

Prof. dr hab. inż. Krzysztof TUBIELEWICZ

DOI: 10.17814/mechanik.2015.7.310

Wyższa Szkoła Inżynierii Dentystycznej i Nauk Humanistycznych w Ustroniu

Katedra Podstaw Konstrukcji Protetycznych

Dr inż. Krzysztof TURCZYŃSKI

Instytut Mechanizacji Górnictwa KOMAG Gliwice

Mgr inż. Hubert MICHALCZUK

Politechnika Częstochowska, Instytut Technologii Mechanicznych

P. P. U. MAG-RYŚ Rędziny – nowoczesna narzędziownia

Dr inż. Ireneusz Piotr CHMIELIK

Taylor Hobson Polska, Warszawa

WSPOMAGANIE PROJEKTOWANIA POŁĄCZEŃ PRASOWANYCH SYMULACJĄ KOMPUTEROWĄ

Streszczenie: Przedstawiono nowe rozwiązanie połączeń nierozłącznych kształtowanych plastycznie metodą tłoczenia. Porównano naprężenia oraz odkształcenia na drodze symulacji komputerowej połączeń wykonanych w blachach cienkich dwu wariantów konstrukcyjnych. Połączenia pojedyncze wykonane w blachach poddano modelowaniu w warunkach próby rozciągania.

DESIGN SUPPORT CALL COMPUTER SIMULATION PRESSED

Abstract: The paper presents a new solution of connections disconnected plastically shaped by embossing. Stress and strain were compared by means of computer simulation for calls made in two thin sheets of structural variants. Connections made in single sheets treated under the conditions of modeling the tensile test.

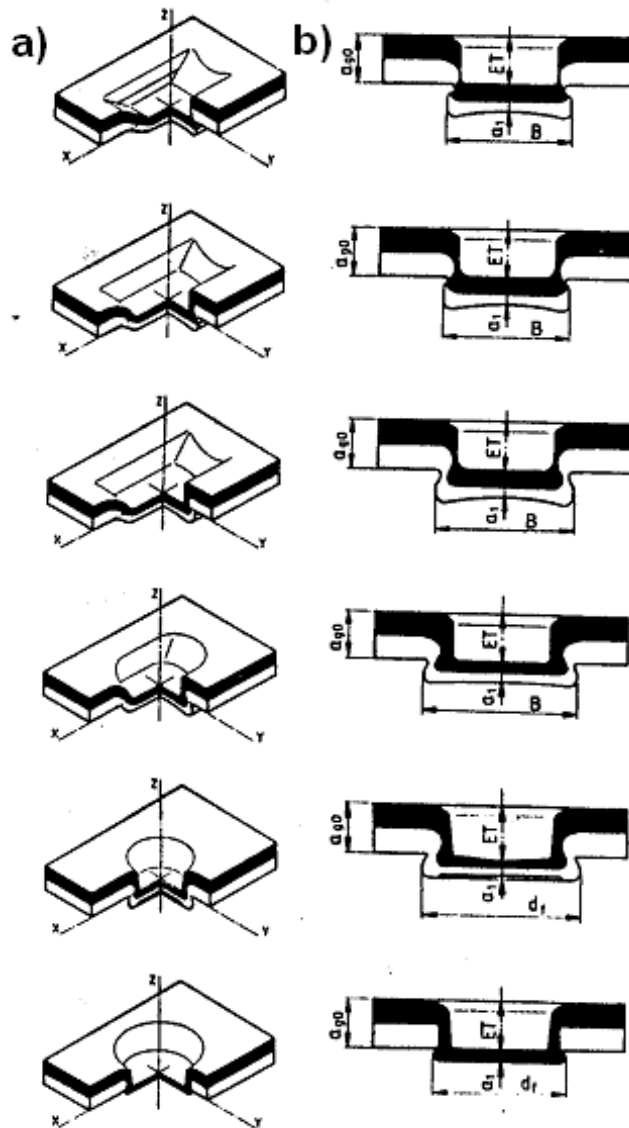
Słowa kluczowe: połączenia prasowane, symulacje komputerowe
Keywords: pressed connections, computer simulations

