

WPLYW ROZKŁADU TEMPERATURY I ODKSZTAŁCEŃ LUTOWANYCH POŁĄCZEŃ MONTAŻOWYCH NA TRWAŁOŚĆ CHŁODNIC SAMOCHODOWYCH

Impact of temperature and stresses distribution of brazed joints on durability of automotive radiators

Katarzyna PETA, Karol GROCHALSKI, Marcin WIŚNIEWSKI, Jan ŻUREK

Streszczenie: W pracy omówiono ważniejsze czynniki determinujące trwałość połączeń lutowanych w chłodnicach samochodowych. Szczególną uwagę zwrócono na powstające (podczas ich eksploatacji) naprężenia cieplne, wynikające z nierównomiernego rozkładu temperatury w materiale. W tym celu przedstawiono wyniki tensometrycznych pomiarów ich odkształceń, uzupełnione pomiarami temperatury za pomocą termoelementów. Badania realizowano w różnych warunkach eksploatacyjnych, zmieniając głównie temperaturę cieczy chłodzącej, przepływającej w układzie chłodzenia silnika oraz powietrza opływającego kabinę samochodu. Porównano wyniki pomiarów temperatury i odkształceń połączeń lutowanych, uzupełniając je obserwacjami mikroskopowymi pęknięć zmęczeniowych. Podsumowanie zawiera uzasadnienie celowości badań lutowanych połączeń montażowych.

Słowa kluczowe: pomiary temperatury, pomiary odkształceń, chłodnice samochodowe

Abstract: The paper contains the major factors determining the durability of brazed joints used in automotive radiators. Particular attention was paid to the thermal stresses which are caused by uneven temperature distribution in the material during their exploitation. For this, the results of measurements of stresses in radiators, supplemented by temperature measurements by the thermocouples, were presented. The research was conducted in different exploitation conditions, mainly by changing the temperature of the air flowed over the car cabin. Moreover, was compared the obtained results of measurements of brazed joints, complemented by observations and measurements of tightness. The summary contained a justification of expediency analysis of assembly brazed joints.

Key words: temperature measurements, stresses measurements, automotive radiators

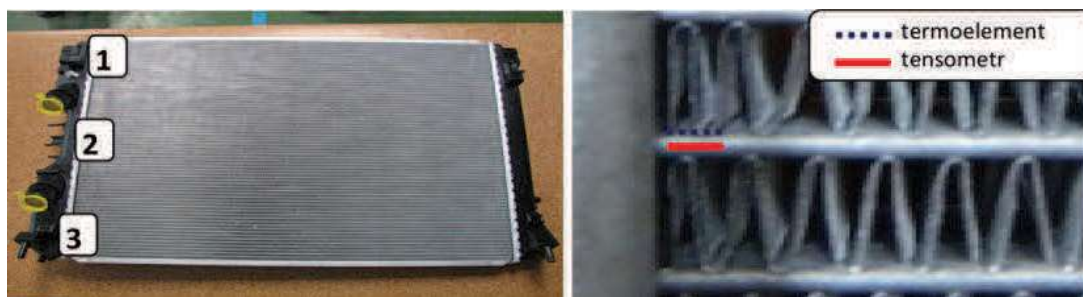
Wprowadzenie

Chłodnice cieczy stosowane w układzie chłodzenia silnika muszą spełniać liczne wymagania eksploatacyjne, związane z warunkami ich pracy. Narażone są one na działanie szoków cieplnych, związanych z przepływem cieczy chłodzącej o gwałtownie zmieniającej się temperaturze z zakresu -20°C – 100°C [6]. Podczas ich eksploatacji powstają nie tylko lokalne odkształcenia plastyczne w strefie połączeń lutowanych, ale również pęknięcia, których konsekwencją jest zmiana właściwości mechanicznych łączonych materiałów. Obciążenia cieplne występujące podczas użytkowania chłodnic samochodowych, ze względu na intensywność działania i wywoływane skutki, uznaje się za podstawowe podczas weryfikacji ich jakości. Efektem odbierania i oddawania ciepła przez połączenia lutowane jest zwiększanie lub zmniejszanie temperatury, a to z kolei powoduje zmianę ich wymiarów liniowych. W przypadku ograniczonej możliwości odkształcania się konstrukcji powstają lokalne naprężenia cieplne, których równomierny rozkład ściśle zależy od gradientów temperatury, jednorodności właściwości mechanicznych i struktury metalograficznej stosowanych materiałów. Konsekwencją ciągłego działania obciążeń cieplnych na połączenia lutowane jest ich zmęczenie cieplne, widoczne w postaci pęknięć [2, 4, 5, 8].

