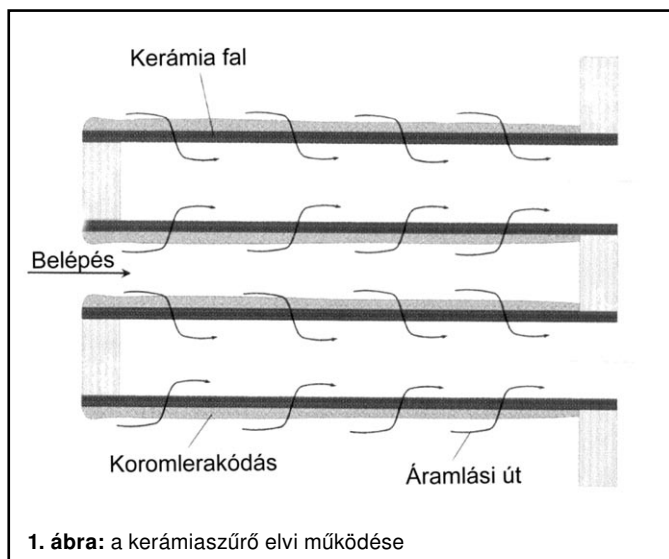


Kipufogógáz-utánkezelés

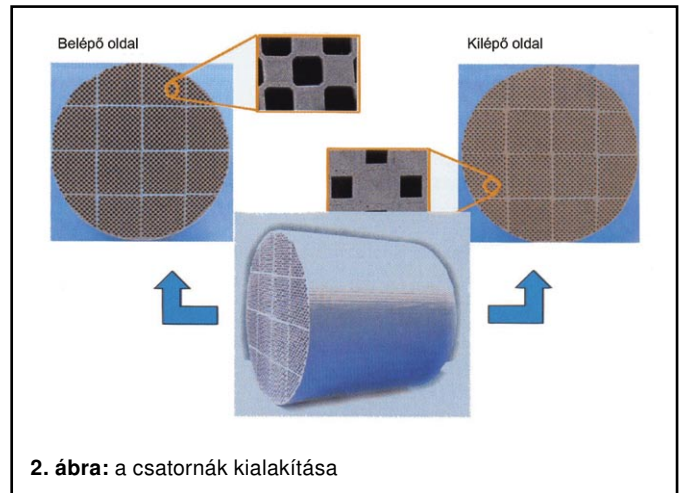
Sorozatunk előző cikkeiben a katalizátorokkal és azon belül is a nitrogén-oxid-kibocsátás csökkentésére szolgáló szerkezetekkel foglalkoztunk, most a dízel részecskeszűrők kerülnek sorra. A dízel kipufogógáz egyik jellemző károsanyag-összetevőjét a részecskék adják. Ez túlnyomórészt koromszemcséket jelent, amelyek a felületükön megkötött szénhidrogének és más vegyületek miatt veszélyesek. A részecskéket hatásosan el lehet távolítani szűréssel, erre a célra korábban porózus kerámiából, újabban szinterfém-ből készített szűrők szolgálnak, azonban a legfontosabb kérdés a szűrők regenerálásának problémája.

Kerámiaszűrők

Ez a szűrőtípus általában szilíciumkarbid vagy kordierit anyagból készült méhsejtszerű felépítésű test, amelyben a szomszédos csatornákat az ellenkező végükön kerámiadugókkal zárják le, így a kipufogógáz csak a porózus falakon haladhat át. A csatornák általában négyzet keresztmetszetűek, falvastagságuk 300–400 µm, a csatornák száma 100–300 CPSI. A kipufogógáz átáramlása közben a részecskék a fal belsejében elakadnak, a szűrő fokozódó eltömődésekor a falak homloklfelületén is keletkezik egy koromréteg, amely nagyon hatékony felületi szűrést biztosít. A túlzott részecskelerakódás azonban már káros,



1. ábra: a kerámiaszűrő elvi működése



2. ábra: a csatornák kialakítása

ezt meg kell akadályozni. Az általánosan használt négyzetes cella keresztmetszetű, szimmetrikus felépítésű szűrők mellett léteznek nyolcszögletű belépő oldali csatornákkal kialakított szűrők, rendszerint nagyobb belépő és kisebb, négyszög alakú kilépő oldali keresztmetszettel. A nagyobb belépő keresztmetszet miatt jobb a szűrő hamu- és nem éghető anyag tárolóképessége. A nem éghető anyagok a motorolajból kerülnek a kipufogógázba és így a részecskeszűrőbe.

