



Termiczna analiza samochodowej tarczy hamulcowej wykonana w programie SolidWorks

G. Lempart^a, B. Gajda^a, P. Krysiak^a, A. Śliwa^b

^a Student Politechniki Śląskiej, Wydział Mechaniczny Technologiczny

email: lempart@onet.pl

^b Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych

email: agata.sliwa@polsl.pl

Streszczenie: W pracy przedstawiono analizę rozkładu temperatur na przykładzie samochodowej tarczy hamulcowej wykonanej z różnych materiałów. Określono miejsca o najwyższej oraz najniższej temperaturze występujące podczas użytkowania elementu. Symulację komputerową wykonano w programie SolidWorks.

Abstract: The article presents an analysis of the temperature distribution on the car brake disc made of different materials. Specified location with the highest and lowest temperatures occurring during the use of the item. Computer simulation was performed in SolidWorks.

Słowa kluczowe: tarcza hamulcowa, analiza termiczna, SolidWorks

1. WSTĘP

Hamulce tarczowe niemal całkowicie zastąpiły stosowane kiedyś powszechnie hamulce bębnowe. Ich historia sięga 1953 r., kiedy to podczas wyścigu Le Mans wygrały pojazdy, w których po raz pierwszy zamontowano właśnie ten rodzaj hamulców. Doceniono wtedy ich zalety. Dzisiaj trudno znaleźć samochód, który nie byłby wyposażony w tarcze hamulcowe [1].

Hamulce są jednym z najważniejszych układów odpowiedzialnych za bezpieczeństwo podczas jazdy. W momencie gdy kierowca naciska na pedał hamulca, energia kinetyczna samochodu zamieniana jest na energię termiczną, która objawia się wzrostem temperatury tarczy hamulcowej i pozostałych elementów układu oraz kół jezdnych. Ilość wydzielanej energii zależy od [4]:

- masy pojazdu,
- różnicy pomiędzy prędkościami: na początku i na końcu hamowania.

W zależności od zastosowania tarczy hamulcowej wyróżnia się następujące główne grupy [1]:

- tarcza hamulcowa samochodowa,
- tarcza hamulcowa rowerowa,
- tarcza hamulcowa pociągowa.

Tarcze mają pewną pojemność cieplną, po osiągnięciu określonej temperatury dalszy odbiór ciepła przez materiał i skuteczność hamowania drastycznie spada. Praca elementów ciernych w takich warunkach może doprowadzić do ich zniszczenia. Aby do tego nie doszło, elementy układu narażone na najwyższe oddziaływania termiczne powinny być dobrze chłodzone. Właśnie dlatego konstruktorzy stworzyli tarcze wentylowane czy nawiercane. Te pierwsze mają specjalnie wyżłobione kanały w środku tarczy, co pomaga im stygnąć od środka. Drugie, dzięki licznym wywierconym otworom, zaczynają zmniejszać swoją temperaturę nie tylko na obwodzie, ale również w miejscu powstałych perforacji [3].

Kolejnym wyzwaniem dla konstruktorów było stworzenie takiego materiału, który podoła wymaganiom klienta w zakresie bezpieczeństwa oraz komfortu jazdy. Tarcze rozgrzane do temperatury czerwonego żaru, czyli grubo ponad 1000°C , często są nagle chłodzone na przykład przez zimną wodę odprowadzoną z kałuży, którą napotkała opona. Tarcze zwykle są wykonane ze stali lub żeliwa. Najbardziej zaawansowane zrobione są z ceramiki lub kompozytów węglowych. Są one bardziej odporne na wysokie temperatury, a co za tym idzie – również trwalsze [5].

Tarcza hamulcowa (rys. 1) może być wykonana z różnych materiałów np. żeliwo, stal węglowa, stal stopowa, ceramika lub kompozyty węglowe. Dwie ostatnie grupy nie są zbyt popularne ze względu na ich wysoką cenę, ale charakteryzują się bardzo dobrymi właściwościami odpornościowymi na temperaturę. W projekcie skupiono się na trzech pierwszych materiałach tj. żeliwo szare, stal węglowa i stal stopowa (SS).