Odporność na szoki cieplne stanowi podstawowe kryterium trwałości chłodnic samochodowych, które determinują: konstrukcja, technologia produkcji, dokładność wykonania części i jakość ich montażu. W pracy przedstawiono wyniki pomiarów odkształceń chłodnic samochodowych w warunkach działania obciążeń cieplnych, wynikających ze zmian temperatury cieczy chłodzącej i powietrza opływającego kabinę pojazdu. Na ich podstawie zlokalizowano najbardziej narażone na uszkodzenia obszary połączeń lutowanych, których identyfikacja pozwala na minimalizowanie prawdopodobieństwa wycieku cieczy chłodzącej z układu chłodzenia silnika [1, 3, 7]. W dostępnych pracach naukowych, zdaniem autorów, niewystarczająco omówiono wpływ warunków klimatycznych na trwałość chłodnic samochodowych, dlatego przeprowadzono badania zmierzające do określenia zależności odkształcenia ich konstrukcji od temperatury powietrza opływającego pojazd.

Metodyka badań

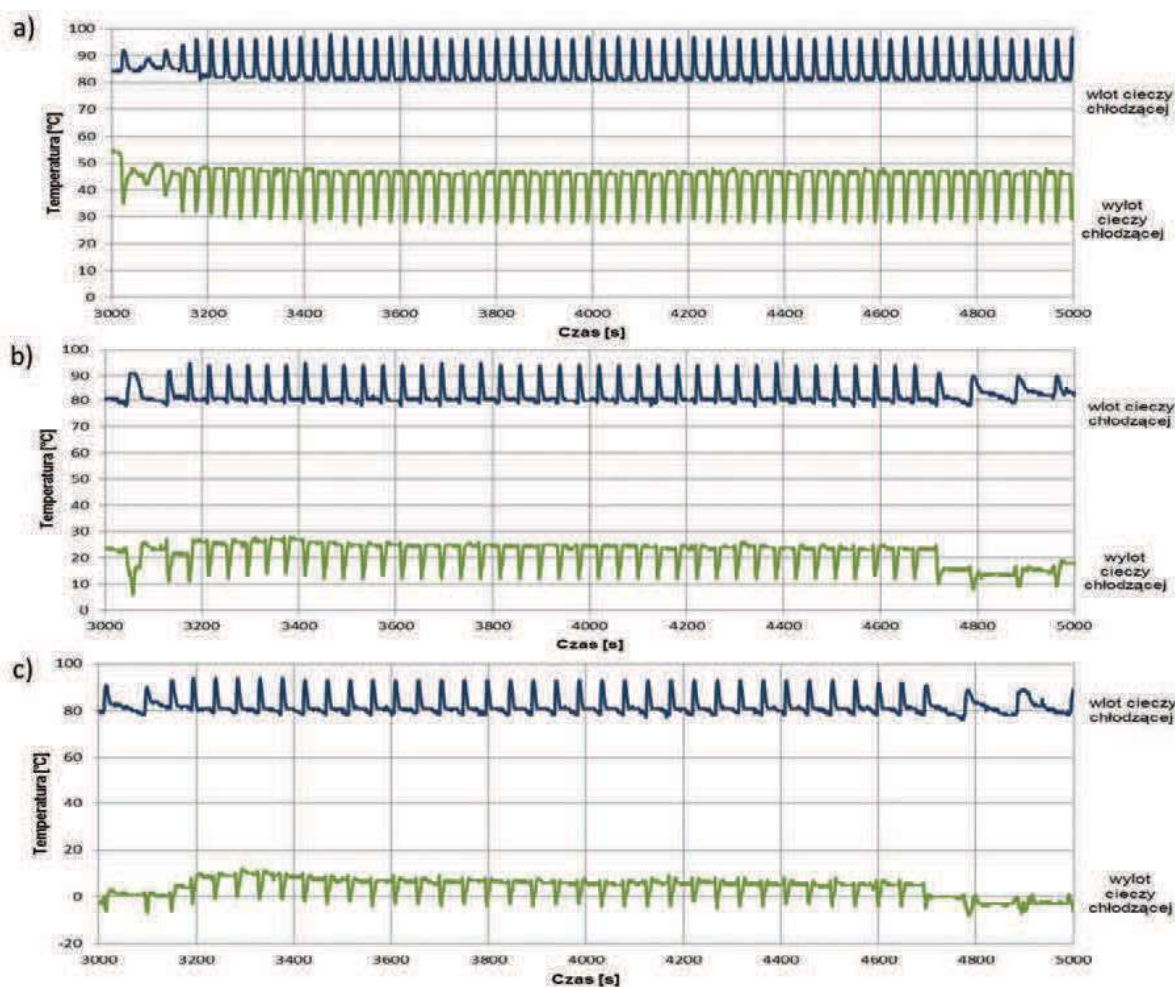
Pomiarom temperatury i odkształceń poddano samochodowe chłodnice cieczy wykonane z aluminiowych taśm platerowanych, zbudowanych z materiału rdzenia (stopu aluminium-mangan AA3003) oraz lutu (stopu aluminium-krzem AA4343). Ten drugi rozpoczyna topnienie



