono w tym artykule, można stwierdzić, że symulacje komputerowe przeprowadzone metodą elementów skończonych pozwalają na prześledzenie mechanizmów powstawania i rozkładu odkształceń i naprężeń podczas próby niszczenia przez wrywanie elementów połączenia. Podczas kształtowania złącza głębokość zalegających naprężeń zależy od geometrii stempła i matrycy, jak również od głębokości tłoczenia. Z porównania badań doświadczalnych i symulacyjnych komputerowych, można wyciągnąć wniosek, że w niektórych przypadkach da się zastąpić uciążliwe, pracochłonne oraz wymagające konstrukcji specjalnych stanowisk doświadczenia symulacją komputerową.

## LITERATURA

1. Tubielewicz K., Turczyński K. „Formowanie połączeń blach prasowaniem na zimno”. Monografia CMG KOMAG, Gliwice 2008, s. 111.
2. Prospekty firmy BTM: Tog-L-Loe, 1997.
3. Liebig H.P., Bober J., Jakobson J. „Eine nevEntwielung im Bereich des umfotmtechnischen Fugens”. *Blech Rochle Profile* 42, 2, 1995.
4. Tubielewicz K., Turczyński K., Michalczuk H., Chmielnik T.P. „Wspomaganie projektowania połączeń prasowanych symulacją komputerową”. *Materiały XIX Międzynarodowej Szkoły komputerowego wspomaganie projektowania, wytwarzania i eksploatacji*. Jurata 11+15.05.2015. Wyd. WAT Warszawa 2015 tom 2, s. 415+426.
5. Tubielewicz K., Turczyński K., Tubielewicz M. „Wskaźniki wytrzymałościowe połączeń kształtowych prasowanych na zimno”. *Technologia i Automatykacja Montażu*, nr 3 i 4/2004.