

**Jacek Mucha\*, Waldemar Witkowski\***

## **ANALIZA WYTRZYMAŁOŚCI NA ŚCINANIE OKRĄGLYCH POŁĄCZEŃ PRZETŁOCZENIOWYCH Z CIENKIEJ BLACHY DC04**

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono zagadnienie wytrzymałości okrągłych połączeń przetłoczeniowych wykonanych dla cienkiej blachy stalowej z materiału 1.0338 (DC04). Dla blach poniżej 1 mm niezwykle istotne jest zachowanie wysokiej sztywności narzędzi oraz czystości powierzchni łączonych elementów. Podczas badań eksperymentalnych analizowano wytrzymałość na ścinanie oraz zachowanie się przetłoczenia podczas testu rozdzielania. Na podstawie otrzymanych wyników stwierdzono pewną niejednorodność w wartościach maksymalnej siły niszczącej złącze.

**Słowa kluczowe:** połączenia, clinching, ścinanie połączeń.

### **WSTĘP**

Do niedawna montaż elementów cienkościennej konstrukcji odbywać się mógł za pomocą konwencjonalnych technologii spajania np. zgrzewania czy czasochłonnego nitowania. Rozwój ogólnie pojętej techniki pozwolił na przemysłowe wdrożenie do montażu wyrobów znanej od lat technologii połączeń przetłoczeniowych. Połączenia oparte na przetłaczaniu rodzimego materiału charakteryzują się szeregiem cech, z których główne to:

- nie ma potrzeby wykonywania otworów,
- niewielki koszt jednostkowy złącza oraz mniejszy niż przy połączeniu dodatkowym elementem łącznym,
- duża powtarzalność kształtowania złącza,
- nie występują naprężenia cieplne (formowanie na zimno).

Jej zalety sprawiły, że jest obecnie coraz częściej wykorzystywana w procesach produkcyjnych blaszanych konstrukcji zwłaszcza w przemyśle samochodowym [1, 2, 7, 8]. Prostota wykonania, a przede wszystkim obniżenie kosztów produkcji gotowego wyrobu poprzez wyeliminowanie kosztów dodatkowego łącznika czyni ją najbardziej rozpowszechnioną wśród rodziny połączeń przetłoczeniowych [9, 11]. Dobór odpowiedniej geometrii matrycy i stempla w zależności od grubości

---

\* Katedra Konstrukcji Maszyn, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Politechnika Rzeszowska.

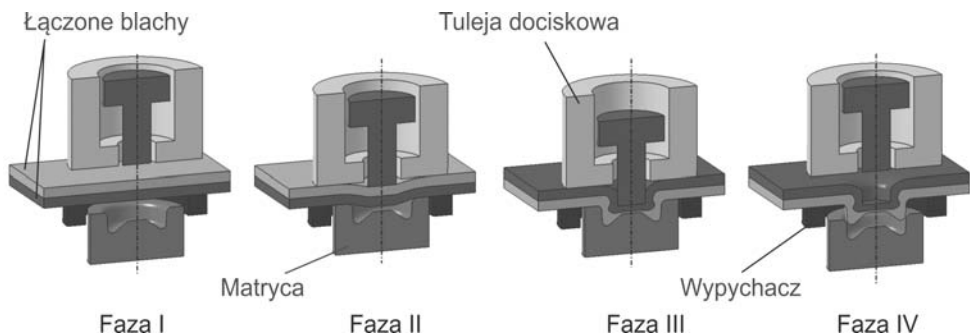
łączonych elementów, ich własności mechanicznych to krok na ścieżce optymalizacji procesu łączenia z uwzględnieniem parametrów eksploatacyjnych tych złączy [10].

