

Deformacja powierzchni blachy górnej połączeń typu clinching

Shape deformation of the clinching joints upper sheet

WALDEMAR WITKOWSKI
KRZYSZTOF KURC*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2018.3.42>

Przedstawiono wyniki pomiarów kształtu zarysu blachy górnej przetłoczenia połączeń typu clinching. Do uformowania złączy zastosowano stempel o stałej średnicy oraz matryce: jednolitą, dwusegmentową, trzysegmentową i czterosegmentową.
SŁOWA KLUCZOWE: clinching, skaner optyczny ATOS IIe, pomiar 3D kształtu przetłoczenia

The paper presents the results of the experimental studies of the clinching joints upper sheets shape deformation. In the joint forming process a one punch and different die were used. The numbers of movable segments were: two, three and four.
KEYWORDS: clinching, ATOS IIe optical scanner, 3D measurement of clinching joint shape

W przypadku cienkościennych elementów i konstrukcji oprócz szerokiej gamy konwencjonalnych technik spajania (nitowania, zgrzewania, spawania, klejenia, lutowania, połączeń śrubowych [1–4]) dostępne są także nowoczesne metody łączenia, np. przez zgrzewanie tarcowe [5, 6] lub plastyczną deformację łączonych elementów na zimno (w tym tzw. clinching) [7–11]. Wybór rodzaju połączenia zależy od szeregu czynników – materiałowych, wytrzymałościowych i technologicznych – oraz rodzaju i przeznaczenia montowanej konstrukcji.

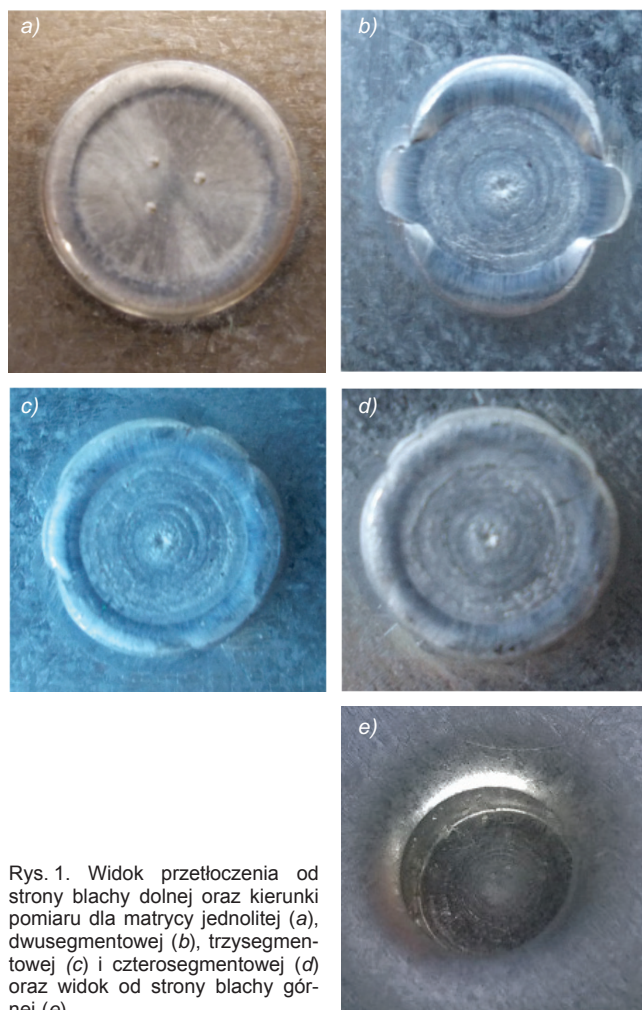
Podstawowym parametrem określającym połączenie jest maksymalna siła przenoszona przez złącze. Wielkość tej siły może być określona różnymi sposobami (z wykorzystaniem badań eksperymentalnych, wzorów analitycznych czy badań numerycznych) [12–14].

