

NITOWNICA Z MODUŁOWĄ GŁOWICĄ NARZĘDZIOWĄ

Riveting machine with modular tools head

Mirosław CHŁOSTA, Konrad KLUSEK, Janusz KOBIAŁKA, Marcin WELC

Streszczenie: Nitowanie obwiedniowe i radialne jest jednym z głównych procesów wykorzystywanych podczas formowania połączeń nierozłącznych na zimno. W artykule opisano nitownicę o budowie modułowej umożliwiającą w łatwy sposób wymianę głowicy radialnej na obwiedniową. Przedstawiono również układ walidacji procesu nitowania poprzez jednoczesny pomiar siły i przemieszczenia oraz porównania ich przebiegu ze wzorcem.

Słowa kluczowe: nitowanie, nitownice radialne, nitownice obwiedniowe

Abstract: The orbital and radial riveting is one of the metal forming processes which enables the manufacture of products through cold working. The riveting machine with modular shape of structure was presented. The main parts of it were shown. On the end the riveting process validating criteria and subsystem used to force and displacement measurements were described

Keywords: Forming process, radial and orbital riveting machinery

Wstęp

Według słownika języka polskiego pod red. W. Doroszewskiego „moduł” to „element pełniący ustaloną funkcję, łatwy do wykorzystania, jako część różnych większych całości”. W maszynach i urządzeniach montażowych projektanci, konstruktorzy i producenci starają się stosować jak najwięcej rozwiązań modułowych. Takie podejście do budowania maszyn pozwala na standaryzację podzespołów, a w konsekwencji krótszy proces wytwórczy i ograniczenie kosztów produkcji.

Koncepcja ta doprowadziła do opracowania projektu modułu do nitowania wyposażonego w wymienną głowicę narzędziową do nitowania radialnego lub obwiedniowego.

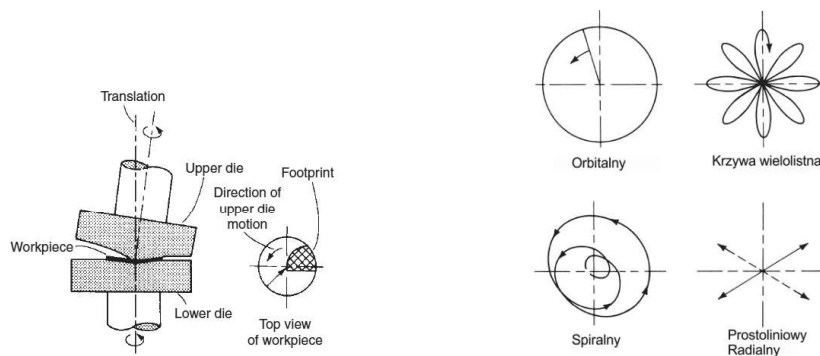
Proces nitowania

Trwałe, nierozłączne połączenie dwóch lub kilku elementów metalowych w wyniku ich odkształceń plastycznych znane jest od stuleci. Obecnie udział tej technologii w globalnej liczbie połączeń nierozłącznych wzrasta

wraz z rozwojem technicznym i materiałowym. W 1999 r. udział montażu w technikach wytwarzania w przemyśle krajowym wynosił ok. 35%, w tym procesu nitowania 8%. Obserwowana jest tendencja wzrostowa. Jednocześnie da się zauważyć, że ok. 80% operacji montażowych to operacje ręczne, 17,5% – częściowo zmechanizowane, 2% – zmechanizowane, a tylko 0,5% – zautomatyzowane. Jednak z upływem czasu statystyki dotyczące sposobów wykonywania operacji montażowych poprawiają się na korzyść mechanizacji i automatyzacji.

W przypadku procesu nitowania wprowadzane zmiany idą w kierunku zmniejszenia siły potrzebnej do wykonania połączenia – zmniejszenie energochłonności oraz poprawy rozkładu naprężeń w połączeniu.

Efektom tych działań było pojawienie się na początku XX w. narzędzi z wahającym się narzędziem roboczym. W angielskojęzycznej literaturze technicznej procesy te określone są nazwą wspólną nazwą *rotary forging*. Obejmują prasowanie obwiedniowe (orbitalne), z wahającą się matrycą, prasowanie radialne itp. Ich wspólną cechą jest to, iż narzędzie robocze jest w stałym kontakcie z przedmiotem



Rys. 1. Schemat ilustrujący zasadę kształtowania części wahlowej matrycy oraz jej możliwe trajektorie ruchu [4]
Fig. 1. Scheme of rotary forging and feasibility trajectories [4]

obrabanym na znacznie mniejszej powierzchni niż w klasycznych procesach kształtowania. Dodatkowo, narzędzie kształtujące wykonuje ruch o złożonej kinematyce. Istotą procesu jest zatem uzyskanie odkształceń plastycznych na stosunkowo małym obszarze, który przemieszcza się w wraz z ruchem narzędzia (np. stempla).