Poziom rozwiązań technologii montażu wyrobów blaszanych za pomocą połączeń przetłoczeniowych jest obecnie na wysokim poziomie [6]. Szereg firm oferuje nowatorskie rozwiązania wręcz unikatowe na skalę światową oferując rozwiązania gotowych specjalizowanych stanowisk montażowych. Dostępne na rynku rozwiązania oferowane są w postaci zmodularyzowanej, co ułatwia budowę stanowisk do montażu określonych wyrobów. Urządzenia do formowania połączeń przetłoczeniowych oferowane są w szerokiej gamie z napędem elektrycznym, pneumatycznym i hydraulicznym. Siłowniki często wyposażone są w czujniki pomiaru siły kształtowania sprzężone z przemieszczenia, co ułatwia kontrolę i sterowanie przebiegiem procesu wytwarzania połączenia w trakcie montażu wyrobu.

W pracy przedstawiono analizę skuteczności w przenoszeniu obciążenia ścinającego przez złącza przetłoczeniowe, które zastąpiły połączenia zgrzewane. Zwrócono również uwagę na niejednorodność maksymalnej wytrzymałości połączeń przetłoczeniowych występującej podczas testów kontrolnych służących do określenia poprawności wykonania złączy z cienkiej blachy.

## FORMOWANIE OKRĄGŁEGO POŁĄCZENIA PRZETŁOCZENIOWEGO

Realizacja okrągłego połączenia przetłoczeniowego (zaciskanego przez wytłaczanie) odbywa się przez proces miejscowego wytłaczania łączonych blach na zimno przy użyciu stempla i matrycy z odpowiednią geometrią. Podczas procesu scalania elementów w miejscu powstawania złącza następuje wciskanie stempla w łączone blachy (rys. 1). W miarę zagłębiania się stempla w blachach materiał płynnie przemieszcza się wypełniając wykrój matrycy. Poprzez wypełnienie wolnej przestrzeni pomiędzy stemplem a wykrejem w matrycy powstaje ostateczny kształt połączenia.



**Rys. 1.** Przebieg formowania połączenia przetłoczeniowego

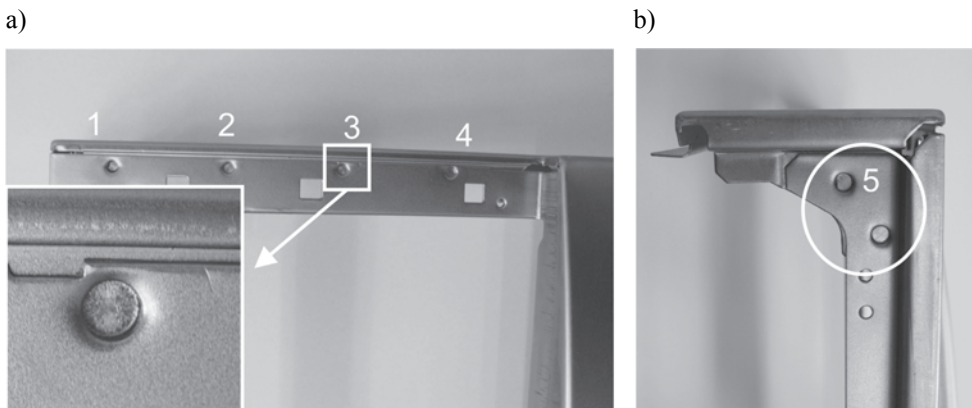
**Fig. 1.** Clinching joint forming course

Prostota połączenia przetłoczeniowego pozwala na jego zastosowanie zarówno w produkcji seryjnej jak też jednostkowej. Przy wytwarzaniu wielkoseryjnym oraz masowym wykorzystuje się odpowiednio przystosowane do tego celu roboty (manipulatory) w połączeniu z prostymi prasami dla przedmiotów o nieskomplikowanych kształtach. Natomiast dla bardziej złożonych elementów stosuje się specjalizowane stanowiska montażowe do wykonywania połączeń przetłoczeniowych [3].

