



KRZEPNIĘCIE I KRYSTALIZACJA METALI

**64. Międzynarodowa
Konferencja Naukowa
18-20.09.2024**



**Książka abstraktów
Book of abstracts**

List of abstracts

Yevhenii Aftandiliants, Svyatoslav Gnyloskurenko, Helena Meniailo, Valerii Khrychikov Influence of chemical composition on concentration supercooling of structural steels	14
Joanna Augustyn-Nadzieja Effect of heat treatment on microstructural, strength and corrosion properties of prosthetic CrCrW alloy for dental prosthetics application	15
Urs Brandenberger, Ralf Gerke-Cantow Status quo in casting process planning	16
Marcin Brzeziński, Jakub Wiśniowski Analysis of the impact of selected control charts on the reliability of information about the stability of high-volume production	17
John Campbell A Future for Cast Metals	19
Chao Zhou, Ziqi Zhang, Zongpeng Zhang, QI Zeng, Rong Li Study on the modification properties of Er to cast aluminum-copper alloy (ZL203)	20
Konrad Chrzan, Małgorzata Grudzień-Rakoczy, Krzysztof Jaśkowiec, Waclaw Oleksy, Robert Żuczek, Łukasz Rakoczy, Rafał Cygan Effect of preheating on the microstructure of high gamma prime Ni-based superalloy manufactured by investment casting	21
Bogdan Cygan, L. Michels, Jan Jezierski, Mirosława Pawlyta Graphite - the key to success in ductile iron	22
Anna Dmitruk, Krzysztof Naplocha, Natalia Łobacz-Raźny Evaluation of the accuracy of Mg alloy castings manufactured by investment casting using printed models	23
Agnieszka Dulcka, Natalia Przyszlak, Jan Szajnar Computer modeling of layered castings solidification: analysis and optimization	24
Edward Feliks, Tomasz Wróbel, Dariusz Bartocha, Jan Jezierski, Krzysztof Kostrzewa The pilot technological line dedicated to monoblock crossings of manganese cast steel at Huta Małapanew Ltd.	25
Aldona Garbacz-Klempka, Leszek Żygadło Marta Wardas Lasoń, Mirosław Masojć Andrzej Fijolek, Lidia Kamyszek, Tomasz Wiktor, Jerzy Piekalski A foundry workshop from Kraków-Zesławice from the Bronze and Iron Ages. An interdisciplinary approach	27
Małgorzata Grudzień-Rakoczy, Konrad Chrzan, Łukasz Rakoczy, Waclaw Oleksy, Robert Żuczek, Rafał Cygan: Analysis of the microstructure changes of the Ni-based superalloy after gas tungsten arc welding	28

Adam Gryc, M. Kempny, Z. Kania-Pifczyk, M. Sozańska	
Influence of chemical composition and cooling rate on phase composition and microstructure of selected Mg-Zn-Ca alloys	29
Aneta Jakubus	
Preliminary assessment of the possibility of operating ADI and AGI cast iron in variable temperature conditions	30
Lukasz Jamrozowicz	
The role of mould surface shape in the migration of moisture from the protective coating into the sand mould surface layer	32
Krzysztof Janerka, Mateusz Wojciechowski, Jan Jezierski, Kacper Rosanowski	
Comparison of Methods for Evaluating the Quality of Carburizing Materials Used in the Cast Iron Melting Process	33
Grzegorz Kaczor, Jerzy Trzoska, Jan Jezierski, Piotr Kramarczyk, Rafał Przerwa, Wojciech Polek	
The experience of GZUT Odlewnia Sp. z o.o. in implementing cores produced using 3D printing technology	35
Barbara Kalandyk, Renata Zapala, Justyna Kasińska, Piotr Furmańczyk, K. Piotrowski	
Changing mechanical properties of V modified low-carbon cast steel depending on wall thickness	36
Jadwiga Kamińska, Krzysztof Sanocki, Michał Angrecki: The implementation of in-mold spheroidization technology in the "KAW-MET" Foundry	37
Anna Kiljan, Julia Popis, Katarzyna Młynarek-Żak, Rafał Babilas, Ryszard Nowosielski	
The influence of the crystallization process of the Mg66Zn30Ca4 alloy on the structure and selected properties	39
Sylwia Kobylecka, Andrzej Zyska	
Quality control of cast iron by the Itaca thermal analysis system	40
Joanna Kolczyk-Tylka	
Development of innovative ceramic mold manufacturing technology for increasing the driftability of “difficult” castings	41
Marcin Kondracki: Studies of Corrosion Susceptibility for Multicomponent Cast Brasses in Various Conditions	42
Krzysztof Konopka	
Prototype induction hardening furnace with a wide frequency range generator	43
Joanna Kostrzewa	
The effect of the ageing process of high-carbon steel on its structural and mechanical properties	xx
Janusz Kozana, Aldona Garbacz-Klempka, Marcin Piękoś	
Tin substitution in tin bronzes	44

Maria Maj, W. Stachurski Application of elasto-optical methods in research on casting structures	45
Natalia Matonis, Jerzy Zych Physical methods of accelerating the binding of moulding sands with chemical binders - ultrasonic control of the kinetics of the hardening processes	46
Daniel Medyński The effect of ceramic particles on selected mechanical properties of the GX120Mn13 + Al ₂ O ₃ composite	47
Piotr Mikołajczak Microstructure modification under stirring in slowly solidified hypoeutectic Al-Si-Mn alloys	48
Jan Mocek, Jerzy Stanisław Zych The problem of tightness of foundry alloys and castings made from them – new research method	49
Marek Mróz, Sylwia Olszewska Scratch test of the connection of the Al ₂ O ₃ +40%TiO ₂ coating with the AZ91 alloy casting	50
Marcin Piękoś, Zdzisław Smorawiński Selected aspects process of improvements of the aluminium in a complex barbotage refining system	52
Bogusław Pisarek, Tomasz Szymczak, Bartłomiej Januszewicz, Marta Różycka Analysis of the Applicability of Heat Treatment of Castings of EN AC-46000 Alloy Made in Vacuum-Assisted HPDC Technology	54
Natalia Przyszlak, Tomasz Wróbel Application of SiC based moulding sand in technology of layered castings	55
Magdalena Radoń, Bogdan Kupiec Cavitation resistance of WCCoCr and CrCNi coatings sprayed by the APS method	56
Grzegorz Radzioch, Dariusz Bartocha, Marcin Kondracki The Impact of Alloying Additives on the Shrinkage Processes and Corrosion Resistance of Lead-Free Casting Brasses	57
Patryk Rąb, Marek Mróz Evaluation of the quality of the connection between the ZrO ₂ -Y ₂ O ₃ coating with a NiAl interlayer and the AlSi7Mg alloy casting using the scratch test method	58
Sebastian Sobula, Tomasz Wiktor Microstructure of aluminium-TiC composite manufactured by centrifugal casting	60
Grzegorz Tęcza, Aldona Garbacz-Klempka Characteristics of retained austenite in GX70CrMnSiNiMo2 alloy tool steel	61

Bartosz Tokarski, Jan Jeziński, Marcin Janczak

The Impact of Alloying Additions on the Eutectic Transformation of High-Chromium Cast Iron 62

Jakub Wiśniowski, Marcin Brzeziński

Analysis of the air occlusion phenomenon in the runner system for the selected HPDC process 63

Dawid Witasiak, Aldona Garbacz-Klempka, Janusz Kozana, Marcin Piękoś, Marcin Papaj, Piotr Papaj

Leak test of castings using the pressure change method. Effect of alloying additives and tin content on the tightness of CuSn10 bronze castings 65

Jerzy S. Zych, Krzysztof Piotrowski, Tomasz Snopkiewicz, Marcin Myszka

Controlling the process of filling cavities in large-sized sand molds poured with iron alloys 67

Вплив хімічного складу на концентраційне переохолодження конструкційних сталей

Influence of chemical composition on concentration supercooling of structural steels

У статті досліджено переохолодження сталевого розплаву навколо твердих частинок, яке є одним із основних факторів, що визначають швидкість зародження та зростання центрів кристалізації. Зокрема, в центрі уваги був вплив хімічного складу на цей фактор для двох марок конструкційних литих сталей, що містять переважно Cr, Mn, Si. Встановлена аналітична залежність дозволила визначити розвиток максимального концентраційного переохолодження на рухомому фронті кристалізації в залежності від температури ліквідусу, вмісту елементів у розплаві, їх розподілу та коефіцієнтів дифузії, швидкості кристалізації та градієнта температури в розплаві перед фронтом кристалізації. Визначено зв'язок максимального концентраційного переохолодження та ширини стовпчастої дендритної зони кристалів. Встановлено вплив хімічного складу на процес переохолодження та кристалізації сталей, а також вклад елементів C, Si, Mn, Cr, N, S та P, що дає розуміння процесу отримання високоякісних сталей.

The article studies the supercooling of steel melt around the solid particles, which is one of the main factors determining the rates of nucleation and growth of crystallization centers. Particularly, the effect of chemical composition on this factor for two grades structural cast steels mainly containing Cr, Mn, Si was in the focus. The established analytical dependence allowed to determine the development of maximum concentration supercooling over the moving crystallization front depending on the liquidus temperature, the content of elements in the melt, their distribution and diffusion coefficients, the crystallization rate and the temperature gradient in the melt ahead the crystallization front. The correlation of maximum concentration supercooling and width of the columnar dendrite zone was obtained. The effect of chemical composition on steels supercooling and crystallization process and contribution of C, Si, Mn, Cr, N, S, and P elements was revealed and give deep insight in obtaining high quality steels.

Wpływ obróbki cieplnej na mikrostrukturę, wytrzymałość i właściwości korozyjne protetycznego stopu CrCrW do zastosowań w protetyce dentystycznej

Effect of heat treatment on microstructural, strength and corrosion properties of prosthetic CrCrW alloy for dental prosthetics application

W sektorze protetyki dentystycznej stosuje się materiały metaliczne z grupy CoCr. Materiały te muszą cechować się wysoką biokompatybilnością i odpowiednimi właściwościami mechanicznymi. W ramach badań własnych badaniu poddano aplikacyjny stop odlewniczy CoCrW Rermanium GM 280, materiał poddano obróbce cieplnej tj. przesycaaniu i starzeniu, z zastosowaniem zmiennej temperatury wyżarzania. Analizie poddano mikrostrukturę stopu oraz jego odporność korozyjną w roztworze sztucznej śliny. Badania własne ujawniły zmienny rozkład i skład wydzielen jakieg powstały w stopie, wskazując na potencjalne węgliki i fazy międzymetaliczne. Próbkę poddane obróbce w temperaturze 1250°C wykazały jednorodną mikrostrukturę z bliźniakami wyżarzania. Testy elektrochemiczne wykazały utworzenie stabilnej warstwy pasywnej na badanym stopie, składającej się z CoO₂, CoO₃ i wodorotlenków kobaltu (Co(OH)₂), podczas gdy testy mechaniczne wykazały różną twardość, z wyjątkiem próbki poddanej obróbce w 1250° C, prawdopodobnie z powodu rozpuszczenia się faz węglkowych w osnowie stopu. Dodatkowo uzyskane wyniki zostały potwierdzone modelowaniem trajektorii elektronów w ciałach stałych za pomocą symulacji Monte Carlo. Dodatkowo, analizy termodynamiczne zostały zweryfikowane przez Thermo-Calc 2020a z bazą danych TC-SSOL5. Wyraźnie widać, że dodatkowa obróbka cieplna stopów CoCrW zwiększa ich przydatność w praktyce stomatologicznej.