Metody rotacyjnego nitowania można podzielić na następujące trzy podstawowe grupy:

- nitowanie rolkami,
- nitowanie obwiedniowe (orbitalne),
- nitowanie radialne.

Nitowanie rolkami ze względu na niską jakość uzyskiwanego połączenia oraz szybkie zużywanie się narzędzi i duże gabaryty głowicy nitującej jest w stadium zaniku. Z kolei dwie pozostałe są stosowane szeroko i rozwijane. Podstawową zasadą wykorzystywaną w tej technologii jest niewspółosiowe ustawienie głowicy w stosunku do spęczki (rys. 1).

Matryce mogą wykonywać, względem spęczki, ruch o zróżnicowanej trajektorii. Stosowany jest ruch orbitalny, po obwiedni łba nitu, ruch spiralny, prostoliniowy – radialny oraz po tzw. krzywej wielolistnej.

Sposób poruszania się głowicy górnej nitownicy względem dolnej ma wpływ na jakość, strukturę materiału nitu i elementów łączonych.

Zestawienie tych cech przedstawiono na rys. 2.

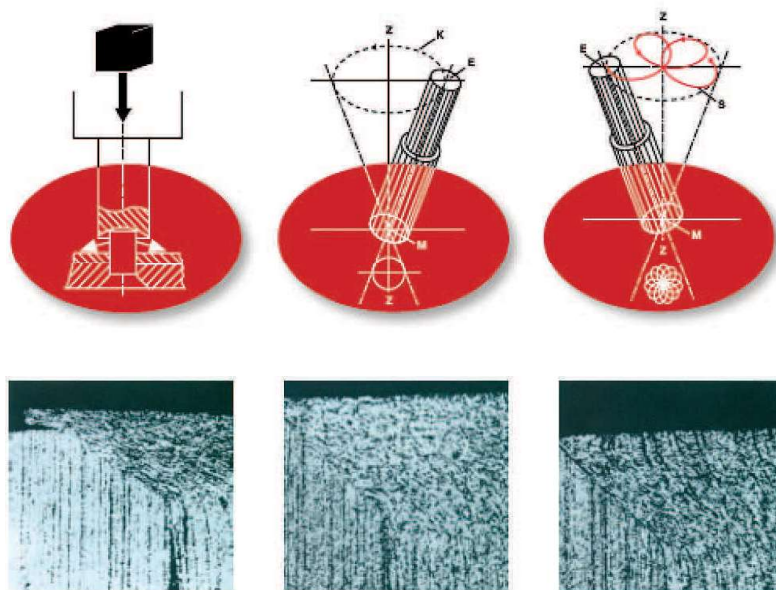
Z przedstawionych na rys. 2 przekrojów połączeń nitowanych wynikają następujące spostrzeżenia:

- a) Nitowanie przez prasowanie lub młotkowanie
Podczas prasowania wywierany jest jednorazowy nacisk, przez młotkowanie – wielokrotne uderzenie w osi nitu. Wadą takiej obróbki jest wstępowanie dużych sił oraz hałas w trakcie procesu obróbki. W przekroju widoczne bardzo silne utwardzenie struktury,

- b) Nitowanie obwiedniowe
Koniec trzpienia nitującego E porusza się po torze kulistym K wokół osi środkowej Z stempla nitującego. Oś trzpienia nitu przecina oś stempla w punkcie M. Odkształcenie nitu następuje na linii styku równej promieniowi główki nitu. Dobrze widoczne utwardzenie,

- c) Nitowanie radialno-punktowe
Tor kulisty K został zastąpiony torem w postaci pętli S. Oś wzdłużna trzpienia nitu przecina również oś stempla w punkcie M. Końcówka wrzeciona E przebiega przez oś środkową Z. Odkształcenie nitu dokonuje się przez zetknięcie punktowe pomiędzy stemplem nitującym a nitem. Nieznaczna zmiana struktury materiału nitu.

Stempel w nitownicy radialnej oprócz ruchu linowego wzdłuż osi nitu, wykonuje również ruch wahliwy listkowy obtaczania promieniowego po krzywej zwanej rozetą. Stempel ma wówczas niewielki, w przybliżeniu punktowy, styk z materiałem formowanym, dzięki czemu siły konieczne do plastycznego formowania materiału są mniejsze niż przy tradycyjnym nitowaniu. Rozkład naprężeń materiału deformowanego jest bardziej korzystny niż przy tradycyjnym prasowaniu, a jakość powierzchni jest wyjątkowo gładka, porównywalna do polerowanej. Materiał na powierzchni nitu przemieszcza się radialnie ku obwodowi, przez co jego struktura zmienia się nieznacznie w porównaniu do nitowania tradycyjnego. Metoda ta generuje niski poziom hałasu i pozwala uzyskać pewne i estetyczne połączenia, dzięki minimalnemu tarciu na styku nitu oraz stempla wydzielanie ciepła jest minimalne. Nitowanie metodą radialną ma szerokie zastosowanie również w wielu operacjach bez udziału łączników np. przy deformowaniu i kształtowaniu zakończeń prętów i rurek.