## MATERIAŁ ORAZ METODYKA BADAŃ

Badania dotyczyły złączy zawartych w konstrukcji panelu przedniego suszarki AGD z blachy stalowej niskowęglowej przeznaczonej do obróbki plastycznej na zimno - DC04 (stal głęboko tłoczna). Ten gatunek stali jest przeznaczony do niemal wszystkich procesów tłoczenia, stosowany szczególnie w przemyśle motoryzacyjnym oraz AGD.

Połączenia wytwarzane były z blachy stalowej o grubości  $g = 0,7$  mm i materiału 1.0338 (DC04), dla której podstawowy skład oraz parametry mechaniczne zestawiono w tabelach 1 i 2. Poszczególne próbki połączenia przetłoczeniowego odpowiadały warunkom formowania połączeń w konstrukcji wyrobu (rys. 2). Pojedyncze złącze zgrzewane umiejscowione w starej konstrukcji w obszarze zaznaczonym na rysunku 2b zostało zastąpione podwójnym przetłoczeniowym, pozostałe zaś bez zmian jak na rysunku 2a. Poziomem zadawalającym w warunkach przemysłowej produkcji ustroju cienkościennego była wartość maksymalnej siły na poziomie 1400 N dla połączenia podwójnego.



**Rys. 2.** Fragmenty cienkościennej konstrukcji panelu z połączeniami przetłoczeniowymi: a) szew czterech złączy, b) podwójne połączenie

**Fig. 2.** Fragments of a thin-walled panel design with redrawing joints: a) seam of four joints, b) double joint

**Tabela 1.** Zestawienie składu chemicznego stali DC04

**Table 1.** DC04 steel's chemical composition

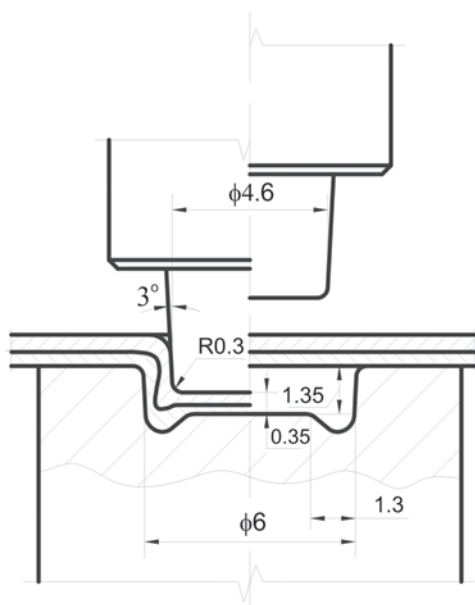
Zawartość głównych pierwiastków w %*			
C	Mn	P	S
max 0,08	max 0,40	max 0,03	max 0,03

\* PN-EN 10130:2009.

**Tabela 2.** Własności mechaniczne materiału łączonych blach

**Table 2.** The mechanical properties of the joined sheet metal material

E [Gpa]	R <sub>p0.2</sub> [Mpa]	R <sub>m</sub> [Mpa]	A <sub>min.</sub> [%]	HV0.2	σ <sub>p</sub> =C·ε <sup>n</sup>	
			L <sub>0</sub> =80 mm		n	C
206	176	297	38	107	0,22	415



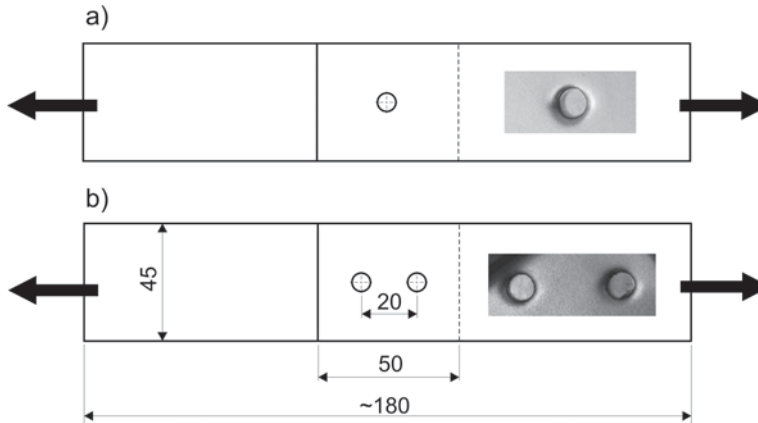
**Rys. 3.** Podstawowa geometria narzędzi