Dental prosthetics require CoCrW metallic materials with high biocompatibility and suitable mechanical properties. In this study, different heat treatment parameters, particularly temperature, were investigated for CoCrW alloy Rermanium GM 280. Microstructural analysis revealed varying precipitate distribution and composition, indicating potential carbides and intermetallic phases. Samples treated at 1250°C showed a homogeneous microstructure with annealing twins. Electrochemical tests demonstrated the formation of a stable passive layer on the tested alloy, consisting of CoO₂, CoO₃ and cobalt hydroxides (Co(OH)₂), while mechanical testing indicated varying hardness, except for the sample treated at 1250°C, possibly due to secondary hard phase separations. Additionally, the obtained results were confirmed with the modeling of electron trajectory in solids via Monte Carlo Simulation. Additionally, the thermodynamic analyses were verified by Thermo-Calc 2020a with the TC-SSOL5 database. Clearly, the supplementary treatment of CoCrW alloys enhances their usability in dental practice applications.

Planung im Wandel der Zeit

Status quo in casting process planning

Die Visiometra GmbH bietet ein innovatives und bisher einzigartiges Softwareprodukt an, mit dem die Detailplanung von Gießprozessen zeitsparend und präzise durchgeführt werden kann. Dabei ist für die fachgerechte Benutzung keinerlei Vorerfahrung mit CAD-Software, Simulationstechnik oder anderen Werkzeugen erforderlich. Ein qualifiziertes Lieferangebot und die damit verbundene Detailplanung gemeinsam mit dem Kunden ist mit Visiometra schnell und daher zeitnah möglich. Damit entsteht für den Anwender ein entscheidender Wettbewerbsvorteil. Der smarte Ansatz von Visiometra erlaubt die zielsichere Gestaltung des Gussteils und der mit ihm verknüpften Gießtechnik im Hinblick auf die sichere Formfüllung und Erstarrungslenkung. Damit verbunden ist auch ein reduzierter Simulationsaufwand durch die Vermeidung von -Trial- und Error-Schleifen.

Gewinnen Sie ein eigenes Bild der Fähigkeit von Visiometra, indem Sie uns an unserem Stand oder auf www.visiometra.com besuchen.

Visiometra GmbH offers an innovative and so far, unique software product with which the detailed planning of casting processes can be carried out in a time-saving and precise manner. No previous experience with CAD software, simulation technology or other tools is required for professional use. With Visiometra, a qualified quotation and the associated detailed planning is possible quickly and therefore concurrent engineering is possible with the customer. This gives the user a decisive competitive advantage.

The smart approach of Visiometra allows the precise design of the casting and the associated casting technology with regard to reliable mold filling and solidification control. This is also associated with a reduced simulation effort due to the avoidance of trial and error loops.

Gain your own impression of Visiometra's capabilities by visiting us at our stand or at www.visiometra.com.

Analiza wpływu wybranych kart kontrolnych na wiarygodność informacji o stabilności produkcji wielkoseryjnej

Analysis of the impact of selected control charts on the reliability of information about the stability of high-volume production

Aktualnie produkcja przemysłowa w ogromnej większości jest produkcją wielkoseryjną. Nie inaczej jest z odlewniami a w szczególności z zakładami produkującymi odlewy ze stopów aluminium metodą HPDC. Aby zakład miał silną pozycję na wysoce konkurencyjnym rynku europejskim musi zaimplementować szereg rozwiązań, które tą pozycję będą gwarantować i jednocześnie będą wspomagać optymalizację produkcji. Są to między innymi inwestycje w najnowszy parka maszynowy, technologię, innowacyjne stopy czy też metody zarządzania produkcją. Jednym z nieodłącznych elementów zarządzania produkcją jest kontrola jakości jako podstawowy czynnik gwarantujący zaspokajanie potrzeb klienta przy jednoczesnym zapewnieniu stabilności produkcji w zakładzie przemysłowym. Istnieje szereg rozwiązań, głównie opartych na narzędziach statystycznych, które umożliwiają nie tylko generowanie informacji o przekroczeniu założeń dotyczących np. tolerancji wymiarowej ale również umożliwiają one wcześniejsze ostrzeżenie operatora o możliwym przekroczeniu i błędach w produkcji. Najczęściej spotykanym rozwiązaniem jest Statystyczne Sterowanie Procesami – SPC (Statistical Process Control) czyli powszechnie stosowane Karty Kontrolne. W zależności od założeń wejściowych wyróżniane są różne typy kart kontrolnych. Ich prowadzenie, w zależności od typu, jest mniej lub bardziej czasochłonne i skomplikowane. W przemyśle dość często dąży się do optymalizacji pewnych aspektów i uproszczenia procedur kontrolnych. Niesie to ze sobą pewne konsekwencje oraz wymagania w stosunku do omawianego narzędzia. W artykule poruszony jest temat wyboru karty kontrolnej i jego wpływu na wiarygodność uzyskiwanej informacji o rozregulowaniach. Zaproponowano pewne rozwiązania zmniejszające ryzyko pojawienia się błędnych informacji.

Today, industrial production is overwhelmingly a high-volume production. The situation is no different for foundries and in particular for foundries with HPDC aluminium alloy casting plants. In order to maintain a strong position in the highly competitive European market, the plant must implement a number of solutions that will guarantee this position and at the same time support production optimisation. These include investments in state-of-the-art machinery, technology, innovative alloys or production management methods. One of the essential elements of production management is quality control, which is a fundamental factor in ensuring that customer requirements are met, while at the same time guaranteeing the stability of production in an industrial plant. There are a number of solutions, mainly based on statistical tools, which not only allow the generation of information on the violation of assumptions, such as dimensional tolerances, but also allow the operator to be warned in advance of possible overruns and errors in production. The most common solution is Statistical Process Control (SPC), i.e. the commonly used Control Charts. Depending on the input assumptions, there are different types of control

charts. Depending on the type, these are more or less time-consuming and complex to conduct. In industry, it is quite common to seek to optimise certain aspects and simplify control procedures. This brings with it certain consequences and requirements for the tool in question. The article addresses the topic of control card selection and its impact on the reliability of the obtained upset information. Some solutions are proposed to reduce the risk of erroneous information.

John Campbell
University of Birmingham

A Future for Cast Metals

The new approach to metallurgy, in which bifilm defects control properties and cause failures, has revolutionised casting technology. The conventional failure modes of metals can now be understood and eliminated for the first time in history. Fatigue is demonstrated to be eliminated. Creep, stress corrosion cracking and hydrogen embrittlement are predicted to follow soon. Our revolution in casting will revolutionise metallurgy. It is an exciting future.

稀土铒对铸造铝铜合金（ZL203）改性能研究

Study on the modification properties of Er to cast aluminum-copper alloy (ZL203)

为了提升铝铜合金性能，通过添加Er稀土元素进入铸造铝铜合金（ZL203）体系获得性能改善的稀土改性铸造铝铜合金。通过建立Al₂Cu的原子模型并掺杂Er元素开展计算，从原子层面分析Er在合金系统中的作用机理。计算研究结果表明：Er在Al₂Cu（001）表面发生强吸附，在Cu面的桥位上绝对吸附能最大，使得Er原子与合金体系结合更稳定，能够使得强度硬度得到提升。其中吸附作用后功函数降低，但是电荷转移增大，电子局域化增强，促进形成强共价键Cu-Er，增强合金系统耐腐蚀性。实际材料实验结果证实了上述理论计算，添加稀土Er元素可显著改善材料机械与耐腐蚀性能。

In order to improve the performance of aluminum-copper alloys, rare earth Er was added to cast alloys system to improve the properties cast aluminum-copper alloy (ZL203). By establishing the atomic model of Al₂Cu and doping it with Er, the mechanism was analyzed about alloy system with Er at the atomic level. The results show that the strong adsorption of Er on the surface of Al₂Cu(001) is the largest, and the absolute adsorption energy is the largest at the bridge position of the Cu surface, which makes the combination of Er atom and alloy system more stable. It can improve the strength and hardness. After adsorption, the work function decreases, but the charge transfer increases, and the localization of electrons is enhanced, which promotes the formation of strong covalent bonds Cu-Er and enhances the corrosion resistance of the alloy system. The materials experimental results confirm the theoretical calculations, and the addition of rare earth Er can significantly improve the mechanical and corrosion resistance of materials.

**Konrad Chrzan, Małgorzata Grudzień-Rakoczy, Krzysztof Jaśkowiec, Waław Oleksy,
Robert Żuczek, Łukasz Rakoczy, Rafał Cygan
Sieć Badawcza Łukasiewicz-Krakowski Instytut Technologiczny, Poland**

Wpływ obróbki cieplnej na mikrostrukturę nadstopu na bazie niklu o wysokim współczynniku fazy gammy prim wytwarzanego metodą odlewania precyzyjnego

Effect of preheating on the microstructure of high gamma prime Ni-based superalloy manufactured by investment casting

Podgrzewanie wstępne jest powszechnie zalecane w celu zmniejszenia gradientu temperatury podczas chłodzenia, co poprawia odporność złączy spawanych na pękanie. Temperatura i czas podgrzewania wstępnego, zwłaszcza wpływ krótkotrwałych cykli obróbki cieplnej na mikrostrukturę nadstopów niklu, mają kluczowe znaczenie dla rozwoju nowych technologii. Procesy spawania są często stosowane do naprawy serwisowanych komponentów i naprawy wad odlewniczych.