Rys. 2. Porównanie sposobu wykonywania połączenia nitowego oraz struktury przekroju nitu [5]

a) prasowanie lub młotkowanie b) nitowanie obwiedniowe c) nitowanie radialno-punktowe

Fig. 2. Comparison of the different ways of rivet forming and its rivets cross-sections [5]

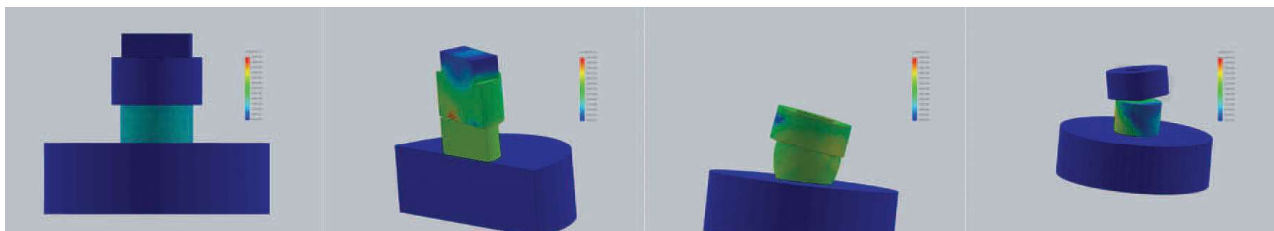
a) pressing and hammering b) orbital riveting c) radial riveting

Projektowanie modułu nitownicy z wymiennymi głowicami narzędziowymi

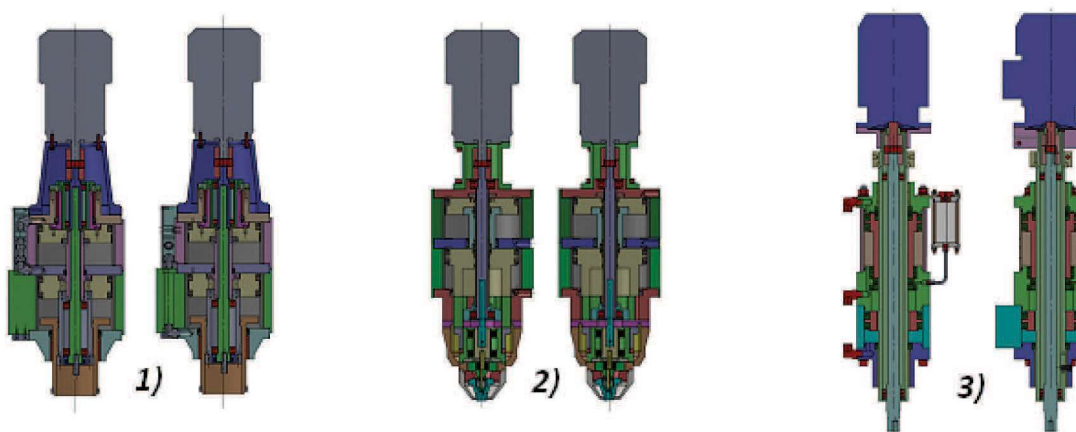
W pierwszym kroku projektowania modułu nitownicy wykonano analizę rozwiązań patentowych oraz dokonano przeglądu nitownic dostępnych na rynku. Z analizy uzyskano informację o chronionych prawnie rozwiązaniach

konstrukcyjnych oraz o parametrach użytkowych urządzeń dostępnych na rynku. Następnie wykonano analizę MES procesu formowania spęczki przy różnych warunkach brzegowych (rys. 3).

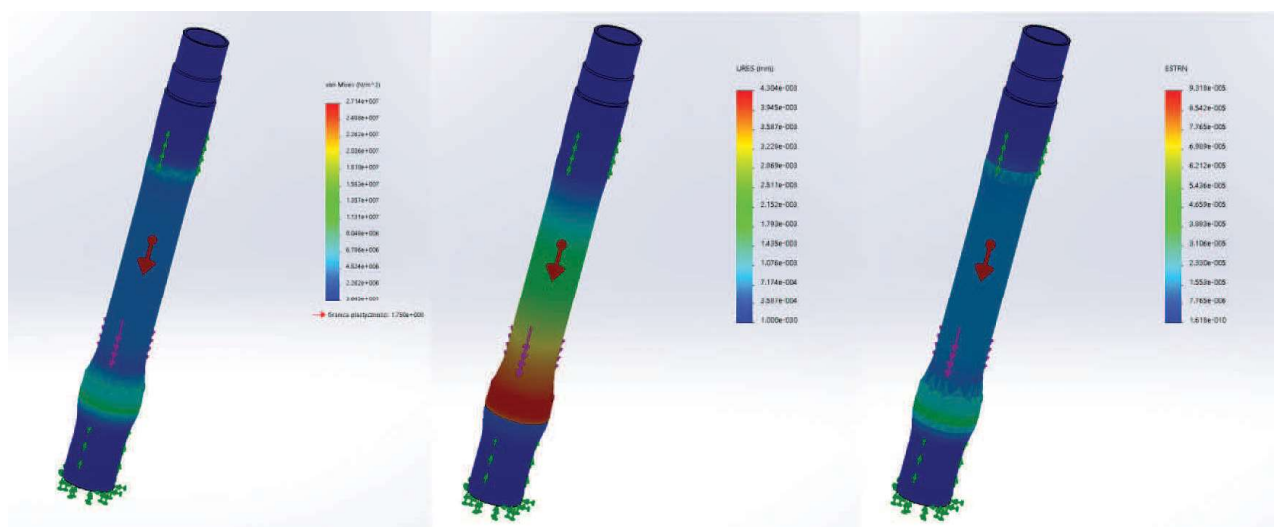
Analizy MES pozwoliły na ustalenie wartości siły, która pozwoli na spęczanie nita pełnego o średnicy $\varnothing 12$ [mm].