Rys. 1. Schemat rozmieszczenia tensometrów i termoelementów w analizowanej konstrukcji
 Fig. 1. The scheme of location of strain gauges and thermocouples in analyzed construction

w temperaturze 582°C i po krystalizacji tworzy połączenia lutowane w wymienniku ciepła. Realizowane w trakcie użytkowania samochodu badania obejmowały tensometryczne pomiary odkształceń oraz temperatury za pomocą termoelementów. Te pierwsze pozwalają określić wartości odkształceń w strefie łączonych materiałów powodowanych przez działające na nią siły zewnętrzne. W tym celu zastosowano trzy liniowe tensometry rezystancyjne o właściwościach samokompensujących o nominalnej oporności $120\Omega \pm 0,35\%$ i współczynnika

kompensacji temperatury dla aluminium $\alpha = 23 \times 10^{-6}/K$. Każdy z nich pracował w układzie ćwierćmostka Wheatstone'a z jednym tensometrem czynnym i trzema rezystorami. Tensometry naklejono na rury cieczy chłodzącej o szerokości 1,65 mm i grubości 0,25 mm. Pomiary temperatury wykonano za pomocą trzech termoelementów wykonanych ze stopu NiCr-NiAl o średnicy 0,5 mm i długości 200 mm. Schemat rozmieszczenia tensometrów i termoelementów na powierzchni chłodnicy samochodowej przedstawiono na rys. 1. Czujniki te zlokalizowano