1. WPROWADZENIE

W stosowanych rozwiązaniach technologicznych i konstrukcyjnych maszyn dominują połączenia nierozłączne spawane, natomiast elementy korpusowe nieprzemieszczające się względem siebie mocowane są najczęściej za pośrednictwem połączeń śrubowych. Rozwój technologii obróbki plastycznej daje nowe możliwości wykorzystania tworzywa konstrukcyjnego, głównie umożliwia uzyskanie połączenia z materiału rodzimego bez wprowadzania procesów cieplnych. Połączenia prasowane kształtowane są w wyniku działania sił wywołujących powstawanie w materiale pól naprężeń o wartości przekraczającej granicę plastyczności, skutkiem czego zachodzi proces wywołania trwałych odkształceń materiału rodzimego wykorzystywanych jako „zamek” połączenia nierozłączonego.

Do najczęściej stosowanych sposobów łączenia można zaliczyć (rys. 1): łączenie blach przez miejscowe nacięcie, wytłoczenie i prasowanie za pomocą odpowiedniego stempla i uchylnej

matrycy (rys. 1a) oraz łączenie blach przez miejscowe tłoczenie i prasowanie na zimno za pomocą stempła i matrycy (rys. 1b).

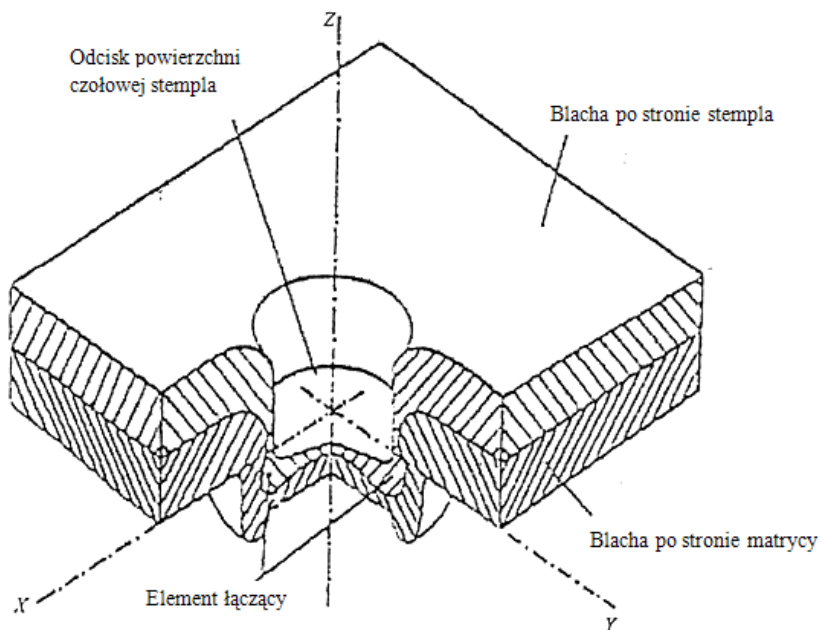


Rys. 1. Typy połączenia blacha–blacha wykonane za pomocą miejscowego odkształcenia:
 (ET – wielkość wtłoczenia, a_{90} – grubość łącznych blach, a_1 – grubość dna złącza, B – wielkość złącza, d_f – średnica złącza [1, 2])

Połączenia pierwszego typu ze względu na sposób ich powstawania oraz stosowane narzędzia charakteryzują się większą lub mniejszą szczelnością, miejscowym naruszeniem łączonych blach i powłok ochronnych oraz różną wytrzymałością w kierunkach obciążenia połączenia. Narzędzia do wykonywania połączeń tego typu są złożone konstrukcyjnie i drogie.

Połączenia wykonane drugim sposobem, tzn. przez miejscowe prasowanie i tłoczenie na zimno, charakteryzują się pełną szczelnością, prostą konstrukcją narzędzi oraz łatwą technologią wykonania [3]. Ten sposób łączenia blach i części wykonywanych o łącznej grubości ścianek 0,5÷11 mm stosowany jest dla materiałów stalowych, stopów metali nieżelaznych wykonywanych zarówno bez powłok ochronnych, jak i z powłokami [4].