Formowanie przetłoczenia powoduje wybrzuszenie z jednej strony łączonych blach (od strony matrycy) – wyjątkiem jest zastosowanie płaskiej matrycy [15]. Od strony stempla powstaje natomiast zagłębienie. Zasięg obszaru deformacji blachy górnej w miejscu scalenia zależy od kształtu narzędzi formujących oraz docisku łączonych elementów. Brak docisku lub jego nieodpowiednia wartość powoduje znaczne wyginanie blach w odniesieniu do prawidłowego procesu scalania. Zasięg obszaru odkształceń blach podczas łączenia technologią SPR (*self-piercing riveting*) przedstawili Cai i inni [16]. Na przykładzie panelu drzwi samochodu wskazano, że istnieje możliwość przewidywania deformacji całego elementu dzięki symulacji numerycznej. Wpływ rodzaju technologii łączenia (SPR, clinching) na zasięg promieniowy odkształceń łączonych blach poza strefą docisku przedstawili Eckert i inni w pracy [17]. Coppieters i inni [18] określili wpływ doboru dodatkowych narzędzi formujących (wygarniacza matrycy, docisku tulei) oraz ich sztywności na kształt zamka oraz zasięg deformacji łączonych blach dla połączeń formowa-

nych sztywną matrycą. Zastosowanie matryc o konstrukcji segmentowej determinuje różne warunki płynięcia materiału do wykroju matrycy.

Materiał blach wypełnia przestrzeń pomiędzy segmentem a stemplem matrycy oraz pomiędzy segmentami. Z tego względu kształt przetłoczenia od strony blachy dolnej jest bardziej zniekształcony niż od strony blachy górnej (rys. 1).

W artykule przedstawiono wpływ konstrukcji matrycy formującej na kształt deformacji blachy górnej połączeń typu clinching. Pomiar deformacji wykonano skanerem optycznym ATOS IIe (ze względu na możliwość zastosowania technologii pomiaru optycznego w warunkach przemysłowych). Taki skaner można zintegrować z manipulatorem, którego odpowiednio zaprogramowane ruchy pozwalają na przeprowadzenie pomiaru na linii produkcyjnej, bez konieczności przenoszenia lub zdejmowania elementu [19].

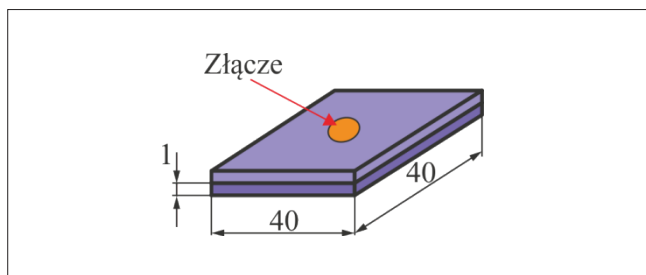


Rys. 1. Widok przetłoczenia od strony blachy dolnej oraz kierunku pomiaru dla matrycy jednolitej (a), dwusegmentowej (b), trzysegmentowej (c) i czterosegmentowej (d) oraz widok od strony blachy górnej (e)

* Dr inż. Waldemar Witkowski (wwitkowski@prz.edu.pl), dr inż. Krzysztof Kurc (kkurc@prz.edu.pl) – Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej

Zakres, metodyka i wyniki badań eksperymentalnych

Połączenia przetłaczane typu clinching zastosowano do łączenia blachy stalowej DX51D+Z/275 (według PN-EN 10346:2015-09, numer materiałowy 1.0226), ocynkowanej ogniowo powłoką 275 g/m² o grubości ok. 20 µm. Wymiary łączonych próbek wynosiły 50 mm × 50 mm × 1 mm (rys. 2). Własności wytrzymałościowe oraz skład chemiczny [20] przedstawiono odpowiednio w tabl. I i II.