Rys. 3. Symulacje procesu formowania spęczki – poszczególne fazy
Fig. 3. Workpiece forming in steps



Rys. 4. Koncepty modułu głowicy do nitowania
1) Konceptja nr I 2) Konceptja nr II 3) Konceptja nr III
Fig. 4. Modular riveter concepts
1) # I Concept 2) # II Concept 3) # III Concept



Rys. 5. Wykres naprężeń, przemieszczeń oraz odkształceń dla tłoczyska w pozycji skrajnej dolnej
Fig. 5. Stress, displacement and strain diagrams for the rod lower position

Następnie opracowano trzy koncepcje modułu głowicy do nitowania (rys. 4).

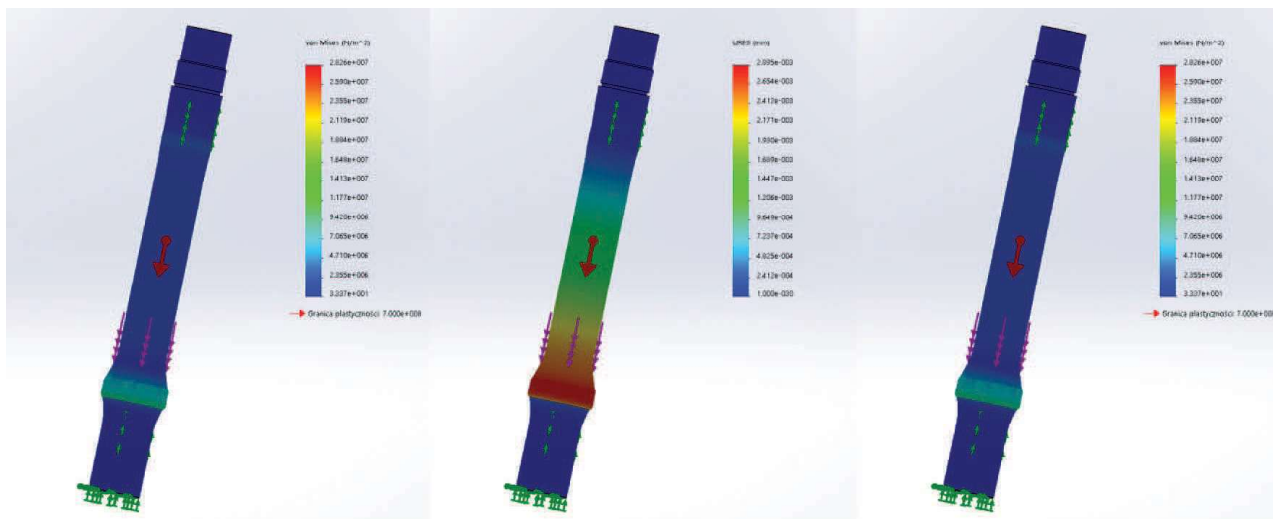
W kolejnym kroku poddano analizie wszystkie koncepcje modułu nitownicy, biorąc pod uwagę parametry techniczne, użytkowe oraz ekonomiczne.

Do dalszych prac wybrano trzecie rozwiązanie. Następnie istotne elementy wybranej nitownicy zostały przebadane metodą elementów skończonych. Uwzględniono warunki pracy, przenoszone obciążenia

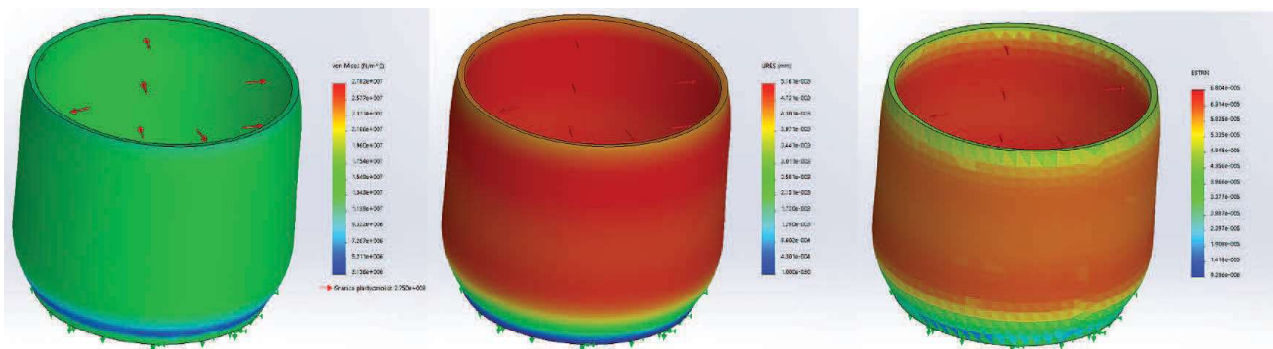
i współczynnik bezpieczeństwa. Analizy MES (rys. 5-8) pozwoliły zweryfikować modele i opracować na ich podstawie dokumentację wykonawczą modułu nitownicy.