Sposób łączenia przez kształtowanie okrągłych lub owalnych wgłębień umożliwia uzyskanie złącza na drodze jednostajnego przesuwu stempla względem nieruchomej matrycy. Otrzymane w ten sposób połączenie blach jest nie tylko nierozłączne, ale całkowicie szczelne. Złącze to ma kształt miseczkowego wgłębienia (rys. 2) powstałego pod naciskiem stempla oraz wypukłości, która powstaje w wyniku wtłoczenia materiału do odpowiednio zaprofilowanej kształtowej matrycy [7].



Rys. 2. Przekrój łączonych elementów [5, 7]

Tym sposobem podczas jednej operacji można wykonać pojedyncze złącze lub szereg złącz, na drodze zastosowania odpowiedniej liczby narzędzi (matryc i stempli) połączonych w całość w postaci np. wytłocznika bębnowego [6]. Złącze w kształcie okrągłym ma przewagę nad kształtowym (rys. 3), gdyż umożliwia przenoszenie większych sił ścinających niezależnie od kierunku ich działania. Podczas wykonywania złącza stempel powoduje stopniowe przemieszczanie materiału blach przylegających do narzędzia i kształtowanie zagłębienia odwzorowującego kształt matrycy, co powoduje odkształcenie materiału obu łączonych blach.

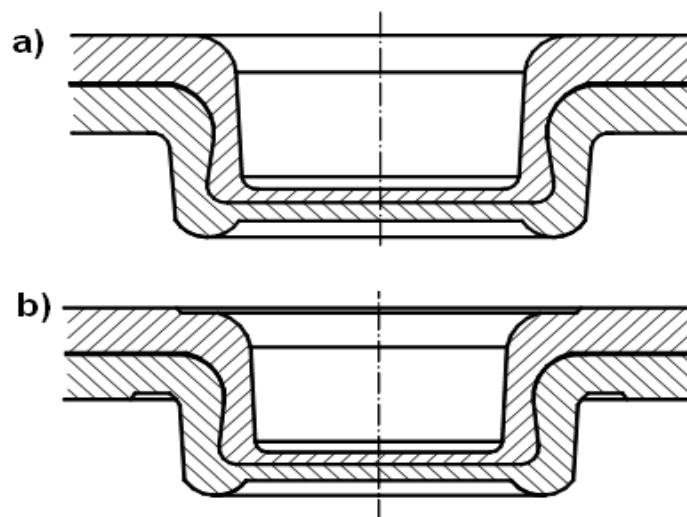


Rys. 3. Przykłady połączeń wykonanych metodą kształtową [8]

W końcowej fazie kształtowania następuje spęczenie materiału, który zaczyna płynąć promieniowo w dnie miseczki między powierzchniami stempla i matrycy. Wypełnienie wykroju matrycy następuje kosztem pocienienia ścianek bocznych i dna złącza. Materiał wypełnia szczelinę pierścieniową matrycy, co jest początkiem powstania tzw. „zamka” złącza. Ostatnią fazą tworzenia złącza jest wywołanie spęczania jego dna, wymuszone promieniowym płynięciem materiału, co powoduje powstanie połączenia nierozłącznego.

2. ANALIZA TRWAŁOŚCI POŁĄCZEŃ OKREŚLONA SYMULACJĄ KOMPUTEROWĄ

Spośród systemów do wirtualnego projektowania elementów maszyn szczególnie korzystnie wyróżnia się program I-DEAS, który jest pakietem w pełni zintegrowanym i obejmuje swoim zakresem działania poszczególne fazy pracy opracowywania nowego wyrobu, począwszy od modelu, aż do zaprojektowania narzędzi niezbędnych do produkcji oraz określania parametrów technologicznych wykonania z wykorzystaniem elementów skończonych. Jedną z wielu zalet tego systemu stanowi pełna integracja (jedna wspólna baza danych dla wszystkich użytkowników) oraz możliwość wprowadzenia zmian z ich jednoznaczną aktualizacją na każdym etapie procesu projektowania, wraz z symulacją procesu użytkowania projektowanej i różnie obciążonej części. Konstrukcję projektowanego elementu można też poddawać analizie pod względem wytrzymałościowym, technologicznym i materiałowym. Program pozwala na obserwację całego elementu lub jego dowolnie wybranego fragmentu przy dowolnym położeniu układu współrzędnych X, Y, Z. Ponadto umożliwia obserwację wszystkich zjawisk zachodzących w modelu elementu wg dowolnego przekroju. W czasie modelowania można modyfikować zarówno przyjętą geometrię elementu, jak i założone warunki brzegowe. Wyniki modelowania przedstawione są w postaci map i pól przemieszczeń oraz naprężeń.