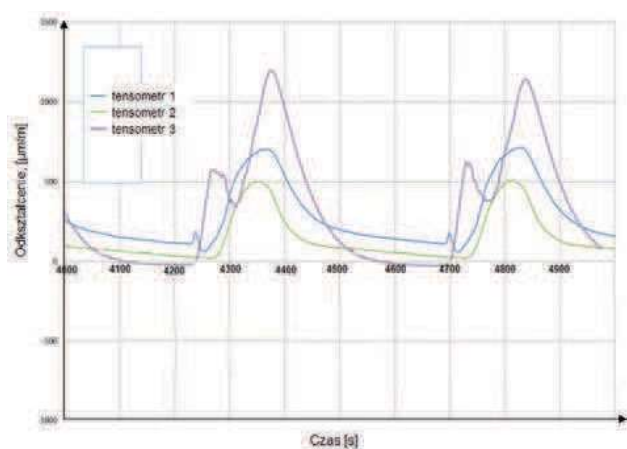
Rys. 2. Rozkład temperatury chłodnicy samochodowej w funkcji czasu w temperaturze powietrza opływającego pojazd: a) 20°C, b) 5°C, c) -10°C
 Fig. 2. The temperature distribution in radiator as a function of time, depending on the temperature of air flowing over the car cabin: a) 20°C, b) 5°C, c) -10°C

w obszarach najbardziej narażonych na powstawanie lokalnych pęknięć, których konsekwencją jest wyciek cieczy chłodzącej z układu chłodzenia silnika. Pomiaru odkształceń i temperatury chłodziaczy realizowano podczas testowania pojazdu w tunelu klimatyczno-aerodynamicznym, w którym zmieniano temperaturę strumienia powietrza opływającego kabinę samochodu (20°C, 5°C i -10°C). Przepływ powietrza wymuszano za pomocą wentylatorów napędzanych silnikiem prądu stałego.

Wyniki badań

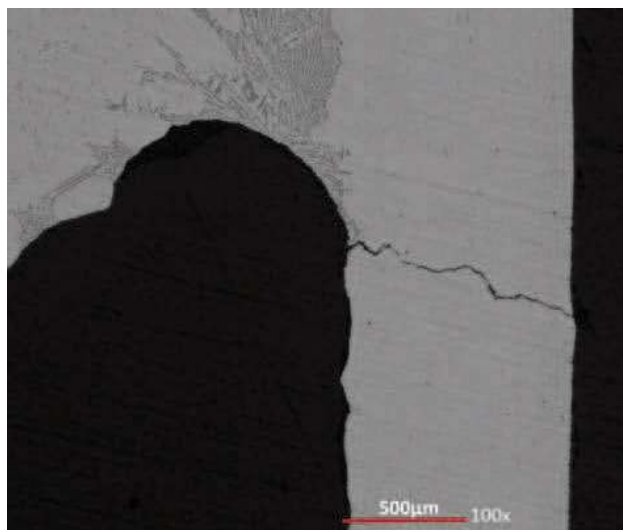
Na podstawie wyników przeprowadzonych badań porównano wartości temperatur rur cieczy chłodzącej, umiejscowionych na wlocie i wylocie chłodziacza samochodowego w powietrzu opływającym kabinę pojazdu 20°C, 5°C i -10°C (rys. 2), a następnie określono odkształcenia analizowanych obszarów (rys. 3).

Wraz ze zmniejszaniem temperatury powietrza otaczającego kabinę samochodu zwiększa się gradient temperatury między dwoma obszarami chłodziacza – jej wlotu i wylotu. Skutkiem intensywniejszego oddziaływania szoków cieplnych na konstrukcję jest zwiększone ryzyko powstania pęknięć zmęczeniowych. Na rys. 3 przedstawiono wyniki pomiarów odkształceń w temperaturze otoczenia -10°C, przy której obserwowano największe różnice temperatur między wlotem i wylotem cieczy z chłodziacza samochodowego. Największą amplitudą wartości odkształceń charakteryzuje się strefa wylotu cieczy chłodzącej z chłodziacza. Zatem połączenia lutowane znajdujące się w tym obszarze szczególnie narażone są na działanie obciążeń cieplnych, a w efekcie powstawanie ewentualnych pęknięć i poważnych uszkodzeń. Lokalna koncentracja naprężeń, a w konsekwencji największych zmian wymiarów liniowych chłodziacza występuje w chwili otwarcia zaworów termostatu oraz zmiany obiegu cieczy chłodzącej, co zauważalne jest w postaci charakterystycznego pików na wykresie.



