

Barbara Lisiecka¹

DETERMINANTY JAKOŚCI STALI SPIEKANYCH DLA BRANŻY SAMOCHODOWEJ

Streszczenie: Ciągły wzrost zapotrzebowania na elementy wykonane za pomocą metalurgii proszków związany jest ze zmianami gospodarczymi, które spowodowały, że jakość produktów stała się zasadniczym kryterium wpływającym na zainteresowanie i jednocześnie sukces danego komponentu. Poprawa jakości w dużej mierze powinna być modyfikowana już na samym początku planowania procesu technologicznego i doboru odpowiednich surowców, a także wymaga znajomości zapotrzebowania klientów. Wysokie wymagania pod względem zarządzania jakością wyrobu, jego produkcją, konkurencją i nieustannym udoskonalaniem gotowego produktu dyktuje obecnie przemysł samochodowy, gdzie stalowe części spiekane stanowią największy odsetek wyrobów. Głównym założeniem przedstawionych badań jest analiza mikrostruktury oraz własności wytrzymałościowych stali spiekanych wykorzystywanych do produkcji różnych części samochodowych.

Słowa kluczowe: jakość stali spiekanych, metalurgia proszków, ISO/TS 16949, przemysł samochodowy

1. Metalurgia proszków

Metalurgia proszków (z *ang.* powder metallurgy – PM) jest technologią wytwarzania materiałów konstrukcyjnych z proszków metalicznych z dodatkiem lub bez dodatku proszków niemetalicznych w wyniku procesów formowania i spiekania. Ciekawym aspektem PM jest wykonywanie niewielu czynności procesowych przy niewielkim zużyciu energii dzięki czemu istnieje możliwość wielkoseryjnego wytwarzania produktów o skomplikowanych kształtach, zachowując jednocześnie precyzję wymiarów i jakość powierzchni nawet w przypadku małych elementów. Dodatkowo istotnym czynnikiem

¹ mgr., Politechnika Częstochowska, Wydział Inżynierii Produkcji i Technologii Materiałów, Instytut Inżynierii Materiałowej, e-mail: lisiecka@wip.pcz.pl

określającym PM metodą bezkonkurencyjną jest stopień wykorzystania surowców wynoszący ok. 97% – mówi się wówczas o bezubytkowym wytwarzaniu spieków. Stale spiekane wytwarzane za pomocą PM stanowią doskonałą alternatywę dla stali otrzymywanych standardowymi metodami dzięki czemu budzą duże zainteresowanie, szczególnie w krajach wysoko uprzemysłowionych. Konsekwencją tego zainteresowania jest ciągły wzrost wymagań stawianych materiałom proszkowym wynikającym ze stałego dążenia do podwyższania właściwości mechanicznych, wytrzymałościowych czy odporności na korozję (SHEPPARD L. 2007, CIAŚ A., FRYDRYCH H., PIECZONKA T. 1992, WRÓŃSKA A., DUDEK A. 2014).

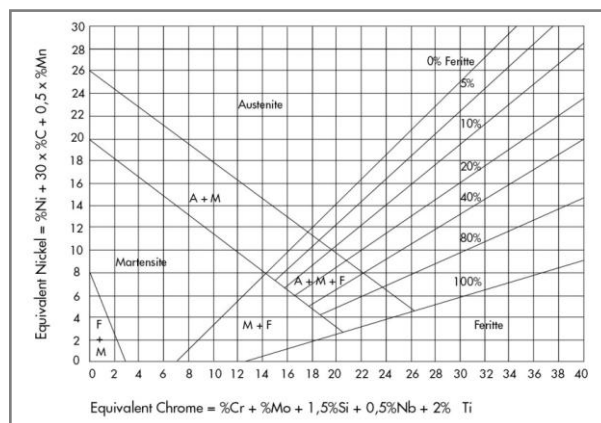
Jakość oraz własności wyrobów spiekanych są determinowane przez następujące parametry:

- własności i strukturę proszków,
- warunki prasowania,
- własności fizyczne,
- warunki spiekania,
- własności chemiczne.