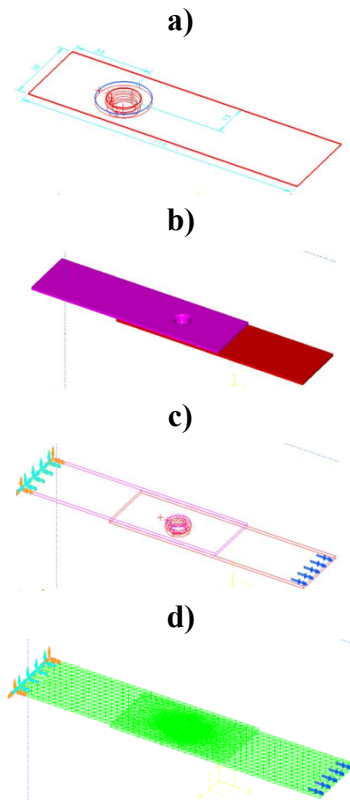


Rys. 4. Kształty połączeń uwzględnione w symulacjach: a) połączenia prasowane zwykłe, b) połączenia prasowane z dodatkowym przetłoczeniem

Symulacji obciążeń poddano dwie odmiany połączeń blach, a mianowicie połączenie prasowane zwykle i połączenie z dodatkową operacją przetłoczenia od strony matrycy i stempla. Przyjęto mechanizm obciążenia próbek taki, że jedna blacha została zamocowana poprzez odebranie jej wszystkich stopni swobody, a do drugiej (dolnej) przyłożono siłę oddziałującą równoległą do jej powierzchni.

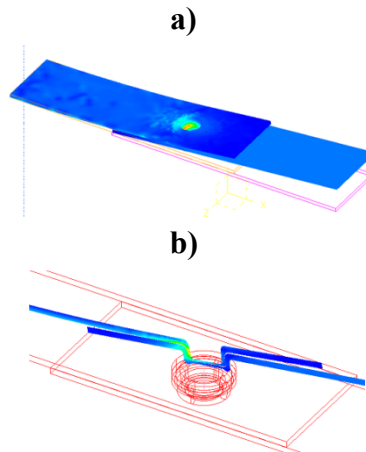
W niniejszym opracowaniu przedstawiono symulację zjawisk zachodzących w złączach pojedynczych. Poszczególne modele przedstawiono w układzie współrzędnych X, Y, Z, poddając wizualizacji zjawiska zachodzące w złączu, rozkład pól naprężeń i odkształceń oraz ich oddziaływanie na konstrukcję złącza.

Rys. 5 przedstawia przyjęty do symulacji model, na który naniesiono siatkę elementów skończonych częściowo zagęszczoną w miejscach, gdzie ścianki modelu mają mniejszą grubość lub występują małe promienie zaokrągleń albo przejść, które istnieją w rzeczywistości.



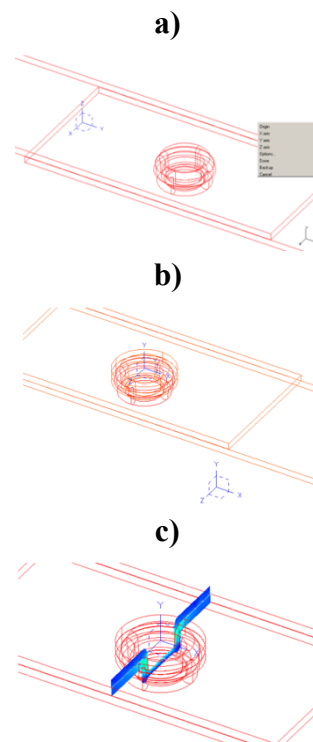
Rys. 5. Model symulacyjny: a) widok izometryczny modelu wraz z wymiarami, b) gotowy model łączenia, c) sposób obciążenia modelu, d) siatka elementów skończonych

Przy wykonaniu obliczeń przez system można również zmieniać jego ustawienie w celu pokazania animacji zjawisk zachodzących w modelu (rys. 6).