Szinterfém részecskeszűrők

A szűrőt fém hordozószerkezetbe, szűrőtasakokba töltött szinterfém por alkotja. Az ék alakú szűrőtasakok a kilépő oldalon egymáshoz záródnak, így a kipufogógáznak át kell áramlani azok falán, ahol a kerámiaszűrőkhöz hasonló módon lerakódnak a részecskék. Mindkét szűrőtípusnál 95% feletti szűrési fok érhető el a 10 nm–1 µm közötti mérettartományban.

A szűrő regenerálása

A szűrő anyagától függetlenül, időről időre el kell távolítani a lerakódott részecskéket, azaz a szűrőt regenerálni kell, mivel a növekvő részecskelerakódás miatt növekszik a kipufogógáz ellennyomása, ezzel romlik a motor hatásfoka, növekszik a tüzelőanyag fogyasztása és csökken a teljesítménye. A regenerációs eljárások alapvetően két nagy csoportra oszthatók, aktív és passzív regenerálásról beszélhetünk, a gyakorlatban azonban a biztonságos regenerálás érdekében a különböző eljárásokat együttesen is alkalmazzák. A szűrő regenerálására, tehát a szűrőben lerakódott korom leégetésére átlagosan 500 kilométerenként van szükség, azonban ez az érték a motor nyers emissziójától és a szűrő méretétől függően akár 300–800 km között is ingadozhat. A részecskék széntartalma a kipufogógázban jelen lévő oxigénnel kb. 600 °C fölötti hőmérsékleten szén-

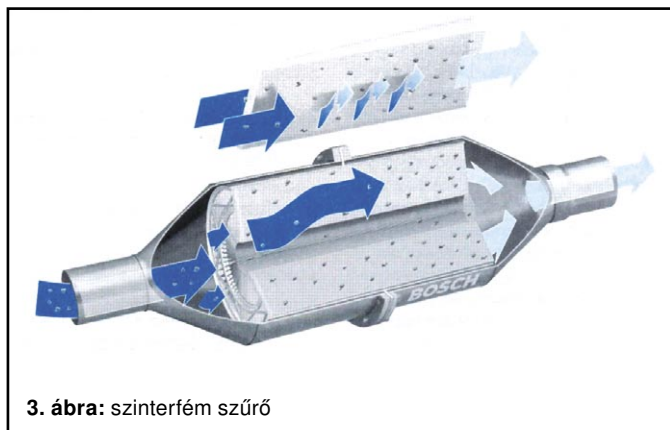
dioxidá alakul. Ilyen nagy hőmérséklet azonban csak a motor névleges teljesítményének közelében áll elő, a szokásos normál üzemben nem, vagy csak ritkán. Ezért a regenerálás érdekében vagy a koromrészecskék gyulladási hőmérsékletét kell csökkenteni, vagy a kipufogógáz hőmérsékletét kell növelni. Oxidálóanyagként nitrogén-dioxidot használva a korom átalakulása már 300 °C hőmérsékleten is végbemegy, ezt használja a CRT®-eljárás. A szinterfém szűrők előnye a kerámiaszűrőkkel szemben a jó hővezető képesség, amelynek eredményeképpen a szűrő egyik területén meggyulladó korom égéshője a távolabbi területeket is felmelegíti, így egyenletes koromleégést biztosít. Különböző regenerálási eljárások elvi vázlatát mutatja a 4. ábra.

