

Analiza ograniczenia emisji cząstek stałych z silników o zapłonie iskrowym z wtryskiem bezpośrednim za pomocą techniki filtracyjnej

Zwiększona emisja nanocząstek do atmosfery stanowi jeden z głównych problemów, na którym skupiają się organy legislacyjne odpowiedzialne za ograniczenie wpływu szkodliwych substancji ze źródeł motoryzacyjnych na środowisko. Według prognozy w 2025 r. silniki spalinowe zasilane paliwami konwencjonalnymi będą stanowić 85% wszystkich źródeł napędu. Popularność silników z bezpośrednim wtryskiem benzyny w ostatnich latach spowodowała zwiększenie zawartości cząstek stałych PM (*Particulate Matter*) o średnicach poniżej 100 nm w gazach wylotowych oraz środowisku naturalnym. Szczególnym zagrożeniem dla zdrowia człowieka jest emisja nanocząstek w obszarach miejskich, gdzie prawdopodobieństwo narażenia na bezpośredni kontakt z układem oddechowym człowieka jest największe. Badania przeprowadzone przez ośrodki naukowe na całym świecie potwierdzają działanie kancerogenne i negatywny wpływ PM na układy krążenia i oddechowy człowieka. Zwiększająca się świadomość ekologiczna użytkowników i producentów pojazdów wymaga zastosowania rozwiązań ograniczających emisję PM do atmosfery w zakresie zarówno masowym, jak i liczbowym. Wiąże się to bezpośrednio z celem realizowanej rozprawy doktorskiej, którym jest zaprojektowanie i wytworzenie filtra cząstek stałych z nośnikiem metalowym mogącym stanowić zamiennik dla filtrów z nośnikiem ceramicznym.

We wprowadzeniu wykazano zasadność badań nad rozwojem układów oczyszczania gazów wylotowych z uwagi na prognozę dominacji na światowym rynku pojazdów osobowych z silnikami spalinowymi, w tym głównie silnikami o zapłonie iskrowym z bezpośrednim wtryskiem SI DI (*Spark Ignition Direct Injection*). Pomimo ciągłego rozwoju elektromobilności, zużycie energii podczas jej wytwarzania oraz niewystarczający w tym udział energii odnawialnej stanowią argument potwierdzający konieczność doskonalenia konwencjonalnych napędów, w tym w obszarze pozasilnikowych układów oczyszczania gazów wylotowych. Do 2025 r. silniki z bezpośrednim wtryskiem benzyny będą stanowić co najmniej 40% światowego rynku pojazdów osobowych. Duży udział tych jednostek w rynku wynika m.in. ze zmniejszonego zużycia paliwa, które jest jednym z głównych kryteriów wyboru z punktu widzenia konsumenta.

W części pracy dotyczącej emisji PM z silników SI DI opisano mechanizmy ich powstawania, obowiązujące przepisy ograniczające zawartość poszczególnych składników w gazach wylotowych oraz metody badawcze i testy homologacyjne. Następnie dokonano charakterystyki filtrów cząstek stałych z uwagi na ich budowę i zasadę działania, materiał, z których wykonano nośniki oraz metody regeneracji filtrów. Kolejny etap stanowiło porównanie warunków i parametrów eksploatacyjnych poszczególnych rodzajów filtrów oraz charakterystyka utleniania PM. Na podstawie analizy obecnego stanu zaawansowania procesów produkcji, utylizacji i recyklingu nośników ceramicznych i metalowych przedstawiono metody i skuteczność odzyskiwania metali szlachetnych z wyeksploatowanych filtrów cząstek stałych i reaktorów katalitycznych.

W rozdziale dotyczącym metodyki badań opisano autorską procedurę opracowaną w celu weryfikacji emisji w warunkach rzeczywistych. Następnie przedstawiono pojazdy samochodowe wykorzystane do rejestrowania parametrów służących do odwzorowania testu na dynamicznym stanowisku hamulcowym wyposażonym w jednostkę napędową o tożsamy parametrach technicznych. Scharakteryzowano także aparaturę pomiarową z wyszczególnieniem analizatorów wykorzystanych do określenia masy PM_m (*Particulate Matter Mass*) i liczby cząstek stałych PN (*Particulate Number*).