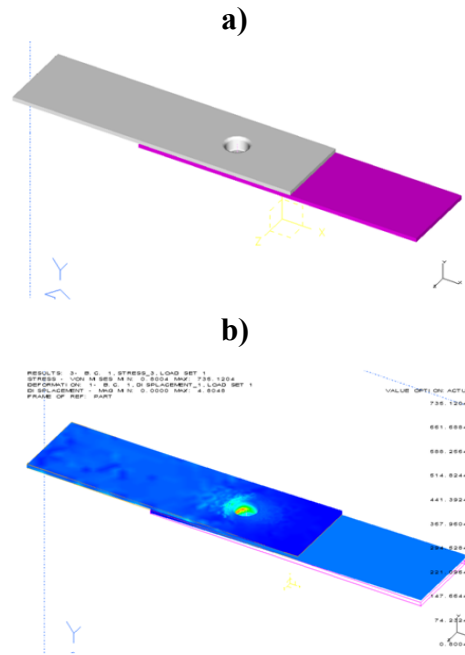
Rys. 6. Widok naprężeń powstałych w obciążonym złączu (a) oraz ich wizualizacji w przekroju wzdłużnym (b)

Badany model można również pokazywać w innych przekrojach oraz tak umieścić układ współrzędnych, aby był on usytuowany centralnie.



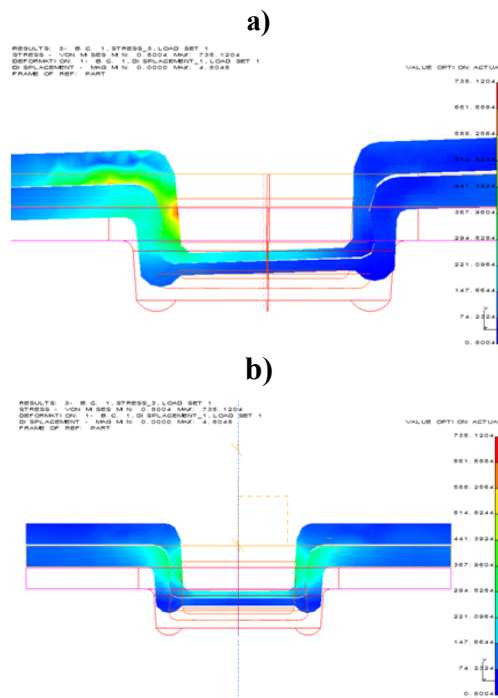
Rys. 7. Możliwości różnych obserwacji modelu: a) model z innym układem współrzędnych, b) centralnie umieszczony układ współrzędnych, c) wizualizacje naprężeń w przekroju poprzecznym złącza

W przypadku złącz prasowanych na zimno, efekty symulacji przedstawiono jako mapy naprężeń w postaci widoku w przekroju wzdłużnym i poprzecznym oraz przemieszczeń występujących podczas prób rozciągania. Ogólny widok złącza z zadaną siłą obciążającą wynoszącą 3953 N przedstawia rys. 8a, a mapę naprężeń wynikowych obrazuje rys. 8b.



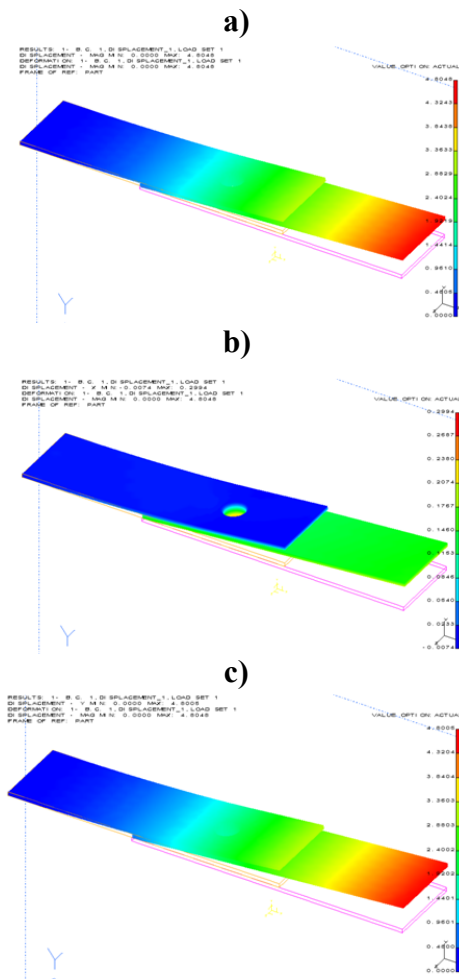
Rys. 8. Widok połączenia (a) oraz mapa naprężeń (b) analizowanego złącza pojedynczego