W niniejszej pracy badaniu poddano odlewniczy nadstop niklu Inconel 713C o wysokim udziale objętościowym (ponad 40%) wydzieleni fazy γ' . Po cyklach podgrzewania wstępnego w zakresie 750-1150°C próbki poddano badaniom za pomocą mikroskopii świetlnej i skaningowej elektronowej, a także przeprowadzono pomiary twardości Vickersa. Wyniki wskazały, że krótkotrwałe podgrzewanie wstępne prowadzi do częściowego rozpuszczenia wydzieleni γ' . Jednak rozpuszczanie nie zachodziło równomiernie we wszystkich wydzieleniach ze względu na różnice w lokalnej stabilności, na które wpływają oddziaływania sprężyste.

Projekt został dofinansowany przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju (Polska) w ramach grantu LIDER 0147/L-13/2022 (Opracowanie technologii regeneracji precyzyjnych odlewów z nadstopów niklu przeznaczonych do eksploatacji w przemyśle lotniczym)

Preheating is commonly recommended to reduce thermal gradients during cooling, improving the material's resistance to hot cracking. The temperature and duration of preheating, especially the effects of short-term heat treatment cycles on the microstructure of superalloys, are crucial in advancing new technologies. Welding processes are frequently used to repair serviced components and correct foundry defects. This study investigated the Inconel 713C alloy—a conventionally cast polycrystalline Ni-based superalloy with a high volume fraction (over 40%) of γ' precipitates. Following preheating cycles (750-1150°C), the samples were examined using light and scanning electron microscopy, and Vickers hardness measurements were conducted. The results indicated that short-term preheating leads to the partial dissolution of γ' precipitates. However, dissolution was not uniform across all precipitates due to variations in local stability, which are influenced by elastic interactions. This work was supported by the National Center for Research and Development (Poland) under grant LIDER 0147/L-13/2022 (Development of a technology for the regeneration of precise castings of nickel superalloys intended for use in the aviation industry)

Bogdan Cygan ^a, L. Michels ^b, Jan Jezierski ^c, Mirosława Pawłyta ^c

^a Teksid Iron Poland, ^b Department of Physics, Norwegian University of Science and Technology, Norway, ^c Silesian University of Technology, Poland

Grafit – klucz do sukcesu w żeliwie sferoidalnym

Graphite - the key to success in ductile iron

Grafit ciągle kryje w sobie wiele tajemnic. Jest jednym z najważniejszych składników żeliwa sferoidalnego. Jego kształt i wielkość mają istotny wpływ na właściwości mechaniczne odlewów (wytrzymałość na rozciąganie, granica plastyczności, wydłużenie czy udarność) zwłaszcza w odniesieniu do odlewów z charakterystykami bezpieczeństwa, tzn. dla odlewów, które mają bezpośredni wpływ na bezpieczeństwo użytkownika pojazdu (odlewy na elementy zawieszenia: zwrotnice, wahacze), dla których wymagania norm klienta w zakresie mikrostruktury i właściwości mechanicznych są odpowiednio wysokie. W pracy poruszono zagadnienia związane z procesem zarodkowania grafitu, gdzie niebagatelne znaczenie mają zarodki (tlenki, siarczki, azotki, węglikoazotki), które to w pewnych warunkach mogą stanowić podkładki do zarodkowania grafitu.

Graphite continues to hold many undiscovered secrets, despite being a critical component of ductile iron. Its morphology - shape and size - plays a pivotal role in determining the mechanical properties of castings, such as tensile strength, yield strength, elongation, and impact resistance. This is particularly crucial for safety-critical castings, such as those used in vehicle suspension systems (e.g., steering knuckles and arms), where strict customer standards demand high levels of both microstructural integrity and mechanical performance. This study delves into the graphite nucleation process, emphasizing the significance of nuclei such as oxides, sulfides, nitrides, and carbonitrides, which under specific conditions, can serve as nucleation sites for graphite formation.

Ocena dokładności wykonania odlewów ze stopu Mg wytwarzanych metodą odlewania precyzyjnego z wykorzystaniem drukowanych modeli

Evaluation of the accuracy of Mg alloy castings manufactured by investment casting using printed models

W referacie omówiona zostanie dokładność wykonania struktur komórkowych na bazie plastra miodu odlewanych ze stopu Mg (AZ91) metodą odlewania precyzyjnego z wykorzystaniem modeli drukowanych w 3D. Do oceny skurczu przetwórczego występującego podczas obu etapów procesu wytwarzania (druk 3D w technologiach FDM (ang. fused deposition modeling) lub DLP (ang. digital light processing) i odlewanie precyzyjne) posłuży technika skanowania 3D. Bioresorbowalne skafoldy ze stopów Mg mogą znaleźć zastosowanie np. w budowie implantów kostnych. Przedstawiona zostanie także metoda kontroli szybkości biodegradacji tych materiałów poprzez nakładanie powłok ochronnych PEO (ang. plasma electrolytic oxidation).

The study will discuss the accuracy of manufacturing honeycomb-based cellular structures cast from Mg alloy (AZ91) by investment casting using 3D printed models. 3D scanning will be used to assess the processing shrinkage occurring during both stages of the manufacturing process (3D printing in FDM (fused deposition modeling) or DLP (digital light processing) technologies and investment casting). Bioresorbable scaffolds made of Mg alloys can be used, for example, in the construction of bone implants. A method of controlling the biodegradation rate of these materials by applying protective PEO (plasma electrolytic oxidation) coatings will also be presented.

Modelowanie komputerowe krzepnięcia odlewów warstwowych: Analiza i optymalizacja

Computer modeling of layered castings solidification: analysis and optimization

Celem artykułu było zapoznanie się z zasadami krzepnięcia warstw powierzchniowych na podstawie symulacji komputerowej. Określono wpływ temperatury zalewania na rozkład temperatury w formie odlewniczej i łącznika zastosowanej wkładki tytanowej oraz na strukturę powstałej powierzchniowej warstwy stopowej na odlewie żeliwnym. Obserwacji procesu dokonano na podstawie komputerowej symulacji w programie MAGMASOFT. Badane zestawy modelowe zostały osobno sparametryzowane w systemie zgodnie z warunkami panującymi podczas procesu odlewania. Zostały zadane warunki brzegowe MES oraz dane technologiczne tj. temperatura zalewania, materiał. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że proces krzepnięcia odlewu warstwowego składający się z części nośnej z żeliwa oraz z części roboczej z czystego tytanu jest najbardziej stabilnym procesem w przypadku zastosowanej wkładki o najcieńszej grubości ścianki łącznika (2,25 mm) ze względu na wyrównanie temperatur, ale nie korzystnie wpłynął na warunki mechaniczne względem np. wkładki o średniej grubości ścianki łącznika (1,5 mm). Grubość ścianki łącznika wpływa na rozkład temperatur na powierzchni wkładki oraz w jej bliskim obszarze usytuowania na granicy połączenia z odlewem.

The aim of the article was to explore the principles of surface layer solidification based on computer simulations. The influence of pouring temperature on the temperature distribution in the casting mold and the connector of the applied titanium insert, as well as the structure of the resulting surface alloy layer on the cast iron casting, was determined. The process was observed through computer simulations using the MAGMASOFT program. The studied model sets were separately parameterized in the system according to the conditions present during the casting process. Boundary conditions for FEM and technological data, such as pouring temperature and material, were defined. Based on the conducted studies, it was found that the solidification process of the layered casting, consisting of a base part made of cast iron and a working part made of pure titanium, is the most stable in the case of using an insert with the thinnest connector wall thickness (2.25 mm) due to temperature equalization. However, this did not favor mechanical conditions compared to, for example, an insert with a medium connector wall thickness (1.5 mm). The thickness of the connector wall influences the temperature distribution on the insert's surface and in its immediate area near the connection with the casting.

Edward Feliks^a, Tomasz Wróbel^b, Dariusz Bartocha^b, Jan Jezierski^b, Krzysztof Kostrzewa^a

^aHuta Małapanew Sp. z o.o., ^bSilesian University of Technology, Poland

Pilotażowa linia technologiczna dedykowana monoblokowym krzyżownicom odlewany z staliwa manganowego w Hucie Małapanew Sp. z o.o.

The pilot technological line dedicated to monoblock crossings of manganese cast steel at Huta Małapanew Sp. z o.o.

W pracy przedstawiono budowę i zasadę działania zautomatyzowanej pilotażowej linii technologicznej dedykowanej monoblokowym krzyżownicom odlewany z staliwa manganowego, które stanowią istotny element modernizowanej w Polsce infrastruktury kolejowej, w szczególności rozjazdów kolejowych. Opisywana linia technologiczna została zaprojektowana i wykonana w ramach realizacji przez Hutę Małapanew Sp. z o.o. projektu B+R nr POIR.01.01.01-00-0060/21 przyznanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach konkursu Szybka Ścieżka i współfinansowanego przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój 2014-2020. Prezentowana linia technologiczna składa się z następujących zintegrowanych ze sobą elementów: zespołu mieszarko-nasypywarki ze zbiornikiem i hermetycznym systemem pneumatycznego transportu i dystrybucji osnowy masy formierskiej ze stacji przygotowania mas formierskich do stanowiska mieszarki, automatycznej obracarki do form, polewaczki do form, stacji podgrzewania form, manipulatora do składania form, płyt podmodelowych, zestawu skrzynek formierskich, przechylnego stanowiska zalewania form i pola odkładczego. Ponadto linia technologiczna wyposażona jest w panel kontrolno-sterujący oraz zaprojektowana i wykonana została w systemie fast loop, w którym system przenośników rolkowych i wózków transferowych o napędzie własnym zapewnia integrację ww. podzespołów. Dodatkowymi elementami linii pilotażowej są stanowiska wyposażone w udarowy młot pneumatyczny do usuwania nadlewów, śrutownicę turbinową do oczyszczania powierzchni odlewów oraz sterowaną numerycznie szlifierkę do usuwania pozostałości po układzie zasilania odlewu. Natomiast odrębnym elementem linii technologicznej jest zautomatyzowane stanowisko do obróbki cieplnej odlewów monoblokowych krzyżownic, które umożliwia przeprowadzenie obligatoryjnego dla staliwa manganowego zabiegu przesyłania w wodzie z temperatury 1050 stopni C.

