

OCENA POŁĄCZEŃ KLINCZOWYCH Z USZCZELKĄ KSZTAŁTOWĄ NAKLADANĄ RĘCZNIE I WYLEWANĄ NA MODUŁOWYM ZROBOTYZOWANYM STANOWISKU MONTAŻOWYM

Evaluation of clinch joints with a seam gasket applied by hand and form on a modular robotic assembly station

Katarzyna PETA, Jan ŻUREK, Marcin WIŚNIEWSKI, Marcin SUSZYŃSKI, Robert CIEŚLAK

Streszczenie: W pracy omówiono dwa sposoby montażu uszczelki zbiorników chłodnic cieczy. Przedstawiono porównanie wyników badań chłodnic cieczy z uszczelnieniem nakładanym ręcznie oraz wylewanym na modułowym zrobotyzowanym stanowisku montażowym. Zastosowano uszczelki z materiału EPDM (etylene propylene diene monomer) oraz dwuskładnikowego kauczuku silikonowego, weryfikując ich twardość, siłę odrywania od zbiornika oraz odporność na starzenie. Po wykonaniu połączeń klinczowych przeprowadzono badania ich wytrzymałości na rozrywanie oraz mikrografię uwzględniającą wartości ugięcia obu uszczelki. W podsumowaniu przedstawiono wady i zalety uszczelnienia w odniesieniu do trwałości chłodnic cieczy, czasu trwania operacji montażu, z ustaleniem kierunków dalszych badań włącznie.

Słowa kluczowe: połączenia montażowe, chłodnice cieczy, robotyzacja

Abstract: The paper presents two ways of assembly of liquid radiator tank gaskets. A comparison of the test results of liquid coolers with a manual and poured gasket on a modular robotic assembly station is presented. Gaskets made of EPDM (ethylene propylene diene monomer) and two-component silicone rubber were used, verifying their hardness, chemical composition, detachment strength and resistance to aging. After the clinch joints were made, they were tested for their burst strength and micrography taking into account the deflection values of both gaskets. The summary presents the advantages and disadvantages of sealing in relation to the durability of liquid coolers, the duration of assembly operations, including directions for further tests.

Keywords: assembly joints, liquid coolers, robotization

Wprowadzenie

Technologia klinczowania chłodnic cieczy, polegająca na lokalnym przetłaczaniu łapek płyty sitowej na stopie zbiornika, umożliwia łączenie różnych gatunków materiałów oraz ograniczenie oddziaływania cieplnego na strukturę metalograficzną. W celu zapewnienia szczelności połączeń klinczowych, stosuje się uszczelki, umieszczane pomiędzy powierzchniami łączonych części, spełniające wymagania odporności na: 1) starzenie, 2) szoki cieplne oraz 3) działanie cieczy chłodzącej [1, 5, 7, 8, 9, 12].

Aktualnym kierunkiem rozwoju przedsiębiorstw jest modularyzacja i robotyzacja stanowisk montażowych, zwiększająca wydajność i elastyczność produkcji. Dobór sposobu nakładania uszczelki, ręcznie lub za pomocą robota przemysłowego, wpływa nie tylko na czasochłonność montażu, ale także na jakość połączeń klinczowych. Ich wady powodują wyciek cieczy chłodzącej z układu chłodzenia silnika i wynikają z nieprawidłowości [2, 3, 4, 6, 10, 11]:

- uszczelki (wymiarów i kształtów, przyczepności do podłoża, doboru materiałów),
- łączonych części (wymiarów i kształtów stopy zbiornika, łapek i rowka płyty sitowej, a także dobór stopów aluminium o małej plastyczności),

- operacji klinczowania (wymiarów oraz niewspółosiowości stempla i matrycy, wartości sił docisku i zaciśnięcia łapek płyty sitowej na stopie zbiornika, a także braku stosowania olei podczas przetłaczania łapek płyty sitowej).
- operacji ręcznego montażu uszczelki (wartości siły docisku uszczelki do rowka płyty sitowej),
- operacji zrobotyzowanego montażu uszczelki (doboru trajektorii i parametrów ruchu robota, wartości temperatury wulkanizacji uszczelki).