Rys. 2. Geometria badanej próbki

TABLICA I. Własności mechaniczne blachy DX51D+Z/275 (wartości średnie)

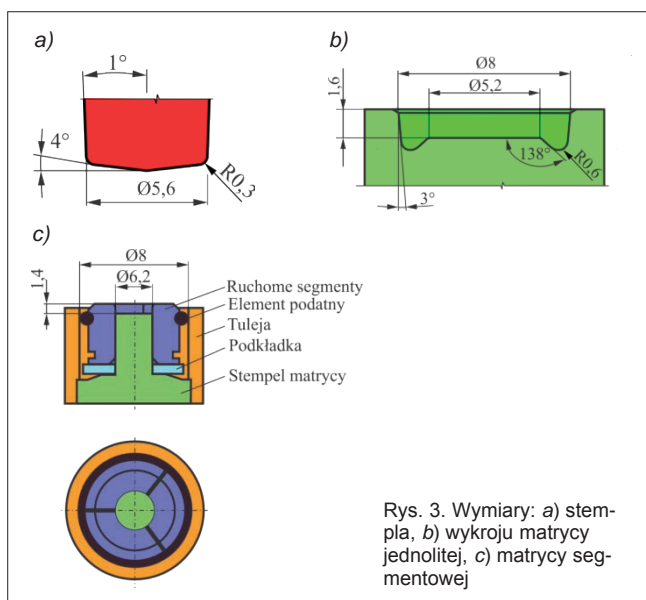
Materiał blach	E, GPa	R _{p0,2} , MPa	R _m , MPa	A _t , %
DX51D	187,96	330,52	438,96	29,72

Oznaczenia: E – współczynnik sprężystości wzdłużnej (tzw. moduł Younga), R_{p0,2} – umowna granica plastyczności, R_m – granica wytrzymałości na rozciąganie, A_t – wydłużenie całkowite próbki

TABLICA II. Skład chemiczny blachy DX51D+Z/275 (zawartość maksymalna w %)

Materiał blach	Mn	Si	C	P	S	Ti	Fe
DX51D	0,6	0,5	0,12	0,1	0,045	0,3	Reszta

Połączenia typu clinching wykonano w Laboratorium Połączeń Prasowanych w Katedrze Konstrukcji Maszyn Politechniki Rzeszowskiej. Do uformowania złącza użyto prasy o konstrukcji ramowej firmy ToxPressotechnik z napędem elektrycznym typu EMPK. Parametry technologiczne procesu formowania zostały zdefiniowane w oprogramowaniu sterującym prasą, zgodnie z zaleceniami producenta urządzenia.

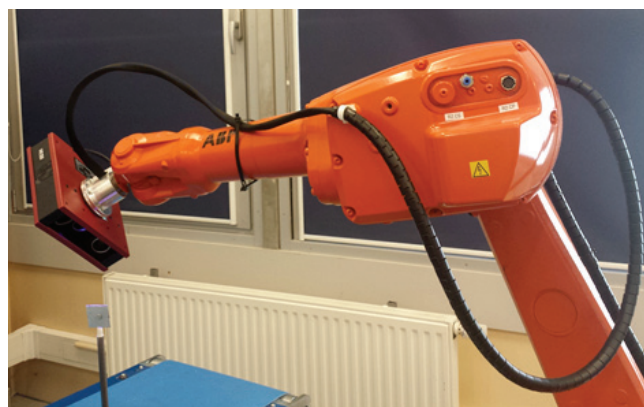


Rys. 3. Wymiary: a) stempla, b) wykroju matrycy jednolitej, c) matrycy segmentowej

Średnica stempla formującego złącza wynosiła 5,6 mm (rys. 3a). Połączenia wykonano dla matrycy jednolitej i matrycy o konstrukcji segmentowej (z dwóch, trzech i czterech segmentów). Głębokość dna matrycy jednolitej wynosiła 1,6 mm (rys. 3b), a segmentowej – 1,4 mm (rys. 3c). Ze względu na ruch promieniowy segmentów matrycy dzielonej przy głębokości dna równej 1,6 mm nie jest możliwe uzyskanie poprawnie uformowanego zamka – następuje utrata ciągłości blachy dolnej w miejscu przewężenia. Głębokość wykroju matrycy segmentowej można regulować za pomocą podkładek. Średnica wewnętrzna wygarniacza stempla (tulei dociskowej) wynosiła 7,5 mm, a zewnętrzna – 14 mm.

