

Marek IDZIOR*

Rozwój samochodowych silników spalinowych w aspekcie metod ich wytwarzania

W artykule przedstawiono problematykę nowych technologii w procesach produkcji silników spalinowych. Omówiono uwarunkowania będące stimulatorem ich rozwoju, przedstawiono tendencje rozwojowe w ujęciu autora oraz wiele nowoczesnych technologii na przykładzie produkcji części i zespołów silników spalinowych. W podsumowaniu podkreślono wagę problemu i jego udział w przyszłościowym rozwoju silników spalinowych.

Słowa kluczowe: silnik spalinowy, rozwój, nowe technologie

The development of combustion engines in the aspect of their manufacturing

The article presents the issues related to new technologies in the processes of combustion engine manufacturing. Conditions constituting the stimulus for the development of combustion engines have been discussed. Trends in the development, as seen by the author, and a range of new technologies exemplified within the realm of manufacturing of spare parts and engine subassemblies have also been presented herein. The conclusions emphasize the vitality of the issue and its impact on the future development of combustion engines.

Key words: combustion engine, development, new technologies

1. Wprowadzenie

Produkcja środków transportu jest przede wszystkim związana z przemysłem motoryzacyjnym, jedną z największych gałęzi przemysłu na świecie. Jest więc niewątpliwie, że związane z nim są także ogromnie ważne zagadnienia ochrony środowiska; jest to przecież wielki przemysł, w skład którego wchodzi różne procesy i surowce emitujące duże ilości bardzo różnych zanieczyszczeń. Wśród wszystkich produktów przemysłu motoryzacyjnego silniki spalinowe zajmują szczególną rolę. Produkowane są niemal masowo, zawierają w sobie wiedzę z wielu dziedzin nauki i techniki, składają się z dużej liczby części i zespołów, wymagają specjalnych technologii produkcji, odznaczają się dużą trwałością i niezawodnością, muszą być łatwe w obsłudze i eksploatacji, produkowane są dla użytkowników o różnym poziomie rozumienia techniki. Uruchomienie produkcji silników spalinowych znacząco wpływa na rozwój całej gospodarki narodowej: wymusza rozwój wielu nowych gałęzi przemysłu, wprowadza nowe technologie, materiały konstrukcyjne, wymusza nowe metody kształcenia pracowników, wymaga szybkiego rozwoju wielu różnych dziedzin nauki, podnosi ogólny poziom wiedzy technicznej odbiorców.

Znaczący wpływ na zmiany konstrukcji silników spalinowych w ostatnich latach ma ochrona środowiska; na przełomie kilku lat stała się głównym stimulatorem ich rozwoju. Producenci silników stosują różne sposoby eliminowania zbędnych lub uciążliwych procesów produkcyjnych. Wytwarzanie poszczególnych części i zespołów silników spalinowych odbywa się według skomplikowanych procesów technologicznych, począwszy od przygotowania półfabrykatów, poprzez np. odkuwanie czy odlewanie aż po różnorodne rodzaje obróbki wykańczającej. W produkcji tych części można wyodrębnić półfabrykaty wykonywane metodami bezwłórowymi lub skrawaniem. Dla niektórych półfabry-

1. Introduction

The production of any means of transport is mainly associated with the automotive industry, one of the largest industrial branches worldwide. It is, thus, obvious that certain important environmental issues are also related to this particular branch – it is an industry characterized by a complex structure involving processes and raw materials emitting a variety of toxic substances. Among all the products of the automotive industry combustion engines are of special role. Their mass production, consolidation of knowledge of many fields of science, complexity, special production technology, high durability and reliability cannot be an obstacle in their simplicity of operation and servicing as they are manufactured for the end users of a various level of technical understanding. The initiation of production of combustion engines substantially influences the growth of the national economy i.e. it forces the development of many related branches of industry, the implementation of new technologies and construction materials, new training methods, requires prompt advancement of many fields of science and rises the general level of technical knowledge of the product users.

The environment protection has had a great impact on the development of a combustion engine recently. Within just a couple of years it has become the main stimulus for its development. The engine manufacturers apply various methodology in order to eliminate the unnecessary or inconvenient production processes. The making of particular parts and engine subassemblies is effected through a set of complex technological processes starting from the preparation of half products, through casting or forging of the elements ending on a plethora of finishing works. In the production of these elements we can discern half products made by the chip-free methods or machining. Some of the half products

katów przed obróbką skrawaniem wykonuje się ulepszanie cieplne lub sezonowanie. Przy dużych wymaganiach dotyczących stanu warstwy wierzchniej, na przykład małej chropowatości i wysokiej dokładności, oprócz kształtowania części obróbką skrawaniem są stosowane obróbki dokładnościowe i powierzchniowe. Przy dużej różnorodności metod obróbki oraz różnych wymaganiach technicznych stawianych poszczególnym częściom, jak też dużej liczbie typów silników, konieczne jest opracowanie wielu złożonych procesów technologicznych. Wytwarzanie części w tak dużym asortymencie jest bardzo skomplikowane i wymaga ogromnego przygotowania zarówno na etapie opracowania procesów technologicznych, jak i organizacji produkcji.

Opracowanie całościowego procesu produkcji silnika i jego podzespołów obejmuje okres długo przed uruchomieniem produkcji. Uważnie analizowany jest sposób przygotowywania surowców, z których później powstaje samochód oraz zużycie energii w całym procesie. Nie można też pominąć zagadnień transportu związanych z przewozami surowców, które dalej przerabiane są na stal, aluminium, tworzywa sztuczne i tym podobne. Z tych materiałów powstają skomplikowane komponenty, z których na dalszych etapach wytwarza się jeszcze bardziej skomplikowany produkt – silnik spalinowy.

Dążenie do zmniejszenia masy wielu wyrobów przemysłu motoryzacyjnego czy zbrojeniowego, w tym silników spalinowych, wymaga kształtowania elementów z różnorodnych materiałów na bazie aluminium, magnezu, tytanu czy też materiałów wykonanych z kilku warstw o różnych grubościach i z różnych gatunków materiałów. Dodatkowo, złożona konstrukcja wyrobów i stawiane im wysokie wymagania wpływają na rozwój różnych skomplikowanych technologii kształtowania materiałów. Pomimo znacznego rozwoju technologii kształtowania istnieją jednak ograniczone możliwości wytwarzania niektórych wyrobów. Stąd często podejmuje się próbę łączenia różnych technologii kształtowania, np. odlewania i obróbki plastycznej. Takie połączenia technologii dostarczają nowych możliwości rozwoju technik wytwarzania.

2. Proekologiczne projektowanie

Proekologiczne projektowanie jest proceduralną strategią wymagającą, aby każdy etap cyklu istnienia produktu nie oddziaływał ujemnie (lub chociaż minimalizował to oddziaływanie) na zdrowie ludzkie i środowisko naturalne. Takie projektowanie powinno także obejmować prace polegające na systematycznej analizie skutków wzajemnych oddziaływań poszczególnych surowców i elementów składowych, procesów wytwarzania, jak i finalnego wyrobu na środowisko. Jest więc to sposób na produkcję takich elementów, w których zredukowano niebezpieczne substancje i uniknięto toksycznych odpadów. Zastosowane w tych procesach surowce powinny być odnawialne, ale również przytłoczone do powtórnego wykorzystania.

Produkt ekologiczny powinien być:

- materiał oszczędny,
- nieszkodliwy dla ekosystemów – środowiska,

are thermally enhanced or seasoned before the machining process can ensue. For elements of high surface requirements (low surface roughness level, precision of workmanship) machining is not the only process. Final precise surface finishing is performed. Since there are many methods of element processing and many different requirements, let alone a multitude of engine types, it is necessary to develop many technological processes. Making parts of such a wide range is not easy and requires a huge expertise both in the process design stage and the organization of production.

