

## Światowe tendencje w technologii produkcji tulei cylindrowych

*Streszczenie:* W artykule przedstawiono problematykę nowych technologii w procesach produkcji tulei cylindrowych. Omówiono uwarunkowania będące stymulatorem ich rozwoju, przedstawiono tendencje rozwojowe na przykładzie prac autora w ramach projektów MAHLE: PSA-BMW, Mercedes, platformy silników HDEP-DAF, VOLVO, Daimler AG i Daimler Trucks, Scania, MAN.

Słowa kluczowe: tuleje cylindrowe, rozwój, nowe technologie

### Global trends in cylinder liners technology

*Abstract:* The article presents the issues related to new technologies in the processes of cylinder liners. Discusses the factors which stimulated their development, presents trends in the Example of the author in projects MAHLE: PSA-BMW, Mercedes, engines platforms HDEP-DAF, VOLVO, Daimler AG and Daimler, Truck, Scania, MAN.

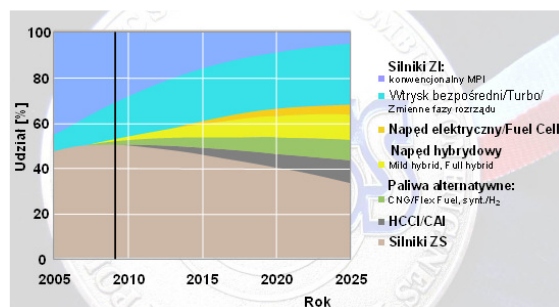
Key words: cylinder liners, development, new technologies

## 1. Wprowadzenie

Aktualny rozwój układów napędowych w skali rynku globalnego jest oparty na rozwiązaniach konwencjonalnych silników tłokowych z ZI i ZS, które na przestrzeni ostatnich lat zostały poddane intensywnemu rozwojowi technologicznemu. których źródłem są wymagania w zakresie:

- osiągnięć (wartość moc/momentu, zdolność napędowa),
- ochrony środowiska (emisja związków toksycznych, hałas, zużycie paliwa, efekt cieplarniany),
- źródeł energii (dostępność ropy naftowej, paliwa alternatywne),
- jakości (niezawodność, wytrzymałość).

Opracowane prognozy rozwoju układów napędowych przez FEV (rys.1) wskazują, że w najbliższej przyszłości silniki z ZI i ZS będą nadal dominowały, jako źródła napędu pojazdów.



Rys.1. Prognoza rozwoju układów napędowych według danych FEV [19]

Wprowadzenie paliw alternatywnych będzie stanowiło nowe wyzwanie. W dalszej perspektywie przewiduje się umocnienie pozycji napędów hybrydowych oraz rozwój ich masowej produkcji. W perspektywie długoterminowej przewiduje się ewolucję ogniów paliwowych połączoną z jednoczesnym rozwojem struktury źródeł energii [3,13-18].

W konsekwencji konstrukcje silników z ZI i ZS będą nadal doskonalone głównie przez wprowadzanie na szerszą skalę zaawansowanych technologii, które w chwili obecnej są jeszcze w fazie rozwoju lub są w początkowej fazie wdrożeń do produkcji.

## 2. Kryteria wyboru technologii dla tulei cylindrowych

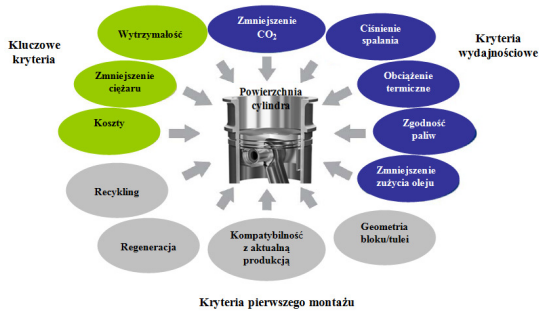
Nowe rozwiązania konstrukcyjne silników spalinowych wymagają od bloków i tulei cylindrowych spełnienia ściśle określonych kryteriów, które również stanowią podstawę wyboru określonej technologii ich wytwarzania (rys.2).