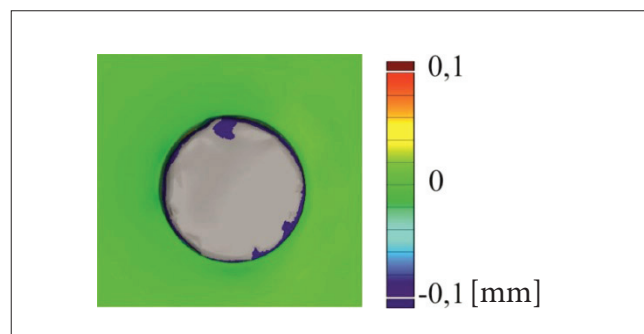
Parametr X (minimalna grubość dna przetłoczenia) wynosił 25% całkowitej grubości łączonych blach (0,5 mm). Do kontroli rzeczywistej wartości parametru X wykorzystano mackę cyfrową firmy Mitutoyo o zakresie pomiarowym 20 mm i dokładności 0,01 mm.

W przypadku próbek o wymiarach 40 mm × 40 mm, z połączeniami usytuowanymi na środku, wykonano pomiary 3D kształtu i geometrii z użyciem skanera optycznego ATOS IIe firmy GOM (rys. 4). Działa on na zasadzie triangulacji. Dwie kamery urządzenia rejestrują przebieg prążków wyświetlanych na mierzonym detalu, a oprogramowanie z dużą dokładnością oblicza współrzędne punktu dla każdego piksela. Obszar pomiarowy wynosi 150 mm × 150 mm, rozdzielczość – 5 milionów pikseli, a dokładność pomiaru – 0,0002 mm.