Additív rendszer

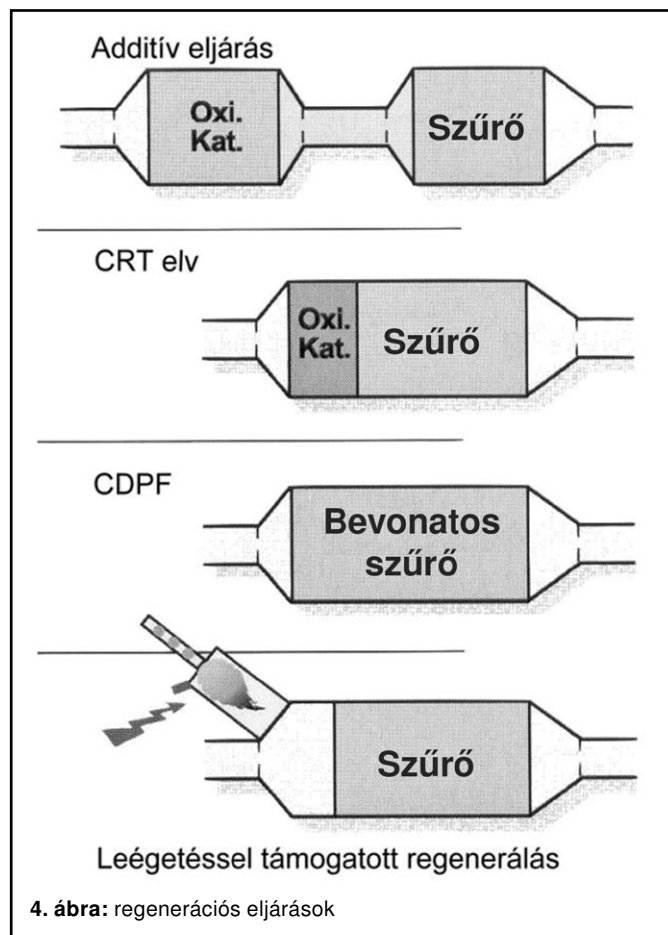
A dízel tüzelőanyaghoz kevert adalékanyaggal (általában cérium- vagy vasvegyületekkel) a korom oxidációs hőmérséklete kb. 350–450 °C-ra csökkenthető, azonban a kipufogógáz hőmérséklete általában még ezt az értéket sem éri el. Egy meghatározott koromtöltet elérésekor ezért aktív regenerációt kell alkalmazni, vagyis a motorvezérlést úgy kell megváltoztatni, hogy a kipufogógáz hőmérséklete megfelelően nagy legyen. Ez elérhető pl. késői tüzelőanyag-befecskendezéssel. A tüzelőanyaghoz adott adalék a szűrőben hamuként marad vissza, eltömi a szűrőt. Ebből a szempontból is kedvezőbb a szinterfém szűrő viselkedése, azonos hamulerakódás kisebb nyomásesést okoz, mint a kerámiaszűrőn. A kipufogógáz ellennyomás növekedés korlátozása érdekében a szinterfém és a kerámiaszűrőknél is a minél nagyobb belépő keresztmetszet kialakítására törekszenek, ezzel megfelelő hamutároló kapacitást biztosítanak a jármű normális élettartamán belül képződő szilárd égéstermékek részére. A szokásos kerámiaszűrők adalékbazisú regenerálás mellett kb. 120 000 kilométerenként mechanikus tisztításra szorulnak. Az additív rendszer hátránya a bonyolult adalékadagoló rendszer.

A CRT®-rendszer

A haszongépjármű-motorok gyakrabban működnek a legnagyobb nyomaték közelében, tehát nagy NO_x-kibocsátással járó üzemi állapotban, mint a személygépkocsi-motorok, ezért lehetséges a CRT®-elv alkalmazása a részecskeszűrő regenerálására. (CRT – Continuously Regenerating Trap jelentése: folya-



3. ábra: szinterfém szűrő



4. ábra: regenerációs eljárások

matos regenerálású csapda.) Ez az elv azon alapul, hogy a korom oxidációja NO₂-vel 300–450 °C közötti hőmérséklet-tartományban megy végbe. Az optimális működéshez az szükséges, hogy a NO₂ : korom tömegarány nagyobb legyen, mint 8:1. Az eljárás alkalmazásához szükséges egy oxidációs katalizátor, amelyet a részecskeszűrő elé építenek be. Ez a NO-t NO₂-vé alakítja, így a regeneráció feltételei haszongépjárműveknél normál üzem mellett is teljesülnek. A túlzottan kis NO₂-koncentráció esetén fennáll a szűrő eltömődésének a veszélye, túlzottan nagy NO₂-koncentráció viszont fölösleges nitrogén-oxid-emissziót okoz. Ez a rendszer kizárólag nagyon alacsony kéntartalmú tüzelőanyaggal (<10 ppm) üzemeltethető.