The development of the whole production process of an engine and its subassemblies begins much earlier than the production of an engine itself. The way the raw materials are prepared and the energy consumption are scrutinized thoroughly before a vehicle can be assembled. The question of transportation of raw materials, which are later processed into steel, aluminum, plastic and the like should not be neglected in the discussion either. Complex components are then made from these materials which subsequently undergo further sophistication to finally become an engine.

The pursuit of mass reduction in the contemporary automotive and military products requires the manufacturing of elements from lighter materials such as aluminum, magnesium, titanium or materials composed of several layers of different thickness and different substances. The complexity of the products and high requirements trigger the development of various new technologies of material processing, yet, despite the technology advancement, there are limits as to the level of process sophistication. Hence, attempts are made to combine several processing technologies – casting and plastic processing. Such combinations give new opportunities as to the production techniques.

2. Proecology design

The pro-ecology design is a strategy aiming at the elimination of any negative impact (or at least its minimization) on the environment and human health during each cycle of production. Such design should also include systematic analyses of the results of mutual interaction of particular materials and substances, production processes and, finally, the impact of the product on the environment. It is, thus, a way to manufacture elements containing a reduced amount of toxic compounds with minimum prospective toxic waste. The materials used in these processes should be recyclable.

Ecological products should be:

- material efficient,
 - not harmful for the ecosystems – environment,
 - made from recyclable materials,
 - toxic substance free,
 - easy to disassemble and recycle,
 - durable,
 - functional, safe and reliable,
 - as simple as can be in terms of number of substances used.
- The design of a product should result in the essential improvement of its properties in the following four categories:
- production technology,
 - operating parameters,

- wytworzony z odnawialnych materiałów,
- pozbawiony substancji toksycznych,
- prosty w demontażu i przetworzeniu,
- wykonany tak, by był maksymalnie trwały,
- funkcjonalny, bezpieczny i niezawodny,
- wykonany z jak najmniejszej ilości typów surowców.

Projektowanie wyrobu powinno prowadzić do istotnego poprawienia jego właściwości w czterech zakresach:

- technologii wytwarzania,
- parametrów użytkowych,
- nowoczesności technicznej,
- zagospodarowania zużytego wyrobu.

Z tych względów proekologiczne projektowanie zmierza do wykorzystywania coraz nowszych i bardziej przyjaznych środowisku technik wytwarzania. Nowoczesność techniczna projektowanego wyrobu jest wynikiem innowacji technicznych, które pojawiły się w celu zminimalizowania negatywnego wpływu na środowisko. W trakcie przeprowadzania ekologicznych działań zapobiegawczych należy poddać ocenie:

- oddziaływanie oraz wpływ projektowanych technologii na środowisko,
- wszystkie technologie wytwarzania,
- etapy cyklu wytwarzania projektu, tj.:
 - dystrybucja rynkowa i konsumpcja,
 - wybór technologii wytwarzania / bazy surowcowej,
 - możliwość recyklingu / odzysku surowców,
 - selektywne gromadzenie i bezpieczne przechowywanie,
 - likwidacja pozostałości i odpadów,
 - deponowanie na składowiskach odpadów ostatecznych.

Znanych jest kilka metod proekologicznego projektowania; są to: metoda kompleksowa, metoda wskaźnika ekologicznego, metoda weryfikacji listy oraz metoda intuicyjna. Metody te szerzej omówiono w pracy [3].

3. Nowe materiały konstrukcyjne

Silnik spalinowy stosowany do napędu wszelkich pojazdów samochodowych jest obecnie w zasadzie bezkonkurencyjny jako źródło napędu. Jest jednak jednym z najcięższych zespołów samochodu, również także jednym z najdroższych. Ciągłe zatem poszukuje się nowych technologii materiałowych i sposobów obróbki, które stwarzają mniejsze zagrożenie środowiska. Poszukuje się materiałów o małej energochłonności, lżejszych, tańszych itd.

Obserwowane tendencje w zakresie wytwarzania silników spalinowych przeznaczonych do napędu pojazdów samochodowych można zestawić w następujących grupach:

- wprowadzanie nowych materiałów energooszczędnych o mniejszej masie;
- stosowanie nowoczesnych materiałów kompozytowych, np. proszków metali (np. korbowody w silnikach BMW) oraz tworzyw sztucznych, np. poliamidów, które mogą być wzmacniane włóknem szklanym, polipropylenu itp.; wykonuje się z nich układy dolotowe, pokrywy napędu rozrządu, prowadnice i napinacze łańcuchów, zbiorniki paliwa i innych płynów eksploatacyjnych;

- technical advancement,
- waste management.

For these reasons the pro-ecology design aims at using more and more novel and environment friendly manufacturing technologies. The technical advancement of a designed product is a result of technical innovations that were introduced in order to minimize the negative impact of a product on the environment. When preventive environmental actions are taken the following should undergo an evaluation:

- interaction and impact of the technology on the environment,
- all manufacturing technologies,
- stages in the production cycle of a product, i.e.:
 - market distribution and consumption,
 - selection of production technology / raw materials,
 - recyclability,
 - selective waste collection and storage,
 - liquidation of the remains,
 - placing the final waste at the disposal sites.

We know several methods of pro-ecology design: complex, ecological index, list verification and intuitive methods. These methods were more extensively discussed in paper [3].

3. Development trends in production processing

Today a combustion engines used for propulsion of all kinds of vehicles has practically no competitors. It is though one of the heaviest and the most expensive subassemblies of a vehicle. Hence, the engineers constantly seek new material technologies and methods of processing which are more environment friendly. Materials are sought that are lighter, cheaper and energy efficient during the production stage.

The observed trends in the production of combustion engines for road vehicles can be categorized as follows:

- the introduction of new materials of high energy efficiency and lower mass;
- the application of novel composite materials – metal powders (connecting rods in BMW engines), plastics – polyamides that can be reinforced with fiber glass and finally – polypropylene. The latter is used for the production of inlet manifolds, timing belt covers, timing chain guides and tensioners, fuel tanks and other reservoirs mounted in vehicles;
- the introduction of nano-materials in the nearest future, materials of higher durability, plasticity, resistance to wear, corrosion and creep;
- the application of environment friendly technologies – limiting processing that generates neutralization of resistant waste – chromium plating; replacing these methods with ecological cold plastic processing methods, ion implantation etc.;
- the return to old and simple solutions, possible thanks to new technologies and materials – the disappearance of valve clearance compensators. As Toyota has observed, with sufficient precision of workmanship the first valve clearance adjustment is to be made after 100,000 km; re-introduction of uniform blocks with the piston liners made directly in the cylinder block;

- wprowadzanie w niedalekiej przyszłości nanomateriałów o lepszej wytrzymałości, superplastycznych, o dużej odporności na ścieranie, korozję, pełzanie;
- stosowanie technologii przyjaznych środowisku – ograniczanie obróbek pozostawiających trudne do neutralizacji odpady np. chromowania; zastępowanie ich ekologicznymi metodami obróbki plastycznej na zimno, implantacji jonowej itd.;
- powrót do dawnych, prostych rozwiązań konstrukcyjnych, możliwy dzięki nowym technologiom i materiałom, np. odchodzenie od kasatorów luzów zaworowych; według obserwacji Toyoty przy dobrym wykonaniu części pierwsza ingerencja w układzie rozrządu dotycząca luzu zaworowego jest wymagana dopiero po przebiegu ok. 100 000 km; ponowne wprowadzanie tzw. kadłubów jednolitych z tulejami wykonywanymi bezpośrednio w bloku cylindrów;
- stosowanie technologii i materiałów ułatwiających recykling dzięki odpowiednim uregulowaniom prawnym zmuszającym do tego producenta.