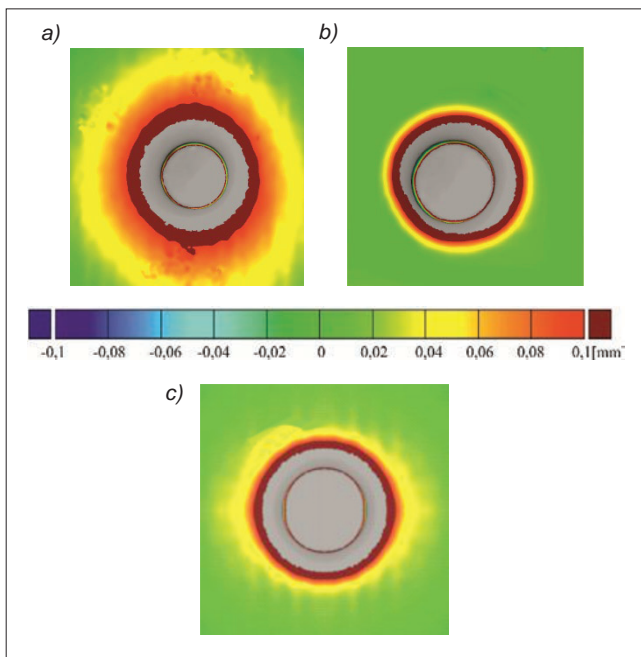


Rys. 4. Pomiar zarysu przetłoczenia metodą optyczną

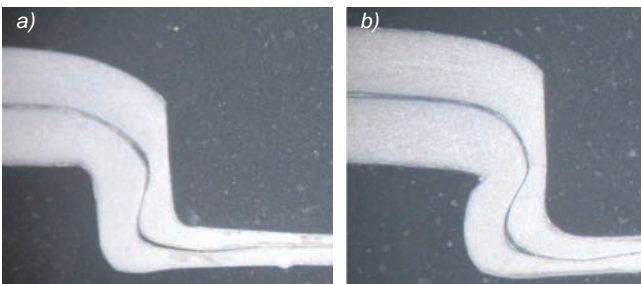
Na rys. 5 przedstawiono wyniki pomiaru metodą optyczną połączeń CL formowanych z parametrem X równym 0,4 mm i 0,5 mm. W przypadku matrycy jednolitej zmiana minimalnej grubości dna przetłoczenia nie wpływa w sposób znaczący na zasięg i wielkość deformacji zarysu przetłoczenia w blasze górnej.



Rys. 5. Odchylenie od powierzchni blachy górnej złącza CL dla parametru X równego 0,4 i 0,5 mm (średnica stempla $d = 5,6$ mm, materiał DX51D)



Rys. 6. Odchylenie powierzchni blachy górnej połączenia CL formowanego matrycami dzielonymi (średnica stempla $d = 5,6$ mm, głębokość wykroju matrycy $h = 1,4$ mm, $X = 0,5$ mm): a) dwusegmentową, b) trzysegmentową, c) czterosegmentową – w odniesieniu do matrycy jednolitej ($d = 5,6$ mm, $h = 1,6$ mm, $X = 0,5$ mm)



Rys. 7. Kształt deformacji blachy górnej dla matrycy: a) jednolitej, b) dwusegmentowej

Zmianę obszaru deformacji zarysu można uzyskać przez zastosowanie matryc dzielonych (rys. 6 i 7).

Segmenty matrycy w początkowej fazie blokują swobodne płynięcie materiału do wykroju, co zapobiega znacznej deformacji blachy górnej. Średnica wykroju matrycy w początkowej fazie kształtowania wynosi tyle co średnica stempla matrycy. Zwiększanie nacisku stempla formującego powoduje ruch promieniowy segmentów, przez co materiał łączonych blach wypełnia przestrzeń pomiędzy stemplem matrycy a segmentami oraz przestrzeń między segmentami. Średnica wewnętrzna wygarniacza była mniejsza niż średnica wykroju matrycy jednolitej. Docisk tulei do blachy podczas formowania matrycą dzieloną odbywa się na powierzchni segmentów.

Zwiększanie liczby segmentów powoduje zmianę kształtu obszaru deformacji łączonych blach z eliptycznego (dla dwóch segmentów) na kołowy (dla czterech segmentów) – tak jak w przypadku matrycy stałej. Wynika to z mniejszej objętości materiału wypełniającego przestrzeń pomiędzy segmentami.

Podsumowanie

Deformacja blachy górnej w okolicy scalenia zależy od rodzaju matrycy użytej do formowania połączeń typu clinching. Dla matrycy jednolitej przy stałej średnicy stempla

$d = 5,6$ mm zmiana minimalnej głębokości dna przetłoczenia nie wpływa na zasięg deformacji. Matryce o segmentowej budowie w początkowej fazie formowania złącza umożliwiają płynięcie materiału blach tylko wzdłuż osi przetłoczenia. Zwiększanie siły formowania powoduje ruch promieniowy segmentów oraz wypełnienie przestrzeni między segmentami oraz między segmentami i stemplem matrycy. Im większa jest liczba segmentów ruchomych, tym deformacja blachy górnej w pobliżu scalenia bardziej przypomina kształt uzyskany dla matrycy jednolitej.