Katalitikus bevonatú részecskeszűrők (CDPF)

A szűrő katalitikus hatású anyaggal, pl. platínával bevont felületén a koromszemcsék leégése is megtörténik, habár ez a hatás kisebb mértékű, mint adalékanyag használata esetén. A kipufogógáz hőmérsékletének emelésére hasonló eljárásokat használnak, mint az additív rendszer esetén, azonban ennek az eljárásnak előnye, hogy itt nem keletkezik lerakódás a szűrőben az adalékanyagból.

A katalitikus bevonat több feladatot is ellát:

- CO és HC oxidációja,
- NO oxidációja NO₂-vé,
- CO oxidációja CO₂-vé.

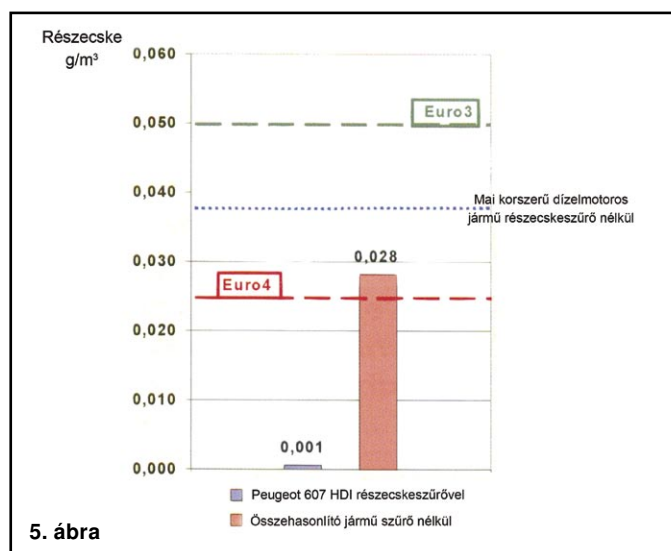
A katalitikus bevonatú részecskeszűrőkben a CO és a HC az oxidációs katalizátorokhoz hasonlóan oxidálódnak, itt azonban a nagy CO- és HC-kibocsátás esetén létrejövő energia-felszabadulás éppen ott okoz hőmérséklet-növekedést, ahol a korom meggyulladására van szükség. Ezáltal az a hőveszteség, amely pl. a részecskeszűrő elé helyezett oxidációs katalizátor esetén fellép, itt elkerülhető. A katalitikus bevonaton a NO is tovább oxidálódik NO₂-vé, amely viszont aktívabb oxidálóanyag mint az oxigén, tehát a korom alacsonyabb hőmérsékleten oxidálódhat (ez a CRT®-eljárás alapja is), miközben a NO₂ ismét NO-á redukálódik. A kis áramlási sebesség miatt azonban a keletkezett NO a szűrő falán az áramlási irányval szemben átdiffundálva ismét részt vesz a reakcióban. Egy további hatás a korom alacsony hőmérsékletű leégése mellett előálló CO további oxidációja CO₂-vé, amelynek során a felszabaduló hő tovább javítja a korom leégését.