Nowe rozwiązania technologiczne bloków i tulei cylindrowych powinny gwarantować spełnienie wymagań w zakresie:

- dużej odporności na zużycie ścierne, abrazyjne i korozyjne (system EGR) oraz braku skłonności do zacierania się,
- dobrej zdolności do tłumienia drgań i z tym związanej odporności na zjawiska kawitacji,
- dobrej przewodności cieplnej i możliwości przeniesienia zwiększonych obciążeń mechanicznych - termicznych przy zachowaniu trwałości

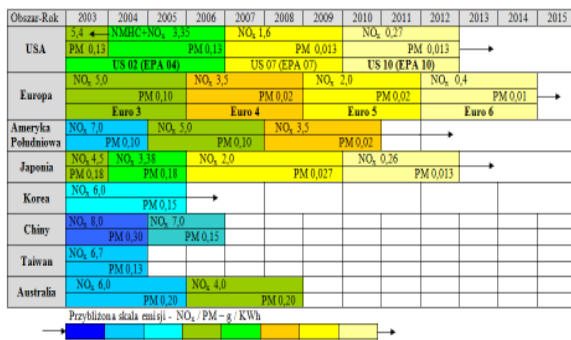
ści kształtu w zakresie makro i mikro geometrii otworu,

- możliwości zmniejszenia ciężaru.



Rys.2. Kryteria wymagań oraz wyboru technologii kształtowania powierzchni otworów dla bloków i tulei cylindrowych [ 9,14]

Całość rozwiązań powinno mieć znaczący wpływ na spełnienie wymagań środowiskowych (rys.3) w zakresie zmniejszenia zużycia oleju i emisji cząstek stałych oraz zmniejszenia hałasu przy zachowaniu ekonomicznie uzasadnionych kosztów wytwarzania [13-16].



Rys.3. Rozwój standardów emisji spalin [ 13]

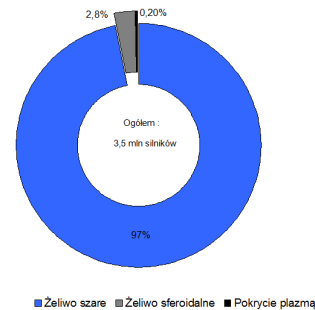
### 3. Materiały konstrukcyjne

Według danych Ricardo [ 13,15] podstawowym materiałem konstrukcyjnym stosowanym na tuleje cylindrowe ciągle jest żeliwo szare niskostopowe z grafitem płatkowym o osnowie perlitycznej głównie dzięki swoim właściwościom konstrukcyjno-tribologicznym (tablica 1):

- Dobra wytrzymałość i odporność zmęczeniowa w temperaturze pokojowej i wyższych temperaturach (np.EN-GJL-250 wytrzymałość na rozciąganie  $R_m$  ok.250 - 300 [MPa] , przy temperaturze 400 °C),
- Współczynnik modułu sprężystości  $E_0=100-120$  [GPa] ,

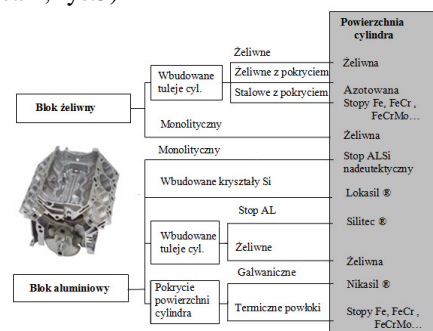
- Dobra rozszerzalności cieplna  $\alpha = 10 - 12$  ( 20 - 200°C) [ $10^{-6}K^{-1}$ ],
- Duża przewodności cieplna  $\lambda = 47$  (20°C) [ $W \cdot m^{-1}K^{-1}$ ],
- Odporność na zużycie (ścierne, abrazyjne, korozyjne i kawitacyjne),
- Brak skłonności do zacierania się,
- Dobra zdolności do tłumienia drgań,

Poza tym żeliwo z grafitem płatkowym o osnowie perlitycznej posiada dobre własności odlewnicze (zdolność do wypełnienia formy), obrabialność, możliwość odzysku materiału w procesie obróbki mechanicznej (zamknięty obieg materiału i relatywnie niskie koszty wytwarzania). Jest również materiałem konstrukcyjnym stosowanym na bloki cylindrowe obok stopów aluminium Ogólny udział tych materiałów w rynku globalnym silników spalinyowych stanowi dziś około 97 %.



Rys.4. Wykorzystanie materiałów konstrukcyjnych na tuleje i bloki cylindrowe w silnikach typu HD.

Nowe rozwiązania materiałów konstrukcyjnych stanowią zaledwie 3% udziału w rynku. Są to wysoko jakościowe żeliwa niskostopowe z modyfikacją Cr i Mo, N (EN - GJL 300) oraz żeliwa sferoidalne z modyfikacją Mg (EN-GJV-450, EN- GJS 600), które stanowią 2, 8% udziału w rynku. Pozostałą część udziału w wysokości 0,2 % stanowią nowe powłoki stopowe typu Fe, FeCr, FeCrMo... (tablica 1, rys.5)



Rys.5. Rozwiązania konstrukcyjne powierzchni cylindrów w zależności od zastosowanej konstrukcji i technologii materiału bloku cylindrowego.