LITERATURA

1. Barnes T.A., Pashby I.R. "Joining techniques for aluminium spaceframes used in automobiles: Part II – adhesive bonding and mechanical fasteners". *Journal of Materials Processing Technology*. 99, 1–3 (2000): s. 72–79.
2. Dilthey U., Stein L. "Challenges of joining at automotive industry because of new materials". *Science and Technology of Welding and Joining*. 11, 2 (2006): s. 135–142.
3. Dost I., Khan S.A., Aziz M. "Mechanical evaluation of joining methodologies in multi material car body". *International Journal of Advances in Engineering & Technology*. 5, 1 (2012): s. 259–268.
4. Groche P., Wohletz S., Brenneis M., Pabst C., Resch F. "Joining by forming – A review on joint mechanisms, applications and future trends". *Journal of Materials Processing Technology*. 214 (2014): s. 1972–1994.
5. Kudła K., Wojsyk K., Adamus K. „Własności złączy zgrzewanych punktowo metodą zgrzewania tarcowego z przemieszczaniem FSSW i RFSSW”. *Obróbka Plastyczna Metali*. XXIV, 3 (2013): s. 193–203.
6. Kluz R., Kubit A., Wydrzyński D. „Zgrzewanie punktowe blach ze stopu aluminium 7075-T6”. *Technologia i Automatyzacja Montażu*. 2 (2017): s. 56–60.
7. Behrens B.-A., Bouguecha A., Eckold C.-P., Peshekhodov I. "A new clinching process especially for thin metal sheets and foils". *Key Engineering Materials*. 504–506 (2012): s. 783–788.
8. Busse S., Merklein M., Roll K., Ruther M., Zürn M. "Development of a mechanical joining process for automotive body-in-white production". *International Journal of Material Forming*. 3, 1 (2010): s. 1059–1062.
9. Kascak L., Mucha J., Słota J., Spisak E. "Application of modern joining methods in car production". Rzeszów: Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, 2013.
10. Mucha J. „Współczesne techniki łączenia cienkich blach – zaciskanie przez wytłaczanie (clinching)”. *Mechanik*. 11 (2007): s. 932–939.
11. Mucha J., Witkowski W. „Możliwości łączenia przetłaczaniem blachy stalowej o grubości poniżej 1 mm”. *Technologia i Automatyzacja Montażu*. 75, 1 (2012): s. 46–49.
12. Jomaa M., Billardon R. "Numerical analysis of the resistance to shear test of clinched assemblies of thin metal sheets". *Materials Processing and Design; Modeling, Simulation and Applications*. 908 (2007): s. 1123–1128.
13. Lambiasi F. "Influence of process parameters in mechanical clinching with extensible dies". *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 77 (2015): s. 1295–1304.
14. Mucha J., Witkowski W. "The clinching joints strength analysis in the aspects of changes in the forming technology and load conditions". *Thin-Walled Structures*. 82 (2014): s. 55–66.
15. Neugebauer R., Todtermuschke M., Mauermann R., Riedel F. "Overview on the state of development and the application potential of dieless mechanical joining processes". *Archives of Civil and Mechanical Engineering*. VIII, 4 (2008): s. 51–60.
16. Cai W., Wang P.C., Yang W. "Assembly dimensional prediction for self-piercing riveted aluminum panels". *International Journal of Machine Tools & Manufacture*. 45 (2005): s. 695–704.
17. Eckert A., Israel M., Neugebauer R., Rössinger M., Wahl M., Schulz F. "Local-global approach using experimental and/or simulated data to predict distortion caused by mechanical joining technologies". *Production Engineering Research and Development*. 7, 2 (2013): s. 339–349.
18. Coppieters S., Cooreman S., Lava P., Sol H., Van Houtte P., Debruyne D. "Reproducing the experimental pull-out and shear strength of clinching sheet metal connections using FEA". *International Journal of Material Forming*. 4 (2011): s. 429–440.
19. Bellini P., Bruno I., Nesi P. "A distributed system for computer vision quality control of clinched boards". *Real-Time Imaging*. 10, 3 (2004): s. 161–176.
20. PN-EN 10346:2015-09 Wyroby płaskie stalowe powlekane ogniowo w sposób ciągły do obróbki plastycznej na zimno – Warunki techniczne dostawy.