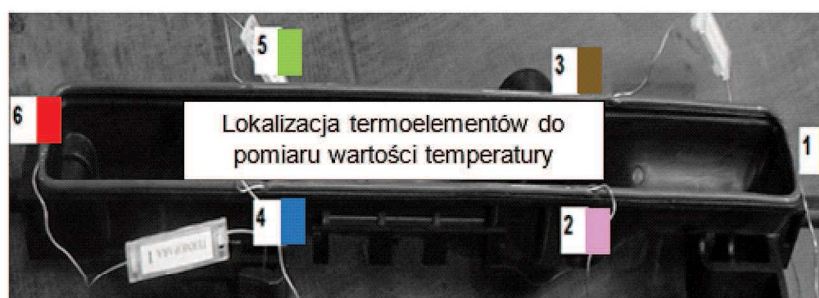
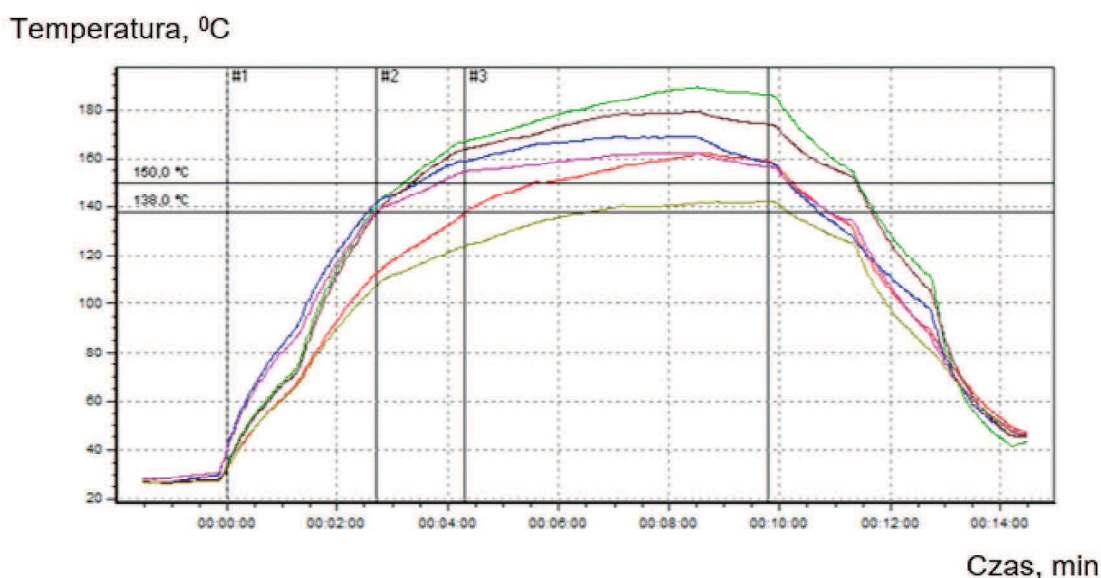
Metodyka badań

Badaniom poddano klinczowe połączenia przetłoczonych łapek płyty sitowej, wykonanych ze stopów aluminium AA3003/AA434, na stopie zbiornika z poliamidu PA6. Na uszczelnienia zastosowano dwa rodzaje materiałów: terpolimer otrzymywany z monomerów etylenowo-propylenowo-dienowych EPDM oraz dwuskładnikowy kauczuk silikonowy. Pierwszy, w postaci wykroju, nakładano ręcznie na rowku płyty sitowej, drugi nalewano w stanie płynnym na stopę zbiornika za pomocą robota przemysłowego, a następnie wulkanizowano w piecu zgodnie z rozkładem temperatury w funkcji czasu przedstawionym na rys. 1.

a)



b)



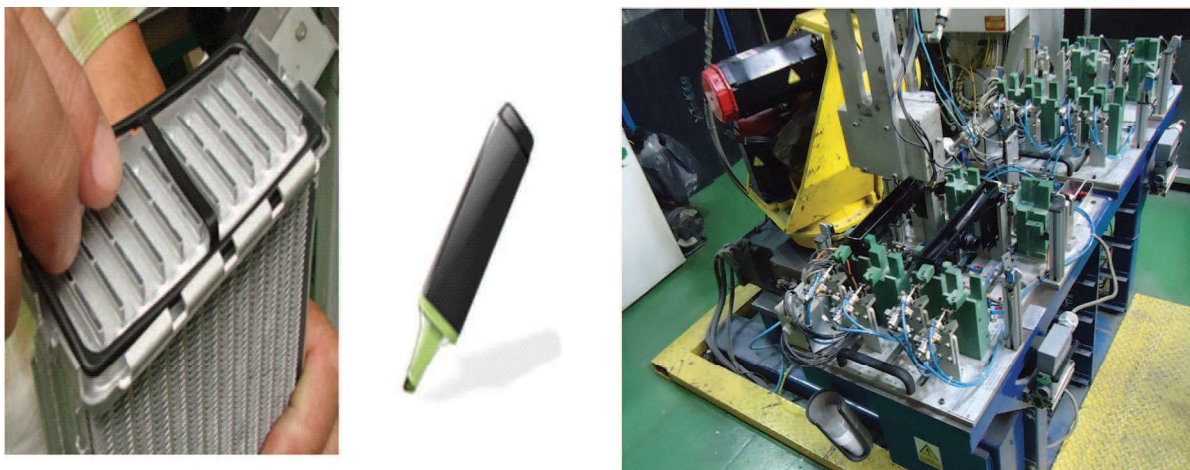
Rys. 1. Rozkład temperatury wulkanizacji uszczelki w funkcji czasu: a) teoretyczny, b) rzeczywisty (pomiar temperatury na powierzchni uszczelki za pomocą termoelementów)

