

KONSTRUKCJA GŁOWICY DO UMACNIANIA BLACH I DOCZOŁOWYCH POŁĄCZEŃ SPAWANYCH METODĄ PNEUMOKULOWANIA

Construction of heads for strengthening of plate and butt-welded joints with pneumatic shot peening methods

Magdalena BUCIOR, Władysław ZIELECKI, Andrzej KUBIT

Streszczenie: Spawanie ze względu na wysoką wydajność jest jedną z najczęściej stosowanych technologii łączenia materiałów. Podczas spawania cienkich blach formowana jest spoina oraz strefa wpływu ciepła o zróżnicowanej strukturze metalograficznej, w której konstrytuowane są naprężenia spawalnicze wywołujące odkształcenia, powodujące problemy nie tylko w procesie montażu, ale również decydujące o jakości wyrobu. Pneumokulowanie jako jedna z metod powierzchniowej obróbki umacniającej zapewnia usuwanie koncentatorów naprężeń oraz powoduje zmiany rozkładu naprężeń własnych w warstwie wierzchniej złącza spawanego, co w rezultacie przyczynia się do wzrostu wytrzymałości zmęczeniowej. W artykule przedstawiono schemat oraz zasadę działania głowicy do pneumokulowania cienkich blach i doczołowych połączeń spawanych.

Słowa kluczowe: doczołowe połączenia spawane, pneumokulowanie, głowica

Abstract: Welding process it is one of the most commonly used technology for the joining materials. During the welding process often occurs in thin plate the welding distortion. The distortion causes problems not only in the assembling process but also in the final product quality. Pneumatic shot peening is one of the burnishing methods. It is widely used to improve the fatigue strength of the material. In this article, the scheme and working principle of head for the shot peening process of plate and butt-welded joints was presented.

Keywords: butt-welded joint, pneumatic shot peening, head

Wprowadzenie

Jakość złączy spawanych decyduje o właściwościach użytkowych łączonych części takich jak np.: właściwości mechaniczne, fizyczne i estetyczne. Obecnie do poprawy własności mechanicznych stopów metali wykorzystuje się obróbki chemiczne, termiczne i mechaniczne.

Jedną z metod mechanicznej obróbki wykańczającej, umożliwiającej uzyskanie warstwy wierzchniej o szczególnie korzystnych właściwościach jest obróbka nagniataniem. Biorąc pod uwagę sposób oddziaływania sił nagniatania na przedmiot obrabiany można wyróżnić: nagniatanie statyczne i dynamiczne [12]. Pneumokulowanie jako jedna z odmian dynamicznego umacniania powierzchni korzystnie wpływa na stan warstwy wierzchniej oraz wytrzymałość zmęczeniową części maszyn [5-8]. Proces pneumokulowania został szeroko przeanalizowany teoretycznie i praktycznie [5, 6, 13, 14, 9, 11, 2]. Do głównych zalet tej metody można zaliczyć obróbkę części w trudno dostępnych miejscach, brak elementów szybko zużywających się [3], a także możliwość zaprojektowania urządzeń o przeznaczeniu specjalnym. Przykładem mogą być np.: urządzenia do pneumokulowania wałków, łopatek turbin parowych, głowice pionowe oraz poziome do kulowania otworów czy ręczne urządzenia do miejscowego pneumokulowania [4]. Efektywność pneumokulowania zależy od parametrów

procesu, rodzaju obrabianego materiału oraz obróbki mechanicznej. Procesem pneumokulowania można również łatwo sterować przez zmianę ciśnienia powietrza doprowadzanego do dyszy, czasu trwania obróbki, wymianę kulek czy też konstrukcję dyszy [4]. Odpowiednie ukształtowanie dyszy umożliwia otrzymanie różnego kształtu strumienia kulek, dzięki zastosowaniu kilku dysz z oddzielnym sterowaniem ciśnieniem i czasem pracy można uzyskać różną intensywność nagniatania w różnych miejscach, co świadczy o elastyczności technologii pneumokulowania.

Proces ten powoduje również wzrost wytrzymałości zmęczeniowej złączy spawanych. Spawanie wprowadza do materiału naprężenia rozciągające, które w procesie kulowania są redukowane przez wprowadzenie do materiału naprężeń ściskających, co w efekcie zwiększa ich trwałość [10]. Wytrzymałość zmęczeniowa złącza niepoddanego żadnej obróbce po spawaniu mieści się w granicach 30–40% wytrzymałości zmęczeniowej materiału rodzimego. Głównym celem stosowania obróbki umacniającej złączy doczołowych jest usunięcie lub zmniejszenie oddziaływania koncentatorów naprężeń. Dzięki temu w przypadku złączy doczołowych można osiągnąć wytrzymałość zmęczeniową równą wytrzymałości materiału rodzimego [1].