Kompozyty mogą stanowić kombinacje wszystkich rodzajów materiałów tworząc układ (rys. 1) o właściwościach innych niż materiały wchodzące w ich skład. W ten sposób po kombinacji „każdy z każdym” osnowo-zbrojenie otrzymuje się 9 grup kompozytów [9]. Wymagania stawiane materiałom kompozytowym dotyczą takich ich właściwości jak:

- trwałość eksploatacyjna,
- prostota procesu technologicznego,
- zakres żądanych właściwości mechanicznych oferowanego zespołu,
- niezawodność w eksploatacji i łatwość konserwacji,
- możliwość adaptacji do zautomatyzowanego procesu wytwarzania i kontroli produkcji,
- zdolność do dokładnego prognozowania trwałości wykonywanych z nich części maszyn.

Najważniejsze zalety tych materiałów to:

- mała gęstość,
- lepsze właściwości wytrzymałościowe, w tym zmęczenie, w podwyższonych temperaturach pracy,
- sztywność,
- właściwości trybologiczne (w tym odporność na zatarcie i zużycie),
- zdolność do tłumienia drgań,
- duże możliwości kształtowania ich właściwości,
- niemal bezodpadowa produkcja.

Zastosowanie kompozytów, faktyczne lub przewidywane, w przemyśle motoryzacyjnym i innych dziedzinach techniki przedstawiono w tablicy 1.

Ważnym stymulatorem poszukiwań nowych rozwiązań jest zmniejszanie masy silników co ma znaczący udział w masie pojazdów samochodowych. Do ostatnich nowości należą nadwozia aluminiowo-stalowe; przykładem jest ostatni pojazd BMW serii 5, w którym dzięki tej technologii zmniejszono masę pojazdu o 75 kg.

Do głównych zadań środków transportu należy maksymalizacja przenoszonego ciężaru ładunku z jednoczesną minimalizacją masy pojazdu i uwzględnieniem wymogu

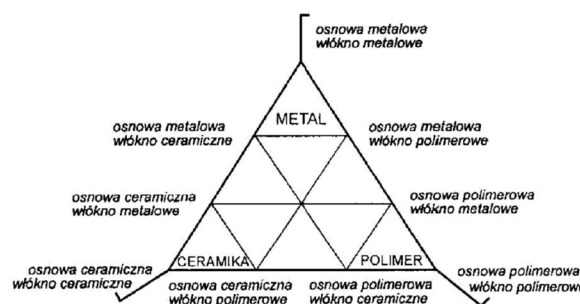
- the application of materials and technologies that facilitate recycling as a result of certain legal regulations forcing the manufacturers to do so.

The composites can be a combination of all types of materials forming a system (fig. 1) with properties other than the materials used for their production separately. In this way, having combined each of the materials we arrive at 9 groups of composites [9]. The requirements for composite materials are related to the following properties:

- durability,
- simplicity of the technological process,
- range of required mechanical properties of a given group,
- reliability and simplicity of maintenance,
- the possibility of adaptation to an automated production system and production control,
- capacity of precise determination of element durability.

The most important advantages of these materials are:

- low density,
- better properties strength-wise including fatigue, at elevated operating temperatures,
- rigidity,
- tribological properties (resistance to seizure and wear),
- capacity of vibration absorption,
- possibilities of choosing the required properties,
- nearly waste free production.



Rys. 1. Rodzaje materiałów kompozytowych [10]

Fig. 1. Kinds of composite materials [10]

The application of composite materials (actual or forecasted) in the automotive industry and other fields are presented in Table 1.

An important stimulus for the search for new solutions is the reduction of engine mass which has a considerable influence on the total vehicle mass. Recent novelties are aluminum-steel vehicle bodies – the latest BMW 5 series – for which the new technology led to a mass reduction of 75 kg.

The main tasks of vehicles is the maximization of carried loads at a minimum vehicle mass, lowest cost of transport and top safety of operation.

That is why the development of transport itself sets the trends in the search for new material solutions including combustion engines. The basic guidelines in this respect can be formulated as follows [11]:

- a) new materials must be economical and easy to make,
- b) new materials must ensure higher production quality,
- c) when choosing new materials we must meet the require-

Tablica 1. Zestawienie wybranych materiałów kompozytowych oraz ich zastosowań [14]

Table 1. Selected composite materials and their applications [14]

Kompozyty / Composite materials	Części wykonane z kompozytu / Part made from composite materials	Spodziewane korzyści, wynikające z zastosowania kompozytu / Expected benefits resulting from the application of a composite material	Producenci / Producers
Al-SiC	Tłoki / Pistons	Zmniejszona masa, duża wytrzymałość i odporność na zużycie, kontrolowana rozszerzalność cieplna / Reduced mass, high durability and wear resistance, controlled thermal expansion	Duraclan, Martin, Marietta, Lanxide
	Tarcze hamulcowe, sprawdziany szczękowe, wkładki / Brake discs, brake pads, caliper gauges	Duża odporność na zużycie i zmniejszona masa wyrobu / High resistance to wear and reduced mass	Duraclan, Lanxide
	Wały napędowe / Drive shafts	Zmniejszona masa wraz ze sztywnością względną / Reduced mass with relative rigidity	GNK, Duraclan
Al-SiC	Korbowody / Connecting rods	Zmniejszona masa dynamiczna, duża wytrzymałość względna, sztywność i mała rozszerzalność cieplna / Reduced dynamic mass, high relative durability, rigidity and low thermal expansion	Nissan
Al-Al ₂ O ₃	Pierścienie tłokowe / Piston rings	Odporność na zużycie, możliwość podwyższenia temperatury pracy, mniejsze opory przy uruchamianiu silnika / Resistance to wear, possibility of increased thermal load, high performance on cold start	Toyota
	Denka tłoka (komory spalania tłoków) / Piston crowns (combustion chambers in pistons)	Zmniejszona masa dynamiczna, duża odporność zmęczeniowa i odporność na pękanie, duża odporność na szoki cieplne / Reduced dynamic mass, high fatigue and creep resistance, high resistance to thermal shocks	I&N, JPL, Mahle, Kolbenschmidt
Cu-grafit / Cu-graphite	Elektryczne listwy stykowe, łożyska ślizgowe / Electrical contact strips, slide bearings	Mały współczynnik tarcia, zmniejszone zużycie, mała rozszerzalność cieplna / Low friction coefficient, reduced wear, low thermal expansion	Hitachi Ltd.
Al-grafit / Al-graphite	Tuleje cylindrowe, cylindry łożyska ślizgowego / Piston liners, slide bearing cylinder	Odporność na zacieranie, mały współczynnik tarcia, zmniejszone zużycie i masa / Resistance to seizure, low friction coefficient, reduced wear and reduced mass	Associated Engineering CSIR
Al-TiC	Tłoki, korbowody / Pistons, connecting rods	Zmniejszona masa i zwiększona odporność na zużycie / Reduced mass and increased wear resistance	Martin, Marietta
Al-włókno (fibre flax) / Al-fibre flax	Tłoki / Pistons	Zmniejszona masa i zwiększona odporność na zużycie / Reduced mass and increased wear resistance	Zöllner
Al-Al ₂ O ₃	Bloki cylindrowe / Cylinder blocks	Zmniejszona masa, zwiększona wytrzymałość i odporność na zużycie trybologiczne i erozyjno-korozyjne / Reduced mass, increased durability and wear resistance	Honda

minimalnych kosztów przewozu wraz z zachowaniem najwyższego poziomu bezpieczeństwa eksploatacji.