Moduł do nitowania z wymienną głowicą narzędziową

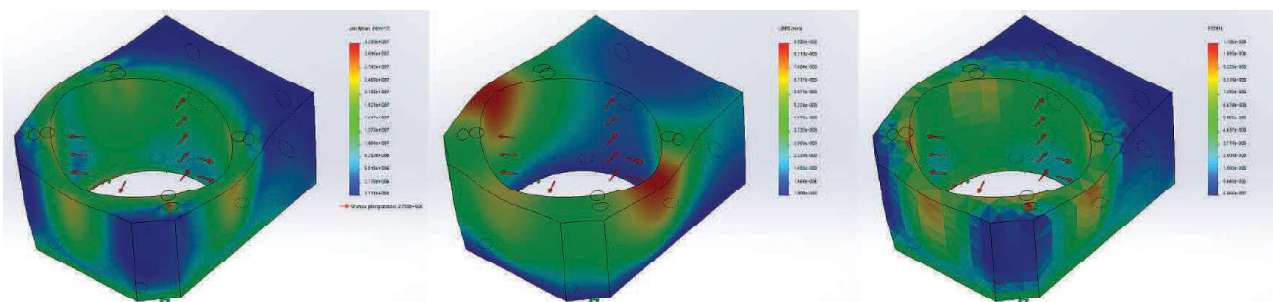
Na rysunkach poniżej przedstawiono: moduł (rys. 9) oraz głowice narzędziowe: radialną (rys. 10) i obwiedniową (rys. 11).



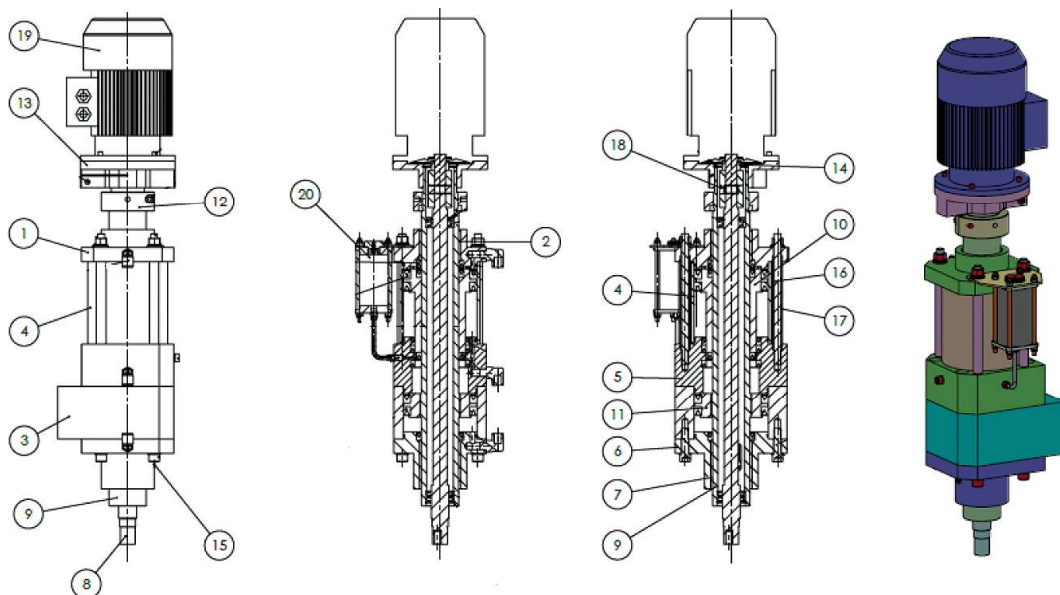
Rys. 6. Wykres naprężeń, przemieszczeń oraz odkształceń dla tłoczyska w pozycji skrajnej górnej
Fig. 6. Stress, displacement and strain diagrams for the rod upper position



Rys. 7. Wykres naprężeń, przemieszczeń oraz odkształceń cylindra górnego
Fig. 7. Upper cylinder stress, displacement and strain diagrams