The paper presents the construction and operating principle of an automated pilot technological line dedicated to monoblock crossings of manganese cast steel, which are an important element of the modernized railway infrastructure in Poland, in particular railway turnouts. The described technological line was designed and manufactured as part of the implementation by Huta Małapanew Sp. z o.o. of the R&D project no. POIR.01.01.01-00-0060/21 awarded by the National Center for Research and Development as part of the Szybka Ścieżka competition and co-financed by the European Union from the European Regional Development Fund under the Smart Growth Operational Program 2014-2020. The presented technological line consists of the following

integrated elements: a mixer-filler unit with a tank and a hermetic system of pneumatic transport and distribution of the molding sand matrix from the molding sand preparation station to the mixer station, an automatic mold turning engine, a mold coater, a mold heating station, a manipulator for assembling molds, pattern plates, a set of molding boxes, a tilting mold pouring station and a put-off field. Moreover, the technological line is equipped with a control panel and was designed and manufactured in the fast loop system, in which a system of roller conveyors and self-propelled transfer carts ensures the integration of the above-mentioned components. Additional elements of the pilot line are stations equipped with a pneumatic impact hammer for removing risers, a turbine shot blaster for cleaning the casting surface and a numerically controlled grinder for removing residues from the gating system. A separate element of the technological line is an automated station for heat treatment of monoblock crossing castings, which enables the hyperquenching in water from a temperature of 1050 C degrees, which is obligatory for the manganese cast steel.

**Aldona Garbacz-Klempka^a, Leszek Żygadlo^b Marta Wardas Lasoń^a, Mirosław Masojć^c
Andrzej Fijolek^a, Lidia Kamyszek^b, Tomasz Wiktor^a, Jerzy Piekalski^c**
^a AGH University of Science and Technology, Poland; ^b Institute of Archaeology and
Ethnology of the Polish Academy of Sciences; ^c University of Wrocław, Poland

Warsztat odlewniczy z Krakowa-Zesławic z epoki brązu i żelaza w ujęciu interdyscyplinarnym

A foundry workshop from Kraków-Zesławice from the Bronze and Iron Ages. An interdisciplinary approach.

Ślady warsztatu odlewniczego z epoki brązu i żelaza odkryto w Krakowie-Zesławicach podczas ratowniczych badań wykopaliskowych. W trakcie badań pozyskano bogaty i zróżnicowany zbiór znalezisk ruchomych, w tym ponad 200 przedmiotów metalowych wykonanych z miedzi i brązu, a także fragmenty ołowiu. Istnienie warsztatu odlewniczego w tym miejscu potwierdzają m.in. gliniane i kamienne formy odlewnicze ze śladami pierwiastków metalicznych. Archeometalurgiczne badania interdyscyplinarne, w szczególności analizy makro- i mikroskopowe z wykorzystaniem mikroskopii świetlnej i mikroskopii cyfrowej, badania składu chemicznego metodą fluorescencji rentgenowskiej (ED-XRF) i składu fazowego metodą dyfrakcji rentgenowskiej (XRD), analizy z wykorzystaniem skaningowej mikroskopii elektronowej z mikroanalizą rentgenowską (SEM-EDS) oraz metody inżynierii odwrotnej i przeprowadzone symulacje zalewania, krzepnięcia i stygnięcia pozwoliły na ocenę poziomu zaawansowania dawnych technologii odlewniczych oraz wirtualną rekonstrukcję procesów technologicznych. Interpretacje archeologiczne, metaloznawcze i surowcowe pozwoliły na analizę zabytków z Krakowa-Zesławic w szerszym kontekście podobnych warsztatów produkcyjnych z epoki.

The rescue excavations at the archaeological site of Kraków-Zesławice near Kraków have yielded a series of metal artefacts that provide evidence of a foundry workshop and can be dated to the Bronze and Iron Ages. More than 200 metal artefacts were recovered, comprising objects made of copper and bronze, in addition to fragments of lead. The supporting evidence for the foundry workshop comprised, inter alia, clay and stone casting moulds that have preserved traces of metallic elements. The archaeological and metallurgical interdisciplinary research, which included macro- and microscopic analyses with the use of light and digital microscopy, chemical composition examinations by X-ray fluorescence (ED-XRF) and phase composition by X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy with X-ray microanalysis (SEM-EDS), as well as reverse engineering methods and the pouring, solidification and cooling simulations, allowed for the assessment of the level of ancient foundry technology and the virtual reconstruction of technological processes. The archaeological, metallurgical and raw material interpretations provided a framework for considering the Kraków-Zesławice finds in the broader context of contemporary foundry workshops in the region.

Małgorzata Grudzień-Rakoczy, Konrad Chrzan, Łukasz Rakoczy, Waclaw Oleksy, Robert Żuczek, Rafał Cygan
Sieć Badawcza Łukasiewicz-Krakowski Instytut Technologiczny, Poland

Analiza zmian mikrostruktury nadstopu niklu po spawaniu metodą GTAW

Analysis of the microstructure changes of the Ni-based superalloy after gas tungsten arc welding

Wysoka wytrzymałość i odporność na utlenianie i korozję na gorąco sprawia, że nadstopy na bazie niklu są jednymi z najważniejszych materiałów do wytwarzania elementów turbin gazowych, takich jak komory spalania, łopatki i segmenty kierownicze. Naprawa serwisowanych komponentów jest często realizowana przy użyciu technik spawalniczych. Spawanie wprowadza lokalnie duże ilości ciepła, przez co należy zwrócić szczególną uwagę na zmiany mikrostruktury w strefie wpływu ciepła, w tym w strefie częściowego stopienia i strefie przegrzania. W niniejszej pracy przeprowadzono próby technologiczne spawania łukowego nadstopu na bazie niklu o nazwie handlowej C101 wytwarzanego metodą odlewania precyzyjnego. Badania mikrostruktury podzielono na dwa etapy: charakterystykę mikrostruktury materiału przed spawaniem oraz analizę zmian morfologii wydzieleni po procesie spawania elektrodą nietopliwą w osłonie argonu. Fazy zidentyfikowane w stanie przed spawaniem to osnowa γ , wydzielenia fazy γ' , wydzielenia fazy η , węgliki MC i borki M5B3. W strefie wpływu ciepła zaobserwowano nadtapianie stężeniowe głównie wydzieleni fazy γ' przy współdziałaniu fazy η i borków M5B3. Cienka nierównowagowa warstwa cieczy, która utworzyła się wzdłuż szerokokątowych granic ziarn, uległa podczas chłodzenia powtórnej krystalizacji jako eutektyka γ - γ' .

Projekt został dofinansowany przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju (Polska) w ramach grantu LIDER 0147/L-13/2022 (Opracowanie technologii regeneracji precyzyjnych odlewów z nadstopów niklu przeznaczonych do eksploatacji w przemyśle lotniczym)

The unique combination of high strength and resistance to oxidation and hot corrosion make Ni-based superalloys one of the most important materials in constructing industrial gas turbine components, like blades, buckets, and vanes. Repair of serviced components is often carried out using welding methods. Since welding introduces large amounts of heat locally, special attention should be paid to microstructural changes in the heat-affected zone, including the partially melted and overheated zones. This work involved technological trials of arc welding of the C101 Ni-based superalloy produced by the investment casting method. The microstructure investigation was divided into the characterization of the material's microstructure in as-cast condition and the analysis of strengthening the stability of the precipitates induced by the gas tungsten arc welding. The phases identified in the pre-weld condition include γ matrix, γ' precipitates, η phase, MC, and M5B3 borides. The HAZ constitutional liquation of mainly γ' precipitates, with a contribution of η phase and M5B3 borides, was observed. The thin non-equilibrium liquid film, which formed along high-angle grain boundaries, resolidified as the eutectic γ - γ' during subsequent cooling. This work was supported by the National Center for Research and Development (Poland) under grant LIDER 0147/L-13/2022 (Development of a technology for the regeneration of precise castings of nickel superalloys intended for use in the aviation industry)

Wpływ składu chemicznego i szybkości chłodzenia na skład fazowy i mikrostrukturę wybranych stopów z układu Mg-Zn-Ca

Influence of chemical composition and cooling rate on phase composition and microstructure of selected Mg-Zn-Ca alloys

Stopy magnezu zyskują na znaczeniu nie tylko jako lekkie materiały konstrukcyjne, ale także jako biomateriały i są intensywnie badane pod kątem biogodności i cytotoxyczności oraz możliwości opracowania nowych stopów. Wśród nich jednymi z najbardziej obiecujących kandydatów do zastosowań biomedycznych są stopy z układu Mg-Zn-Ca, w tym również stopy amorficzne o wysokiej zawartości Zn. Nie zawierają one pierwiastków niebezpiecznych dla ludzkiego organizmu a szybkość ich korozji może być w pewnym stopniu kontrolowana poprzez odpowiedni dobór składu chemicznego i mikrostruktury, co może wspomagać proces gojenia. Głównym celem niniejszej pracy była eksperymentalna weryfikacja zasymulowanych numerycznie składów fazowych wybranych stopów z układu Mg-Zn-Ca oraz analiza wpływu składu chemicznego i szybkości chłodzenia na ich mikrostrukturę. Składy fazowe zaprognozowano metodą CALPHAD (oprogramowanie Thermo-Calc), a weryfikacji dokonano w oparciu o wyniki rentgenowskiej analizy fazowej. Stopy do badań odlano grawitacyjnie do kokili stalowych. Następnie wybrane stopy o wysokiej zawartości Zn (40÷60% mas.) przetopiono i chłodzono z różnymi prędkościami w celu oceny ich zdolności do tworzenia struktury amorficznej.

Magnesium alloys gain in importance not only as lightweight structural materials, but also as biomaterials and are intensively researched in terms of their biocompatibility, cytotoxicity, and development of new systems. Among them, one of the most promising candidates for biomedical applications are Mg-Zn-Ca alloys, including amorphous alloys with high Zn content. They do not contain elements harmful to the human body and their corrosion rate can be controlled to some extent through the proper design of chemical composition and microstructure, which may support the healing process. The main aim of the present work was the experimental verification of numerically simulated phase compositions of selected Mg-Zn-Ca alloys and the analysis of the influence of chemical composition and cooling rate on their microstructure. The phase compositions of the alloys were predicted using the CALPHAD method (Thermo-Calc software) and verified by X-Ray diffraction. The alloys were cast into permanent moulds. Selected alloys with high Zn content (40÷60 wt. %) were subsequently remelted and cooled at various rates to verify their ability to form an amorphous structures. This research was funded in whole by the National Science Centre, Poland under the research project 2021/41/N/ST5/03045: "Stress corrosion cracking of magnesium alloys for biodegradable implants in hydrogen-containing simulated body fluids".