Przykładowe mapy naprężeń w przekrojach płaszczyznami wzdłuż osi X i Y przedstawia rys. 9.



Rys. 9. Przykładowe mapy naprężeń: przekrój płaszczyzną XY, przekrój płaszczyzną YZ

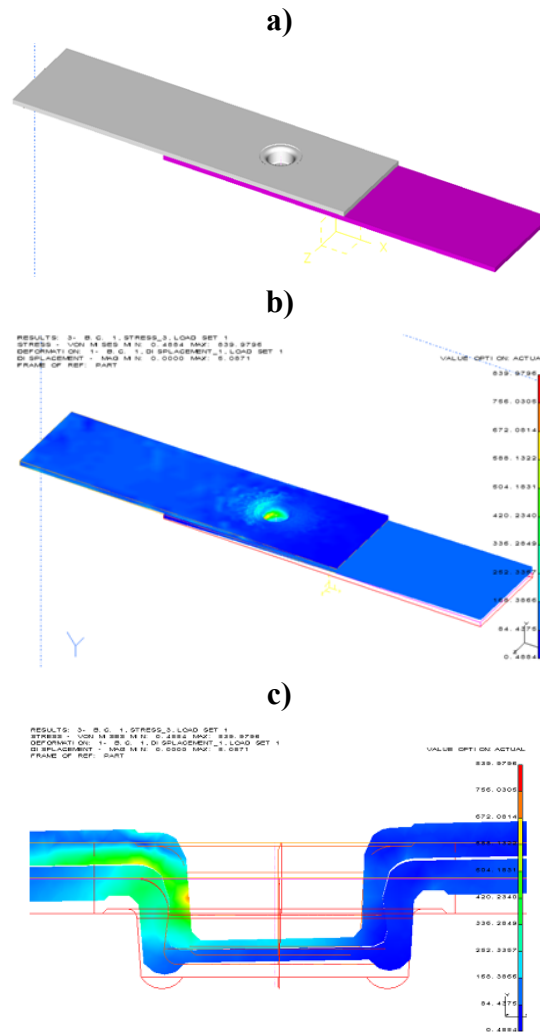
Mapę odkształceń oraz przykładowe pola odkształceń wzdłuż osi X i Y przedstawiono na rys. 10.



Rys. 10. Widok mapy odkształceń (a) oraz pola odkształceń wzdłuż osi X (b) i wzdłuż osi Z (c)

Analiza przypadku symulacji drugiego rodzaju złącza z dodatkowym przetłoczeniem (rys. 4) od strony matrycy i stempla wykazuje nieznaczne zwiększenie grubości ścianek „miseczek”, co obrazuje mapa naprężeń wykonana w przekroju wzdłużnym złącza. Ze względu na stosunkowo niewielkie różnice w wartościach naprężeń osiągniętych w przekroju poprzecznym (widoczne w poprzednich symulacjach), ich wizualizację pominięto. Również wartości odkształceń są zbliżone do odkształceń poprzedniego modelu, więc także je pominięto. Dla możliwości porównania obu rodzajów złącza, w tym przypadku siłę obciążającą przyjęto sumę (5953 N).