Cały proces technologiczny polega na otrzymywaniu proszku metalu lub stopu, poddawaniu go procesowi prasowania i spiekania, oraz końcowej obróbce wykańczającej. Warto zauważyć, że przemysł dąży do wytwarzania wyrobów spiekanych za pomocą najprostszych technologii przy jednoczesnym ograniczeniu korzystania z zabiegów wykańczających, które skutkują wyższą ceną gotowego materiału. Taki schemat jest możliwy dzięki wykorzystaniu proszków o odpowiedniej jakości (RAMAKRISHNAN P. 2013, CAPUS J. 2011).

Uzyskanie struktury spieku o różnych udziałach dwóch podstawowych składników jest możliwe dla spiekanych stali wielofazowych. Aby określić mikrostrukturę na podstawie składu chemicznego wykorzystuje się diagram Schaeffler'a (rys. 1). Skład chemiczny bardzo często różni się od literaturowych składów stali, ponieważ metalurgia proszków stwarza możliwość modyfikacji składu w bardzo szerokim zakresie, np. przez dodawanie proszków czystych

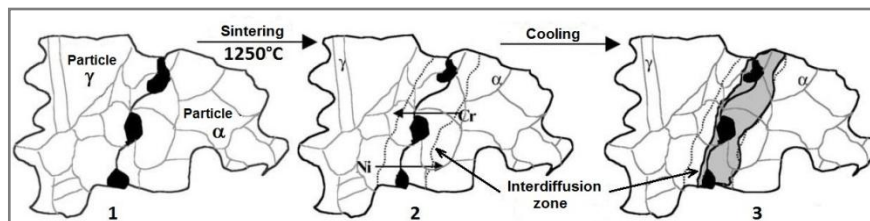
pierwiastków do podstawowej mieszanki (WŁODARCZYK R., DUDEK A., NITKIEWICZ Z. 2010, TAŃSKI T., BRYTAN Z., LABISZ K. 2014).



Rys. 1. Diagram Schaffler'a

Źródło: opracowanie na podstawie (<http://www.dacapo.com/en-UK>)

Zasadniczy wpływ na gęstość oraz mikrostrukturę spiekanych stali austenityczno–ferrytycznych ma czas spiekania. Głównymi czynnikami wpływającymi na przemiany zachodzące w tym procesie są skład chemiczny, udział poszczególnych proszków oraz warunki spiekania, które odgrywają bardzo ważną rolę w procesie kształtowania końcowej mikrostruktury spieków, ich właściwości mechanicznych i użytkowych. Rysunek 2 przedstawia dyfuzję pierwiastków stopowych powstającą w trakcie spiekania stali austenityczno–ferrytycznej, której efektem jest utworzenie tzw. obszarów dyfuzji wzajemnej między fazą austenityczną i ferrytyczną (CAMPOS M., BAUTISTA A., CACERES D., ABENOJAR J., TORRALBA J. 2003, BRYTAN Z., DOBRZAŃSKI L.A., ACTIS GRANDE M., ROSSO M. 2009).

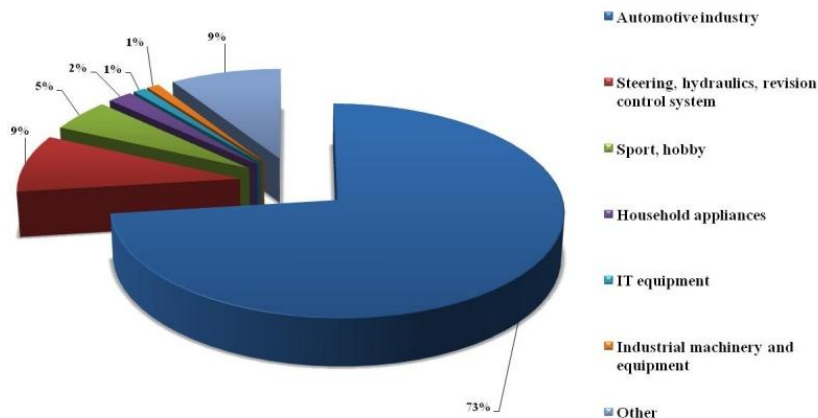


Rys. 2. Kształtowanie mikrostruktury stali spiekanych

Źródło: opracowanie na podstawie (CAMPOS M., BAUTISTA A., CACERES D., ABENOJAR J., TORRALBA J. 2009)

2. Stalowe części spiekane w przemyśle samochodowym

Obecnie największym konsumentem wyrobów spiekanych jest przemysł motoryzacyjny (ok. 73% wszystkich spieków). Wyroby te w głównej mierze zastępują elementy otrzymywane standardowymi metodami odlewania lub kucia. Szacuje się, że na jeden samochód produkowany w USA przypada średnio 19 kg wyrobów spiekanych, w Europie 9 kg, a w Japonii 8 kg. Ponadto, ważnymi odbiorcami części spiekanych są przemysł maszynowy, energetyczny, elektroniczny oraz inne gałęzie przemysłowe (rys. 3) (CIAŚ A., FRYDRYCH H., PIECZONKA T. 1992).