Przyjmując jako podstawę ogólną zasadę, że wytrzymałość żeliwa szarego jest przede wszystkim

funkcją jego struktury, rodzaju osnowy jak i również udziału i postaci oraz rozmieszczenie wydzieleni grafitu w tablicy 1 zestawiono podstawowe właściwości wysokojakościowych żeliw niskostopowych, które są przedmiotem wielu badań (technologicznych zarówno w zakresie odlewniczym jak i obróbczym oraz silnikowych), jako nowe materiały z przeznaczeniem na tuleje cylindrowe i bloki cylindrowe do nowych silników typu HDD.

Tablica 1. Zestawienie podstawowych właściwości rozwojowych materiałów konstrukcyjnych [4,13]

Właściwości	Jednostka	Cecha materiału					
		A 390.0	EN-GJL 250	EN-GJL 300	EN-GJV 450	EN-GJS 600	42CrMo
Wytrzymałość na rozciąganie $R_m$	MPa	275	250	300 - 375	450 - 525	> 600	900 - 1150
Moduł sprężystości $E_o$	GPa	80	105	115	145	170	210
Wydłużenie przy zerwaniu $A_{min}$	%	1	1,5	1,5	1,0	0,5	(10)
Wytrzymałość zmęczeniowa ( $20^\circ\text{C} - 225^\circ\text{C}$ )	MPa	100 - 35	110 - 100	125 - 120	210 - 205		(280)
Przewodność cieplna $\lambda$ ( $20^\circ\text{C}$ )	$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	130	33 - 34		30 - 37	28 - 35	(50)
Rozszerzalność cieplna $\alpha$ ( $20 - 200^\circ\text{C}$ )	$10^{-6}\cdot\text{K}^{-1}$	18	12,5		12,3	12	11-12
Gęstość	$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	2,6 - 2,7		7,1 - 7,3		7,7	
Twardość	HB	110-150		260 - 310		280 - 330	
Struktura		Perlityczna z udziałem ferrytu max 5-10 %				Martensytowa	
Postać grafitu		Płatkowy		Wermikulany	Kulkowy		
Proces technologiczny		Odlewania		Odlewania odśrodkowego		Kucia	
Dostępność materiału		Materiały bazowe w produkcji seryjnej		Materiały rozwojowe częściowo w produkcji			

Żeliwo z grafitem wermikularnym zyskuje szczególnie na znaczenie przez korzystną kombinację swoich właściwości mechanicznych, fizycznych i technologicznych. Właściwości tego żeliwa leżą między właściwościami, jakie ma grafit płatkowy i grafit kulkowy, co obrazuje rysunek.6.

Ważnym cechę tego żeliwa jest to, że przy dobrze wykształconym graficie wermikularnym właściwości materiałowe nie mają żadnej zależności od procesów obróbki. Problemem jest, zależność struktury i właściwości żeliwa od grubości ścianki i szybkości schładzania. W tej zależności sposób zachowania tego żeliwa jest zbliżona do żeliwa z grafitem płatkowym [5,6,21]

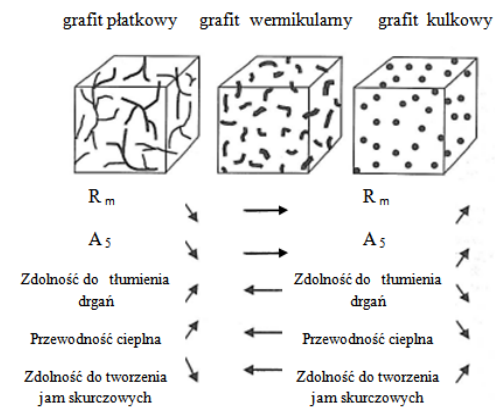
Pomyślny rozwój technologii doprowadził do rozwoju programów produkcji seryjnej w Europie, Azji i obu Amerykach głównie, jako materiał przeznaczony na bloki cylindrowe silników (zmniejszenie grubości ścianek oraz zmniejszenie ciężaru jednostkowego) o pojemności 1, 6 - 14, 6  $\text{dm}^3$  typu HD (Audi, Ford, Hyundai, John Deere, MAN, Daimler Trucks, Renault) i HDD (Caterpillar, VOVO, DAF) [4,5,6,11].

