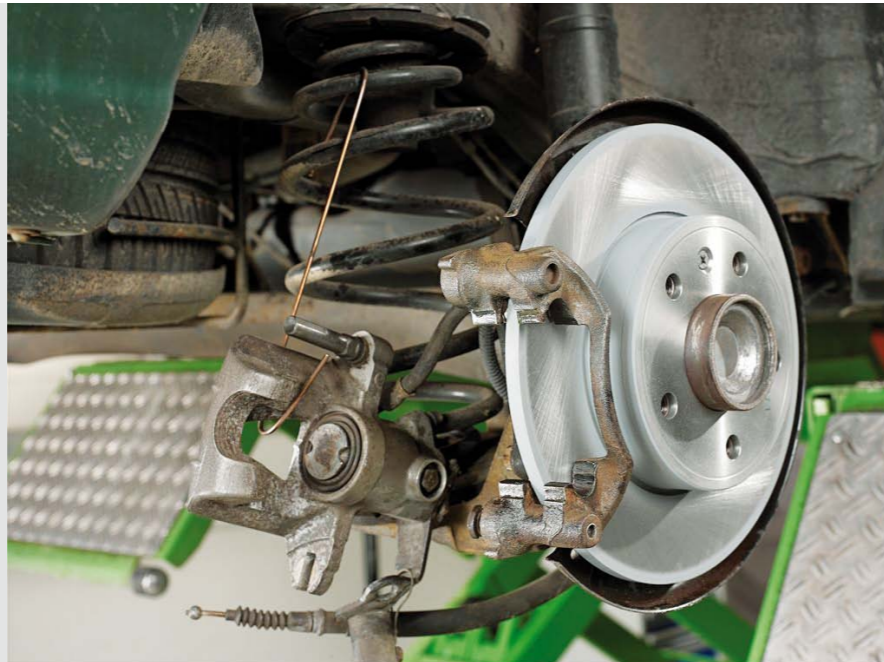


Wypowiedzi ekspertów

ZGODNIE Z NASZYM WYDAWNICZYM HARMONOGRAMEM PUBLIKUJEMY OBECNIE ZESTAW ZAMÓWIONYCH PRZEZ REDAKCJĘ WYPOWIEDZI EKSPERTÓW, POŚWIĘCONY RÓŻNYM ASPEKTOM PROBLEMATYKI SAMOCHODOWYCH UKŁADÓW HAMULCOWYCH, A WIĘC ICH KONSTRUKCJI, PRODUKCJI I SERWISOWANIU



Maciej Młodzikowski
Lumag

Współpraca tarcz, zacisków i okładzin

Aby zrozumieć problematykę doboru materiałów na tarcze i klocki hamulcowe, należy pokrótce poznać wymagania stawiane współczesnym hamulcom oraz w przybliżeniu przedstawić, na czym polega proces badań przy wdrażaniu do produkcji nowego modelu hamulca.

Na hamulec tarczowy składają się następujące elementy:

- ▶ tarcza hamulcowa,
- ▶ okładziny (klocki) hamulcowe,
- ▶ zacisk hamulcowy.

Projektując, dobierając materiały czy też badając hamulce – nie można zapominać o żadnym z nich, gdyż wszystkie mają swój specyficzny wpływ na efektywność hamowania. Na przykład wibracja pedału hamulca oraz (w przypadku kół przednich) kół kierownicy podczas

hamowania ze znacznej prędkości powodowana jest zazwyczaj nierównomiernym zużyciem tarczy hamulcowej. Nie chodzi tu o wyżłobienie czy rysy na jej powierzchni, ale o zmianę grubości mierzoną po obwodzie, zwanej z angielskiego DTV (*disc thickness variation*). Już przy wartościach DTV rzędu 25-30 μm drżenia kierownicy czy pedału hamulca są mocno odczuwalne. Nowe tarcze dobrej klasy do samochodów osobowych i lekkich samochodów dostawczych mają DTV poniżej 10 μm , a nawet 5 μm . Pierwotnym zaś źródłem tego rodzaju problemów może być zarówno:

- ▶ tarcza hamulcowa: np. zły jakościowo odlew (naprężenia odlewnicze), nieprawidłowy montaż (zbyt duże bicie osiowe);
- ▶ zacisk hamulcowy: np. zbyt duży tzw. moment resztkowy;
- ▶ materiał klocka hamulcowego (niektóre materiały w kombinacji z konkretnymi typami zacisków i tarcz hamulcowych mają tendencję do nierównomiernego zużywania bieżni tych ostatnich).