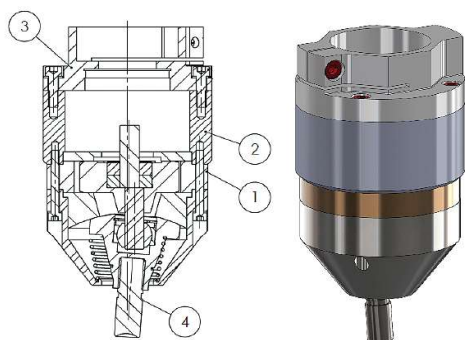


Rys. 8. Wykres naprężeń, przemieszczeń oraz odkształceń cylindra dolnego
Fig. 8. Bottom cylinder stress, displacement and strain diagrams



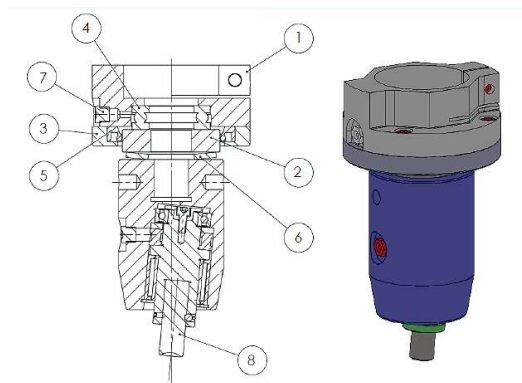
Rys. 9. Moduł do nitowania z wymienną głowicą narzędziową: 1) pokrywa górna, 2) prowadnica górna, 3) korpus główny, 4) cylinder pneumatyczny, 5) korpus nurnika, 6) pokrywa dolna, 7) prowadnica dolna, 8) wał napędowy, 9) tłocznisko, 10) nurnik, 11) tłok, 12) ogranicznik skoku, 13) zacisk silnika, 14) podkładka

Fig. 9. Riveter with changeable tool head: 1) upper cover, 2) upper gateway, 3) main body, 4) pneumatic cylinder, 5) plunger body, 6) bottom cover, 7) bottom gateway, 8) driver shaft, 9) rod, 10) plunger, 11) rod, 12) stroke limiter, 13) motor clamp, 14) washer



Rys. 10. Głowica narzędzia do nitowania radialnego: 1) korpus, 2) tuleja, 3) zacisk, 4) stempel

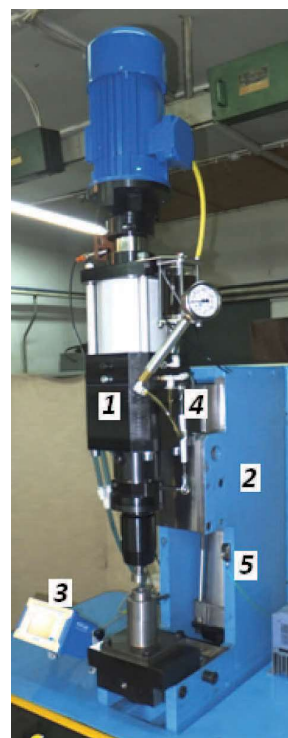
Fig.10. Radial riveter head: 1) Frome (body), 2) sleeve, 3) clamp, 4) punch



Rys. 11. Głowica narzędzia do nitowania obwiedniowego: 1) Zacisk, 2) Dystans, 3) Tuleja, 4) Łożysko, 5) Simmering, 6) Sprężyna, 7) Smarowniczką, 8) Stempel

Fig. 11. Orbital riveter head: 1) clamp, 2) spacer, 3) sleeve, 4) bearing, 5) snap ring, 6) spring, 7) grease nipple, 8) punch

Następnie wykonano prototyp modułu i poddano go badaniom weryfikującym założenia teoretyczne (rys. 12).



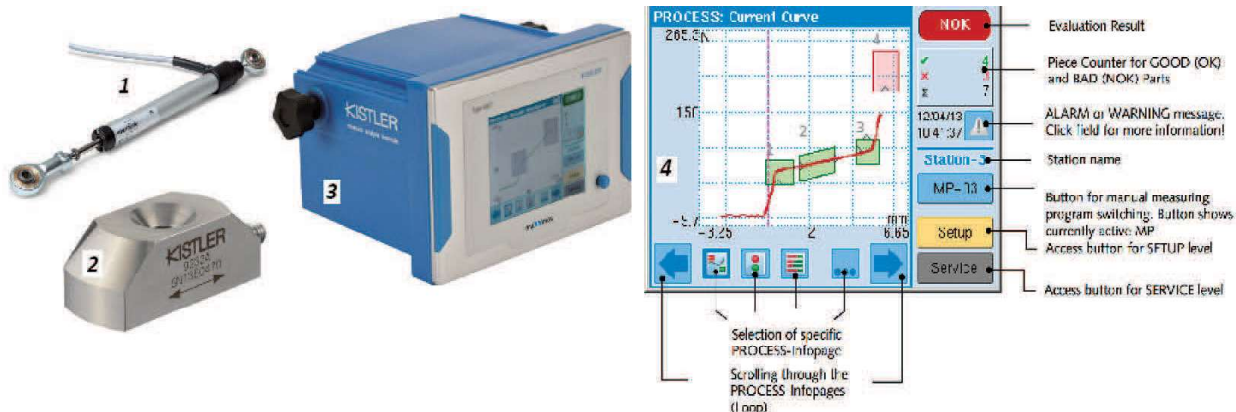
Rys. 12. Próby nitowania na module do nitowania: 1) Moduł do nitowania, 2) Wspornik, do którego został zamontowany moduł do nitowania, 3) Elektroniczny kontroler procesu nitowania, 4) Przetwornik przemieszczenia (drogi) głowicy narzędziowej, 5) Przetwornik naprężeń służący do pomiaru siły nitowania