Rysunek 1. Samochodowa tarcza hamulcowa [1]

Figure 1. Car brake disc [1]

Niezależnie od typu skojarzenia, wszystkie materiały stosowane na elementy cierne układów hamulcowych powinny charakteryzować się [2]:

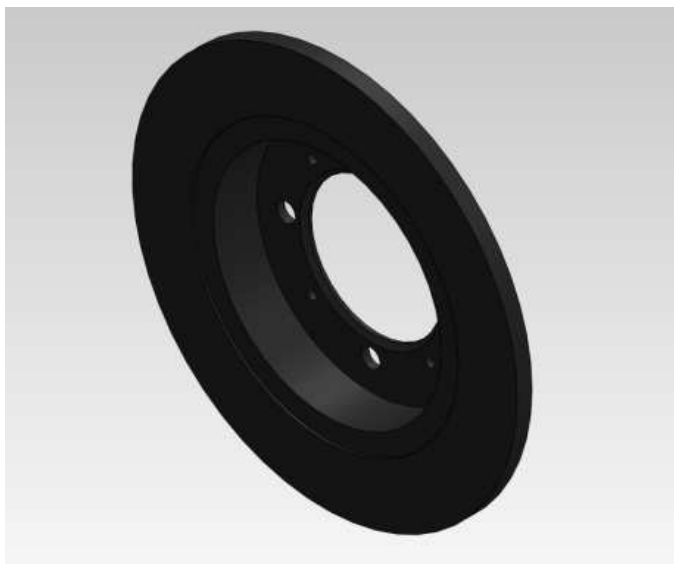
- odpowiednio wysoką wartością współczynnika tarcia μ oraz dużą jego stabilnością i małą czułością na zmianę: prędkości poślizgu, nacisków jednostkowych, liczby dokonanych

zahamowań, czasu pracy, stopnia zwilżenia wodą i stopnia zanieczyszczeń, np. piaskiem (w praktyce zaleca się $\mu = 0,3 \div 0,4$),

- dużą odpornością na zużycie w przewidywanych warunkach eksploatacyjnych pracy,
- dużą stabilnością właściwości w wysokiej temperaturze i odpornością na szoki cieplne oraz dobrym przewodnictwem cieplnym,
- wystarczającą wytrzymałością mechaniczną,
- małą skłonnością do zacierania powierzchni ślizgowych oraz łatwością docierania się,
- małą higroskopijnością i zwilżalnością,
- technologicznością i łatwością wykonania.

2. ANALIZA TERMICZNA SAMOCHODOWEJ TARCZY HAMULCOWEJ

W niniejszej pracy analizie poddano samochodową tarczę hamulcową wykonaną z różnych materiałów inżynierskich czyli z żeliwa szarego, stali węglowej oraz stali stopowej (SS). Na rysunku 2 przedstawiono geometrię analizowanej tarczy przedstawioną jako 20 ścienną bryłę wykonaną w programie SolidWorks. Wykonano badanie termiczne tarczy hamulcowej przy kolejno zadanych obciążeniach termicznych. W pierwszym kroku zbadano wpływ temperatury wynoszącej 20°C, zadanej jako temperatura początkowa, na obiekt badań. Następnie zadano współczynnik konwekcji wynoszący 50 W/(m²*K) oraz średnią temperaturę otoczenia 293 K. Ostatnim krokiem w planowaniu badania było zadanie odpowiednich obciążeń cieplnych, zadano tutaj wartość obciążenia cieplnego na 9000000 W/m². W tabelicy 1 przedstawiono wartość współczynnika rozszerzalności cieplej analizowanych materiałów.