Rys. 3. Główni odbiorcy materiałów spiekanych

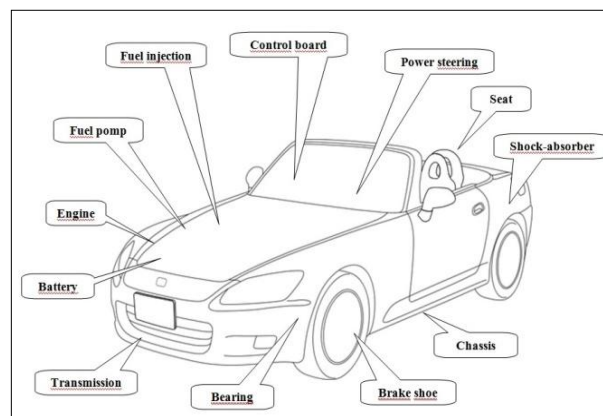
Źródło: Opracowanie własne na podstawie (CIAŚ A., FRYDRYCH H., PIECZONKA T., 1992)

Pojęcie jakości ma swoją bardzo długą historię i wiele definicji, jak chociażby W.E. Deming'a określająca jakość jako *przewidywany stopień jednorodności i niezawodności wyrobu przy możliwie niskich kosztach i dopasowaniu do wymagań rynku* (PUENTE J., PINO R., PRIORE P., FUENTE D. 2002).

Jakość gotowego materiału określa się jako stopień spełnienia wymagań klienta. Aby określić standard produktu należy dokonać jego oceny na wszystkich płaszczyznach uwzględniając parametry techniczne, ekonomiczne i konsumpcyjne. Przemysł motoryzacyjny wymaga produktów o najwyższej jakości, co przekłada się na konieczność certyfikacji do normy zarządzania jakością (ISO/TS 16949) przez dostawców wszystkich komponentów. Międzynarodowy Zespół Operacyjny Przemysłu Motoryzacyjnego (IATF), który składa się z dziewięciu największych międzynarodowych producentów samochodów (BMW, Chrysler, Fiat, Ford Motor, General Motors, Daimler, PSA Peugeot Citroen, Renault i Volkswagen) razem

z Międzynarodową Organizacją Normalizacji (ISO) opracował powyższą specyfikację, która łączy wymagania amerykańskich, niemieckich, francuskich i włoskich norm systemów zarządzania w obrębie światowego przemysłu samochodowego. ISO/TS 16949 określa główne wymagania dotyczące jakości już na samym początku projektowania i rozwoju, produkcji materiałów oraz instalowania i ich serwisu w motoryzacji. Ponadto, korzystanie z tej specyfikacji zapewnia producentom zmniejszenie audytów certyfikacyjnych. Certyfikacja ISO/TS 16969 jest wymagana w całym łańcuchu dostaw, od producenta surowców (stal, farby, polimery, kompozyty) aż do firm zajmujących się montowaniem większych wyrobów (kokpit, skrzynia biegów) (TORUŃSKI J. 2012, SPECYFIKACJA TECHNICZNA ISO/TS 16969:2002).

Najbardziej charakterystycznymi produktami metalurgii proszków dla branży motoryzacyjnej są np. części silników, łożyska, przekładnie, filtry, pompy, pierścienie w układach przeciwblokujących ABS czy flansze do układów wydechowych. Przykładowe zastosowania materiałów spiekanych w samochodzie przedstawiono na rysunku 4. (RAMAKRISHNAN P. 2013, KLAR E., SAMAL P.K. 2007, FUJIKI A. 2001).