Fig. 12. Riveter testing 1) riveting section, 2) frame, 3) Riveting process controller, 4) displacement transducer, 5) Force transducer

Układ walidacji procesu nitowania

Istotnym zagadnieniem pojawiającym się podczas każdego procesu technologicznego jest ocena prawidłowości jego przebiegu. Konieczne jest zatem monitorowanie wartości wybranych parametrów procesu w funkcji czasu. Dla

nitowania tymi parametrami są siła i przemieszczenie głowicy. Zastosowany układ kontroli (rys. 13) pozwala na wizualizację zmienności wartości tych parametrów w dowolnie określonej dziedzinie (czasu, siły, przemieszczenia). Umożliwia to jednoznaczne oddzielenie procesów o przebiegach prawidłowych (rys. 14) od nieprawidłowych (rys. 15).

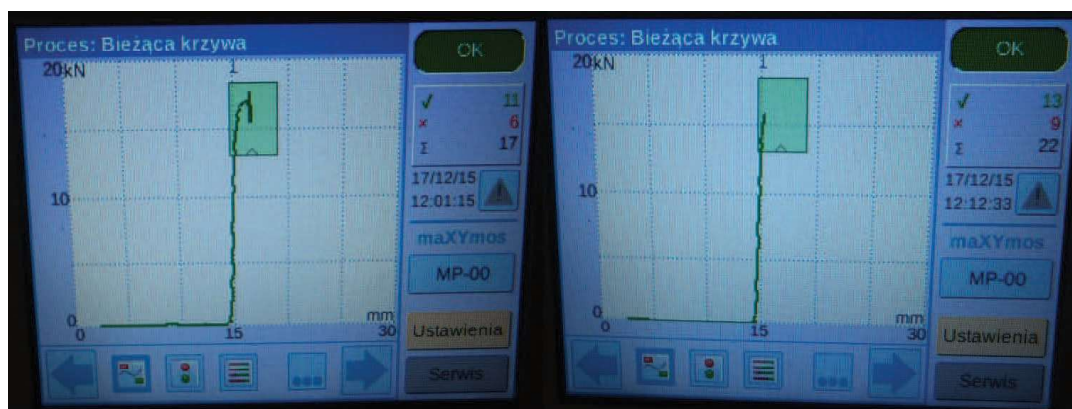


Rys. 13. Schemat kształtowania połączenia nitowego dwustronnego

1) Przetwornik przemieszczenia (drogi) głowicy narzędziowej radialnej lub obwodniowej modułu do nitowania, 2) Przetwornik naprężeń służący do pomiaru siły nitowania, 3) Elektroniczny kontroler procesu nitowania rejestrujący przebiegi siły w funkcji przemieszczenia, 4) Przykładowy widok ekranu na kontrolerze

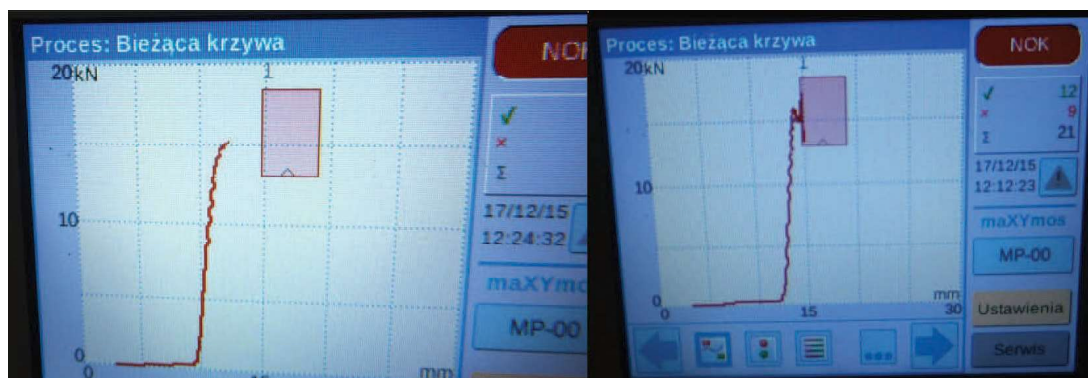
Fig. 13. Diagram of the double sided riveting process

1) modular riveting head displacement transducer, 2) force transducer, 3) PLC with HDI for force and displacement acquisition, 4) Sample of the HDI screenshot,