W literaturze fachowej prezentuje się w ostatnim okresie wiele wyników badań poświęconych żeliwu z grafitem płatkowym, wermikularnym i kulkowym, poddanych zabiegowi hartowania z przemianą izotermiczną, które oznacza się, jako żeliwa typu

- ADI- Austempered Ductile Iron ( żeliwo sferoidalne hartowane z przemianą izotermiczną),

- DADI- Direct Austempered Ductile Iron (żeliwo sferoidalne poddawane bezpośrednio hartowaniu z przemianą izotermiczną),
- AADI - Asforming Austempered Ductile Iron ( żeliwo sferoidalne hartowane z przemianą Izotermiczną poddawanej niskotemperaturowej obróbce cieplno - plastycznej),
- AVCI - Austempered Vermicular Cast Iron (żeliwo z grafitem wermikularnym poddawane hartowaniu z przemianą izotermiczną),
- AGI - Austempered Gray Iron ( żeliwo z grafitem płatkowym poddawane hartowaniu z przemianą izotermiczną) [5,6,21],

Zastosowanie zabiegu izotermicznego hartowania pozwala na uzyskanie żeliwa o wyjątkowo korzystnych właściwościach wytrzymałościowych i plastycznych, odznaczających się wyjątkową odpornością na ścieranie oraz charakteryzujących się mniejszą o około 10% gęstością w porównaniu do stali czy staliwa [5,6]



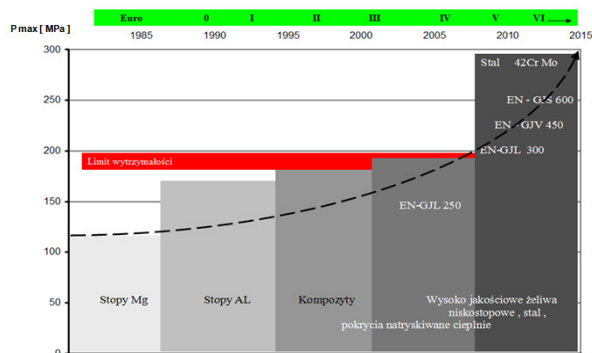
Rys.6. Schemat obrazujący właściwości żeliwa modyfikowanego z grafitem płatkowym i żeliwa z grafitem wermikularnym i kulkowym ( strzałki ↓↑ oznaczają małą /dużą wartość danej właściwości) oraz pokazujący kierunek (← →) zmian danej właściwości [ 5,6]

Osobną grupą materiałów stosowanych na tuleje cylindrowe w zastosowaniu specjalnym do silników wyjątkowo silnie obciążonych lub kiedy decyduje masa silnika (samochodów wyczynowych, pojazdów wojskowych, tłokowe silniki lotnicze) stanowi staliwo/ stal( 38HMJ / 42CrMo4).

Są to materiały, które cechują się w stosunku do żeliwa gorszymi właściwościami ciernymi i dużą skłonnością do zacierania przy współpracy z pierścieniami tłokowymi. Dlatego tuleje cylindrowe poddaje się dodatkowo obróbce utwardzenia przez chromowanie, hartowanie powierzchniowe, azotowaniu lub pokrycie powierzchni powłokami typu Fe, FeCr, FeCrMo z wykorzystaniem technologii

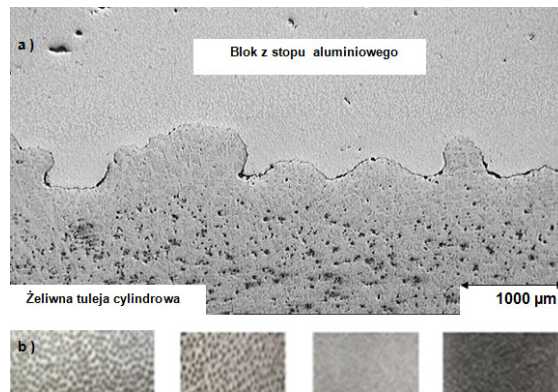
TAW, PTWA... [testy AVL]. Główną zaletą stali i stali są parametry wytrzymałościowe (1000-1200 MPa) co pozwala na zmniejszenie grubości ścianek i tym samym zmniejszeniu ciężaru jednostkowego. Z kolei istotną wadą są koszty wytwarzania (znaczące koszty odlewów, obróbki skrawaniem oraz koszty dodatkowej obróbki cieplnej i cieplnochemicznej na powierzchni gładzi [13,15,20]

Rozwój nowych materiałów konstrukcyjnych oraz pokryć natrykiwanych cieplnie techniką TWA (BMW, Daimler Trucks), PTWA (Ford, PSA, Nissan), HVOF(GM / Gehring), APS(VW, Audi, Scania) jest wynikiem wzrostu maksymalnych ciśnień spalania przekraczających poziom  $P_{max}$  230-250 MPa (silniki typu HDD), które wymagają materiałów o wytrzymałości  $> 300$  MPa (rys.7) [1,4,5,6,9, 11,15,18,20].