Rys. 4. Przykłady zastosowań materiałów spiekanych

Źródło: opracowanie własne na podstawie (CIAŚ A., FRYDRYCH H., PIECZONKA T., 1992)

Niektóre elementy (np. łożysko, koła zębate) są wspólne dla wszystkich pojazdów, aczkolwiek różnią się rozmiarem, wytrzymałością czy geometrią w zależności od końcowego zastosowania.

3. Materiały i metodyka badań

Stale spiekane zostały wykonane z rozpylanych wodą komercyjnych proszków 316L i 409L szwedzkiej firmy Höganäs. W tabeli 1. przedstawiono składy chemiczne proszków. Proszki były mieszane w różnych proporcjach proszków stali ferrytycznej i austenitycznej (80%316L+20%409L, 50%316L+50%409L, 20%316L+80%409L). Zastosowano prasowanie dwustronne z dodatkiem środka poślizgowego (Acrawax C) pod ciśnieniem 720 MPa. Wypraski nagrzewano w temperaturze 1250°C przez 30 minut, a następnie chłodzono z szybkością 0,5°C/s. Cały proces przeprowadzono w atmosferze redukującej wykorzystując wodór, który pozwala istotnie ograniczyć utlenianie wsadu oraz zabezpiecza przed zubożeniem w chrom.

Tabela 1. Skład chemiczny proszków stalowych (% mas.)

Powder grade	Cr	Ni	Mo	Si	Mn	C	S	Fe
316L	16.8	12.0	2.0	0.9	0.1	0.022	0.005	Balance
409L	11.86	0.14	0.02	0.82	0.14	0.02	0.01	Balance

Źródło: Opracowanie własne

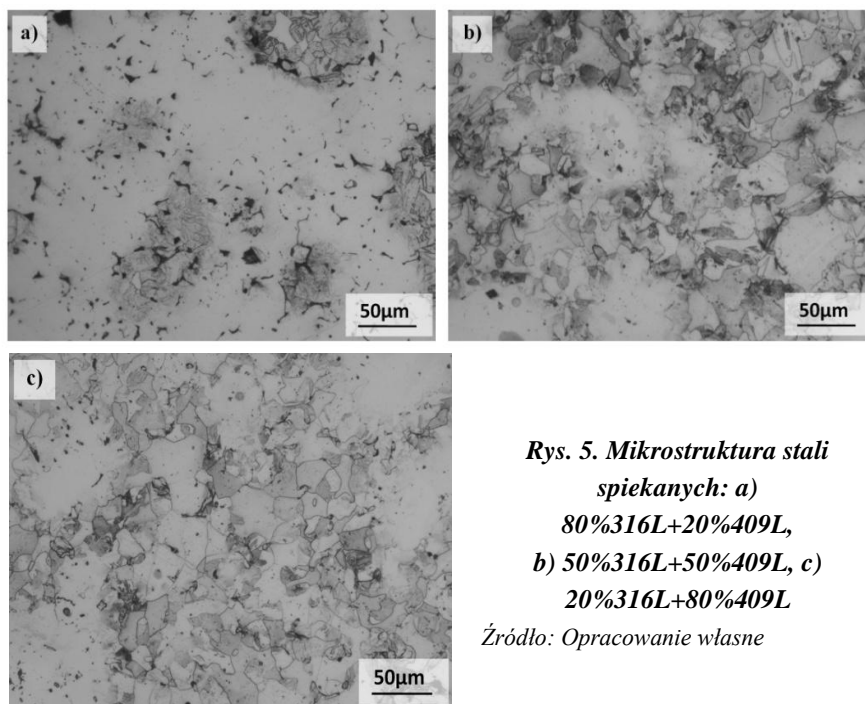
W ramach badań wykonano analizę mikrostruktury za pomocą mikroskopu optycznego Axiovert 25. Metodę Vickersa (przy obciążeniu 980.7 mN) zastosowano do pomiaru mikrotwardości spiekanej stali nierdzewnej.

Identyfikację składu fazowego przeprowadzono za pomocą dyfraktometru rentgenowskiego Seifert 3003 T-T, przy użyciu lampy kobaltowej o długości fali promieniowania charakterystycznego

$\lambda_{\text{coka}} = 0.17902$ nm. Pozostałe parametry: napięcie zasilające $U_r=30\div 40$ kV, natężenie prądu $I_r=30\div 40$ mA, zakres kątów: $2\theta = 10\div 120^\circ$, krok pomiarowy: $0,1^\circ$, czas zliczania impulsów $t_r=10$ s.