**Fig. 3.** Base tool geometry

Połączenie elementów z cienkiej blachy odbywało się za pomocą odpowiednich narzędzi zainstalowanych w ramie C kształtnej, napędzanych siłownikami hydraulicznymi o ustawionym ciśnieniu roboczym  $p = 27$  MPa oraz czasie przetrzymania stempla w blasze 5 s. Skok stempla formującego dobrany był tak by uzyskać grubość

dną przetłoczenia  $X = 0,35$  mm (25% łącznej grubości blach). Podstawowe wymiary narzędzi przedstawiono na rysunku 3.

Dla wybranych pięciu miejsc scalenia w konstrukcji wykonano po trzy próbki złącza pojedynczego oraz podwójnego (rys. 4), w celu określenia wpływu zmiany sztywności węzła (liczby przetłoczeń) na poziom maksymalnej siły ścinającej złącze. Testy ścinania przeprowadzone były w jednakowych warunkach na maszynie wytrzymałościowej INSTRON 3382 z głowicą pomiarową do 100 kN przy prędkości  $V = 10$  mm/min.



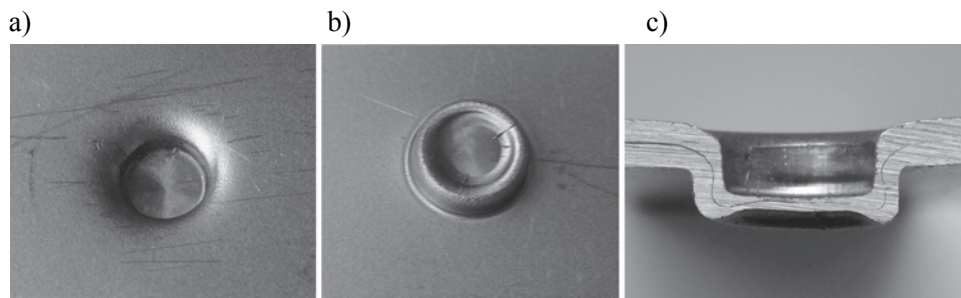
**Rys. 4.** Geometria próbek do testów ścinania i warunki ułożenia miejsc scalenia dla: a) pojedynczego, b) podwójnego złącza

**Fig. 4.** The shearing test specimen geometry and merging area location conditions for: a) single joint, b) dual joint

## WYNIKI BADAŃ ORAZ ICH ANALIZA

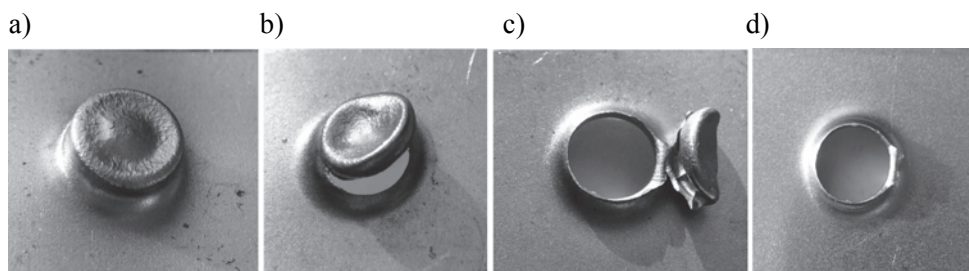
Geometria narzędzi zainstalowanych w ramach C kształtnych pozwalała na uzyskanie połączenia z poprawnie uformowanym zamkiem w złączach bez utraty spójności materiału szyjki oraz zewnętrznych nieciągłości na zewnętrznych powierzchniach w miejscu scalenia. Wygląd zewnętrzny przykładowego połączenia dla blach z materiału DC 04 oraz jego przekrój poprzeczny z ujawnioną budową wewnętrzną przedstawiono na rysunku 5.