Fig. 1. Distribution of temperature of gasket vulcanization as a function of time: a) theoretical, b) real (temperature measurement on the surface of the gasket using thermocouples)

Na rys. 2 przedstawiono dwa sposoby montażu uszczelki: ręczny oraz zrobotyzowany.

W celu sprawdzenia zdolności uszczelki do zachowania właściwości mechanicznych po długotrwałym działaniu na ich powierzchnię naprężeń ściskających, wykonano pomiary: ugięcia oraz mikrotwardości. Próbk

ściskano do 50% ich wysokości na powietrzu w temperaturze $120 \pm 2^\circ\text{C}$ przez 24 h – metoda A, a także w wodnym roztworze glikolu etylenowego w temperaturze $120 \pm 2^\circ\text{C}$ przez 48 h – metoda B. Następnie oceniono połączenia klinzowe: 1) wartość ciśnienia rozrywania oraz 2) ugięcie uszczelki.



Rys. 2. Stánowiska monta¿u uszczeltek: a) r¿eczne, b) zrobotyzowane
 Fig. 2. Gasket assembly workstations: a) manual, b) robotized

Tabela I. Zestawienie wyników pomiarów mikrotwardoœci oraz wysokoœci uszczeltek po badaniu odpornoœci na starzenie
 Table I. Comparison of microhardness measurement results and gasket height after an aging resistance test

Rodzaj uszczelki	Lp.	Wysokoœæ uszczelki przed badaniem odpornoœci na starzenie, mm	Mikrotwardoœæ uszczelki przed badaniem odpornoœci na starzenie, HV0,03	Wysokoœæ uszczelki po badaniu odpornoœci na starzenie, mm	Mikrotwardoœæ uszczelki po badaniu odpornoœci na starzenie, HV0,03
Badanie odpornoœci na starzenie – metoda A (na powietrzu)					
Nakładana r¿ecznie (materiał – EPDM)	1.	3,52	62,70	3,11	63,10
	2.	3,52	62,60	3,16	61,60
	3.	3,52	63,10	3,29	62,70
	4.	3,52	62,80	3,28	63,30
	5.	3,52	63,10	3,18	63,50
	œrednia	3,52	62,86	3,20	62,84
Nalewana za pomocã robota przemyslowego (materiał – kauczuk silikonowy)	1.	3,52	61,50	3,03	63,10
	2.	3,51	60,60	2,89	61,60
	3.	3,52	63,70	2,96	63,10
	4.	3,52	62,90	2,88	63,80
	5.	3,50	62,20	3,01	62,70
	œrednia	3,51	62,18	2,95	62,86
Badanie odpornoœci na starzenie – metoda B (w wodnym roztworze glikolu etylenowego)					
Nakładana r¿ecznie (materiał – EPDM)	1.	3,52	62,10	3,25	63,20
	2.	3,52	63,10	3,26	62,90
	3.	3,52	62,40	3,18	62,30
	4.	3,52	62,70	3,28	62,40
	5.	3,52	62,30	3,28	62,10
	œrednia	3,52	62,52	3,25	62,58
Nalewana za pomocã robota przemyslowego (materiał – kauczuk silikonowy)	1.	3,49	61,30	3,05	61,50
	2.	3,50	62,40	3,02	62,80
	3.	3,55	62,50	2,80	62,10
	4.	3,55	62,30	3,10	62,70
	5.	3,52	62,90	2,90	63,40
	œrednia	3,52	62,28	2,97	62,50

Wyniki badań i ich analiza

Wyniki pomiarów mikrotwardości uszczelki, a także ich wysokości przed i po badaniu dwoma metodami odporności na starzenie przedstawiono w tab. I.