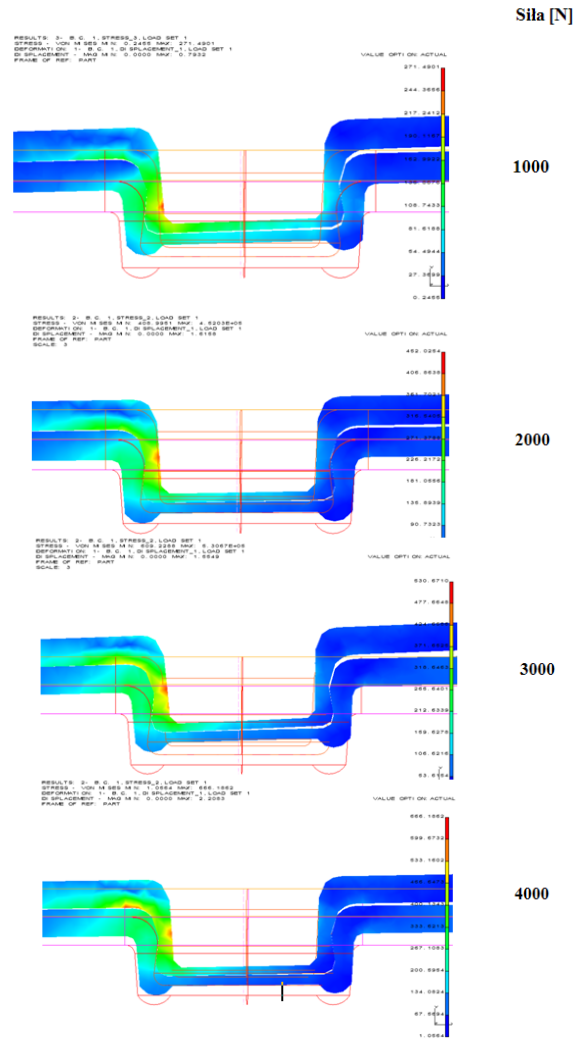
Ogólny widok złącza dla drugiego przypadku przedstawiono na rys. 11a, a na rys. 11b, 11c przykładowe mapy naprężeń.



Rys. 11. Ogólny widok złącza drugiego typu (a), mapa naprężeń po obciążeniu (b), mapa naprężeń w przekroju płaszczyzny XY (c)

Dla bardziej precyzyjnego zobrazowania „mechanizmu pracy” złącza przy jego kształtowaniu przeprowadzono symulację obciążenia złącza prasowanego na zimno siłą stopniowaną co 1000 N.

Poniżej (rys. 12) przedstawiono przykładową wizualizację zmiany naprężeń wynikowych w zależności od narastania siły odkształcającej w przekrojach płaszczyzny wzdłuż osi X, Y.



Rys. 12. Mapy naprężeń rozciągających w przekroju płaszczyzny X, Y przy stopniowaniu siły

Ponieważ oba modele połączeń prasowanych na zimno oznaczone (M1 i M2) obciążone zostały siłą o jednakowej wartości (3953, ON), pozwoliło to na ich wzajemne porównanie. W tabeli 1a przedstawiono wielkość naprężeń.

Tabela 1. Naprężenie wynikowe dla złącz prasowanych na zimno M1 i M2 (a), odkształcenie wynikowe (b)

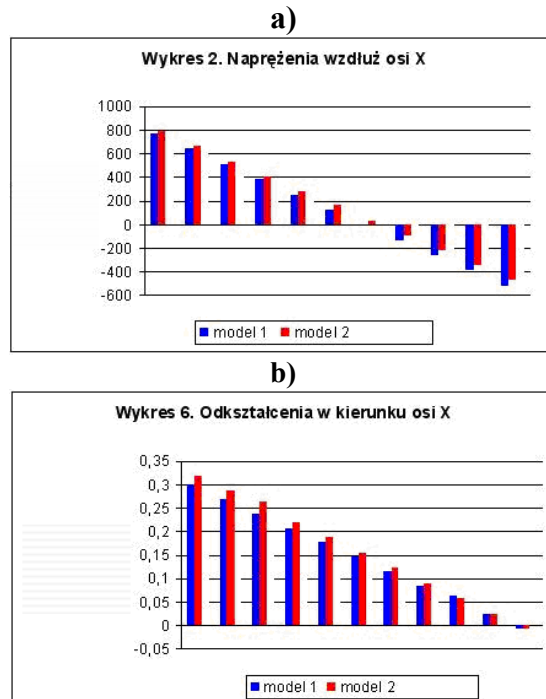
a)

Lp.	Naprężenia wynikowe [MPa]	
	Model M1	Model M2
1	736,1204	839,9796
2	661,6884	756,0306
3	588,2664	672,0614
4	514,8244	588,1322
5	441,3924	504,1831
6	367,9604	420,234
7	294,5284	336,2849
8	221,0954	252,3367
9	147,6644	156,3866
10	74,2324	84,4376
11	0,8004	0,4884

b)