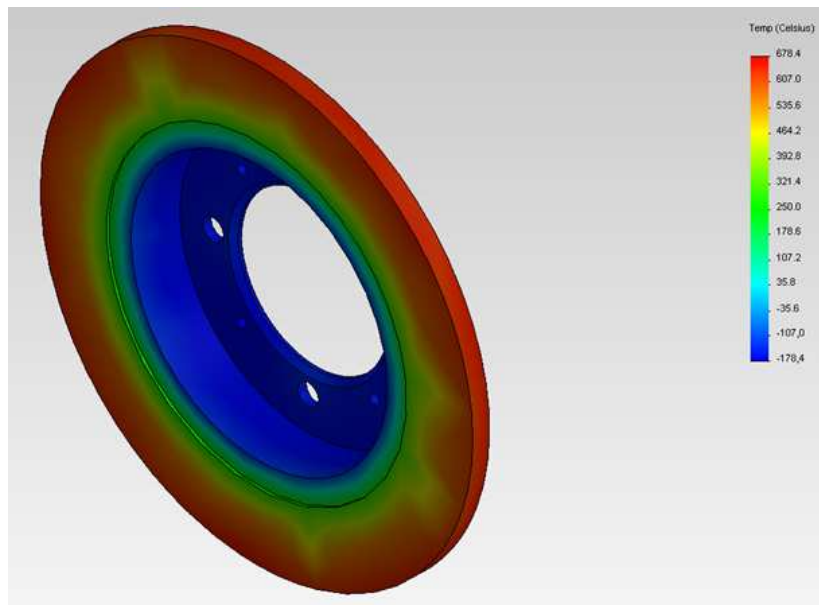
Rysunek 2. Geometria analizowanej tarczy hamulcowej

Figure 2. The geometry of brake disc

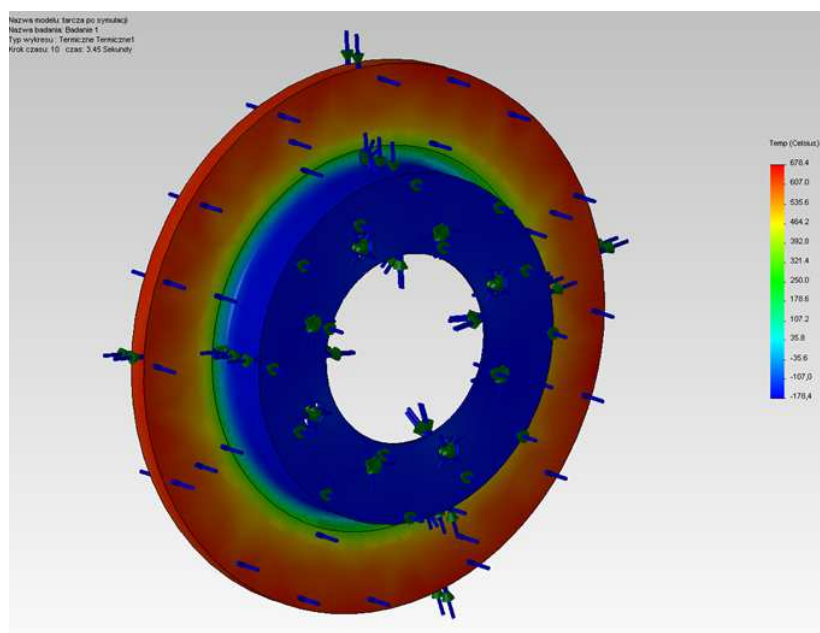
Rozkład temperatury na tarczy wykonanej z żeliwa szarego przedstawiono na rysunkach 3÷4. Następnie przeprowadzono badanie termiczne obiektu wykonanego ze stali węglowej (rys. 5÷6). Na końcu przeprowadzono badanie termiczne stali stopowej (SS) co prezentują rysunki 7÷8.

Tablica 1. Wartość współczynnika rozszerzalności cieplnej dla analizowanych materiałów
 Table 1. Thermal expansion coefficient of the analyzed materials

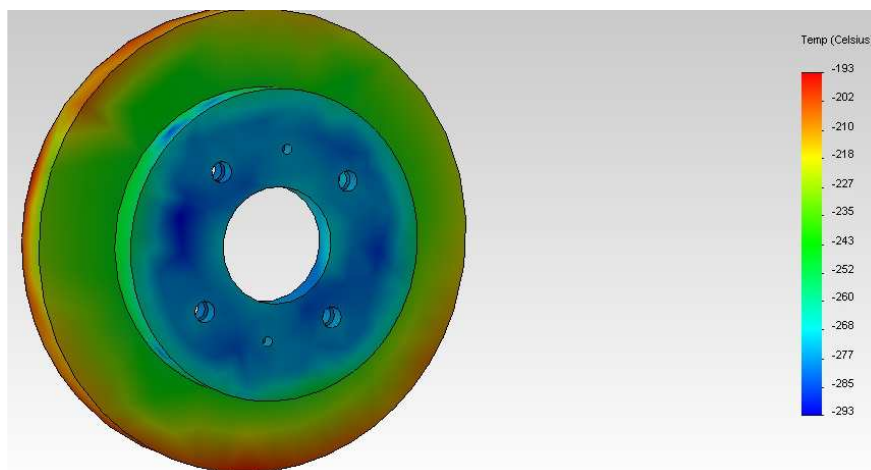
Material	Współczynnik przewodności cieplnej
żeliwo szare	45 W/(m*K)
stal węglowa	43 W/(m*K)
stal stopowa (SS)	50 W/(m*K)