Pneumokulowanie można również stosować do umacniania cienkich blach. Przykładowo w pracach

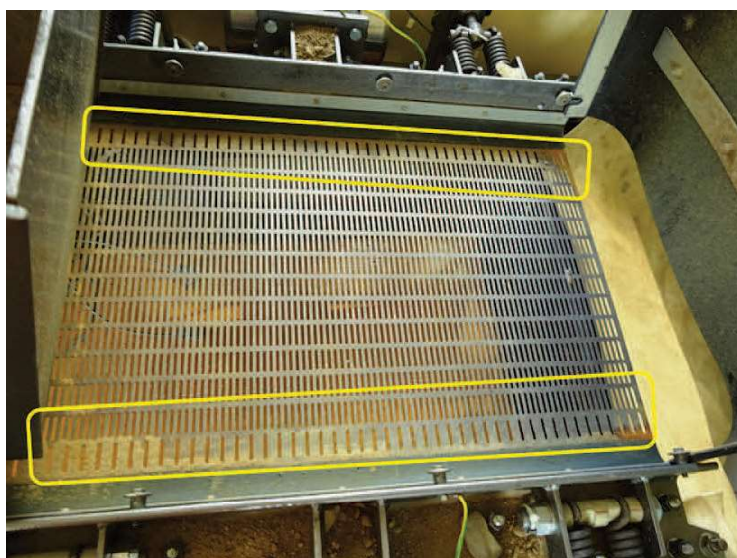
[13, 14] przedstawiono wpływ pneumokulowania na właściwości warstwy wierzchniej trzech gatunków stali: 51CrV4, X5CrNi18-10, 30HGSA o grubości 1 mm, stosowanych na sita przesiewaczy. Badania mikrotwardości wykazały, że materiałem o największym stopniu utwardzenia po obróbce (38,08%) była stal austenityczna X5CrNi18-10, natomiast najmniejszy stopień utwardzenia zaobserwowano w przypadku stali 30HGSA (14,2%). Przebiegi krzywych Wöhlera wskazały wzrost wytrzymałości zmęczeniowej dla stali 30HGSA (5%) po pneumokulowaniu. Jednak największą wytrzymałość zmęczeniową spośród badanych materiałów zaobserwowano w przypadku stali sprężynowej 51CrV4. Autorzy pracy [9] przeanalizowali wpływ kulowania pneumatycznego na strukturę, mikrotwardość oraz rozkład naprężeń własnych próbek wykonanych ze stali austenitycznej 904L. Próbkę kulowano śrutem stalowym o średnicy 0,8 mm, przy ciśnieniu powietrza 0,5 MPa przez 6 min. W wyniku kulowania topografia powierzchni uległa nieznacznym zmianom, chropowatość przed kulowaniem wyniosła $R_a = 3,9 \mu\text{m}$, a po kulowaniu $R_a = 3,98 \mu\text{m}$. Zmiana wielkości ziaren w warstwie wierzchniej występowała do głębokości ok. 150 μm przed obróbką dla próbek po walcowaniu, natomiast po kulowaniu w wyniku zgniotu nastąpił wzrost deformacji ziaren austenitu do głębokości 350 μm . Mikrotwardość stali 1.4539 wzrosła o ok. 50 HV po obróbce. Maksymalne wartości naprężeń ściskających wystąpiły na głębokości 0,08 mm pod powierzchnią próbki i wyniosły -600 MPa , co stanowi 3-krotny wzrost w porównaniu do próbek w stanie wyjściowym. Z kolei w pracy [2] przedstawiono wpływ parametrów technologicznych pneumokulowania na intensywność procesu dla stali 51CrV4. Badania przeprowadzono zgodnie z planem PS/DK 3². Czynnikiem wejściowym był czas nagniatania oraz ciśnienie. Największy wpływ na intensywność procesu wywarło ciśnienie oraz interakcja obydwu analizowanych parametrów.