Najczęściej spotykane formy zniszczenia połączenia „clinchingu” to rozdzielenie przez rozkleszczenie tj. oddzielenie się w miejscu scalenia bez utraty spójności materiału blach (rys. 6a) inne możliwe i spotykane to separacja warstw w wyniku pęknięcia częściowego (rys. 6b, c) lub całkowitego (rys. 6d) przetłoczenia blachy górnej złącza w przekroju o najmniejszej grubości szyjki (przewężenia) [4].



**Rys. 5.** Charakterystyka zewnętrzna, oraz wewnętrzna uformowanego okrągłego połączenia z blach o grubości 0,7 mm: a) wygląd od strony stempla, b) wypływka od strony matrycy, c) przekrój poprzeczny złącza.

**Fig. 5.** The external and internal characteristics of formed round joint made of 0.7 mm sheets: a) view from a punch side, b) flash on a die side, c) joint cross-section.



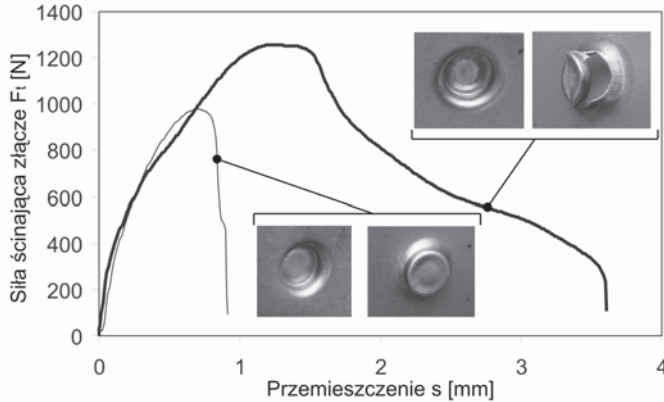
**Rys. 6.** Wygląd przetłoczenia blachy górnej po rozdzieleniu połączenia w wyniku: a) rozkleszczenia, b) i c) oraz d) utraty spójności szyjki w złączu

**Fig. 6.** The upper sheet clenching view once the joint is separated due to: a) separation, b), c), and d) material cohesion loss in the joint

Podczas testów ścinania pojedynczych złączy przetłoczeniowych dominujące było rozkleszczenie. W jednym przypadku pojawił się odmienny przebieg krzywej ścinania w porównaniu do pozostałych powtarzających się charakterystyk siłowych ścinania złączy (rys. 7). Wartość absorpcji energii całkowitego zniszczenia połączenia rozdzielonego przez ścięcie przetłoczenia w próbie ścinania była o 340% większa w porównaniu od separacji w wyniku rozkleszczenia.

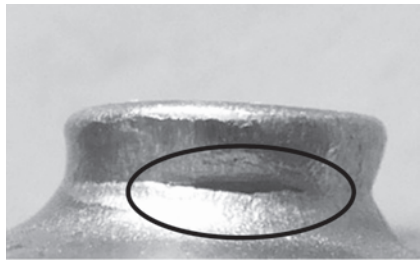
Możliwość przenoszenia obciążenia przez tego typu złącze zdeteminowana jest w głównej mierze grubością szyjki i wielkością zamka w złączu oraz stopniem umocnienia materiału [5].