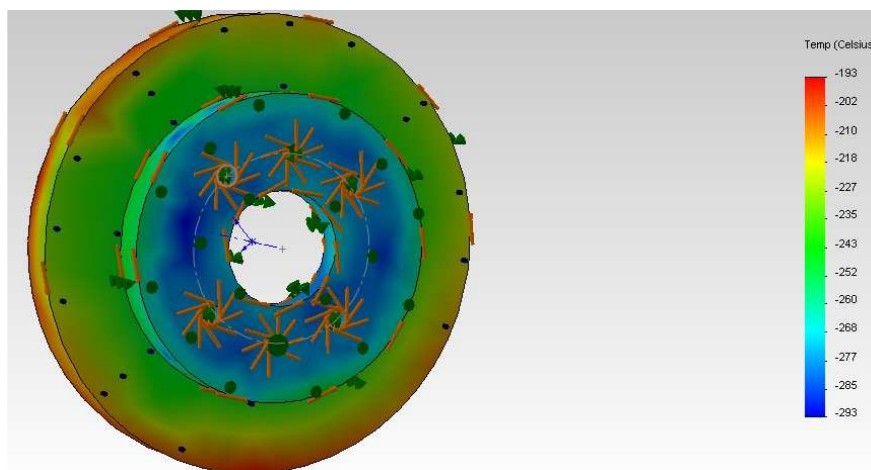
Rysunek 3. Rozkład temperatur na tarczy wykonanej z żeliwa szarego
 Figure 3. The temperature distribution on the disc made of gray cast iron



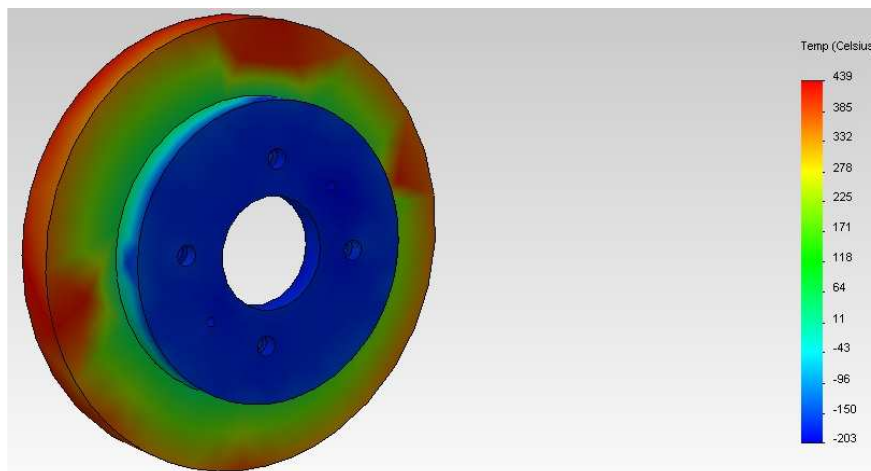
Rysunek 4. Rozkład temperatur na tarczy wykonanej z żeliwa szarego
 Figure 4. The temperature distribution on the disc made of gray cast iron