Wstępna ocena możliwości eksploatacja żeliwa ADI i AGI w warunkach zmiennych temperatur

Preliminary assessment of the possibility of operating ADI and AGI cast iron in variable temperature conditions

Żeliwo spełnia większość wymagań stawianych odlewom eksploatowanym w takich warunkach, jak bębny i tarcze hamulcowe różnego rodzaju pojazdów i urządzeń. Podstawowym tworzywem na tego typu odlewy jest żeliwo niestopowe z grafitem płatkowym, równomiernie rozmieszczonym w osnowie perlitycznej. Wraz z rozwojem techniki zwiększają się wymagania co do właściwości żeliwa. Niskie właściwości mechaniczne żeliwa szarego skłaniały i nadal skłaniają badaczy do poszukiwania nowych sposobów ich podwyższania. Wynalezienie przed blisko 70 laty żeliwa sferoidalnego, a więc tworzywa o dobrych właściwościach wytrzymałościowych, a także plastycznych oraz większej aniżeli żeliwo szare odporności na zmęczenie, stworzyło konstruktorom wiele nowych możliwości.

W artykule przedstawiono dwa gatunki żeliwa poddane obróbce cieplnej polegającej na hartowaniu z przemianą izotermiczną żeliwa szarego z grafem płatkowym (AGI) oraz sferoidalnym (ADI). Obróbkę cieplną stanowiła austenitacja w temp. 900 i 960 °C oraz hartowanie izotermiczne w temp. 290 i 390 °C . Czas oby dwóch operacji był stały i wynosił 90min. Uzyskane gatunki żeliwa poddane zostały działaniu szoków cieplnych, polegających na szybkim ogrzewaniu po czym chłodzeniu próbek. Próbkę grzano indukcyjnie do temp. 500°C, po czym chłodzono w wodzie o stałej temperaturze ok. 30°C. Przeprowadzono 2000 cykli. W badaniach stosowano płaskie próbki o długości 70 mm i grubości 5 mm, zakończone „ostrzowo” po obu stronach na odcinku 15 mm. Sumaryczną długość pęknięć powstałych na badanych powierzchniach klinowych części próbek przyjęto jako wartość charakterystyczną odwrotnie proporcjonalną do odporności materiału na wstrząsy cieplne. Badania wykazały, że najlepszą odpornością na nagłe zmiany temperatur cechowało się żeliwo ADI austenitzowane w temp. 900°C oraz hartowane izotermicznie w temp. 290°C. Wśród żeliwa szarego z grafitem płatkowym najmniejszą długością pęknięć charakteryzowały się próbki austenitzowane w temp. 960°C oraz hartowane izotermicznie w temp. 290°C.

Cast iron meets most of the requirements for castings used in conditions such as brake drums and discs for various types of vehicles and equipment. The primary material for such castings is unalloyed cast iron with lamellar graphite, uniformly distributed in a pearlitic matrix. As technology advances, the demands on the properties of cast iron increase. The low mechanical properties of gray cast iron have prompted and continue to prompt researchers to seek new ways to improve them. The invention of ductile iron nearly 70 years ago, a material with good strength properties, as well as plasticity and greater fatigue resistance compared to gray cast iron, has created many new possibilities for designers.

The article presents two types of cast iron subjected to austenitization and austempering: gray cast iron with lamellar graphite (AGI) and ductile iron (ADI). The heat treatment consisted of austenitization at temperatures of 900 and 960 °C and austempering at 290 and 390 °C. The duration of both operations was constant at 90 minutes. The obtained types of cast iron were subjected to thermal shocks, involving rapid heating followed by cooling of the samples. The samples were heated inductively to a temperature of 500 °C, then cooled in water at a constant temperature of approximately 30 °C. A total of 2000 cycles were performed. The study used flat samples 70 mm long and 5 mm thick, with both ends tapered over a length of 15 mm. The total length of cracks formed on the tested wedge surfaces of the samples was taken as a characteristic value inversely proportional to the material's resistance to thermal shocks. The studies showed that the best resistance to sudden temperature changes was exhibited by ADI austenitized at 900 °C and austempered at 290 °C. Among the gray cast iron with lamellar graphite, the samples austenitized at 960 °C and austempered at 290 °C had the shortest crack lengths.

Rola kształtu powierzchni formy w procesie migracji wilgoci z powłoki ochronnej w warstwę wierzchnią formy piaskowej

The role of mould surface shape in the migration of moisture from the protective coating into the sand mould surface layer

W referacie zaprezentowano wyniki pomiaru migracji wilgoci w warstwie wierzchniej formy piaskowej w procesie nasiąkania i suszenia powłok ochronnych. Podczas badań wykorzystano nowatorskie stanowisko do pomiaru rezystancji ośrodka porowatego w wyniku migracji wilgoci. Do badań zastosowano alkoholową i wodną powłokę cyrkonową o lepkości umownej 20s. Lepkość powłoki określono przy pomocy kubka Forda o prześwicie oczka 4mm. Rdzenie do badań wykonano z masy formierskiej na żywicy fenolowo-formaldehdowej. Średnia wielkość ziarna osnowy piaskowej wynosiła $dL = 0,25$ mm. W trakcie badań wyznaczono przebieg i kinetykę procesu migracji wilgoci w wierzchniej warstwie rdzenia po nałożeniu na niego powłoki ochronnej. Badania prowadzono w dwóch przypadkach, na powierzchniach otwartych zwanych „zewnątrznymi” i powierzchniach w zakamarkach, wnękach zwanych powierzchniami „wewnętrznyimi”. Badani prowadzono w komorze klimatycznej o stałej temperaturze powietrza $T = 25^{\circ}\text{C}$ i wilgotności $W = 40\%$.

This paper presents the results of measuring moisture migration in the surface layer of a sand mould during the soaking and drying process of protective coatings. During the tests, a novel test rig was used to measure the resistance of the porous medium as a result of moisture migration. An alcohol and aqueous zirconia coating with a conventional viscosity of 20s was used for the tests. The viscosity of the coating was determined using a Ford cup with a mesh clearance of 4mm. Cores for the tests were made from phenol-formaldehyde resin moulding compound. The average grain size of the sand matrix was $dL = 0.25$ mm. During the tests, the course and kinetics of the moisture migration process in the top layer of the core after the protective coating was applied to it were determined. The tests were conducted in two cases, on open surfaces called ‘external’ and surfaces in nooks and crannies called ‘internal’ surfaces. The tests were carried out in a climatic chamber with a constant air temperature $T = 25^{\circ}\text{C}$ and humidity $W = 40\%$.

Porównanie metod oceny jakości materiałów nawęglających stosowanych w procesie wytapiania żeliwa

Comparison of Methods for Evaluating the Quality of Carburizing Materials Used in the Cast Iron Melting Process

Proces wytapiania żeliwa w piecach elektrycznych indukcyjnych można prowadzić w oparciu o różne materiały wsadowe (surówka, złom stalowy i złom żeliwny obiegowy), dodatki stopowe (żelazokrzem, żelazomangan) i nawęglacze.

Ograniczanie udziału surówki we wsadzie i zastąpienie jej złomem stalowym najczęściej podyktowane jest względami ekonomicznymi. Konsekwencją tego jest jednak konieczność uzupełnienia węgla materiałami nawęglającymi. Do najczęściej stosowanych w odlewnictwie należą: grafit syntetyczny, koks naftowy oraz koks pakowy. Część z tych materiałów jest specjalnie dedykowana do stosowania w odlewniach, natomiast znaczną część stanowią materiały grafitowe i koks pochodzące z kruszenia odpadów elektrod i wykładzin z różnych procesów technologicznych. Nawęglacze te zawierają węgiel na poziomie 97-99,5%. Mogą zawierać również siarkę w zakresie 0,03 – 0,80%, popiół, części lotne oraz azot i wodór. Ich ziarnistość może zmieniać się w zakresie 0,4 do 10 mm. Mimo, iż różnice w zawartości węgla w oferowanych nawęglaczach są niewielkie, to stopień przyswojenia (efektywność nawęglania) przez ciekły metal oraz czas przyswojenia (szybkość nawęglania) mogą być bardzo różne. Dla odlewni bardzo istotną informacją, której niestety nie można uzyskać od dostawców jest ocena jakości nawęglaczy jeszcze przed ich zastosowaniem do wytopu.

Taką metodę oceny stanowi pomiar oporności właściwej materiałów nawęglających. Zaproponowane przez pracowników Katedry Odlewnictwa Politechniki Śląskiej stanowisko umożliwia określenie oporności właściwej w bardzo krótkim czasie.

W artykule przedstawiono stanowisko badawcze oraz wyniki wspólnych badań (Politechnika Śląska, Brembo Poland Sp. z o.o) przeprowadzonych w warunkach laboratoryjnych Katedry Odlewnictwa Politechniki Śląskiej. Ich celem była ocena jakości wybranych materiałów nawęglających stosowanych w produkcji żeliwa. Badania obejmowały pomiar oporności właściwej oraz wytopy żeliwa szarego w laboratoryjnym elektrycznym piecu indukcyjnym o pojemności 20 kg w celu określenia stopnia przyswojenia węgla przez ciekły metal. W artykule przedstawiono również uzyskane zależności oporności właściwej z uzyskanymi efektywnościami nawęglania.

The process of cast iron melting in induction furnaces can be conducted using various charge materials (pig iron, steel scrap, and circulating cast iron scrap), alloying additives (ferrosilicon, ferromanganese), and carburizers. Reducing the share of pig iron in the charge and replacing it with steel scrap is most often driven by economic considerations. However, this leads to the necessity of supplementing carbon with carburizing materials. The most commonly used in foundry practice include synthetic graphite, petroleum coke, and pitch coke. Some of these materials are specifically designed for use in foundries, while a significant portion consists of graphite materials and cokes derived from crushed waste electrodes and linings from various

technological processes. These carburizers contain carbon at levels ranging from 97% to 99.5%. They may also contain sulfur in the range of 0.03% to 0.80%, ash, volatile matter, as well as nitrogen and hydrogen. Their granularity can range from 0.4 to 10 mm. Although the differences in carbon content among the offered carburizers are small, the degree of assimilation (carburization efficiency) by the molten metal and the assimilation time (carburization rate) can vary significantly. For foundries, an important piece of information, which unfortunately cannot be obtained from suppliers, is the quality assessment of carburizers before their application in the smelting process.

Such a method of assessment is the measurement of the specific resistivity of carburizing materials. The test setup proposed by the staff of the Department of Foundry Engineering of the Silesian University of Technology allows for determining specific resistivity in a very short time. This article presents the research setup and the results of joint studies (Silesian University of Technology, Brembo Poland Sp. z o. o.) conducted under laboratory conditions at the Department of Foundry Engineering of the Silesian University of Technology. Their goal was to evaluate the quality of selected carburizing materials used in cast iron production. The research included measuring the specific resistivity and conducting gray cast iron melts in a laboratory electric induction furnace with a capacity of 20 kg to determine the degree of carbon assimilation by the molten metal. The article also presents the relationships obtained between specific resistivity and the carburization efficiencies achieved.