Leégetéses regeneráció

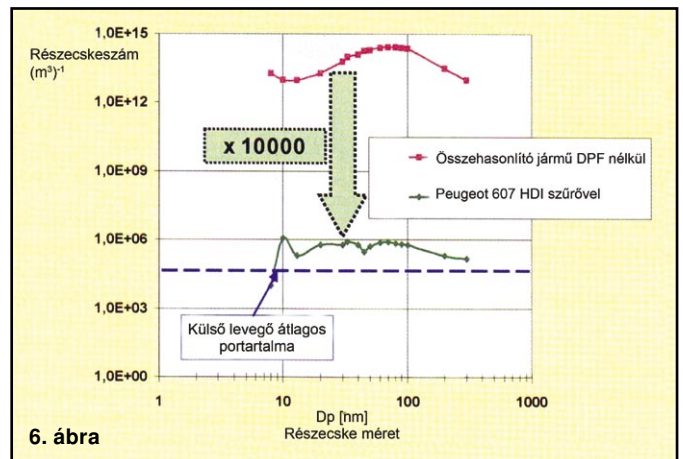
Ennél az eljárásnál a korom leégetéséhez szükséges hőmérsékletet tüzelőanyag elégetésével érik el. A rendszer érzékelők segítségével értékeli a kipufogógáz hőmérsékletét, ellennyomását, a motor üzemállapotát, és szükség esetén automatikusan indítja a regenerálási folyamatot. A tüzelőanyagot a szükséges levegővel együtt egy kis égéstérbe vezetik, ahol elég, és a kipufogógáz hőmérsékletét kb. 650 °C-ra növeli. Ennek az eljárásnak előnye, hogy gyakorlatilag a motor teljes működési tartományában használható és nem érzékeny a tüzelőanyag kéntartalmára, hátránya a viszonylag nagy hely- és költségigénye.

A regenerációt irányító rendszer

A regeneráció folyamatának felügyeletére és irányítására szükséges egy elektronikus rendszer, amely figyeli a szűrő állapotát, felismeri az eltömődés veszélyét, meghatározza a regenerációs stratégiát a tüzelőanyag-befecskendező és a levegőellátó rendszer adatai alapján. Az additív rendszer esetén még ehhez jön az adalékanyag-tartály felügyelete és az adalékbecskendezés irányítása.



5. ábra



6. ábra

A rendszer elemei:

- Irányítóegység, amely feldolgozza a jeladók által szolgáltatott adatokat és irányítja a regeneráció folyamatát.
- Nyomáskülönbség-érzékelő, amely a nyomásesést méri a részecskeszűrőn. Ebből számítható a szűrő eltömődésének a mértéke, azonkívül a kipufogógáz ellennyomása, amely így még egy elfogadható mértékre korlátozható.
- Hőmérséklet-érzékelő a részecskeszűrő előtt. A kipufogógáz hőmérséklete döntő fontosságú a regenerációs folyamat szempontjából.
- Hőmérséklet-érzékelő az oxidációs katalizátor előtt, a katalizátor „megszólalási idejére”, HC átalakítási képességére szolgáltat adatot.
- Lambda-szonda. Ez nem közvetlenül a részecskeszűrő-regeneráló rendszer része, de mégis a károsanyag-emisszió csökkentését szolgálja, a kipufogógáz-visszavezetés pontosabb irányításával.

Az irányítóegység felismeri a szűrőeltömődést. Erre két eljárás is használatos, az egyik a szűrő áramlási ellenállását a nyomásesésből és a térfogatáramból határozza meg. A számítás eredménye a szűrő átteresztőképességére és egyúttal a lerakódott korom tömegére ad értéket. A másik eljárás matematikai modell alapján határozza meg a lerakódott korom mennyiségét. Ha a szűrőben a koromlerakódás elér egy kritikus mennyiséget, el kell indítani a regeneráció folyamatát, mivel nagyobb koromlerakódásnál a regenerálásnál felszabaduló hő veszélyes mértékben megnövelheti a szűrő hőmérsékletét. Általában 5–10 g/l fajlagos koromtömeget tartanak kritikusnak. Az irányítóegység elindítja a regenerálást akkor is, ha különösen kedvező viszonyok állnak elő (pl. autópályán). Végül a dízel részecskeszűrők hatékonyságának bizonyítására nézzük az 5. és 6. ábrát! Az 5. ábra egy részecskeszűrővel ellátott és egy korszerű, de részecskeszűrő nélküli személygépkocsi dízelmotor részecske emisszióját hasonlítja össze. Érdekes a 6. ábra is, amely a részecskeméret függvényében mutatja a kibocsátást. Látható, hogy az egész mérettartományban a kipufogógáz-részecske tartalma alig haladja meg a beszívott levegőben lévő részecskeszámot.

Szalai László

Forrás:

MTZ 3/2002, 9/2002, 4/2004, 5/2004,
Bosch Dieselmotor Management 4. kiadás, 2004