Konstrukcja i opis głowicy

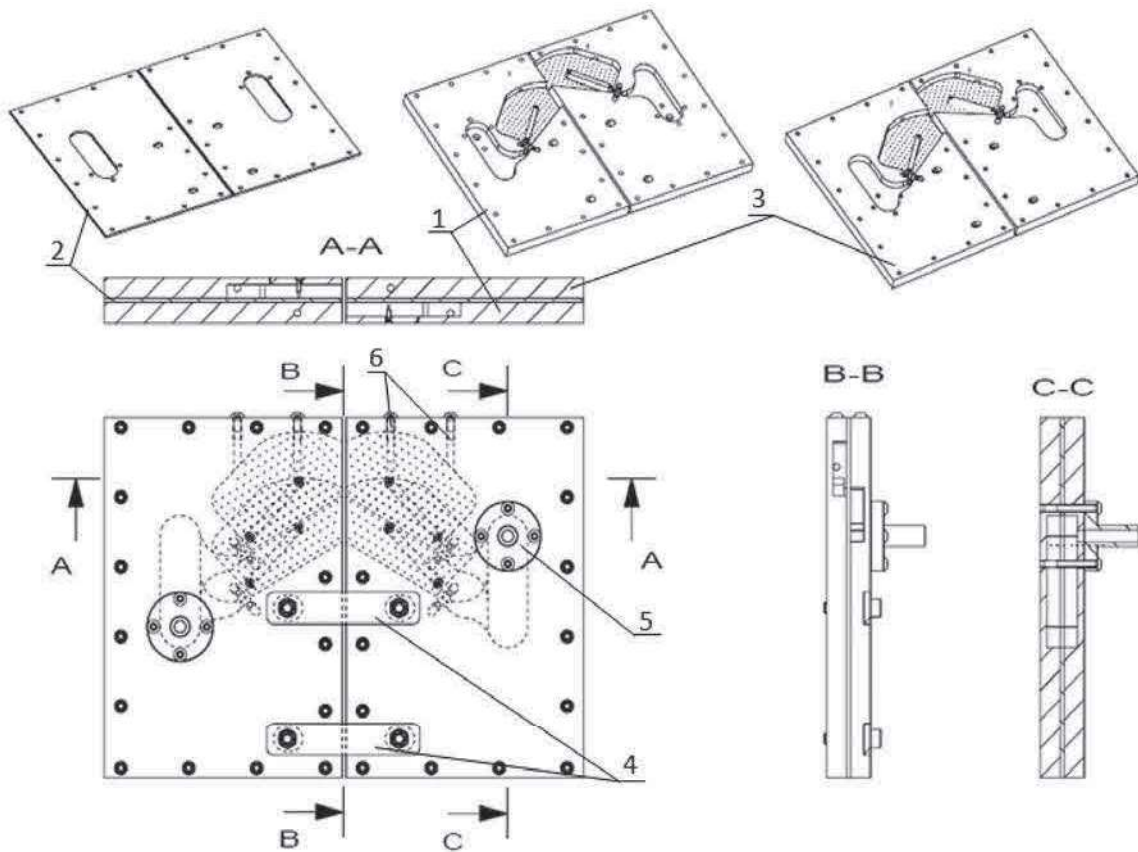
Głowica jest przeznaczona do umacniania blach i doczołowych połączeń spawanych metodą pneumokulowania. Ze względu na swoją konstrukcję głowica może być wykorzystana do umacniania części maszyn o dużych gabarytach. Przykładem może być sito przesiewacza o wymiarach 750×700×1 mm. Przeprowadzenie badań z użyciem takiej głowicy umocni najbardziej narażoną na pękanie część sita (rys. 1), co w efekcie wydłuży bezawaryjny czas pracy przesiewacza.

Głowica składa się z dwóch korpusów (rys. 2) – lewego i prawego, połączonych ze sobą dwoma uchwyta-
mi (4), które umożliwiają regulację i dostosowanie głowicy do grubości obrabianej części. Każdy korpus składa się z trzech części, a mianowicie: korpusu dolnego (1), podkładki uszczelniającej (2) oraz korpusu górnego (3). Podkładka uszczelniająca uniemożliwia przepływ kulek z komory roboczej dolnej (8) do komory górnej, zapewniając przy tym jednakowy rozkład ciśnienia w obydwu komorach. Za pomocą przyłączy (5) do komór (7), doprowadzane jest sprężone powietrze. Strumień sprężonego powietrza wypływający z dysz dolnych (9) porywa kulki łożyskowe, które następnie są kierowane przez dyszę górną (10) w kierunku obrabianej blachy. W korpusach dolnych oraz górnych znajdują się zarówno otwory wyspowe o średnicy 6 mm (6), umożliwiające umieszczenie kulek w komorach roboczych jak i mniejsze otwory odpowietrzające (11) o średnicy 1 mm. Korpusy wykonane są z tworzywa sztucznego, zaś pozostałe elementy takie jak przyłączy sprężonego powietrza, dysze dolne, górne oraz uchwyty są ze stali. Dzięki zastosowaniu 4 komór roboczych rozmieszczonych na dwóch poziomach możliwe jest umacnianie powierzchni z obydwu stron na maksymalnej długości wynoszącej 72 mm.