Dlatego też rozwój środków komunikacji sam wyznacza kierunki poszukiwań nowych rozwiązań materiałowych, również w odniesieniu do silników spalinyowych. Podstawowe wytyczne w tym względzie można sformułować następująco [11]:

- nowe materiały muszą być opłacalne ekonomiczne i łatwe w wykonaniu,
- nowe materiały muszą zapewniać wyższą jakość produkcji,
- dokonując selekcji nowych materiałów należy kierować się wymaganiami dotyczącymi oszczędności paliwa i

ments of fuel economy and emission limits as well as recyclability,

- prompt implementation of new products from 3.5 to 5 years in the automotive industry and not more than 10-15 years in the commercial aviation [7].

Many world renowned automotive concerns set more and more stringent requirements as to the material „flexibility”, which constitutes an incentive for a wider application of metallic composite materials in vehicles. It is estimated that a 10% reduction of vehicle mass will result in a 5.5 reduction of fuel consumption. In the United States of America there is an opinion that medium and high capacity engines

norm emisji produktów spalania z uwzględnieniem optymalnej gospodarki odpadami i powrotu do obiegu (*recykling*),

- d) szybkie wdrażanie nowych produktów od 3,5 do 5 lat w przemyśle samochodowym i nie więcej niż 10-15 lat w lotnictwie cywilnym [7].

Wiele światowych koncernów samochodowych stawia coraz większe wymagania w stosunku do stabilnej „elastyczności” materiałowej, co stanowi zachętę do szerszego stosowania metalowych materiałów kompozytowych w pojazdach. Przewiduje się, że dzięki zmniejszeniu o 10% masy pojazdu można osiągnąć 5,5% zmniejszenie zużycia paliwa. W Stanach Zjednoczonych coraz modniejszy staje się pogląd, że samochody średnio- a nawet wysokolitrażowe powinny charakteryzować się zużyciem paliwa rzędu $6 \text{ dm}^3/100 \text{ km}$ z uwzględnieniem amerykańskiego standardu wyposażenia samochodu, czyli m.in. w klimatyzację, system ABS, automatyczną skrzynię biegów, podwójne poduszki powietrzne itp., a więc w urządzenia których działanie przyczynia się także do wzrostu zużycia paliwa. Ważnym wymaganiem w stosunku do przemysłu ciężkich środków transportu są normy emisyjne produktów spalania w trakcie eksploatacji samochodów ciężarowych. Powoduje to nadal intensywne poszukiwania sprawniejszego, bardziej wydajnego silnika o zapłonie samoczynnym, co oznacza wzrost temperatury pracy, a więc konieczność stosowania materiałów bardziej wytrzymałych w podwyższonej temperaturze. Zakłada się więc, że wyższe koszty materiałowe powinny być rekompensowane przez nowocześniejszą, lżejszą konstrukcję silnika oraz jego polepszoną sprawność. Dla przykładu, w silniku o wartości 15000 USD zastosowanie kompozytowego tłoka przyczynia się do dodatkowych nakładów rzędu 200 USD, a więc wydatku rzędu 1%.

4. Wybrane przykłady nowych technologii

Zbieżne z dążeniem do zmniejszania masy pojazdów jest coraz szersze wprowadzanie materiałów kompozytowych i tworzyw sztucznych. Wprowadzanie w układach dolotowych silników spalinowych części z tworzyw sztucznych, lżejszych o 50% w porównaniu z aluminium, skutkuje obniżeniem masy silnika nawet do 5–6%. Poza układami dolotowymi z tych tworzyw wykonuje się pokrywy głowic, osłony pasków zębatych, przekładnie pasków rozrządu.

Stosowane są dwa sposoby wytwarzania elementów układów zasilania. Pierwszym jest wykonywanie kolektora dolotowego oraz jego przewodów za pomocą rdzeni metalowych ze stopu cyny z bizmutem. Stop ten o temperaturze topnienia 135°C jest wytapiany za pomocą grzania indukcyjnego. Temperatura roztopienia nie zagraża uszkodzeniem wykonywanych części. Wytapiony materiał jest ponownie używany w procesie formowania.

Drugim sposobem jest wykonywanie ich w częściach. Konstrukcja układu dolotowego jest podzielona a poszczególne części wykonywane są na wtryskarkach złączeniem ich za pomocą zgrzewania lub z użyciem żywic.

Nowym rozwiązaniem jest odlewanie ciśnieniowe kadłubów silników spalinowych ze stopów aluminium (rys. 2).

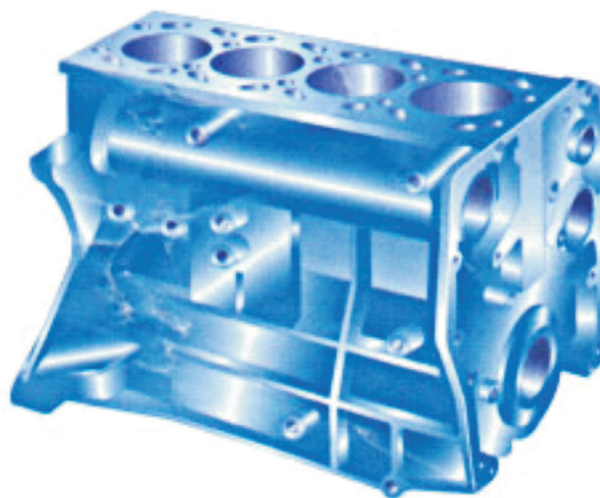
should be characterized by a fuel consumption that does not exceed $6 \text{ dm}^3/100 \text{ km}$ maintaining typical American vehicle standards such as air conditioning, ABS, automatic transmission, dual airbags etc. which are generally deemed to reduce the overall vehicle economy. An important requirement in the sector of heavy duty vehicles is the compliance with the emission limits, which triggers painstaking development works on a more efficient and effective diesel engine. Such an engine generates more heat, hence, materials which are more durable in higher temperatures are needed. It is, thus, assumed that higher material costs should be compensated by a design of a lighter and more efficient engine. To exemplify that: an application of a piston made from a composite material in an engine worth USD 15,000 increases the cost by approximately USD 200 i.e. 1%.

4. Selected examples of new technologies

The growing level of implementation of composite materials and plastics is in line with the pursuit of lower vehicle mass. The introduction of plastic inlet manifolds in combustion engines that are lighter by 50% as compared to aluminum ones results in the overall engine mass reduction of up to 5–6%. Head covers, timing belt covers and timing gears are made from the same materials.

Two types of manufacturing are applied in the production of inlet systems. The first one is making the inlet manifold and its ducts by metal cores made from tin-bismuth alloy. This alloy, of melting point of 135°C , is smelted by induction heating. The melting temperature does not damage the produced parts. The smelted material is once again used in the forming process. The second one is to make the inlet manifold in parts. An inlet manifold is divided into several parts made in the injection lines that are subsequently joined by resins or pressure bonding.