Lp.	Odkształcenia wynikowe [mm]	
	Model M1	Model M2
1	4,8048	5,0871
2	4,3243	4,5784
3	3,8438	4,0697
4	3,3633	3,561
5	2,8829	3,0523
6	2,4024	2,5436
7	1,9219	2,0348
8	1,4414	1,5261
9	0,961	1,10174
10	0,4806	0,5087
11	0	0

Oprócz naprężeń i odkształceń wynikowych określono ich wartości wzdłuż osi X, Y, Z. Przykładowe przebiegi ilustrują wykresy przedstawione na rys. 13.



Rys. 13. Naprężenie wzdłuż osi X (a), odkształcenie w kierunku osi X (b)

Analizując wszystkie zależności (naprężeń i odkształceń) zarówno pod względem ich maksymalnych wartości, jak też wartości oddziałujących w poszczególnych kierunkach wzdłuż osi X Y Z w procesie rozciągania tego rodzaju połączeń, można stwierdzić, że model M1 charakteryzuje się mniejszymi odkształceniami w porównaniu z modelem M2. Jedyne odkształcenia w kierunku osi Z w obu modelach są porównywalne, lecz działają one w przeciwnych kierunkach. Analizując całość badań, można powiedzieć, że model M1 wydaje się być złączem optymalnym zarówno w przypadku naprężeń, jak i odkształceń.

3. PODSUMOWANIE

Analizując wyniki badań, których fragment przedstawiono powyżej można powiedzieć, że różnice między modelami 1 i 2 są niewielkie. Symulacje komputerowe przeprowadzone metodą elementów skończonych pozwoliły na prześledzenie zmian rozkładu map naprężeń w połączeniach oraz przedstawienie ich rozkładu i przemieszczeń w różnych odmianach połączenia.

Na podstawie przeprowadzonych symulacji wnioskować można, że głębokość zalegania naprężeń zależy nie tylko od siły tłoczenia, ale również od geometrii stempla i matrycy oraz rodzaju złącza.

Zauważyć też można, że w trakcie zwiększania siły tłoczenia (ostania seria badań) naprężenia rosną, lecz po przekroczeniu granicznej wartości siły, która odpowiada rzeczywistej sile niszczenia złącza, następuje znaczna deformacja metalu, co prawdopodobnie imituje proces jego niszczenia. Biorąc powyższe spostrzeżenia pod uwagę, w procentowanych przypadkach można zastąpić uciążliwe i kosztowne badania stanowiskowe symulacją komputerową.

LITERATURA

- [1] Kwaśniewska E.: *Łączenie cienkich blach tworzeniem owalnych wgłębień*, „Obróbka Plastyczna Metali” nr 1/1995.
- [2] Liebig H.P., Bober J., Gopfert D.: *Qualitätssteigerung durch rechnergestützte überwachung des betrieblichen Durekfugeprozesses*, Blech Rohle Profile 39, 6, 1992.
- [3] Tubielewicz K., Turczyński K.: *Formowanie połączeń blach prasowaniem na zimno*, „Prace Naukowe – Monografie” nr 26, Wyd. Centrum Mechanizacji Górnictwa KOMAG, Gliwice, 2008, s. 111.
- [4] Prospekty firmy BTM: Tog – L– Loc, 1997.
- [5] Weisel D.: *Inovative Tehnologien Der runde Punkt*, „Metallbau Technik” 11/1995.
- [6] Tubielewicz K., Turczyński K.: *Nowe trendy produkcyjne na przykładzie wyrobu, jakim jest podest perforowany*, „Technologia i Automatyizacja Montażu” nr 2/2009.
- [7] Tubielewicz K., Turczyński K.: *Kształtowanie połączeń blach metodą prasowania na zimno*, „Technologia i Automatyizacja Montażu” nr 2/2001.
- [8] Tubielewicz K., Turczyński K., Tubielewicz M.: *Wskaźniki wytrzymałościowe połączeń kształtowych prasowanych na zimno*, „Technologia i Automatyizacja Montażu” nr 3 i 4/2004.