Pneumokulowanie realizowane jest w obiegu zamkniętym. Kulki po odbiciu od powierzchni obrabianej

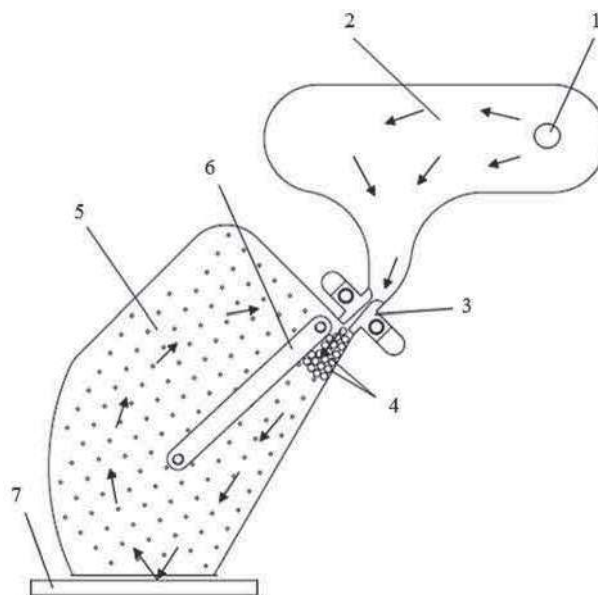


Rys. 1. Fotografia sita przesiewacza z uwzględnieniem miejsc najbardziej narażonych na pękanie
Fig. 1. Photograph of screen sieve taking into account places most prone to fracture



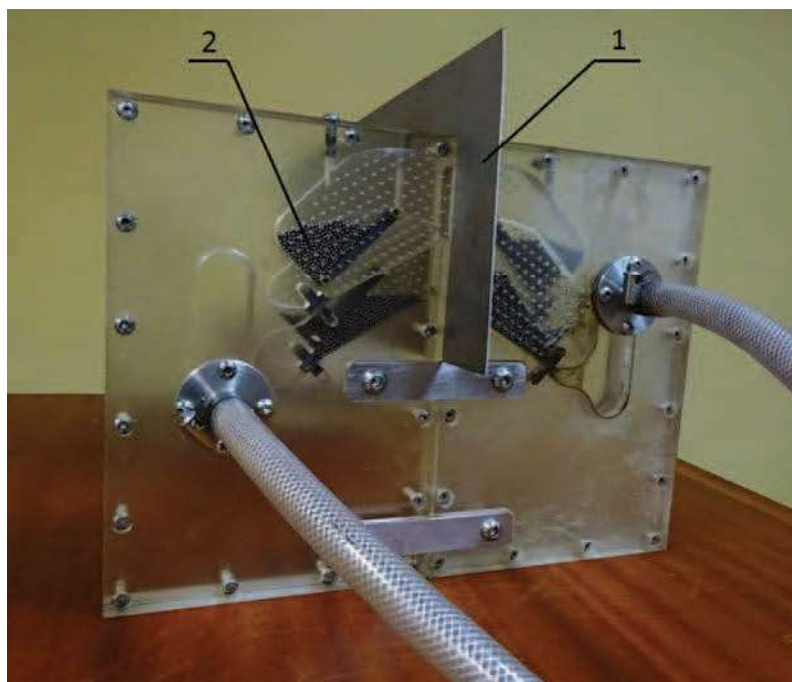
Rys. 2. Schemat głowicy do pneumatyzacji blach i doczołowych połączeń spawanych: 1 – korpus dolny, 2 – podkładka uszczelniająca, 3 – korpus górny, 4 – uchwyty łączące korpusy, 5 – przyłącze sprężonego powietrza, 6 – otwory wsypowe, AA – widok w przekroju poprzecznym głowicy, BB – widok w przekroju wzdłużnym głowicy, CC – widok w przekroju wzdłużnym ukazujący komorę sprężonego powietrza