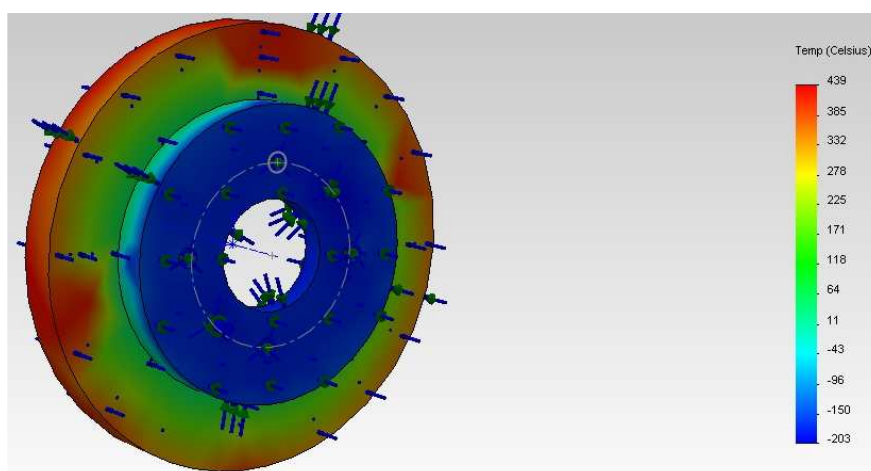
Rysunek.5. Rozkład temperatur na tarczy wykonanej ze stali węglowej
 Figure 5. The temperature distribution on the disc made of carbon steel



Rysunek 6. Rozkład temperatur na tarczy wykonanej ze stali węglowej
 Figure 6. The temperature distribution on the disc made of carbon steel



Rysunek 7. Rozkład temperatur na tarczy wykonanej ze stali stopowej (SS)
 Figure 7. The temperature distribution on the disc made of alloy steel



Rysunek 8. Rozkład temperatur na tarczy wykonanej ze stali stopowej (SS)
Figure. 8. The temperature distribution on the disc made of alloy steel

3. PODSUMOWANIE

W pracy przedstawiono wstępną analizę termiczną samochodowej tarczy hamulcowej wykonanej z żeliwa i stali przy tych samych warunkach badania. Wykonane analizy termiczne wyraźnie ukazują, że największe temperatury pojawiają się na obiekcie wykonanym z żeliwa szarego. Maksymalna temperatura osiąga w tym przypadku około 678°C , gdzie w innym przypadku około 439°C (stal stopowa (SS)). Najwyższe temperatury występują na obrzeżach tarczy, gdzie obiekt styka się z klockami hamulcowymi. Temperatury wynoszące około 700°C w przypadku tarcz hamulcowych wykonanych z żeliwa lub stali są temperaturami dopuszczalnymi podczas pracy. Wspomnieć należy, że każdy z materiałów ma podobny współczynnik przewodności cieplnej, tak więc rozchodzenia się ciepła po elemencie następuje w miarę równomiernie w przypadku każdego materiału.

Uzyskane wyniki pozwalają stwierdzić, że dla analizowanej tarczy temperatury podczas pracy nie przekraczają 700°C , przy czym element nie ulega zniekształceniom, wywnioskować z tego można, iż jest on w stanie wytrzymać większe temperatury tworzące się w warunkach ekstremalnych (intensywne hamowanie, lub nagłe zmiany temperatur spowodowane doprowadzeniem wody z kałuży na tarczę).

LITERATURA

1. Strona internetowa: <http://autokult.pl/11298,bezpieczne-hamowanie-wszystko-o-tarczach-hamulcowych>.
2. A. Wojciechowski, J. Sobczak, Z. Bojar, K. Pietrzak, Ocena własności trybologicznych kompozytowych tarcz hamulcowych, Instytut Transportu Samochodowego, Warszawa, 2002.
3. A. Wojciechowski, J. Sobczak, Kompozytowe tarcze hamulcowe pojazdów drogowych, Instytut Transportu Samochodowego w Warszawie, Warszawa, 2001.
4. D. Rudnik, N. Sobczak, A. Gazda, Właściwości termofizyczne żeliwa przeznaczonego do produkcji tarcz hamulcowych, Instytut Transportu Samochodowego, Centrum Badań Materiałowych i Mechatroniki, Warszawa, 2011.
5. E. Kołodziej, A. Skrzyniowski, Wpływ obróbki mechanicznej tarczy hamulcowej na własności trybologiczne przy współpracy z nakładką ścierną, Czasopismo Techniczne 8-M/2008 (2008) 97-108.