A new solution is aluminum pressure casting of engine crankcases (Fig. 2). These crankcases must have thicker walls, but are lighter, particularly in smaller engines. Due to the fact that these alloys are more expensive than cast iron, their application is rational only if the economies made out



rys. 2. Kadłub monolityczny silnika czterocylindrowego
Fig. 2. The monolithic crankcase of a 4-cylinder engine

Kadłuby te muszą mieć grubsze ścianki, lecz mimo to są lżejsze, zwłaszcza w mniejszych silnikach. Ponieważ stopy te są droższe niż żeliwo, stosowanie ich jest racjonalne tylko wówczas, gdy oszczędności wynikające z uproszczonej obróbki skrawaniem pokrywają zwiększone koszty materiałowe. Odlewanie to, cechujące się:

- dużą dokładnością wymiarowo-kształtową,
- drobnoziarnistą strukturą, szczególnie wierzchniej warstwy,
- brakiem wad powierzchniowych,
- małą chropowatością,
- dużą wydajnością,
- małymi nadatkami na obróbkę (0,3–0,5 mm)

pozwała na uzyskanie odlewów precyzyjnych, lekkich i sztywnych o znacznie zmniejszonym zakresie obróbki, nie wymagających malowania wewnętrznych powierzchni. Przez zastosowanie tego procesu zwiększa się wydajność produkcji.

Odlewanie do form trwałych eliminuje procesy specjalne takie jak wykonywanie modeli, formowanie. Stopy aluminium są coraz częściej stosowane do produkcji silników; związane jest to z wtórnym wykorzystaniem wielu części, a dokładniej mniejszą energią potrzebną do produkcji. Nadmienić jednak należy, że odlewanie ze stopów aluminium, opłacalne w dużych seriach, spowodowało opracowanie nowych metod odlewania cienkościennych kadłubów z wysokogatunkowego żeliwa, zwłaszcza w USA, gdzie układ kosztów jest mniej sprzyjający dla stopów aluminium niż w Europie. Kadłub taki wykonany jako odlew cienkościenny z żeliwa z tulejami wykonanymi bezpośrednio w bloku jest niewiele cięższy od kadłuba ze stopu lekkiego (rys. 3, 4).

Dużym zmianom podlega ostatnio proces wytwarzania tłoków. Ograniczenia tradycyjnych metod wynikają z niewystarczających właściwości, takich jak:

- zbyt mała wartość współczynnika rozszerzalności cieplnej,
- niewystarczająca przewodność cieplna,
- zbyt mała odporność na szok termiczny i inne.

Nowoczesne metody wytwarzania tłoków przewidują wzmacnianie ich konstrukcji materiałami kompozytowymi. Opracowuje się też metody prasowania tłoków w stanie ciekłym (rys. 5–8).

Do nowych materiałów stosowanych na korbowody możemy obecnie także zaliczyć proszki spiekane oraz stopy

of the simplified machining cover the increased material costs. This type of casting is characterized by:

- high precision in terms of shape and dimension,
- fine grained structure, particularly the outer layer,
- lack of surface flaws,
- little roughness,
- high efficiency,
- little material allowance (0,3–0,5 mm).

It allows precise, light and rigid casts with minimized processing requirements and does not require internal painting. The application of this process increases production efficiency.

Casting to permanent moulds eliminates special processes such as modeling and forming. Aluminum alloys are more and more frequently used in the engine production, which is related to the secondary use of parts thus less energy is needed for production. We should also mention the fact that aluminum casting, profitable in large series, led to the development of new methods of thin walled engine crankcase high quality iron casting, particularly in the US, where the cost structure for aluminum alloys is less advantageous than in Europe. An engine crankcase made as a thin walled iron cast with the piston liners made directly in the block is not much heavier than that made of a light alloy (Fig. 3, 4).

The process of piston making has undergone serious changes recently. The limitations of traditional methods result from insufficient properties such as:

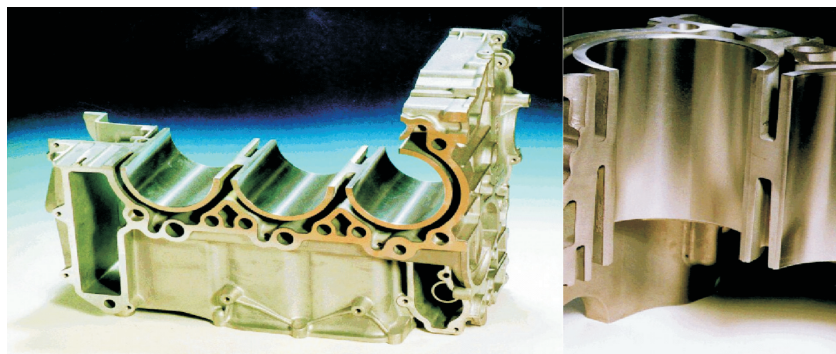
- insufficient thermal expansion coefficient,
- insufficient thermal conductivity,
- insufficient resistance to thermal shocks.

Modern methods of piston manufacturing provide for the reinforcement of their build by composite materials. Methods of piston pressing in the liquid state are also being developed (Fig. 5–8).

New materials used for the production of piston connecting rods currently also include sintered powders and magnesium alloys. These materials are, however, expensive and applied only by renowned car manufacturers in their high-end products.

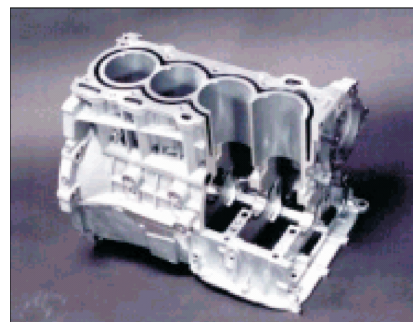
The discussed pressure casting is applied for a variety of smaller engine parts (Fig. 9).

In some high speed engines fitted in race cars (Porsche, Ford-Cosworth, BMW, Renault) piston connecting rods



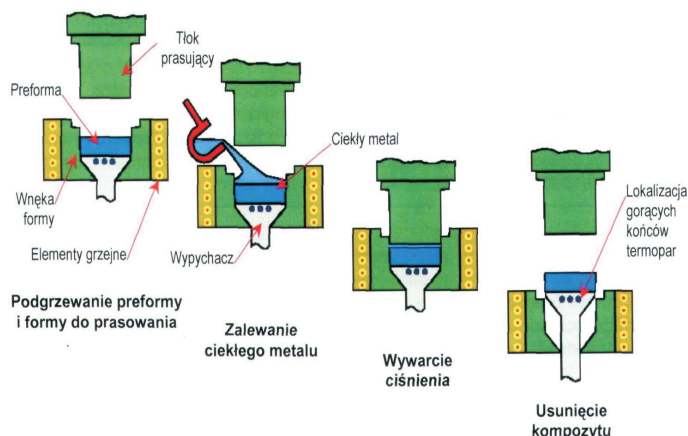
Rys. 3. Aluminiowe, kompozytowe tuleje cylindrowe silnika samochodu Porsche

Fig. 3. Aluminum-composite cylinder liners of the Porsche engine



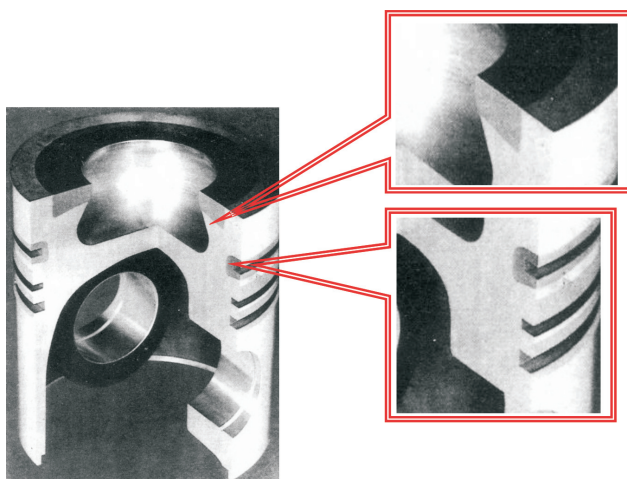
Rys. 4. Kadłub silnika samochodu Toyota z kompozytowymi tulejami na bazie Al