Rys. 3. Rozkład odkształceń w funkcji czasu w temperaturze -10°C powietrza opływającego kabinę samochodu
Fig. 3. The strains distribution as a function of time, depending on the temperature -10°C of air flowing over the car cabin

Na rys. 4 przedstawiono widok pęknięcia zmęczeniowego w obszarze połączenia lutowanego po badaniu eksploatacyjnym chłodziacza samochodowego do czasu, w którym nastąpi jej uszkodzenie. Rozpoczyna się ono od pęknięć rur cieczy chłodzącej w strefie łączonych materiałów, a ich skutkiem jest wyciek medium przepływającego w układzie chłodzenia silnika.



Rys. 4. Widok pęknięcia zmęczeniowego w obszarze łączonych materiałów po badaniu trwałości chłodziacza samochodowego
Fig. 4. The view of fatigue crack after the endurance examination of automotive radiator

Wnioski

Na trwałość połączeń lutowanych w chłodziaczach samochodowych wpływa zmienność obciążeń termicznych. Wytrzymałość zmęczeniowa tych wyrobów zależy głównie od gradientu i zmienności naprężeń cieplnych, związanych z przepływem medium przepływającego w układzie chłodzenia silnika.

W pracy określono wpływ temperatury powietrza opływającego kabinę pojazdu na powstawanie potencjalnych pęknięć w obszarze łączonych materiałów. Ustalono, że im mniejsza jego temperatura (strefy klimatu chłodnego) tym większe prawdopodobieństwo wystąpienia uszkodzeń chłodziacza samochodowego, których krytyczną konsekwencją jest awaria układu chłodzenia silnika.

Na podstawie wyników przeprowadzonych badań wskazano na podstawowe zależności między wartościami temperatury chłodziaczy i opływającego je strumienia powietrza w powiązaniu z wartościami odkształceń ich konstrukcji. W dalszych badaniach planowane jest wykonanie pomiarów temperatury i odkształceń wymienników ciepła podczas ich testowania w tunelu klimatyczno-aerodynamicznym, symulując najczęściej spotykane sposoby jazdy samochodem: normalny, autostradowy, górski i miejski.

LITERATURA

- [1] Borrego L. et. al. 2010. "Fatigue crack growth in heat-treated aluminium alloys". *Engineering Failure Analysis* (17): 1–8.
- [2] Kahl S. et. al. 2014. "Fatigue and Creep Properties of Aluminum Heat Exchanger Tube Alloys for Temperatures from 293 K to 573 K (20°C to 300°C)". *Metallurgical and Materials Transactions. A*, vol. 45A, (2): 663–681.
- [3] Kim H., S. Lee. 2012. "Effect of a brazing process on mechanical and fatigue behavior of alclad aluminium 3005". *Journal of Mechanical Science and Technology* (7): 2111–2115.
- [4] Nowacki J., M. Kawiak. 2009. „Naprężenia i odkształcenia własne w złączach lutowanych”. *Przeгляд Spawalnictwa* (7–8): 61–66.
- [5] Prakash R. et. al. 2016. "Design and Modification of Radiator in I.C. Engine Cooling System for Maximizing Efficiency and Life". *Indian Journal of Science and Technology* (2): 1–7.
- [6] Prudhvi G., G. Vinay, G. Babu. 2013. "Cooling Systems in Automobiles & Cars". *International Journal of Engineering and Advanced Technology* (4): 688–695.
- [7] Saigal A., E. Fuller. 2001. "Analysis of stresses in aluminium-silicon alloys". *Computational Materials Science* (21): 149–158.
- [8] Siemińska-Jankowska B., S. Pietrowski. 2003. "The effects of temperature on strength of the new piston aluminium materials". *Journal of KONES Internal Combustion Engines* (3-4): 237–250.

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

mgr inż. Karol Grochalski – Instytut Technologii Mechanicznej, Zakład Metrologii i Systemów Pomiarowych Politechniki Poznańskiej, ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań, e-mail: karol.grochalski@wp.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

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