Tak więc do zagadnień związanych z funkcjonowaniem hamulca należy podchodzić kompleksowo, a do trzech wymienionych elementów dodać jeszcze czwarty czynnik, którym jest cały pojazd wraz ze środowiskiem jego użytkownika. Ten sam przecież hamulec może w jednym pojeździe pracować dobrze, a w innym stwarzać problemy.

Kryteria oceny hamulców

Najważniejsze właściwości „dobrego hamulca” to:

- ▶ rozwijanie odpowiedniego momentu hamującego, aż do osiągnięcia maksymalnych wartości przewidzianych przez konstruktora danego pojazdu;
- ▶ tworzenie możliwie najmniejszego momentu resztkowego, czyli stałego, samoczynnego, choć lekkiego hamowania, powodującego generowanie wspomnianego DTV oraz (minimalne) zmniejszenie osiągów auta i zwiększenie zużycia paliwa (2 Nm momentu resztkowego w każdym z czterech hamulców przeciętnego samochodu osobowego to wzrost zużycia paliwa

o około 0,2 litra/100 km i większa o około 4 g/km emisja CO₂ w spalinach;

- ▶ prawidłowe absorbowanie i rozpraszanie energii cieplnej wyzwalającej się przy każdym hamowaniu;
- ▶ brak wibracji i hałasów (np. pisków) podczas hamowania lub klekotania podczas jazdy bez hamowania;
- ▶ odpowiednia trwałość elementów podlegających eksploatacyjnemu zużyciu, czyli klocków i tarczy hamulcowej (zwłaszcza w samochodach ciężarowych i przyczepach tarcze hamulcowe trzeba często wymieniać nie z powodu ciernego zużycia, lecz nadmiernych pęknięć termicznych);
- ▶ łatwość serwisowej obsługi.

Na tej liście nie ma oczywistych właściwości hamulca związanych z zapewnieniem bezpieczeństwa, wytrzymałości mechanicznej i termicznej wszystkich jego elementów w ekstremalnych warunkach użytkowania. Jeśli chodzi o zacisk i tarczę hamulcową, to zapewnienie im optymalnej charakterystyki odbywa się na etapie projektowania. Testy w laboratorium i na pojeździe służą tylko do zweryfikowania słuszności obliczeń i doboru użytych materiałów. Odpowiednią charakterystykę klocków hamulcowych uzyskuje się w znacznej mierze podczas testów materiałowych, dynamometrycznych i eksploatacyjnych.

W trakcie badań i walidacji wprowadzanego do produkcji nowego układu hamulcowego wykonuje się dziesiątki prób na specjalnych stanowiskach laboratoryjnych (w tym na dynamometrze) oraz na pojeździe tak, aby każda w wyżej wymienionych funkcji hamulca była spełniona w 100%, jeśli chodzi o bezpieczeństwo, i w najwyższym możliwie stopniu, jeśli chodzi o inne właściwości. Większość producentów samochodów oraz konstruktorów hamulców posiada w tym zakresie swoje wewnętrzne procedury i normy. Zazwyczaj używa się jednego lub kilku podobnych testów dla sprawdzenia jednej konkretnej charakterystyki (np. testu trwałości termodynamicznej tarczy na stanowisku dynamometrycznym lub testu typu *crack*, sprawdzającego jakość hamowania itd.).

Ostatecznej weryfikacji zawsze dokonuje rynek. Trzeba bowiem pamiętać, że dany hamulec będzie montowany w pojazdach o różnych konfiguracjach (różne wersje silników, skrzyń biegów, rozstawy osi, zabudowy itd.). Z kolei identyczne samochody są użytkowane przez kierowców o bardzo różnych stylach jazdy i w krajach różniących się warunkami drogowymi i cywilizacyjnymi.