Fig. 4. The cylinder block of the Toyota engine with a composite cylinder liner based on Al



Rys. 5. Prasowanie tłoków w stanie ciekłym

Fig. 5. The pressing of pistons in the liquid state



Rys. 8. Przykłady wzmacniania tłoka: dyspersyjnego w całej objętości i lokalnego z zastosowaniem preformy

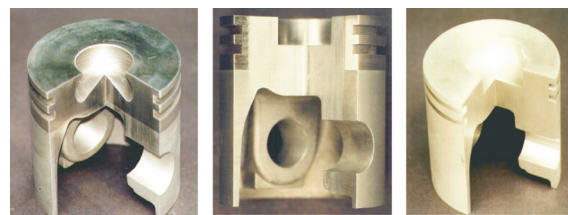
Fig. 8. Examples of the strengthening piston – by dispersion in the volume and local with the use of preform

magnezu. Są to jednak materiały drogie, stosowane przez renomowane firmy samochodowe w droższych modelach samochodów.

Omówione odlewanie ciśnieniowe stosuje się do wytwarzania wielu drobniejszych części silników (rys. 9).

W niektórych szybkoobrotowych silnikach samochodów wyścigowych (np. Porsche, Ford-Cosworth, BMW, Renault) stosuje się korbowody odkute z technicznego stopu tytanu (tab. 1), których masa zmniejszyła się około 30%. Nową technologię wykonania podziału stopy kutego korbowodu stosuje koncern Opel. W silniku Ecotec 2,5 V6, po dokładnej obróbce stopy i wykonaniu karbu na średnicy podziałowej, odłupuje się pokrywę od stopy metodą klina hydraulicznego (rys. 10). Nierówna, przypadkowa powierzchnia przełomu o drobnoziarnistej strukturze gwarantuje dobre przyleganie pokrywy do stopy eliminując konieczność dokładnej obróbki i łączenia śrubami pasowanymi.

Wytwarzanie wałów korbowych metodą spęczania z równoczesnym zginaniem (metodą TR) jest często wykorzysty-



Rys. 6. Przykłady tłoków kompozytowych wykonanych metodą prasowania w stanie ciekłym

Fig. 6. Examples of composite pistons made with the method of pressing in the liquid state



Rys. 7. Odlewy kokilowe tłoków kompozytowych z kompozytu A332/20% SiC

Fig. 7. Permanent mould casts of composite pistons A332/20% SiC

forged from technical titanium alloy are applied (Tab. 1), whose mass is thus reduced by approximately 30%. A new technology of connecting rod big end division is applied by Opel. In its Ecotec 2.5 V6 engine, upon a precise processing of the big end and notching the division line, the cover is chipped off the big end by a hydraulic wedge (Fig. 10). The uneven and random surface of the fracture of fine grained structure guarantees a good adhesion of the cover to the big end of the connecting rod, thus, eliminating the necessity of precise processing and joining the elements with fitted bolts.

The making of crankshafts by upset forging along with bending (the TR method) is a frequently used and energy efficient process. The energy efficiency consists in the application of one tool and the material in the form of a roll bead. This method eliminates cutting and reforging of the bloom done on separate machines. A crankshaft has to withstand very high loads, hence the quality of the surface of the crankpins and main bearings is extremely important. It is ensured by the application of various methods of surface processing. A very cost effective and environment friendly type of processing is cold treatment, most often burnishing i.e. cold work hardening. The surface thus treated is characterized by great hardness and low roughness.

The application of surface processing techniques widely applied in the past has recently been limited due to environmental requirements. This, among others, pertains to chromium plating, in which case, high costs of waste treatment decreased the profitability of the process. Recently the industry has also withdrawn from the method of cylinder liner porous chromium plating.

New technologies, the application of composite materials and new generation of plastics are clearly visible in other

wanym, energooszczędnym procesem. Energooszczędność polega na stosowaniu jednego urządzenia i materiału wyjściowego w postaci wałka. Metoda ta eliminuje operacje nacinania i przekuwania kęsiska wykonywane na odrębnych urządzeniach. Wał korbowy jest częścią narażoną na duże obciążenia, dlatego bardzo ważna jest jakość powierzchni na czopach korbowych i głównych. Zapewnia się to stosując różne metody obróbki powierzchniowej. Obróbką niewymagającą dużych nakładów finansowych i przyjazną środowisku jest obróbka plastyczna na zimno, najczęściej dogniatanie, czyli utwardzanie zgniotem. Powierzchnia obrabiona w ten sposób na dużą twardość powierzchniową i małą chropowatość.

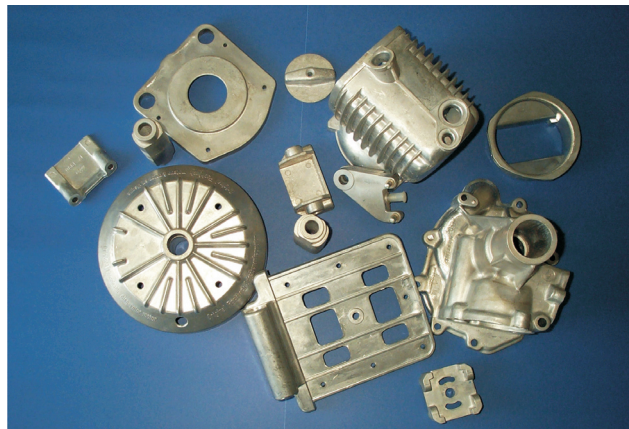
Stosowanie wielu, szeroko kiedyś stosowanych rodzajów obróbki powierzchniowej, przy obecnych wymaganiach ekologii zostało ograniczone. Dotyczy to na przykład chromowania, przy którym duże koszty utylizacji toksycznych pozostałości spowodowały, że proces stał się dużo mniej opłacalny. Szeroko stosowane, do niedawna chromowanie tulei cylindrowych, trudnymi zresztą metodami chromu porowatego, zostało zupełnie wycofane.

Nowe technologie, stosowanie materiałów kompozytowych i nowych generacji tworzyw sztucznych są również widoczne w innych elementach silników, takich jak np. koła pasowe, różne pokrywy, listwy paliwowe czy zbiorniki paliwa (rys. 11–13).

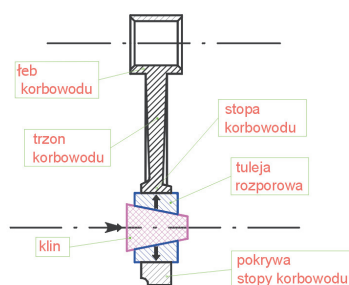
Nowe technologie stosuje się do produkcji łożysk ślizgowych, filtrów czy reaktorów katalitycznych (rys. 14). Do ich budowy stosuje się wykonywane specjalnymi technikami porowate materiały ceramiczne tzw. gazary.

Tak nowoczesne metody jak np. metoda infiltracji ciśnieniowej preformy (np. z tlenku glinu) stopem aluminium znajdują również zastosowanie przy wzmacnianiu szczególnie obciążonych części silnika spalinowego (rys. 15).