**Grzegorz Kaczor ^a, Jerzy Trzoska ^a, Jan Jezierski ^b, Piotr Kramarczyk ^c, Rafał Przerwa ^a,
Wojciech Polek ^a**

^a GZUT Odlewnia Sp. z o. o., Polska, ^b Silesian University of Technology, Poland,

^c Zalewa Tec GbR, Germany

Doświadczenia GZUT Odlewnia Sp. z o. o. we wdrażaniu rdzeni wykonywanych w technice druku 3D”

The experience of GZUT Odlewnia Sp. z o.o. in implementing cores produced using 3D printing technology

Odlewnia GZUT Sp. z o. o. w ramach realizacji działań badawczo-rozwojowych prowadzi kilka projektów. Jednym z nich jest projekt wdrożenia techniki druku 3D dla wytwarzania skomplikowanych rdzeni do form odlewniczych, dla wytwarzania skomplikowanych, krzywoliniowych odlewów elementów pomp. W dotychczasowej technologii rdzenie te w wielu wypadkach wykonywane były w częściach a następnie klejone w żmudnym i obciążonym dużą niedokładnością procesie klejenia. Utrudniało to uzyskiwanie wąskich tolerancji wymiarowych a także generowało wiele wad odlewniczych, nierzadko powodujących złomowanie odlewów lub kosztowną i długotrwałą obróbkę mechaniczną. Z zastosowaniem inżynierii odwrotnej opracowano dokumentację 3D i wykonano prototypowe rdzenie, które po cyklu prób zostały ostatecznie wdrożone do praktyki zakładu. Poster przedstawia studium przypadku wybranych odlewów.

GZUT Odlewnia Sp. z o. o., as part of its research and development activities, is conducting several projects. One of them is the implementation of 3D printing technology to produce complex cores for foundry molds, intended for manufacturing intricate, curved pump component castings. In the previous technology, these cores were often produced in parts and then glued together in a laborious and error-prone process, which made it difficult to achieve tight dimensional tolerances and generated many casting defects. These issues often led to scrapping castings or requiring costly and time-consuming mechanical processing. Using reverse engineering, 3D documentation was developed, and prototype cores were produced, which, after a series of trials, were successfully implemented in the foundry's operations. The poster presents a case study of selected castings.

Zmiana właściwości mechanicznych staliwa niskowęglowego modyfikowanego V w zależności od grubości ścianki

Changing mechanical properties of V modified low-carbon cast steel depending on wall thickness

W artykule przedstawiono wyniki badań mikrostruktury, właściwości mechanicznych i udarności otrzymane w odlewie doświadczalnym o grubości ścianek 15, 20, 50 i 80 mm wykonanym ze staliwa niskowęglowego modyfikowanego V. Staliwo do badań zostało wytopione w warunkach laboratoryjnych w piecu indukcyjnym. Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że w miarę zwiększania grubości ścianki odlewu doświadczalnego zmniejsza się rozdrobnienie mikrostruktury, co wynika z różnic w szybkości krystalizacji. Odnotowano także różnice w ilości wtrąceń niemetalicznych. W ściankach 15 i 20 mm udział wtrąceń niemetalicznych zawierał się w przedziale 0.8-1.07%, w ściankach o grubości 50 i 80 mm od 0.4-0.8%. Taki udział wtrąceń miał również wpływ na zmniejszenie właściwości badanego staliwa, zwłaszcza jego udarność. Dla ścianki 15 i 20 mm udarność wynosiła około 25J/cm² a dla ścianki 50 i 80 mm nieznacznie przekroczyła 38J/cm². Wartości wytrzymałości: R_m, R_{p02} i przewężenia zmniejszały się ze wzrostem grubości ścianki, natomiast w przypadku wydłużenia A₅ zmiana była nieznaczna (23-25%). Wytrzymałość na rozciąganie R_m zmieniała się w granicach 748-692 MPa, umowna granica plastyczności R_{p02} 507-468 MPa oraz przewężenie Z od 37 do 24%.

The article presents the results of testing the microstructure, mechanical properties, and impact strength obtained in an experimental casting with wall thicknesses of 15, 20, 50 and 80 mm made of V modified low-carbon cast steel. The cast steel for the tests was melted under laboratory conditions using an induction furnace. On the basis of the results obtained, it was found that as the wall thickness of the experimental casting increases, the fineness of the microstructure decreases, which results from differences in the crystallisation rate. Differences in the amount of nonmetallic inclusions were also noted. In walls of 15 and 20 mm, the share of nonmetallic inclusions was in the range of 0.8-1.07%, in wall 50 and 80 mm thick from 0.4-0.8%. This share of inclusions also had an impact on reducing the properties of the tested cast steel, especially its impact strength. For walls of 15 and 20 mm the impact strength was approximately 26J/cm² and for walls of 50 and 80 mm it slightly exceeded 38J/cm². Strength values: UTS, YS and RA decreased with increasing wall thickness, while in the case of elongation EL the change was insignificant (23-25%). The tensile strength UTS varied in the range of 748-692 MPa, the yield strength YS was 507-468 MPa and the reduction of area RA ranged from 37 to 24%.

Jadwiga Kamińska ^{a,b}, Krzysztof Sanocki ^a, Michał Angrecki^b

^a Odlewnia KAW-MET Marek Kawiński Sp. z o.o., Poland, ^b Łukasiewicz Research Network – Krakow Institute of Technology, Poland

Wdrożenie technologii sferoidyzacji w formie w Odlewni „KAW-MET”

The implementation of in-mold spheroidization technology in the "KAW-MET" Foundry

Odlewy z żeliwa sferoidalnego są wysoko cenione w przemyśle ze względu na ich doskonałe właściwości mechaniczne, takie jak wysoka wytrzymałość na rozciąganie i odporność na uderzenia. Proces produkcyjny tego materiału jest złożony i wymaga precyzyjnej kontroli zarówno parametrów technologicznych, jak i czystości surowców. Dlatego też ciągłe doskonalenie metod produkcji i kontrola jakości są kluczowe dla zapewnienia optymalnych właściwości odlewów.

W niniejszej publikacji przedstawiono zmodyfikowaną metodę sferoidyzacji w formie, wdrożoną w odlewni KAW-MET na automatycznej pionowej maszynie formierskiej. Metoda sferoidyzacji w formie, wykorzystująca komorę reakcyjną, opiera się na patencie PL 220357. Jednak podczas wdrażania tej technologii dokonano modyfikacji zarówno kształtu komory, jak i materiału, z którego jest zbudowana. W badaniu zweryfikowano kluczowe parametry procesu technologicznego, w tym temperaturę metalu, rozmiar komory, ilość środka sferoidyzującego w stosunku do masy odlewów, grubość ścianki i zużycie metalu w formie.

Wyniki badań przedstawiono w kontekście mikrostruktur i zmian składu chemicznego żeliwa po procesie sferoidyzacji, w zależności od temperatury wlewu. W artykule przedstawiono również wyniki badań mikrostrukturalnych wydzielenń grafitu i osnowy metalicznej odlewów po sferoidyzacji, przeprowadzonych dwiema metodami: metodą reaktorową i metodą konwencjonalnego drutu rdzeniowego. Ponadto przeprowadzono badania właściwości mechanicznych wytworzonych odlewów.

Castings made of ductile iron are highly valued in the industry due to their excellent mechanical properties, such as high tensile strength and impact resistance. The manufacturing process of this material is complex and requires precise control of both technological parameters and the purity of the raw materials. Therefore, continuous improvement of production methods and quality control is crucial to ensuring the optimal properties of the castings.

This publication presents a modified in-mold spheroidization method, implemented at the KAW-MET foundry on an automatic vertical moulding machine. The in-mold spheroidization method, which uses a reaction chamber, is based on patent PL 220357. However, during the implementation of this technology, modifications were made to both the shape of the chamber and the material from which it is constructed. The study verified the key parameters of the technological process, including metal temperature, chamber size, the amount of spheroidizing agent relative to the mass of the castings, wall thickness, and the metal consumption of the mold. The research results are presented in terms of the microstructures and changes in the chemical composition of the cast iron after the spheroidization process, depending on the pouring temperature.

This paper also presents the results of microstructural studies of graphite precipitates and the metallic matrix of castings after spheroidization, conducted using two methods: the reactor

method and the conventional cored wire method. Additionally, tests of the mechanical properties of the produced castings were conducted.

Wpływ procesu krystalizacji stopu Mg₆₆Zn₃₀Ca₄ na strukturę i wybrane własności

The influence of the crystallization process of the Mg₆₆Zn₃₀Ca₄ alloy on the structure and selected properties

Szkła metaliczne to materiały, które wytwarza się przez zamrożenie cieczy metalicznej przy szybkościach chłodzenia powodujących zeszklenie z pominięciem etapu krystalizacji. Natomiast podczas procesu aktywacji cieplnej, czyli krystalizacji szkieł metalicznych, nagrzewanie odbywa się przez powierzchnię. Podczas takiego procesu, powierzchnia osiąga temperaturę relaksacji, a następnie zachodzi proces krystalizacji. Materiały amorficzne posiadają lepsze własności mechaniczne niż ich odpowiedniki krystaliczne, natomiast do tej pory nie zostało zbadane jak zachowują się własności mechaniczne i korozyjne, oraz struktura przed procesem krystalizacji, czyli podczas nanokrystalizacji. Obecnie stopy na bazie magnezu stanowią nową grupę potencjalnych materiałów na krótkookresowe implanty bioresorbowalne ze względu na ich biokompatybilny skład chemiczny. Badania są prowadzone na stopach m.in. o składzie Mg-Zn-Ca wraz z różnymi dodatkami stopowymi, takimi jak pierwiastki ziem rzadkich. Są to stopy amorficzne oraz krystaliczne, natomiast nie zbadano materiałów amorficznych po wygrzewaniu w różnych temperaturach stopu Mg₆₆Zn₃₀Ca₄. Praca przedstawia wyniki badań strukturalnych, wybranych własności mechanicznych oraz korozyjnych. Badania przeprowadzono na próbkach amorficznych po wygrzewaniu w różnych temperaturach.

Bulk metallic glasses are materials that are prepared by freezing a metallic liquid at glass transition cooling rates without the crystallization step. However, during the thermal activation process, i.e. crystallization of metallic glasses, heating takes place through the surface. During such a process, the surface reaches the relaxation temperature and then the crystallization process occurs. Amorphous materials have better mechanical properties than their crystalline counterparts, but so far it has not been investigated how their mechanical and corrosion properties and structure behave before the crystallization process, i.e. during nanocrystallization. Currently, magnesium-based alloys constitute a new group of potential materials for short-term bioresorbable implants due to their biocompatible chemical composition. Research is conducted on them, among others, with the composition Mg-Zn-Ca along with various alloy additions, such as rare earth elements. These are amorphous and crystalline alloys, but amorphous materials after heating the Mg₆₆Zn₃₀Ca₄ alloy at various temperatures have not been tested. The work presents the results of structural tests, selected mechanical and corrosion properties. The tests were carried out on amorphous samples after heating at various temperatures.