Na podstawie obliczeń numerycznych wykonanych w programie ANSYS, dla trzech wariantów nośników metalowych, dokonano analizy wpływu zastosowania perforacji jednej ze ścian na własności filtracyjne. Rozważaniom poddano prędkość przepływu gazów wylotowych, ciśnienie dynamiczne, absolutne i całkowite, rozkład energii kinetycznej turbulencji oraz stężenie PM w filtrze. W oparciu o wyniki przeprowadzonych symulacji wskazano wariant o największej skuteczności gromadzenia PM.

W rozdziale dotyczącym badań porównawczych i weryfikacyjnych dokonano analizy wyników otrzymanych dla dwóch rodzajów filtrów tj. OEM (*Original Equipment Manufacturer*) oraz prototypowych nośników metalowych skonstruowanych w wyniku realizacji rozprawy doktorskiej. Porównanie otrzymanych wartości emisji i natężenia emisji umożliwiło wskazanie najbardziej skutecznego rozwiązania i udowodnienie tezy wynikającej z głównego celu rozprawy doktorskiej.

14.06.22r. Barbara Sokolnic-Roms

Analysis of the particulate emissions reduction from direct injection spark ignition engines by means of a filtration technology

The increased emission of nanoparticles into the atmosphere is one of the main concerns of legislative bodies responsible for reducing harmful and toxic substances emissions from automotive sources. According to the forecast for 2025, internal combustion engines powered by conventional fuels will constitute 85% of propulsion sources. The increased popularity of gasoline direct injection engines in recent years has resulted in a sharp increase in the content of particulate matter with diameters below 100 nm in exhaust gas. A particular threat to human health is the emission of nanoparticles in urban areas, where the probability of exposure to direct contact with the human respiratory system is the highest. Research carried out by research centers around the world confirms the carcinogenic effect and the negative effect of particulate matters on the human circulatory and respiratory systems. The increasing environmental awareness of vehicle users and manufacturers requires the application of solutions limiting the emission of particulate matters (PM) to the atmosphere in terms of both mass and number of particles. This is directly related to the goal of the doctoral dissertation, which is to design and manufacture a particulate filter with a metal substrate that can be a substitute for filters with a ceramic substrate.

The introduction demonstrates the legitimacy of conducting research on the development of exhaust gas cleaning systems due to the prediction of dominance in the global market for passenger vehicles with internal combustion engines, including mainly SI DI engines (spark ignition with direct fuel injection). Despite the continuous development of electromobility, the phenomenon of energy loss in the process of its production and the insufficient share of renewable energy constitute an argument confirming the need to improve conventional drives. By 2025, gasoline direct injection engines will account for 40% of the global passenger vehicle market. The popularity of the unit is due to the increased compression ratio and reduced fuel consumption, which is one of the main selection criteria from the consumer's point of view.

The part of the thesis on PM emissions from SI DI engines describes the mechanisms of particle formation, the applicable regulations limiting the content of individual components in exhaust gases, as well as research methods and approval tests. Then, the characteristics of particulate filters were made with regard to their structure and principle of operation, the material from which the substrates were made and the methods of filter regeneration. The next step was to compare the conditions and operating parameters of individual types of filters and to characterize PM oxidation processes.

Based on the analysis of the current state of advancement of the utilization and recycling processes of ceramic and metal substrates, methods and efficiency of precious metals recovery from worn particulate filters and catalytic reactors have been presented.

The chapter on test methodology describes the procedure used in real conditions, passenger vehicles used to record the parameters to reproduce the test cycle with a dynamic brake stand equipped with an engine with the same technical parameters. Then, the characteristics of the measuring equipment were made with the specification of the analyzers used to determine the mass and number of PM.

On the basis of numerical calculations made in the ANSYS program for three variants of metal substrates, an analysis of the influence of the use of perforation in the walls of filtration channels was performed. The analysis covers the velocity of the exhaust gas flow, dynamic, absolute and total pressure, the distribution of turbulence kinetic energy and the concentration of solid particles on the filter surface. Based on the results of the simulations, the most effective variant was indicated.

In the chapter on comparative and verification tests, the results obtained for two OEM (Original Equipment Manufacturer) filters and prototype metal substrates created as a result of the doctoral dissertation were analyzed. The comparison of the obtained values made it possible to indicate the most effective solution and to prove the thesis resulting from the goal of the doctoral dissertation.

14.06.22 r. Barbara Sokoluch-Rępis