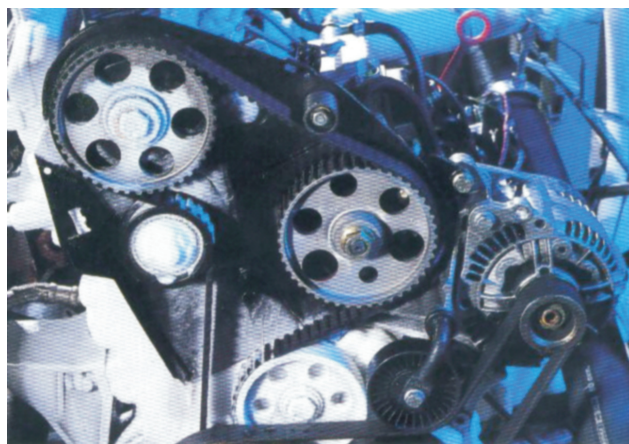
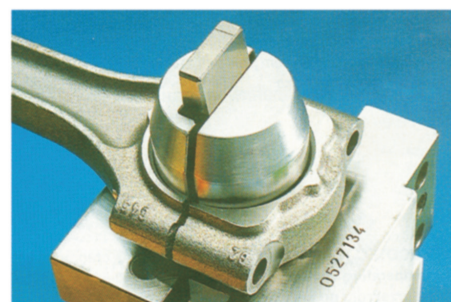
Materiałami wprowadzanymi do produkcji wielu mniejszych części pojazdów są proszki spiekane. Technologia ta gwarantuje wysoka dokładność wymiarową. W zastosowaniu do produkcji korbowodów umożliwia ona wykonanie korbowodu w całości i odlamywanie jego pokrywy, co bardzo obniża pracochłonność obróbki. Innym przykładem mogą być drobne elementy pomp wtryskowych, od których wymaga się wysokiej jakości wykonania. Elementy te wykonywane są poprzez spiekanie proszków metali, co elimi-



Rys. 9. Przykłady części odlewanych ciśnieniowo
Fig. 9. Examples of parts made by pressure casting



Rys. 10. Oddzielanie stopy korbowodu metodą klina hydraulicznego
Fig. 10. The separation by hydraulic wedge



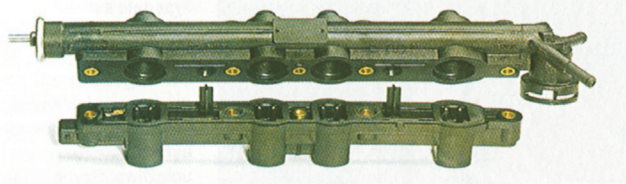
Rys. 11. Koła pasowe wykonane z materiałów kompozytowych na bazie Al/SiC
Fig. 11. Pulleys made from composite materials based on Al/SiC

Fig. 11. Pulleys made from composite materials based on Al/SiC

parts of engines such as pulleys, covers, fuel ducts or fuel tanks (Fig. 11–13).

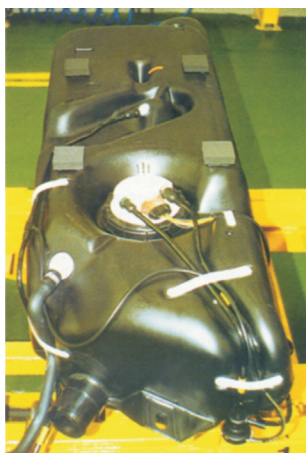
New technologies are also used for the production of slide bearings, filters or catalytic converters (Fig. 14). Porous ceramic materials – gazars – developed by special techniques are used to make these elements.

The reinforcement of engine parts that operate under extreme load can be effected by such modern methods as pre-form pressure infiltration with aluminum alloy (aluminum oxide) (Fig. 15).



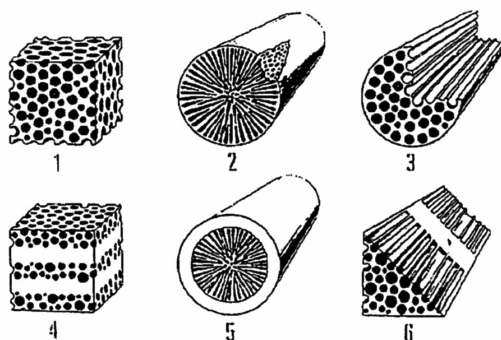
Rys. 12. Pokrywa i listwy paliwowe z tworzywa PA (z włóknem szklanym)

Fig. 12. A cover and fuel ducts made from PA (with glass fiber)



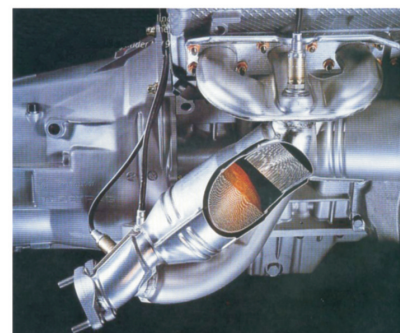
Rys. 13. Zbiornik paliwa z poliamidu

Fig 13. A fuel tank made from polyamide



Rys. 14. Filtry i reaktory katalityczne wykonane z gazarów

Fig. 14. Filters and catalytic converters made from gas



nuje uciążliwe odlewanie precyzyjne lub żmudne procesy obróbki skrawaniem.

Przykład nowoczesnej konstrukcji samochodowego silnika spalinowego wykonanego głównie ze stopów lekkich przedstawiono na rysunku 16.

7. Podsumowanie

Główny stimulator rozwoju silników spalinowych – ochrona środowiska jest powiązana z zapotrzebowaniem energii. Zakłady produkcyjne stosujące nowoczesne obrabiarki skrawające są bardziej energooszczędne i bardziej wydajne. Stosowanie nowoczesnych, zintegrowanych i skomputeryzowanych obrabiarek znacznie ułatwia i przyspiesza procesy produkcyjne przy zachowaniu powtarzalności wymiarów.

W produkcji seryjnej i masowej niezbędne jest opracowanie kompleksowe procesu technologicznego wyrobu tak, by były spełnione wszystkie wymagania konstrukcyjne i ekologiczne. Równocześnie ze względów ekonomicznych należy koniecznie spełnić warunek, aby ogólny wkład pracy i kosztów zużytych na wyprodukowanie silnika był jak najmniejszy, niezależnie od kształtowania się wartości kosztów na poszczególnych etapach. Żaden więc z etapów – procesy technologiczne półfabrykatów gotowych, części czy ich montaż – nie może być rozpatrywany oddzielnie.

W przyszłości można się spodziewać zwiększonego stosowania tworzyw sztucznych w budowie silników spalinowych. Stosowanie nowoczesnych technologii często umożliwia również powrót do prostszych rozwiązań, np. do kadłubów żeliwnych, lecz o mniejszej masie w stosunku do kadłubów aluminiowych. Spowodowane to będzie możliwością uzyskania cienkich ścianek przy zachowaniu tej samej lub wyższej sztywności co kadłuby aluminiowe. Rozwój procesów produkcyjnych silników spalinowych będzie związany ze zmniejszaniem ich masy, co w efekcie zapewni mniejszy ciężar pojazdu i zapotrzebowanie na paliwo.

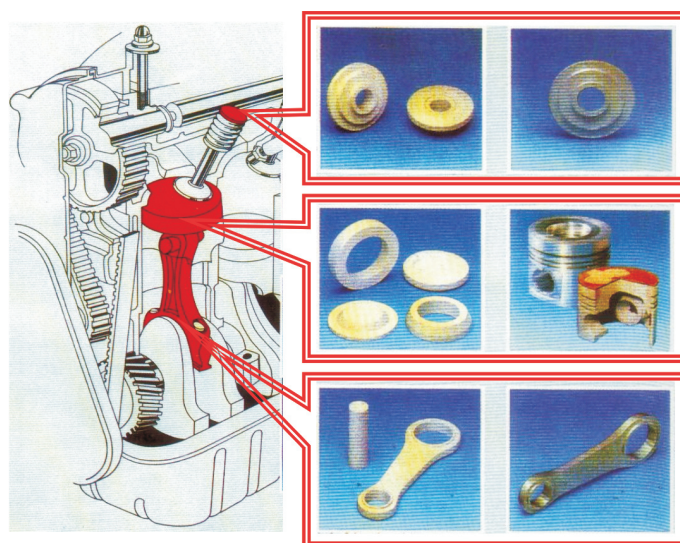
Efekty zastosowania poszczególnych rozwiązań mogą się różnić na skutek różnych sposobów realizacji procesu produkcji przez poszczególnych producentów.