Fig. 2. Diagram of head for pneumatic shot peening of sheet and butt welded joints: 1 – bottom body, 2 – sealing washer, 3 – upper body, 4 – body connecting brackets, 5 – compressed air connection, 6 – feed holes, AA – transverse cross-sectional view of the head, BB – longitudinal cross-sectional view of the head, CC – longitudinal sectional view showing the compressed air chamber



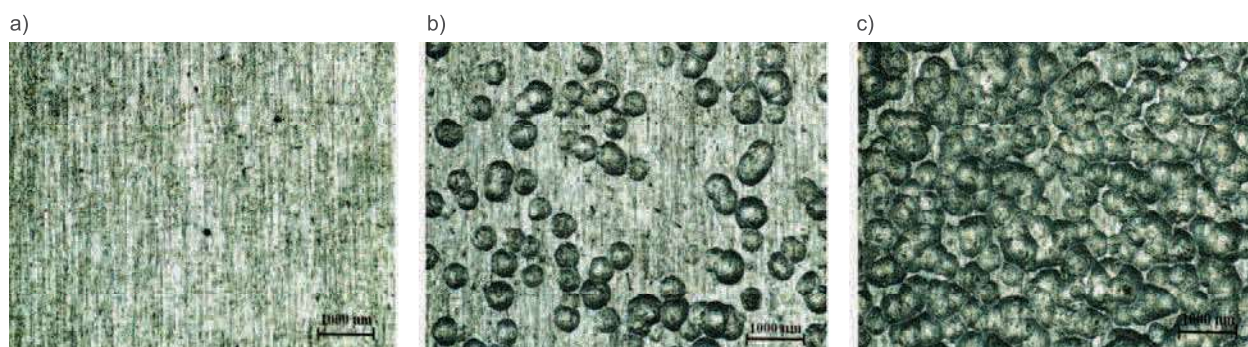
Rys. 3. Schemat procesu pneumatyzacji: 1 – przyłącze sprężonego powietrza, 2 – komora sprężonego powietrza, 3 – dysza dolna, 4 – kulki, 5 – komora robocza, 6 – dysza górna, 7 – przedmiot obrabiany.

Fig. 3. Scheme of pneumatic shot peening process: 1 – compressed air inlet, 2 – compressed air chamber, 3 – lower nozzle, 4 – balls, 5 – working chamber, 6 – upper nozzle, 7 – workpiece



Rys. 4. Fotografia głowicy do pneumokulowania blach i doczołowych połączeń spawanych: 1 – przedmiot obrabiany, 2 – elementy nagniatające

Fig. 4. Photograph of the head for pneumatic shot peening of sheets and butt welded joints: 1 – workpiece, 2 – burners



Rys. 5. Fotografia stali sprężynowej 51CrV4, pow. 30×: a) w stanie wyjściowym, b) po pneumokulowaniu w zakresie ciśnienia 0,2–0,3 MPa, c) po pneumokulowaniu w zakresie ciśnienia 0,5–0,6 MPa

Fig. 5. Photograph of spring steel 51CrV4, pow. 30x a) in the starting state, b) after pneumatic shot peening in the pressure range of 0.2 to 0.3 MPa, c) after pneumatic shot peening in the pressure range of 0.5 to 0.6 MPa

powracają w strefę dyszy dolnej i ponownie są rozpędzane sprężonym powietrzem i kierowane przez dyszę górną w kierunku obrabianej blachy lub złącza spawanego (rys. 3).

Na rys. 4 przedstawiono prototyp głowicy do pneumokulowania blach i doczołowych połączeń spawanych. Przedmiotem obrabianym była blacha o grubości 1 mm ze stali sprężynowej 51CrV4 (rys. 5a). Pierwsze próby kulowania realizowano w zakresie ciśnienia 0,2–0,3 MPa (rys. 5b). W tym przypadku elementy nagniatające, którymi były kulki łożyskowe o średnicy 1,5 mm, ze względu na niskie ciśnienie, nie zapewniły pożądanych efektów. Pokrycie powierzchni wyniosło ok. 30 %. Natomiast w przypadku kulowania blachy w zakresie ciśnienia 0,5–0,6 MPa

uzyskano 100% pokrycie powierzchni (rys. 5c). W związku z tym, aby kulowanie przyniosło pożądane efekty należy zapewnić odpowiedni dopływ sprężonego powietrza. Średnica przyłącza powinna wynosić 2”.