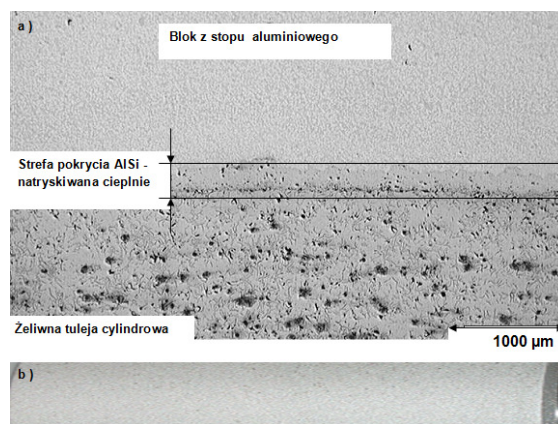


Rys.7. Kierunki rozwoju materiałów konstrukcyjnych w związku z wzrostem ciśnień spalania  $P_{max}$  w nowych konstrukcjach silników HDD [3,8,9,11]

Zarówno półfabrykaty bloków jak i tulei cylindrowych są kształtowane w procesie odlewania. Bloki żeliwne odlewa się w formach piaskowych metodą statyczną, bloki z stopów Mg/AL o dużych gabarytach w formach piaskowych a małe gabaryty bloków odlewa się w kokilach metodą ciśnieniową. Tuleje cylindrowe są odlewane metodą wirującej formy w procesie odlewania odśrodkowego z możliwością kształtowania odlewu wielokrotnego jak i również struktury powierzchni zewnętrznej tulei typu spin/rauguss ( $R_y = 65 - 270 \mu m$ ,  $S_m = 0,6 - 1,5 \mu m$ ) - rys.8 (Mercedes – silniki OM 642 i 668 ,M 271, Mitsubishi – silnik NNC, VW-EA 133 ,Volvo Car – silnik N2P24) lub typu hybryd - rys.9 ( Mercedes platforma silników M266) do natrykiwania cieplnego przed zalewaniem w blokach aluminiowych .



Rys.8.Obraz mikrostruktury (a) połączenia żeliwnej powierzchni zewnętrznej tulei typu spin/rauguss (b) z blokiem z stopu aluminiowego[13,15,20]



Rys.9. Obraz mikrostruktury (a) połączenia żeliwnej powierzchni zewnętrznej tulei po pokryciu stopem AlSi metodą natryku cieplnego (b) z blokiem z stopu aluminiowego [13,15,20].

#### 4. Topografia powierzchni otworu

Topografia powierzchni otworu zarówno bloku jak i tulei cylindrowych jest kształtowana w procesie gładzenia. Na przestrzeni ostatnich kilkunastu lat proces ten stał się przedmiotem intensywnego rozwoju głównie za sprawą:

- rozwijających się wymagań środowiskowych,
- rozwoju maszyn do gładzenia i przejścia z gładzie - nia jedno/dwustopniowego do gładzenia wielostopniowego z możliwością automatyzacji procesu gładzenia i pomiarów w toku procesu w zakresie błędów kształtu i jego korekty w toku procesu wraz z możliwością pomiarów chropowatości powierzchni i analiz SPC,
- narzędzi skrawających o wydłużonej trwałości o jednorodnej strukturze kryształów, charakterystyce cięcia i samoostrzenia ziarna diamentowego (ND, MD) oraz ziaren węgla krzemu SiC), kubitronu (SGG) i ziaren Norton Quantum (NQD),

- możliwości usunięcia śladów po poprzedniej obróbce konwencjonalnej (zgnioty i umocnienia oraz naprężenia powierzchniowe),
- rozwoju technik stosowanych w pomiarach topografii powierzchni ( pomiary stykowe ,optyczne, wykorzystanie mikroskopii scanningowej), zwiększenie zakresu przyrządów (rozdzielczości, różne filtry i prędkości przesuwu, pomiary 2D i 3D – łącznie ok.300 parametrów profilu i kilkudziesięciu parametrów topograficznych, graficzna prezentacji wyników,
- możliwości wykorzystania laserów, jako narzędzia technologicznego w procesie gładzenia (nacinanie rys w formie mikro zasobników olejowych, ablacja laserowej, pokrycia natryskiwane ciepłnie) [2,7,8,9,13,15,18,20,21].