W innej zaś ściętej próbce zauważono na powierzchni przetłoczenia w blasze górnej zapoczątkowane pęknięcie (obszar zaznaczony na rysunku 8). W tym przypadku nośność przekroju szyjki osiągnęła granicę wytrzymałości jednak odseparowanie blach nastąpiło w wyniku rozkleszczenia zamka. Przy cienkich blachach poniżej



**Rys. 7.** Przebieg odpowiedzi siłowej na ścinanie połączenia dla różnej formy zniszczenia miejsca przetłoczenia

**Fig. 7.** The force reaction characteristics on joint shearing for various methods of redrawing area destruction



**Rys. 8.** Pęknięcie przetłoczenia w blasze górnej po całkowitym rozdzieleniu połączenia

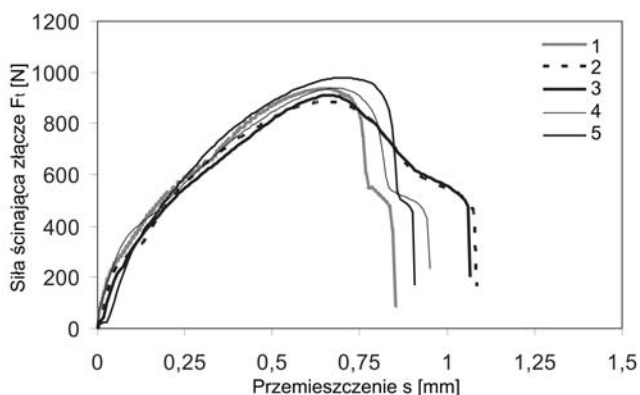
**Fig. 8.** The upper sheet redrawing fracture once the joint is totally separated

1 mm niezwykle istotne są warunki tarcia pomiędzy powierzchniami roboczymi narzędzi. Często w przypadku trudności w poprawnym uformowaniu połączenia przetłoczeniowego miejsce scalenia może być nawilżanie olejem [12]. W przeprowadzonych badaniach użyto blachy bez dodatkowego smarowania, o jakości odpowiadającej taśmie rozwijanej z kręgu, używanej podczas produkcji panelu suszarki AGD.

W przypadku dwóch złączy dla pojedynczych połączeń z pierwszej serii prób ścinania pojawiło się częściowe naderwanie przetłoczenia i rozkleszczenie, co zostało odzwierciedlone nieco innym przebiegiem krzywej ścinania (krzywa 2 i 3 na rys. 9). Z wszystkich trzech serii prób ścinania dla pięciu miejsc scalenia uzyskano średnie wartości maksymalnej siły ścinającej złącze w przedziale 880 – 980 N, co przedstawiono za pomocą wykresu słupkowego na rysunku 10. W przypadku połączeń podwójnych w wyniku ścinania odnotowano wzrost maksymalnej siły niszczącej połączenie jak również wydłużenie drogi przemieszczenia wymuszającego odkształcenie

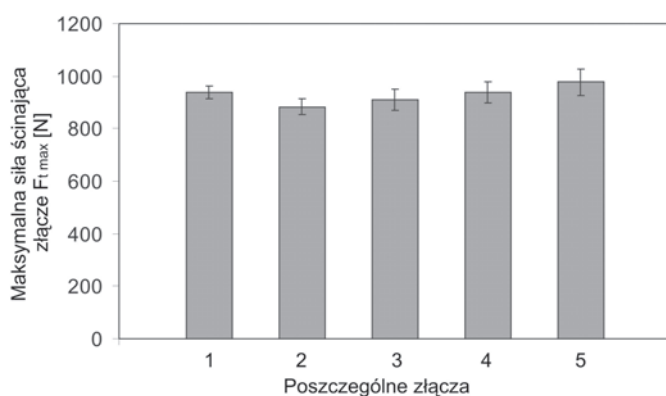
złącza (rys. 11). Wartość absorpcji energii całkowitego zniszczenia połączenia podwójnego była większa o 502% od wartości jak dla złącza pojedynczego. Natomiast maksymalna siła ścinająca złącze dla połączeń podwójnych w porównaniu z pojedynczymi wzrosła o  $\sim 100\%$ .