Wyniki pomiarów wysokości uszczelki po montażu mieszczą się w polu tolerancji wymiarów podanych w dokumentacji konstrukcyjnej $T=3,52 \pm 0,1$ mm. Wartości wysokości uszczelki z kauczuku silikonowego różnią się od wartości nominalnych od 0 do 0,03 mm, a z materiału EPDM są zgodne z wymiarem nominalnym, świadcząc o większej dokładności ich wykonania.

W celu oceny zdolności powrotu uszczelki do pierwotnego kształtu sprawdzono ich wysokość po odjęciu sił obciążających, a następnie obliczono procentową wartość ugięcia próbek, stosując wzór:

$$C_A = \frac{(t_0 - t_i)}{t_0} \times 100\%,$$

gdzie:

C_A – ugięcie uszczelki, jako procent jej wysokości wyjściowej,

t_0 – wysokość uszczelki przed badaniem odporności na starzenie,

t_i – wysokość uszczelki po badaniu odporności na starzenie.

Maksymalna dopuszczalna wartość ugięcia uszczelki, zgodnie z założeniami dokumentacji technicznej, nie powinna przekraczać 35% wysokości wyjściowej. Próbki poddane badaniom odporności na starzenie spełniły wymienione wymagania. Średnia wysokość starzonych uszczelki z materiału EPDM wyniosła od 3,20 mm do 3,25 mm, a wartość ich ugięcia mieściła się w zakresie od 7,7 do 9,1%, świadcząc o lepszych właściwościach sprężystych od uszczelki z kauczuku silikonowego o wysokości 2,95–2,97 mm oraz ugięciu 15,6–16,0%.

Pomimo zróżnicowania stopnia ugięcia obu rodzajów uszczelki, uzyskano podobne wartości ich mikrotwardości, zarówno przed jak i po badaniu odporności na starzenie – 62 HV0,03.

W celu oceny połączeń klinczowych, wykonano także badania wytrzymałości chłodnic cieczy na rozrywanie. Nieszczelność w strefie analizowanych uszczelki wystąpiła przy ciśnieniu rozrywania 1,05–1,07 MPa.

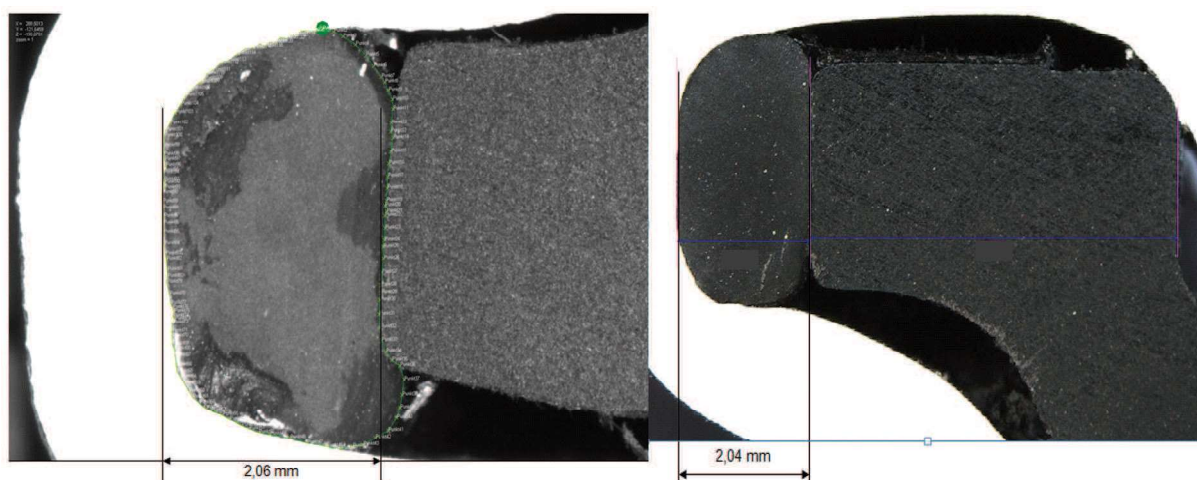
Na rys. 3 przedstawiono makrostrukturę uszczelki: nakładanej ręcznie (EPDM) oraz nalewanej na zrobotyzowanym stanowisku (kauczuk silikonowy). Ich wartość ugięcia po klinczowaniu wyniosła 27–28% (wysokość 2,54–2,56 mm), co świadczy o wynikach zgodnych z wymaganiami technicznymi (20–40% ugięcia).

Wnioski

Robotyzacja produkcji zmniejsza czasochłonność montażu i prawdopodobieństwo wystąpienia wad wyrobów. Uszczelki chłodnic cieczy, nakładane na stanowiskach: ręcznym i zrobotyzowanym charakteryzują się podobną wartością wysokości po montażu, mikrotwardością, a połączenia klinczowe – wartością ugięcia uszczelki oraz wytrzymałością na rozrywanie.