Nieuchronne kompromisy

Wiele wymagań stawianych hamulcom jest wzajemnie rozbieżnych lub nawet sprzecznych, więc ich zadowalające spełnienie wiąże się czasem z szukaniem skomplikowanego i delikatnego kompromisu. Na przykład, chcąc poprawić skuteczność układu hamulcowego przez zwiększenie współczynnika tarcia, ryzykuje się pogorszenie właściwości akustycznych oraz odporności na zużycie.

Duży wpływ na liczne właściwości hamulca ma sztywność materiału ciernego, nazywana ściślnością. Mała jest pożądana, gdy w grę wchodzi tzw. dobre „czucie hamulca”, mały skok początkowy pedału oraz zmniejszenie momentu resztkowego. Ale przy tym z kolei wzrasta ryzyko wibracji, pisków oraz pęknięć termicznych tarczy. Z kolei wysoka ściślność klocków oznacza sytuację dokładnie odwrotną.

W kwestii kształtu i geometrii tarczy hamulcowej producenci mają spore pole manewru, optymalizując swój produkt pod tym względem. Natomiast materiał używany do budowy tarcz samochodów osobowych i dostawczych (pomijamy tu tarcze ceramiczne i karbonowe do racingu lub stalowe do motocykli) jest tylko jeden: żeliwo szare występujące w kilku wariantach o zbliżonych właściwościach. Tak więc dla jakości tarczy najistotniejszym czynnikiem jest dokładność wykonania (dotyczy to zarówno odlewu, jak i późniejszej obróbki mechanicznej). Prawidłowo zaprojektowana tarcza hamulcowa, w połączeniu z odpowiednią technologią odlewu i wysokimi standardami obróbki wykańczającej, gwarantuje uzyskanie produktu wysokiej jakości. Skład żeliwa szarego przez wiele już lat nie uległ większym modyfikacjom, a wszel-

kie materiały innowacyjne pozostają wciąż na etapie eksperymentów. Nadal też niewielki udział w rynku mają tarcze wysokowęglowe, posiadające znacznie lepsze właściwości przewodzenia ciepła.

Bardziej skomplikowanym zagadnieniem jest dobór właściwego materiału ciernego klocka hamulcowego. To właśnie on jest krytycznym elementem hamulca, poddanym bardzo dużym obciążeniom mechanicznym i termicznym, a w dodatku podlega zużyciu, co również wpływa na zmianę jego właściwości. Kłoczek odpowiada też w znacznej mierze na wcześniej opisane i bardzo złożone właściwości hamulca i stosowanych kompromisów. Idealnych rozwiązań tu nie ma, gdyż hamulec, który świetnie hamuje we wszystkich możliwych warunkach, nigdy nie piszczy, mało się zużywa i w dodatku jest tani – to czysta utopia. Dowodzi tego porównanie rynku północnoamerykańskiego i europejskiego. Większość układów hamulcowych opracowywanych na potrzeby Stanów Zjednoczonych jest tworzona z uwzględnieniem wymogów zupełnie innych niż w Europie. Tam klienci oczekują od hamulca bardzo cichej pracy, niskiego zużycia tarcz oraz tego, by ścierany z klocków pył nie brudził felg aluminiowych. Akceptują jednocześnie wyraźnie gorszą skuteczność hamowania (zwłaszcza w wyższych temperaturach).

W Europie natomiast ponad wszystko stawia się na wysokie osiągi hamulców, więc ich żywotność, skłonność do pisków, nie mówiąc już o brudzeniu kół – są na dalszym planie. Na klocki hamulców amerykańskich stosowane są niemal wyłącznie materiały cierne z tzw. rodziny NAO (zwane również ceramicznymi) albo w przypadku pikapów materiały typu *semi-metallic*. W Europie natomiast używa się głównie klocków z materiałami tzw. rodziny *low steel*.

Widać na załączonym wykresie, iż materiały te zachowują się odmiennie w różnych warunkach, lecz żaden z nich nie jest idealny. Skład mieszanek do produkcji materiałów ciernych stanowi know-how poszczególnych producentów klocków. Mieszanki te mogą się znacznie od siebie różnić. Większość firm posiada wiele mieszanek przeznaczonych do →