Wnioski

Zaletą proponowanego rozwiązania jest możliwość nagniatania blach o różnej grubości oraz kilku wymiarach. Głowica ma niewielkie wymiary (356×260×33 mm), jest także łatwa w użyciu. Wsad roboczy w postaci kulek jest niewielki i wykazuje dużą trwałość. Urządzenie jest stosunkowo lekkie, a podczas obróbki może być podtrzymywane ręcznie.

LITERATURA

- [1] Banaś G. 1987. „Zwiększanie wytrzymałości zmęczeniowej złączy spawanych metodami nagniatania. Nowe technologie nagniatania i ich zastosowanie w przemyśle elektromaszynowym”. Rzeszów: Zakład Małej Poligrafii Politechniki Rzeszowskiej: 125–137.
- [2] Bucior M. et.al. 2015. “The effect of technological parameters on intensity of shot peening process of 51CrV4 steel”. Conference Proceedings, 8-th International Symposium on Mechanics of Materials and Structures and Fracture and Fragmentation Technologies in Science and Engineering Conference, Augustów: 34–35.
- [3] Fedoryszyn A. i in. 2010. „Efekty obróbki powierzchniowej strumieniem śrutu”. XII Konferencja Odlewnicza Technical: 19–31.
- [4] Grinspan A. S., R. Gnanamoorthy. 2007. “Surface modification and fatigue behavior of high-pressure oil jet peened medium carbon steel AISI 1040, Transaction of the ASME”. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, Vol.129: 601–606.
- [5] Łunarski J. 1987. „Możliwości technologiczne procesu pneumokulowania”. Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej (35): 41–51.
- [6] Łunarski J. 1987. „Przegląd metod nagniatania i ich wpływ na właściwości użytkowe elementów maszyn”. Zbiór referatów pod red. J. Łunarskiego „Nowe technologie nagniatania i ich zastosowanie w przemyśle elektromaszynowym”. Zakład Małej Poligrafii Politechniki Rzeszowskiej, 1987.
- [7] Nakonieczny A., G. Mońka. 2004. „Wpływ kulowania na wytrzymałość zmęczeniową stali sprężynowej po oddziaływaniu korozji”. *Inżynieria Powierzchni* (3): 14–19.
- [8] Nakonieczny A. 2002. „Dynamiczna powierzchniowa obróbka plastyczna, kulowanie”. Warszawa: Instytut Mechaniki Precyzyjnej.
- [9] Nasitowska B. 2015. „Wpływ kulowania na strukturę, mikrotwardość i naprężenia własne stali austenitycznej 1.4539”. *Biuletyn WAT*, Vol. 64 (2): 103–110.
- [10] Nur Azida Che Lah. 2010. “The effect of controlled shot peening on fusion welded joints”. *Materials and Design* (31): 312–324.
- [11] Nyklewicz J. 1987. „Ocena intensywności pneumokulowania według parametrów nierówności powierzchni umocnionej”. *Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej* (35): 117–123.
- [12] Przybylski W. 1987. „Technologia obróbki nagniataniem”. Warszawa: WNT.
- [13] Śledź M., F. Stachowicz, W. Zielecki. 2015. “The effect of shot peening on the fatigue strength of steel sheets”. *Kovove Materialy – Metallic Materials*. Vol. 53, (2): 91–95.
- [14] Śledź M., W. Zielecki, Ł. Bąk. 2014. „Wpływ pneumokulowania na wytrzymałość zmęczeniową wybranych blach stalowych”. Monografia – Wybrane zagadnienia i problemy z zakresu budowy maszyn. Cz. 1. Rzeszów: 69–83.

dr inż. Magdalena Bucior – Katedra Technologii Maszyn i Inżynierii Produkcji Politechniki Rzeszowskiej, ul. Aleja Powstańców Warszawy 8, 35-959 Rzeszów, e-mail: magdabucior@prz.edu.pl

dr hab. inż. Władysław Zielecki prof. PRz – Katedra Technologii Maszyn i Inżynierii Produkcji Politechniki Rzeszowskiej, ul. Aleja Powstańców Warszawy 8, 35-959 Rzeszów, e-mail: wzktmiop@prz.edu.pl

dr inż. Andrzej Kubit – Katedra Technologii Maszyn i Inżynierii Produkcji Politechniki Rzeszowskiej, ul. Aleja Powstańców Warszawy 8, 35-959 Rzeszów, e-mail: akubit@prz.edu.pl