Wynikiem rozwoju procesu gładzenia jest możliwość jego realizacji w wielu wariantach technologicznych gładzenia (rys.10, tablica 1), które wynikają z możliwości stosowania różnych narzędzi, ilości stopni gładzenia oraz zmiennego kąta gładzenia.

Tablica 1. Wariantowość procesu technologicznego gładzenia w zastosowaniu do otworów bloków i tulei cylindrowych [ 5,6,7,9,11,16]

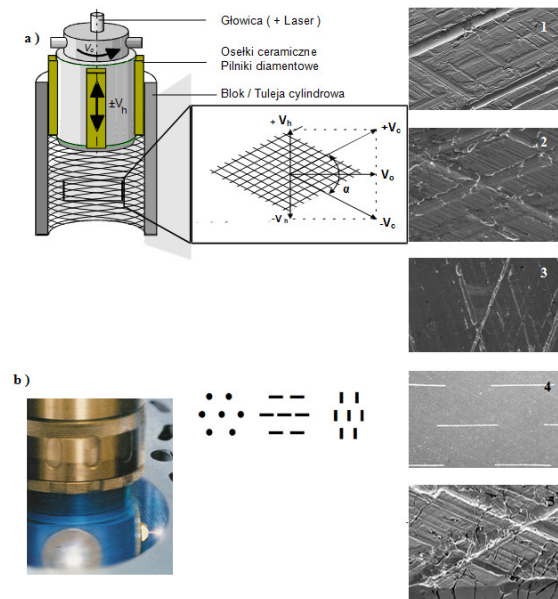
Wariant	Ilość stopni gładzenia			Rodzaj narzędzi stosowanych w procesie gładzenia									
	2	3	4	Diament i / lub Ceramika					Laser				
				ND	MD	SiC	SGG	NQG	Szczotka Ciecz + SiC/FG	Nacięcie rys	UV		
1													
2													
3													
4													
5													
6													
7													

Oznaczenia:  
 ND - ziarno diament naturalny      NQG - ziarno Norton Quantum  
 MD - ziarno diament syntetyczny      FG - gładzenie strumieniem cieczy z ziarnem diamentowym  
 SiC - ziarno węgiel krzemu              UV - naświetlanie laserem  
 SGG - ziarno kubitron

Dostępność wielu wariantów technologicznych procesu gładzenia pozwala na prowadzenie prac optymalizacyjnych dla nowych konstrukcji silników, w zakresie :

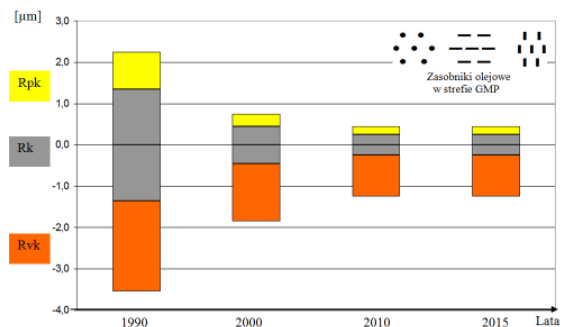
- struktury makro kształtu otworu z parametrami błędów kształtu (prostoliniowości i okrągłości lub współśrodkowości) na poziomie 6 -10  $\mu\text{m}$ ,
- kształtowania struktury mikrogeometrii powierzchni gładzi z parametrami chropowatości Rpk i Rk  $\rightarrow 0 \mu\text{m}$  , Rvk w zależności od wymagań konstrukcyjnych silnika (5 - 15 $\mu\text{m}$ ) kąta gładzenia  $\alpha 50 /140^\circ$  oraz obrazu ukształtowania rys,

- wielkości i kształtu zasobników olejowych w strefie GMP kształtowanych laserem
- czystości powierzchni [ 10].



Rys.10. Schemat procesu gładzenia z zastosowaniem narzędzi diamentowo-ceramicznych (a) oraz głowicy laserowej (b) , obraz ukształtowanej powierzchni zdjęcie SEM 1-gładzenie plateau,2- 3 gładzenie plateau gładkie ze zmianą kąta  $\alpha 50 /140^\circ$ ,4-5 z użyciem lasera, 4-nacięcie zasobników olejowych, 5-ablacja laserowa.