4. Wyniki

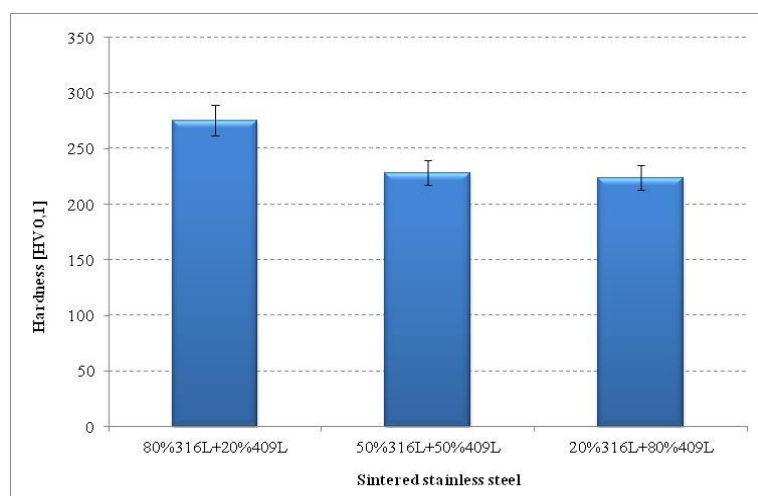
Obserwację mikrostruktur zrealizowano na zglądach metalograficznych trawionych Nitałem. Otrzymane mikrostruktury dla spieków o różnym udziale procentowym poszczególnych proszków przedstawiono na rysunku 5. Na zglądach ujawniono jasne, niewytrawione obszary fazy austenicznej oraz wytrawione ziarna fazy ferrytyczno–martenzytycznej.



**Rys. 5. Mikrostruktura stali
spiekanych: a)
80%316L+20%409L,
b) 50%316L+50%409L, c)
20%316L+80%409L**

Źródło: Opracowanie własne

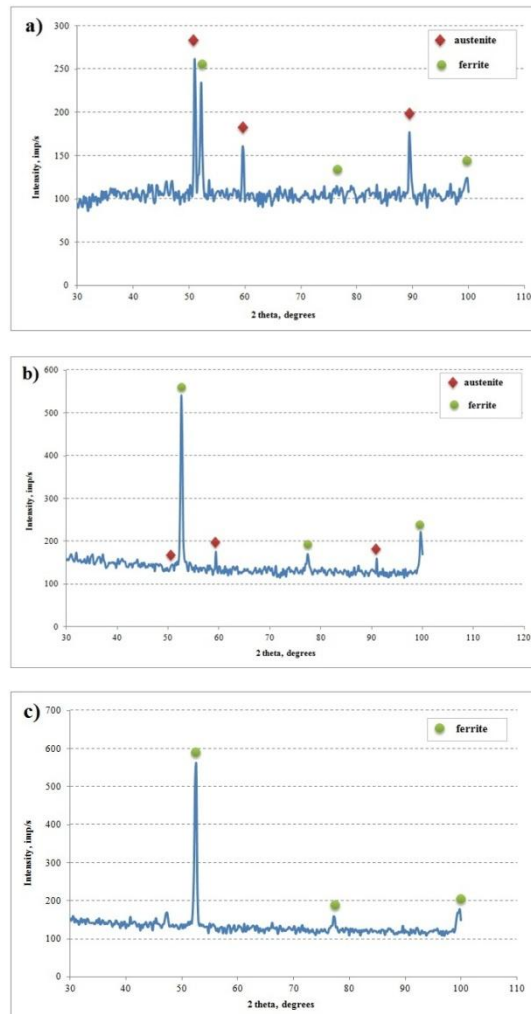
W celu określenia właściwości wytrzymałościowych przeprowadzono pomiar twardości. Wyniki stanowią średnią z czterech pomiarów (rys. 86). Udział poszczególnych faz wpływa bezpośrednio na własności wytrzymałościowe całego spieku.