Rys. 14. Prawidłowe przebiegi siły w funkcji przemieszczenia uzyskane podczas prób nitowania na module do nitowania

Fig. 14. Correct history of the force vs displacement during the riveting process



Rys. 15. Nieprawidłowy przebieg siły w funkcji przemieszczenia w procesie nitowania – nity zbyt długie

Fig. 15. Incorrect history of the force vs displacement during the riveting process – the rivets were too long

Realizacja walidacji odbywa się na zasadzie porównania ze wzorcem. Wymagane jest zatem wprowadzenia do systemu wzorca prawidłowego procesu w postaci tzw. okien oceny. Generowany wykres siły w funkcji przemieszczenia daje operatorowi informację o poprawności przebiegu procesu po powrocie głowicy do pozycji początkowej (rys. 14 i 15).

Możliwość akwizycji danych z wielu powtarzających się pomiarów pozwalają ocenić statystycznie całą partię produkcyjną.

Układ kontroli procesu nitowania może być traktowany jako samodzielny moduł pomiarowy z niezależnym zasilaniem elektrycznym. Można zatem wykorzystać go do współpracy z wieloma starszymi nitownicami, które działają już w liniach produkcyjnych.

Podsumowanie i wnioski

W wyniku wyżej opisanych prac stworzono moduł do nitowania. Po badaniach prototypu stwierdzono, że zapewnia on nacisk ok. 16 [kN] przy ciśnieniu 0,6 [MPa] i ok. 19 [kN] przy ciśnieniu 0,7 [MPa]. Umożliwia to formowanie nitów o średnicy do $\varnothing 12$ [mm]. Moduł ma nieskomplikowaną budowę, a użyte detale niemal w całości mogą być wykonane na tokarkach. Nie wymagają bowiem skomplikowanych procesów obróbkowych. Moduł może być wyposażony wymiennie w głowicę narzędziową obwiedniową lub radialną. Stanowi to pewnego rodzaju innowację na rynku. Z punktu widzenia wytwarzania takie rozwiązanie znacznie obniża koszty, gdyż elementy głowicy są uniwersalne, różnica tkwi tylko w rodzaju zastosowanego narzędzia. Głowice radialne są droższe w wykonaniu od obwiedniowych, ale jak się okazuje, ich zastosowanie nie jest konieczne we wszystkich aplikacjach. Głowice obwiedniowe lepiej niż radialne sprawdzają się przy formowaniu nitów rurkowych, zwłaszcza przy cieńszych ściankach. Nie powodują bowiem niezamierzonej deformacji kształtu nitu. Inną dużą zaletą głowic obwiedniowych to małe koszty utrzymania, gdyż cyklicznie wymieniane są tylko łożyska i ewentualnie stempel,

a więc elementy tanie i łatwo dostępne. W przypadku głowic radialnych, oprócz stempla, po dłuższym odstępie czasu konieczna jest wymiana czaszy współpracującej z tuleją narzędzia, a jeszcze rzadziej wymiany wymaga zespół kół zębatych. Są to podzespoły dedykowane, dużo droższe i mniej dostępne od łożysk.

LITERATURA

- [1] Łunarski J., F. Stachowicz. 1999. „Prasowanie radialne w procesach kształtowania i łączenia małych elementów maszyn”. OWPR Rzeszów.
- [2] Kowalski T., G. Lis, W. Szenajch. 2000. „Technologia i automatyzacja montażu maszyn”. OWPW Warszawa.
- [3] Sadowski T., J. Sęp, P. Lacki. 2016. „Niekonwencjonalne technologie łączenia elementów konstrukcji lotniczych”. Nr zadania – ZB 15, <http://slideplayer.pl/slide/409754/>, dostęp 06.12.2016.
- [4] Semiatin S. L. (red). 2005. “ASM Handbook. Rotary Forging”. Volume 14A, p. 179-182: Metalworking: Bulk Forming, www.asminternational.org, dostęp 06.12.2016.
- [5] Katalog_FMW_2015_PL.pdf – <http://www.automationstechnik.pl>, dostęp 06.12.2016.

dr inż. Mirosław Chłosta – Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego, Zakład Mechanizacji Budownictwa, Automatyzacji i Technologii Montażu, 04-697 Warszawa, ul. Mrówcza 243, e-mail: m.chlosta@imbigs.pl

mgr inż. Konrad Klusek – Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego, Zakład Mechanizacji Budownictwa, Automatyzacji i Technologii Montażu, 04-697 Warszawa, ul. Mrówcza 243, e-mail: k.klusek@imbigs.pl

mgr inż. Janusz Kobiałka – Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego, Zakład Mechanizacji Budownictwa, Automatyzacji i Technologii Montażu, 04-697 Warszawa, ul. Mrówcza 243, e-mail: j.kobiałka@imbigs.pl

mgr inż. Marcin Welc – Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego, Zakład Mechanizacji Budownictwa, Automatyzacji i Technologii Montażu, 04-697 Warszawa, ul. Mrówcza 243, e-mail: m.welc@imbigs.pl