W nowych rozwiązaniach ukształtowania topografii powierzchni gładzi cylindrowej wyraźne jest ukierunkowanie prac optymalizacyjnych w kierunku gładzenia gładkiego wielozabiegowego, co ilustruje rysunek 11.



Rys. 11.Kierunki rozwoju struktury geometrycznej powierzchni gładzi [2,7,8,9,20]

---

## 5. Podsumowanie

1. Nowe rozwiązania konstrukcyjne silników spalinowych wymagają od bloków i tulei cylindrowych spełnienia ściśle określonych kryteriów, które również stanowią podstawę wyboru określonej technologii ich wytwarzania.
2. Podstawowym materiałem konstrukcyjnym dla tulei cylindrowych w dalszym ciągu pozostaje żelwo szare, które posiada możliwości rozwoju technologicznego głównie w zakresie wymagań, jakie stawiają konstruktorzy nowych silników typu HDD
3. O wyborze nowego materiału decydują technologiczne możliwości jego kształtowania i optymalizacji na etapie odlewania jak i obróbki mechanicznej dla danego typu silnika
4. W procesie kształtowania powierzchni otworu w zakresie kształtu oraz mikrogeometrii powierzchni gładzi wyraźne jest ukierunkowanie prac w kierunku gładzenia gładkiego wielozabiegowego wraz z możliwością zmiany kąta gładzenia oraz użycia lesera.

## Nomenclature/Skróty i oznaczenia

APS – technologia nakładania powłok natryskiwanymi plazmą w atmosferze powietrza rozpylonego/*Atmospheric Plasma Spraying*  
EGR - system recykulacji spalin / *Exhaust Gas Recirculation*  
HVOF – technologia nakładania powłok metodą płomieniową o dużej szybkości/ *High Velocity Oxygen Fuel*  
HDD – wysilone silniki ZS/*heavy duty diesel*  
HDEP- platforma silników ZS/ *heavy duty engine platform*

## Bibliography/Literatura

[ 1 ] Bobzin K. , Ernst F., Zwick J., Schlafer T., Cook D., Kowalsky K., Bird K., Gerke H., Sharp R.E., Raab K.R., Lindon S.: Thermal spraying of cylinder bores with the PTWA internal coating system. Proceedings of the ASME Internal Combustion Engine Division Fall 2007 Technical Conference, October 14 - 17, 2007, Charleston, South Carolina, USA  
Hountalas D. T., Kouremenos A. D.: Development of fast and simple simulation model for the fuel injection system of diesel engines. *Advanced in Engineering Software* vol. 26, No. I, pp.13-28, 1998.

Dwa ostatnie rozwiązania wymagają zmian w istniejących procesach technologicznych głównie w zakresie nowych maszyn do gładzenia jak i zastosowania laserów w jednym z zabiegów procesu gładzenia.

5. Całości zmian zarówno w materiałach, nowych powłokach jak i kształtowaniu topografii powierzchni gładzi tulei cylindrowej w wypadku wdrożeń przemysłowych powinna być oparte o rachunek uzasadnionych kosztów wytwarzania, który stawiają, jako jeden z wymogów konstruktorzy nowych silników typu HDD i HDEP

Dla producentów branży motoryzacyjnej bardzo istotną kwestią staje się dziś postępująca globalizacja i jej wpływ na profil produkcji. Rozwój technologiczny w znacznym stopniu zależy od realizacji nowych projektów i sposobu ich wdrażania, warunkowań produkcyjnych, często kompromisu, pomiędzy jakością a kosztem produktu, dojrzałości danej technologii do wdrożenia, łańcucha dostawców i ich dostępności do nowych technologii. Nie bez znaczenia jest również poziom rozwoju infrastruktury w danym regionie świata.

TAW – technologia nakładania powłok z drutu przetopionego i rozpylonego w łuku elektrycznym/*Twin Arc Wire*  
PTWA – technologia natryskiwania powłoki z drutu przy użyciu łuku plazmowego/ *Plasma Transferred Wire Arc*  
ZI – zapłon iskrowy/*spark ignition*  
ZS – zapłon samoczynny/*compressed ignition*

[ 2 ] Carras S., Gruszka J., Mathia T.G. , Mazuyer D., Ninove F-P., Pawlus P., : Multi scale morphological metrology of piston-ring-textured cylinder liners assembly in relation to their tribological properties. ISMQC-2010 10th International Symposium on Measurement and Quality Control 2010 September 5 - 9 2010, Osaka, Japan  
[ 3 ] Cipolla G. :Silniki o zapłonie samoczynny w perspektywie rynku globalnego. *Silniki Spalinowe*, nr 2/2007 (129), str.33-37  
[ 4 ] Dawson S.: Compacted graphite iron – A material solution for modern diesel engine cylinder blocks and heads, 68th WFC –