Rys. 6. Mikrotwardość stali spiekanych

Źródło: Opracowanie własne

Celem identyfikacji składu fazowego warstw wierzchnich stali spiekanych przeprowadzono badania rentgenowskiej analizy fazowej. Wyniki przedstawiono na rysunku 7. Analiza fazowa w poszczególnych próbkach ujawniła obecność fazy austenicznej i ferrytycznej w ilości proporcjonalnej do użytych proszków, co potwierdzają obserwacje mikroskopowe.



**Rys. 7. Dyfraktogramy spieków: a) 80%316L+20%409L,
b) 50%316L+50%409L, c) 20%316L+80%409L**

Źródło: Opracowanie własne

5. Podsumowanie

W dzisiejszych czasach gwarancja jakości jest wymagana we wszystkich rodzajach usług i handlu. Wywiera ona szeroki wpływ na producentów, dla których jakość powinna być priorytetem, oraz na konsumentów, którzy mają możliwość poszukiwania cenionych źródeł zaopatrzenia. Bardzo ważnym zagadnieniem jest prawidłowy dobór materiału na element pracujący stosowany w przemyśle samochodowym ponieważ ma to bezpośrednie przełożenie na jakość końcowego produktu. Właściwości wytrzymałościowe gotowego elementu zależą bezpośrednio m.in. od struktury, składu chemicznego i składu fazowego materiału. Odpowiednie spieki dobiera się w zależności od planowanego zastosowania w elementach konstrukcyjnych części samochodowych.

LITERATURA

1. CIAŚ A., FRYDRYCH H., PIECZONKA T. 1992. *Zarys metalurgii proszków*. Wydawnictwo Szkolne i Pedagogiczne WSiP. Warszawa.
2. KLAR E., SAMAL P.K. 2007. *Powder Metallurgy Stainless steels: Processing, Microstructures and Properties*. ASM International, Materials Park, Ohio, USA.
3. SHEPPARD L. 2007. *The Powder Metallurgy Industry Worldwide 2007–2012*. Materials technology Publications. UK.
4. RAMAKRISHNAN P. 2013. *Automotive applications of powder metallurgy*. Chapter 17. W/In: *Advances in powder metallurgy*. Chang I, Zhao Y. (red.) Woodhead Publishing Limited UK.
5. BRYTAN Z., DOBRZAŃSKI L.A., ACTIS GRANDE M., ROSSO M. 2009. *The influence of sintering time on the properties of PM duplex stainless steel*. "Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering" vol. 37, 2, pp. 387–392.
6. CAMPOS M., BAUTISTA A., CACERES D., ABENOJAR J., TORRALBA J.M. 2003. *Study of the interfaces between austenite and ferrite grains in P/M duplex stainless steels*. "Journal of the European Ceramic Society" vol. 23, 15, pp. 2813–2819.
7. CAPUS J. 2011. *Powder metallurgy, progress and the eco friendly car*. "Metal Powder Report" vol. 66, 3, pp. 16–18.

8. FUJIKI A. 2001. *Present state and future prospects of powder metallurgy parts for automotive applications*. "Materials Chemistry and Physics" vol. 67, pp. 298–306.
9. Puente J., Pino R., Priore P., Fuente D. 2002. *A decision support system for applying failure mode and effects analysis*. "The International Journal of Quality & Reliability Management" vol. 19, 1, pp. 137–150.
10. TAŃSKI T., BRYTAN Z., LABISZ K. 2014. *Fatigue behaviour of sintered duplex stainless steel*. "Procedia Engineering" vol. 74, 12, pp. 421–428.
11. TORUŃSKI J. 2012. *Zarządzanie jakością w przemyśle motoryzacyjnym*. „Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczo–Humanistycznego w Siedlcach Seria: Administracja i Zarządzanie” Issue: 92, pp. 23–32.
12. WŁODARCZYK R., DUDEK A., NITKIEWICZ Z. 2010. *Analysis of sintered materials for bipolar plates in fuel cell*. "Inżynieria Materiałowa Materials Engineering" vol. 31, 2, pp. 115–118.
13. WROŃSKA A., DUDEK A. 2014. *Characteristics of surface layer of sintered stainless steels after remelting using GTAW method*. "Archives of Civil and Mechanical Engineering" vol. 14, pp. 425–432.
14. Technical Specification ISTO/TS 16969, Second edition 2002.
15. Application of the Schaeffler diagram, <http://dacapo.com/uploads/documents/40-document.pdf>, dane z dnia 18.04.2016