Badania odporności uszczelki na starzenie imitują warunki ich pracy i pozwalają na ocenę właściwości sprężystych materiałów poddawanych działaniu zwiększonej wartości temperatury w pewnym okresie czasu. Sprężystość uszczelki zapobiega powstawaniu pęknięć, wpływając na niezawodność klinczowych połączeń. Materiałem o większej zdolności powrotu do wyjściowego kształtu jest EPDM.

Wyniki badań wskazały na konieczność kontynuacji prac związanych z robotyzacją montażu chłodnic cieczy. Obejmą one wykonanie badań symulacyjnych nakładania uszczelki z materiału EPDM, posiadającego lepsze właściwości sprężyste, za pomocą robota przemysłowego. Przewiduje się także przeprowadzenie analiz ekonomicznych proponowanego rozwiązania.



Rys. 3. Makrostruktura uszczelki: a) nalewanej na zrobotyzowanym stanowisku, b) nakładanej ręcznie
Fig. 3. Macrostructure of the gasket: a) filled on a robotic station, b) applied manually

LITERATURA

- [1] Balawender T. 2010. „Klinczowanie jako sposób łączenia cienkościennych blach”. *Technologia i Automatykacja Montażu* (1): 33–36.
- [2] Gronostajski Z., S. Polak. 2009. “The application of clinching techniques to join impact energy absorbing thin-walled aluminium sections”. *Archives of Metallurgy and Materials* vol. 54(3): 695–70.
- [3] Koch T. 2006. „Systemy zrobotyzowanego montażu”. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej.
- [4] Lambiase F. et. al. 2015. “Joining aluminium alloys with reduced ductility by mechanical clinching”. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* vol. 77(5–8):1295–130.
- [5] Lee Ch.-J. et. al. 2010. “Parametric study on mechanical clinching process for joining aluminum alloy and high strength steel sheets”. *Journal of Mechanical Science and Technology*, vol. 24, No. 1: 123–126.
- [6] Meschut G., V. Janzen, T. Olfermann . 2014. “Innovative and highly productive joining technologies for multi-material lightweight car body structures”. *Journal of Materials Engineering and Performance*, vol. 23(5): 1515–15.
- [7] Mucha J. 2017. “Clinching technology in the automotive industry”. The archives of Automotive Engineering – Archiwum motoryzacji, vol. 76(2): 75–94.
- [8] Mucha J., L. Kašćák. 2010. „Wybrane aspekty kształtowania okrągłych połączeń przetłoczeniowych”. *Problemy eksploatacji – Maintenance problems* (4): 29–38.
- [9] Nong N. et. al. 2003. “Research on press joining technology for automotive metallic sheets”. *Journal of Materials Processing Technology* no. 137(1–3): 159–163.
- [10] Trespaderne F.M., E. López. 2009. “Visually guided robot for radiator sealing”. *Emerging Technologies & Factory Automation*, 22–25 Sept. 2009 Mallorca-Spain, IEEE Conference.
- [11] Yang Z. et. al. “Research on Intelligent Glue-coating Robot Based on Visual Servo”. *Physics Procedia*, vol. 24: 2165–2171.
- [12] Żurek J., K. Peta. 2014. „Ocena wytrzymałości połączeń nierozłącznych w skraplaczach samochodowych za pomocą analizy sygnałów wibroakustycznych”. *Inżynieria Maszyn* t. 19(1): 115–124.

mgr inż. Katarzyna Peta – Instytut Technologii Mechanicznej, Zakład Projektowania Technologii Politechniki Poznańskiej, ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań, e-mail: katarzyna.peta@put.poznan.pl

prof. dr hab. inż. Jan Żurek – Instytut Technologii Mechanicznej, Zakład Projektowania Technologii Politechniki Poznańskiej, ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań, e-mail: jan.zurek@put.poznan.pl

dr inż. Marcin Wiśniewski – Instytut Technologii Mechanicznej, Zakład Projektowania Technologii Politechniki Poznańskiej, ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań, e-mail: marcin.wisniewski@put.poznan.pl

dr inż. Marcin Suszyński – Instytut Technologii Mechanicznej, Zakład Projektowania Technologii Politechniki Poznańskiej, ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań, e-mail: marcin.suszynski@put.poznan.pl

dr inż. Robert Cieślak – Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Koninie, Katedra Inżynierii i Technologii, ul. Kard. S. Wyszyńskiego 35, 62-510 Konin, e-mail: robert.cieslak@konin.edu.pl