- World Foundry Congress 7th - 10th February, 2008, pp. 93-99
- [ 5 ] Guzik E.: Procesy uszlachetniania żeliwa wybrane zagadnienia. Monografia Nr 1M, Archiwum Odlewnictwa, Katowice 2001, s.29-85
- [ 6 ] Guzik E.: Żeliwo ausferrytyczne i jego odmiany – struktura i wybrane właściwości. Materiał przekazany do redakcji-Archiwum Odlewnictwa 2010
- [ 7 ] Gruszka J., Suchecki A.,: Nowe metody kształtowania powierzchni cylindrów silników spalinowych. Silniki Spalinowe nr 3/2007, str.:16-26,
- [ 8 ] Gruszka J.: Topografia powierzchni tulei cylindrowych kształtowanych techniką laserową. X Międzynarodowa Konferencja EM '09 Bydgoszcz 2009. Inżynieria Maszyn. Rok 12, Zeszyt 4 Obróbka laserowa i hybrydowa, 2009, str.: 42-53.
- [ 9 ] Gruszka J.: Topografia powierzchni gładzi cylindrowej, Archiwum Technologii Maszyn i Automatyzacji. Komisja Budowy Maszyn PAN Oddział w Poznaniu, Vol. 30, nr 2, Poznań 2010, s.73-78
- [ 10 ] Gruszka J.: Badania czystości elementów układu tłokowo-cylindrowego. Silniki Spalinowe 2009-SC1-157, s.350-357 str.:16-26,
- [ 11 ] Guesser W.L, Fundições T., Duran P.V., Krause W.,: Compacted Graphite Iron for Diesel Engine Cylinder Blocks, Congress Le diesel: aujourd'hui et demain- Page 11, Ecole central Lyon-12 et 13 mai 2004
- [ 12 ] Hountalas D. T., Kouremenos A. D.: Development of fast and simple simulation model for
- [ 13 ] Informacje techniczne VOLVO, DAF, MAN PSA-BMW z spotkań projektowych MAHLE. Materiały niepublikowane, Krotoszyn 2005-2010  
the fuel injection system of diesel engines. Advanced in Engineering Software vol.26 No.I.pp.13-28,1998
- [ 14 ] LENZ H.P.: Przyszłość silników spalinowych w świetle 28. Międzynarodowego Sympozjum Silnikowego w Wiedniu. Silniki Spalinowe, nr 2/2007(129)
- [ 15 ] Mahle Diesel Symposium, Stuttgart 2005
- [ 16 ] Materiały z forum dyskusyjnego- Przyszłość samochodowych silników spalinowych: tendencje, czynniki rozwoju rynku, współzawodnictwo technologii. Silniki spalinowe nr 3/2005
- [ 17 ] LENZ H.P.: Przyszłość silników spalinowych w świetle 28. Międzynarodowego Sympozjum Silnikowego w Wiedniu. Silniki Spalinowe ,nr 2/2007(129)
- [ 18 ] Miyake S., Goto T., Jakobsen B.: Development of Spray- Coated Cylinder Liner for Diesel Engine, CIMAC Congress 2004, Kyoto, Paper No. 172
- [ 19 ] Merkisz J.: Tendencje rozwojowe silników spalinowych. Silniki spalinowe , nr 1/2004 (118)
- [ 20 ] NAGEL: 2. Honsymposium 13 – 14 Juni 2005, 3. Honsymposium, 25 - 26. November 2009
- [ 21 ] Pietrowski St.: Kompendium wiedzy o żeliwie wermikularnym. Krzepnięcie Metali i Stopów Rok 2000, Rocznik 2, Nr 44 PAN – Katowice PL ISSN 0208-9386, s.280-292
- [ 22 ] Zylinderkomponenten ,Eigenschaften, Anwendungen, Werkstoffe MAHLE GmbH ( Hreg.), Stuttgart 2009, s.97-127

Mr Józef Gruszka, DEng. –Head of Quality Management MAHLE Polska Sp z o.o.- Senior master at the Technical Institute The State School of Higher Professional Education in Kalisz

*Dr inż. Józef Gruszka – Kierownik Działu Zarządzania Jakością w MAHLE Polska Sp z o.o.- St. wykładowca w Instytucie Politechnicznym PWSZ w Kaliszu.*