Kontrola jakości żeliwa przy użyciu systemu do analizy termicznej Itaca

Quality control of cast iron by the Itaca thermal analysis system

Przedstawiono wyniki badań wpływu trzech zmiennych procesowych: czasu przetrzymywania metalu w piecu topialnym, rodzaju wsadu metalowego oraz ilości i rodzaju zapraw modyfikujących na jakość metalurgiczną żeliwa. Badania zrealizowano w warunkach produkcyjnych w ramach prac wdrożeniowych systemu Itaca firmy ProserviceTech. Wykonano serie analiz termicznych dla różnych wariantów wytwarzania żeliwa, a następnie przeprowadzono ich weryfikację w oparciu badania: mikrostrukturalne, składu chemicznego, twardości oraz wytrzymałości na rozciąganie. Wyznaczono charakterystyki zmian parametrów krzepnięcia (TL, TE, TS, REC, VPS, PAE) dla badanych zmiennych procesowych ze szczególnym uwzględnieniem zabiegu modyfikacji oraz oceniono efektywność prognozowania systemu Itaca w zakresie zdolności do grafityzacji żeliwa, skłonności do zabielen oraz niebezpieczeństwa pojawienia się wad skurczowych w odlewach.

The results of research on the influence of three process variables metal holding time in the melting furnace, type of metal charge and the amount and type of modifying mortars on metallurgical quality are presented.

The research was carried out in production conditions as part of the implementation of the Itaca system by ProserviceTech. A series of thermal analyzes were performed for various variants of cast iron production, and then they were verified based on microstructural, chemical composition, hardness and tensile strength tests. Characteristics of changes in solidification parameters (TL, TE TS, REC, VPS, PAE) were determined for the studied process variables, with particular emphasis on the modification process, and the prediction effectiveness of the Itaca system was assessed in terms of the ability to graphitize cast iron, the tendency to whitening and the risk of shrinkage defects in castings.

Opracowanie innowacyjnej technologii wytwarzania form ceramicznych dla zwiększenia wybijalności "trudnych" odlewów

Development of innovative ceramic mold manufacturing technology for increasing the driftability of "difficult" castings

W artykule przedstawiono innowacyjną technologię produkcji form ceramicznych, mającą na celu poprawę wybijalności szczególnie trudnych odlewów, które charakteryzują się skomplikowaną geometrią i dużą tendencją do zapiekania masy w newralgicznych miejscach w formie (otwory, zamknięte przestrzenie odlewu, naroża, ostre krawędzie, zmienne przekroje). Tradycyjne formy ceramiczne, mimo swojej wytrzymałości, często stwarzają problemy podczas procesu wybijania odlewu, co prowadzi do uszkodzeń odlewów oraz zwiększa koszty produkcji. Nowa technologia opiera się na zastosowaniu hybrydowej struktury formy, której istotą jest wytwarzane w formie ceramicznej warstw, w środkowej strefie formy, charakteryzujących się wyraźnie obniżoną wytrzymałością końcową, osiąganą po wyprażeniu. Warstwy te wykonane są na bazie spoiwa organicznego. W rezultacie, dzięki wbudowanej warstwie, uzyskuje się doskonałą wybijalność odlewów oraz skuteczne oddzielanie resztek masy ceramicznej. Specjalne warstwy mogą być wbudowane na całej powierzchni lub jedynie w miejscach, gdzie dochodzi do zespalania powierzchni odlewu z masą ceramiczną. Przeprowadzone badania wykazały, że opracowana technologia znacząco poprawia wybijalność form ceramicznych, szczególnie w przypadku "trudnych" odlewów, gdzie tradycyjne metody zawodzą. Wprowadzenie tej innowacji ma potencjał do szerokiego zastosowania w różnych gałęziach przemysłu, gdzie wymagania dotyczące precyzji i jakości odlewów są bardzo wysokie, takich jak przemysł lotniczy, energetyczny czy motoryzacyjny.

The article presents an innovative ceramic mold manufacturing technology to improve the driftability of particularly difficult castings, which are characterized by complex geometries and a high tendency to bake the mass in sensitive areas in the mold (holes, closed spaces of the casting, corners, sharp edges, variable cross sections). Traditional ceramic molds, despite their strength, often create problems during the casting knockout process, leading to casting damage and increased production costs. The new technology is based on the use of a hybrid mold structure, the essence of which is the production of ceramic layers, in the middle zone of the mold, characterized by a significantly reduced final strength, achieved after firing. These layers are made on the basis of an organic binder. As a result, due to the embedded layer, excellent driftability of castings and effective separation of residual ceramic mass is achieved. The special layers can be incorporated over the entire surface or only in areas where fusion of the casting surface with the ceramic mass occurs. Studies have shown that the developed technology significantly improves the driftability of ceramic molds, especially for "difficult" castings where traditional methods fail. The introduction of this innovation has the potential for wide application in various industries where requirements for precision and quality of castings are very high, such as the aerospace, energy and automotive industries.

Badania podatności korozyjnej odlewniczych mosiądzów wieloskładnikowych w wybranych warunkach

Studies of Corrosion Susceptibility for Multicomponent Cast Brasses in Various Conditions

W artykule zaprezentowano wyniki badań korozyjnych przeprowadzonych dla stopów miedzi z cynkiem i innymi dodatkami. Badania prowadzono pod kątem obserwacji wpływu wybranych dodatków stopowych na strukturę oraz odporność stopu na warunki sprzyjające korozji selektywnej (odcynkowanie) oraz korozji naprężeniowej (sezonowe pękanie). Grupa stopów poddana analizie obejmowała bezołowiowe stopy dwufazowe $\alpha+\beta'$, szeroko stosowanych na elementy armatury wodnej. Zmienna zawartość dodatków stopowych z grupy Al, Sn, P, Ni, Si, Fe wyraźnie zmieniała podatność stopu oraz jego odporność mechaniczną w funkcji czasu. Przeprowadzone badania wyraźnie wskazują, które z dodatków mogą zostać wykorzystane w projektowaniu nowoczesnych mosiądzów bezołowiowych odpornych na odcynkowanie (mosiądze DZR) i korozję naprężeniową.

In this paper the results of corrosion studies conducted for copper-zinc alloys with different additions has been presented. Analysis was performer in respect to the influence of introduced elements on the structure and resistance to selective corrosion (dezincification) and strain corrosion (season cracking). The group of alloys selected for the studies enclosed the lead-free two-phase brasses ($\alpha+\beta'$), widely used for water installation fixture elements. Variable content of alloying additions from the group: Al, Sn, P, Ni, Si, Fe significantly changed the susceptibility to corrosion and its mechanical resistance in function of time. Conducted studies and obtained results indicated, which of the elements can be used for designing novel dezincification resistant brasses (DZR) which will also withstand the stress corrosion during operation.

Prototypowy indukcyjny piec hartowniczy z generatorem o szerokim zakresie częstotliwości

Prototype induction hardening furnace with a wide frequency range generator

Podczas prac badawczych związanych z projektem POIR.01.01.01-00-1768/20-00 opracowano prototyp generatora indukcyjnego o szerokim zakresie zmian częstotliwości prądu wzbudnika (30-300 kHz). Celem prac było opracowanie innowacyjnego wielozadaniowego pieca indukcyjnego do hartowania powierzchniowego o budowie modułowej. Urządzenie to miało mieć możliwość takiego hartowania elementów, aby możliwe było uzyskanie szerokiego zakresu warstwy zahartowanej. Dzięki możliwości kształtowania rozkładu pola temperaturowego możliwe jest hartowanie nieregularnych powierzchni przeznaczonych do utwardzenia, o bardzo specyficznych kształtach i precyzyjnie określonych wartościach twardości i głębokości strefy zahartowanej. Potrzeba taka wynikała z licznych zapytań dotyczących opracowania technologii hartowania i urządzeń dla realizacji tych technologii. Opisane w artykule badania miały na celu sprawdzenie możliwości uzyskania granicznych głębokości określonych w projekcie, oraz zakres średnic, które można zahartować. Artykuł przedstawia ponadto przykłady praktycznego zastosowania prototypowego indukcyjnego pieca hartowniczego do hartowania elementów o złożonych geometriach, prezentuje również przykłady niektórych obszarów strefy utwardzonej. W efekcie prac badawczych powstało stanowisko umożliwiające szeroki zakres badań dla elementów o masie do 1000 kg i wysokości do 1450 mm i średnicy do 1200 mm (z dodatkowym oprzyrządowaniem do 3000 mm). Badane są przede wszystkim technologie hartowania, ale również lutowania i wyżarzania.

During the research work related to the project POIR.01.01.01-00-1768/20-00, a prototype of an induction generator with a wide range of inductor current frequency adjustment (30-300 kHz) was developed. The goal of the project was to develop an innovative, multifunctional, modular induction furnace for surface hardening. This device was designed to enable the hardening of components in such a way as to achieve a wide range of hardened layer thicknesses. By being able to shape the temperature field distribution, it is possible to harden irregular surfaces intended for hardening, with very specific shapes and precisely defined hardness values and depths of the hardened zone. This need arose from numerous inquiries regarding the development of hardening technologies and the devices required to implement these technologies. The research described in the article aimed to assess the feasibility of achieving the target depths specified in the project, as well as the range of diameters that can be hardened. The article also presents examples of practical applications of the prototype induction hardening furnace for hardening components with complex geometries and showcases examples of specific areas within the hardened zone. As a result of the research, a setup was developed that allows for a wide range of tests on components weighing up to 1000 kg, with a height of up to 1450 mm and a diameter of up to 1200 mm (with additional tooling, up to 3000 mm). The primary focus of the research is on hardening technologies, but brazing and annealing processes are also being investigated.