Materials that are introduced in production of smaller parts are sintered powders. This technology guarantees high dimensional precision. When applied in the production of crankshafts it allows the making of the part as one element and chipping off its cover, which substantially decreases the labor level of the processing. Another example can be small elements of injection pumps which require a very high precision of workmanship. These elements are made through metal powder sintering, which eliminates the very inconvenient and painstaking processes of machining.

An example of a modern vehicle engine design has been shown in figure 16.

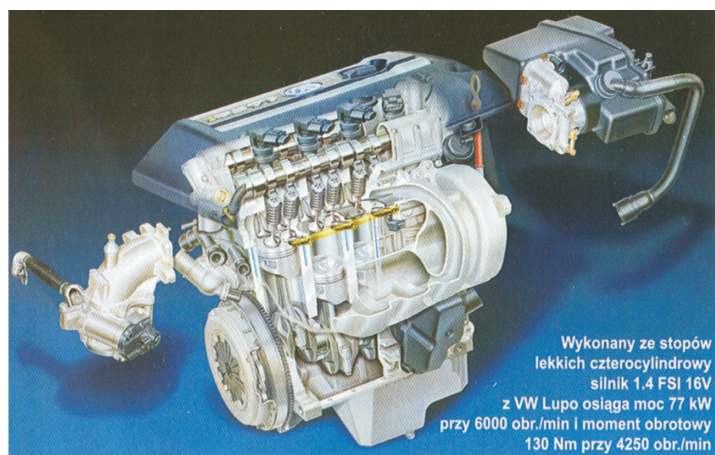
7. Conclusions

The main stimulus for combustion engine development – environment protection is related to energy efficiency. Production facilities that use modern machining tools are more economical and efficient. The application of modern, integrated and automated machining tools facilitates and speeds up the production processes maintaining the dimensional repeatability of the products.



Rys. 15. Przykład wzmocnienia części silnika spalinowego otrzymywanych metodą infiltracji ciśnieniowej preformy stopem aluminiowym

Fig. 15. The example of the reinforcement of a part of the combustion engine-pre-form pressure infiltration with aluminium alloy



Rys. 16. Nowoczesny silnik VW Lupo wykonany ze stopów lekkich

Fig. 16. A modern VW Lupo engine made from light alloys

Widoczna jest jednak konieczność łączenia niektórych rozwiązań; coraz ważniejsza jest rola wszelkich nowych technologii wytwarzania, wprowadzania nowych materiałów, co chociaż mniej efektywne, zaczyna dominować w rozwoju środków transportu, w tym również silników spalinowych.

Artykuł recenzowany

In serial production it is a prerequisite that a complex technological process of a product is developed in order to meet all technical and environmental requirements. At the same time, for economic reasons, an additional requirement must be met that the overall labor costs and costs applied to a product are the lowest possible irrespective of the cost structure in particular stages. Hence, none of the stages—technological processes of ready made half products or their fitting cannot be analyzed separately.

The future can see a more frequent application of plastics in combustion engines. The application of modern technologies will many a time allow a return to simpler solutions e.g. cast iron crankcases, yet, of lower weight than the aluminum ones. We will simply build thinner walls with a higher level of rigidity.

The development of combustion engine production processes will be tightly related to the reduction of their mass, which will eventually reduce the vehicle overall weight and fuel consumption.

The effects of the application of particular solutions may vary due to differences in the realization of the production processes by the manufacturers, though combining certain solutions seems necessary. The role of all new production technologies and the introduction of new materials is getting more important. Lacking in effect as yet it starts to dominate the transportation and engine manufacturing.

Literatura/Bibliography

- [1] Budziszewski M.: Najnowsze tendencje w procesach przygotowania powierzchni w światowym przemyśle samochodowym. Chemetall Polska Sp. z o.o. 2004.
- [2] Dobrosz K., Matysiak A.: Tworzywa sztuczne w pojazdach samochodowych. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1982.
- [3] Idzior M.: Nowe technologie wytwarzania samochodowych silników spalinowych w aspekcie wymogów ekologii. Materiały PTNSS Kongres, Bielsko-Biała / Szczyrk, 2005.
- [4] Idzior M.: Tendencje rozwojowe samochodowych silników o zapłonie samoczynnym z uwzględnieniem nowości technologicznych. Materiały Sympozjum Naukowo-Technicznego WSM KROTOSZYN S.A., Krotoszyn 1997, s. 39–51.
- [5] Idzior M.: Proekologiczne technologie w procesach produkcji środków transportu, Inżynieria maszyn, Vol. 8 Zeszyt 4, 2003. Agencja Wydawnicza Wrocławskiej Rady FSNT NOT, Wrocław 2003.
- [6] Kuzia B.: Recykling samochodów wycofanych z eksploatacji. Instytut Gospodarowania Odpadami 2003.
- [7] Larsen J.M., Russ S.M., Jones J.W.: Possibilities and Pitfalls in Aerospace Applications of Titanium Matrix Composites, NATO AGARD Conference on Characterization of Fibre Reinforced Titanium Metal Matrix Composites. Bordeaux, France, September 1993.
- [8] Łukaszewicz E.: Ekologiczne zasady programowania i projektowania technologicznego. WNT, Warszawa 2004.
- [9] Mańkowska M., Wach A.K.: Zasady proekologicznego projektowania. WKiŁ, Warszawa 2000.
- [10] Mazurkiewicz A.: Technologie specjalne kształtowania materiałów. Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, 2002.
- [11] Merks J.: Ekologiczne problemy silników spalinowych, tom I. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 1998.
- [12] Materials Research Agenda for the Automotive and Aircraft Industries, National Materials Advisory Board, NMAB-468. National Academy Press: Washington, 1993.
- [13] Sawa R. (red.): Recykling samochodów: Ekologia, prawo, polityka, perspektywy. Wydawnictwo Przemysłowego Instytutu Automatyki i Pomiarów, Warszawa 2001.
- [14] Sobczak J.: Metalowe materiały kompozytowe. Stan aktualny i perspektywy rozwoju w świetle polityki naukowej, technologii i praktyki przemysłowej Stanów Zjednoczonych. Zeszyty Instytutu Odlewnictwa, Kraków 1996.
- [15] Wojciechowski A.: Bezpieczeństwo w ruchu drogowym w aspekcie części zamiennych pochodzących z odzysku produktowego. Instytut Transportu Samochodowego, Warszawa 2003.
- [16] Zenowicz Z., Gauda K.: Powłoki organiczne w technice antykorozyjnej. Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Warszawskiej, 2003.
- [17] Materiały firm: BMW, Mercedes, Toyota, Volkswagen, Volvo.

Dr hab. inż. Marek Idzior – Instytut Silników Spalinowych i Transportu, dziekan Wydziału Maszyn Roboczych i Transportu Politechniki Poznańskiej.
Mr Marek Idzior Ph.D., M.E. – Institute of Combustion Engines and Transport, Dean of the Faculty of Machines and Transport at Poznań University of Technology.