We wszystkich przypadkach rozdzielenie nastąpiło przez rozkleszczenie. Jednak w kilku przypadkach przebieg krzywej był nieznacznie „wydłużony” (rys. 12). Spowodowane to było częściowym pęknięciem jednego przetłoczenia, lecz separacja blach ostatecznie nastąpiła przez rozkleszczenie. Średnia wartość maksymalnej siły ścinającej złącza podwójne wahała się od 1765 do 1828 N (rys. 13).



**Rys. 9.** Przebieg krzywej ścinania złącza pojedynczego dla wybranych pięciu miejsc scalenia z jednej serii prób

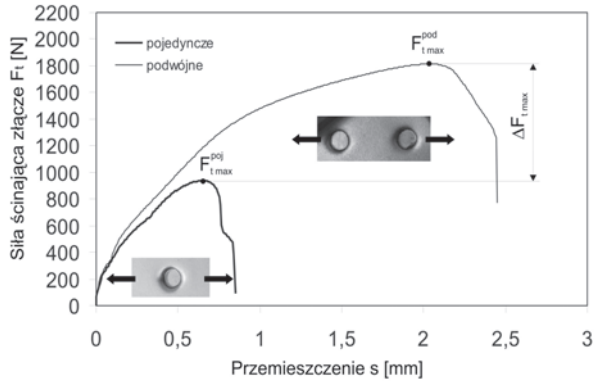
**Fig. 9.** The shearing curve of single joint for five selected merging areas in a single series



**Rys. 10.** Zestawienie wartości maksymalnych sił otrzymanych z testu ścinania z trzech serii prób (połączenia pojedyncze)

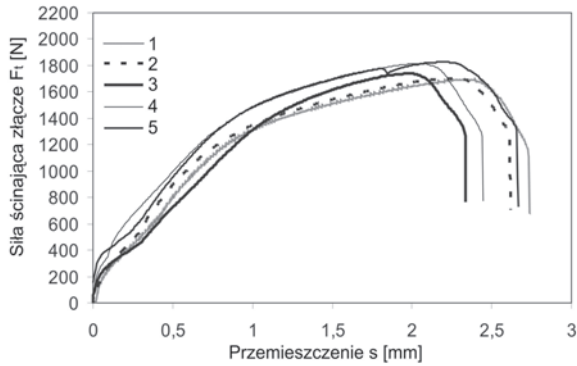
**Fig. 10.** The maximum force value chart for shearing test in three series (single joints)





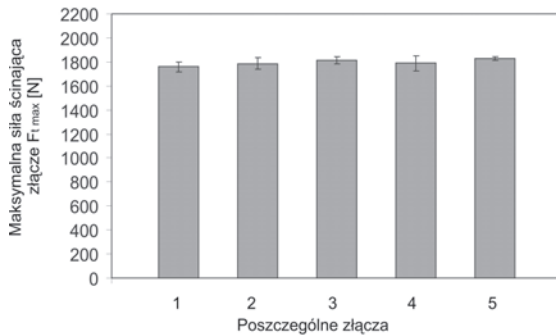
**Rys. 11.** Porównanie przykładowego przebiegu krzywej siły w próbie ścinania dla złącza pojedynczego oraz podwójnego

**Fig. 11.** The comparison of an example force curve in shearing test for a single and dual joint



**Rys. 12.** Przebieg krzywej ścinania podwójnego złącza dla wybranych pięciu miejsc scalenia z jednej serii prób

**Fig. 12.** The shearing curve of double joint for five selected merging areas in a single series



**Rys. 13.** Zestawienie wartości maksymalnych sił otrzymanych z testu ścinania z trzech serii prób (połączenia podwójne)

**Fig. 13.** The maximum force value chart for shearing test in three series (double joints)

Reasumując w wyniku separacji blach przez rozkleszczenie uzyskuje się mniejszą siłę ścinającą złącze w porównaniu z przypadkiem zniszczenia przez ścięcie przetłoczenia w miejscu przewężenia. Ostatniemu wymienionemu przypadkowi rozdzielenia towarzyszy wyższa maksymalna siła ścinająca.

## PODSUMOWANIE

W przypadku cienkich blach możliwe jest łączenie za pomocą technologii przetłaczania rodzimym materiałem z zachowaniem szczególnej uwagi na czystość powierzchni blach oraz narzędzi. W trakcie łączenia wykorzystano blachy z różnych fragmentów taśmy stalowej z DC04, czynnik materiałowy również mógł mieć wpływ na formowanie i późniejsze przenoszenie obciążeń przez złącza.

W miejscach gdzie przewidywana siła obciążająca złącze jest wyższa od dopuszczalnej, dla pojedynczego złącza z racji małych wymiarów scalenia blach przetłaczaniem można zastosować np. dwa w odpowiednim ułożeniu.

W procesie produkcyjnym, podczas montażu elementów z cienkich blach poniżej 1 mm niezwykle istotne jest zachowanie jednakowej jakości materiału blach, warunków tarcia, współosiowości matrycy i stempla, oraz dokładnego i sztywnego prowadzenia narzędzi.

Zasilanie siłowników podczas montażu elementów na automatycznej linii powinno być stale kontrolowane i utrzymywane na jednakowym poziomie.

## LITERATURA

1. Gronostajski Z, Polak S. Quasi-static and dynamic deformation of double-hat thin-walled elements of vehicle controlled body crushing zones joined by clinching. Archives of Civil and Mechanical Engineering, 8/2, 2008, s. 57–65.
2. Gronostajski Z., Polak S.: The application of clinching techniques to join impact energy absorbing thin-walled aluminium sections, Archives of Metallurgy and Materials, 54/3, 2009, s. 695–703.
3. Mucha J.: Współczesne techniki łączenia cienkich blach - zaciskanie przez wytłaczanie (Clinching). Mechanik, 80/11, 2007, s. 932–939.
4. Mucha J.: The characteristics of H320LA steel sheet clinching joints. Advances in Manufacturing Science and Technology, 34/4, 2010, s. 47–61.
5. Mucha J.: The analysis of lock forming mechanism in the clinching joint. Materials and Design, 2011, DOI: 10.1016/j.matdes.2011.05.045.
6. Mucha J., Kaščák L.: Wybrane aspekty kształtowania okrągłych połączeń przetłoczeniowych. Problemy eksploatacji - Maintenance Problems, 79/4, 2010, s. 29–38.
7. Mucha J, Kaščák L, Spišák E. Joining the car-body sheets using clinching process with various thickness and mechanical property arrangements. Archives of Civil and Mechanical Engineering, 11/1, 2011, s. 135–148.

8. Nong N., Keju O., Yu Z., Zhiyuan Q., Changchen G T., Feipeng L.: Research on press joining technology for automotive metallic sheets. *Journal of Materials Processing Technology*, 137/1-3, 2003, s. 159–163.
9. Shiming G., Lothar B.: Mechanism of mechanical press joining. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 34/5, 1994, s. 641–657.
10. Tubielewicz K., Turczyński K., Tubielewicz M.: Wskaźniki wytrzymałościowe połączeń kształtowych prasowanych na zimno. *Technologia i Automatykacja Montażu*, 55/3, 2004, s. 67–72.
11. Varis J P.: Ensuring the integrity in clinching process. *Journal of Materials Processing Technology*, 174/1-3, 2006, s. 277–285.
12. [www.tox.pl](http://www.tox.pl) (10.06.2011).

## **THE SHEARING STRENGTH ANALYSIS OF ROUND CLINCHING JOINTS MADE OF THIN DC04 SHEET**

### **Summary**

This paper presents the strength issue for round clinching joints made of 1.0338 (DC04) thin steel sheet. For sheets of thickness below 1 mm it is important to maintain high tool rigidity and cleanliness of joined element surfaces. Their shearing strength and redrawing joint behavior during separation test was analyzed during experimental researches. Based on achieved results, some heterogeneity in maximum joint breaking force was observed.

**Keywords:** joints, clinching, joint shearing.