Joanna Kostrzewa

The Jacob of Paradies University in Gorzów Wielkopolski

Wpływu procesu starzenia stali wysokowęglowej na jej własności strukturalne i mechaniczne

The effect of the ageing process of high-carbon steel on its structural and mechanical properties

Substytucja cyny w brązach cynowych

Tin substitution in tin bronzes

Ograniczona dostępność cyny oraz jej wysoka cena powodują, że brązy cynowe powinny zostać zastąpione przez tworzywa o porównywalnych właściwościach, ale zawierających mniejsze ilości tego pierwiastka. Realizowane badania w zakresie doboru substytutu cyny dla tej grupy stopów obejmują szereg badań i analiz. W ramach zgłoszonego artykułu zaprezentowane zostaną wyniki badań z obszaru analizy termicznej, metalografii optycznej i skaningowej, właściwości technologicznych i mechanicznych wybranych grup brązów. Uzyskane wyniki wykazują, że możliwe jest wytworzenie takich grup stopów, zarówno na bazie czystych składników, jaki i złomów poamortyzacyjnych, które mogą zastąpić grupę odlewniczych brązów cynowych stosowanych dotychczas.

Projekt badawczy finansowany ze środków programu „Inicjatywa Doskonałości – Uczelnia Badawcza” w AGH w Krakowie

The limited availability of tin and its high price mean that tin bronzes should be replaced by comparable properties, but containing smaller amounts of this element. Ongoing research into the selection of a tin substitute for this group of alloys includes a number of studies and analyses. The submitted article will present the results of research in the areas of thermal analysis, optical and scanning metallography, technological and mechanical properties of selected groups of bronzes. The results show that it is possible to produce such groups of alloys both on the basis of pure components and post-depreciation scrap, which can replace the group of foundry tin bronzes used so far.

Research project supported/partly supported by program „Excellence initiative – research university” for the AGH University

Zastosowania elastooptycznych metod w badaniach konstrukcji odlewów

Application of elasto-optical methods in research on casting structures

Weryfikacja konstrukcji odlewów metodami doświadczalnymi jest często konieczna i zwykle bardziej uzasadniona niż w przypadku innych technik wytwarzania elementów maszyn, czy urządzeń. Odlewy charakteryzują się bardziej złożonym kształtem, różną wielkością i wynikającą, chociażby z tych faktów różnorodnością własności fizykomechanicznych. Problematyka z optymalnym kształtowaniem wytrzymałościowym odlewów związana jest często z faktem pozostającej zwykle pewnej rezerwy materiałowej, której znalezienie i usunięcie bez szkody dla założonej wytrzymałości jest ważnym zadaniem dla personelu inżynierskiego. Można tego dokonać przez zastosowanie doświadczalnej analizy odkształceń i naprężeń oraz komputerowe wspomaganie tych prac. Jedną z metod doświadczalnej analizy naprężeń i odkształceń, metodzie elstoptycznej, poświęcona jest niniejsza praca.

Verification of casting structures using experimental methods is often necessary and usually more justified than in the case of other techniques for producing machine or device components. Castings are characterized by a more complex shape, different sizes and, resulting from these facts, a variety of physico-mechanical properties. The problem of optimal strength shaping of castings is often related to the fact that there is usually a certain material reserve, the finding and removal of which without damaging the assumed strength is an important task for the engineering staff. This can be done by using experimental analysis of strains and stresses and computer support of this work. This work is devoted to one of the methods of experimental analysis of stresses and strains, the elsto-optic method.

Fizyczne metody przyspieszenia wiązania mas ze spoiwami chemicznymi – ultradźwiękowa kontrola kinetyki procesów utwardzania

Physical methods of accelerating the binding of moulding sands with chemical binders - ultrasonic control of the kinetics of the hardening processes

W pracy przedstawiono wyniki badań nad kinetyką procesu wiązania wybranej grupy mas w warunkach obniżonego ciśnienia, działania mikrofal oraz w warunkach wymuszonego przepływu powietrza. Badaniami objęto masy ze spoiwami organicznymi (masy furanowe) i nieorganicznymi (masy ze szkłem wodnym). W każdym przypadku procesy wiązania kontrolowano techniką ultradźwiękową, wyznaczając ich przebieg i kinetykę wiązania. W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że zastosowanie fizycznych metod przyspieszenia procesu wiązania, skraca czas utwardzania z kilkunastu godzin do kilkadziesiątu minut. W artykule przedstawiono przebiegi wiązania mas w postaci zależności stopnia utwardzenia od czasu wiązania. Dla badanych mas przeprowadzono analizę mikroskopową (SEM) struktury wewnętrznej (wyglądu mostków).

The paper presents the results of research on the kinetics of the bonding process of a selected group of moulding sands under conditions of reduced pressure, microwave action and forced air flow. The research covered moulding sands with organic binders (furan moulding sands) and inorganic binders (moulding sands with water glass). In each case, the bonding processes were controlled using ultrasonic technology, determining their course and bonding kinetics. As a result of the research, it was found that the use of physical methods of accelerating the bonding process shortens the hardening time from several hours to several dozen minutes. The paper presents the bonding processes of the moulding sands in the form of the dependence of the degree of hardening on the bonding time. A microscopic analysis (SEM) of the internal structure (the appearance of bridges) was performed for the tested moulding sands.

Daniel Medyński
Collegium Witelonia Uczelnia Państwowa, Poland

Wpływ cząstek ceramicznych na wybrane właściwości mechaniczne kompozytu GX120Mn13 + Al₂O₃

The effect of ceramic particles on selected mechanical properties of the GX120Mn13 + Al₂O₃ composite

Przedmiotem badań był wpływ zbrojenia makrocząstkami ceramicznymi na wybrane właściwości kompozytu GX120Mn13 + Al₂O₃. Uzyskane wyniki wskazują, że wprowadzenie cząstek korundu do staliwa manganowego spowodowało zwiększenie odporności na zużycie ściernie o ok. 70%. Jednocześnie strefy zbrojenia makrocząstkami korundu charakteryzowały się ponad trzykrotnie mniejszą udarnością w porównaniu do obszarów niezbrojonych. Ponadto wpływ wielkości makrocząstek ceramicznych na zużycie ściernie był zauważalny. Kompozyt zbrojony cząstkami o większej frakcji wykazywał mniejszą odpornością na zużycie ściernie w porównaniu do zbrojenia makrocząstkami o mniejszej frakcji.

The subject of the research was the effect of ceramic macroparticle reinforcement on selected properties of the GX120Mn13 + Al₂O₃ composite. The obtained results indicate that the introduction of corundum particles to manganese cast steel increased the resistance to abrasive wear by about 70%. At the same time, the zones reinforced with corundum macroparticles were characterized by more than three times lower impact strength compared to the unreinforced areas. Moreover, the effect of the size of ceramic macroparticles on abrasive wear was noticeable. The composite reinforced with particles of a larger fraction showed lower resistance to abrasive wear compared to the reinforcement with macroparticles of a smaller fraction.

Modyfikacja mikrostruktury w warunkach mieszania w wolno krzepnących stopach podeutektycznych Al-Si-Mn

Microstructure modification under stirring in slowly solidified hypoeutectic Al-Si-Mn alloys

Konwekcja wywołana przez grawitację i wymuszony przepływ występują podczas odlewania. Wpływ wymuszonej konwekcji generowanej przez wirujące pole magnetyczne na mikrostrukturę i fazy wytrącające w stopach eutektycznych i podeutektycznych AlSiMn badano w procesie krzepnięcia przy niskiej szybkości chłodzenia i niskim gradiencie temperatury. Skład chemiczny stopów dobrano tak, aby umożliwić wspólny lub niezależny wzrost występujących faz α -Al, α -Al₁₅Si₂Mn₄ i eutektyków Al-Si. Mieszanie elektromagnetyczne powodowało zamiast dendrytów równoosiowych głównie rozety, zmieniło odstęp eutektyczne AlSi, zmniejszyło powierzchnię właściwą Sv i zwiększało odstęp ramion dendrytów wtórnych λ_2 α -Al oraz modyfikowało czas krzepnięcia. Wymuszony przepływ powodował złożoną modyfikację faz Mn przedutektycznych i międzyutektycznych (Al₁₅Si₂Mn₄) w zależności od składu stopu. Przy wysokiej zawartości Mn w stopach eutektycznych i hipoeutektycznych mieszanie powodowało redukcję gęstości liczbowej i zmniejszenie całkowitego wymiaru faz Mn przedutektycznych. Również w próbce cylindrycznej zaobserwowano określone położenie występujących faz przez mieszanie. Nie zaobserwowano efektu rozdzielania faz Mn przez przepływ stopu. Badanie dostarczyło zrozumienia efektu wymuszonej konwekcji na poszczególne wydzielenia i dało wgląd w to, jakie modyfikacje mogą wystąpić w mikrostrukturze odlewów wykonanych ze stopów technicznych o złożonym składzie.

Convection caused by gravity and forced flow are present during casting. The effect of forced convection generated by a rotating magnetic field on the microstructure and precipitating phases in eutectic and hypoeutectic AlSiMn alloys was studied in solidification by a low cooling rate and low temperature gradient. The chemical composition of alloys was selected to allow joint growth or independent growth of occurring α -Al, α -Al₁₅Si₂Mn₄ phases and Al-Si eutectics. Electromagnetic stirring caused instead of equiaxed dendrites mainly rosettes, changed the AlSi eutectic spacing, decreased the specific surface Sv and increased secondary dendrite arm spacing λ_2 of α -Al, and modified the solidification time. Forced flow caused complex modification of pre-eutectic and inter-eutectic Mn-phases (Al₁₅Si₂Mn₄) depending on the alloy composition. By high Mn content, in eutectic and hypoeutectic alloys, stirring caused reduction in the number density and a decrease in the overall dimension of pre-eutectic Mn-phases. Also across cylindrical sample, specific location of occurring phases by stirring was observed. No separation effect of Mn-phases by melt flow was observed. The study provided an understanding of the forced convection effect on individual precipitates and gave insight of what modifications can occur in the microstructure of castings made of technical alloys with complex composition.

Problem szczelności stopów odlewniczych i odlewów z nich wytwarzanych – nowa metoda badań

The problem of tightness of foundry alloys and castings made from them – new research method

Artykuł dotyczy prac nad szczelnością jako użytkową właściwością stopów odlewniczych, głównie żeliwa i stopów AL.-Si. Zaprezentowana została autorska metodologia badań szczelności. W dotychczas stosowanych metodach, badania szczelności prowadzi się na próbkach w kształcie krążków o niewielkiej grubości, przez które przetłaczane jest medium w postaci cieczy o niskiej lepkości. Miarą szczelności jest wartość ciśnienia, które jest zdolna przenieść próbka bez przenikania. Autorzy opracowali nową metodologię, w której próbka ma kształt tulejki, a dla wizualizacji przenikania zastosowano metodę penetracji, stosowaną w badaniach nieniszczących. Stosując nową metodologię badań oceniono szczelność próbek żeliwa szarego i stopu AL.-Si7Mg pobranych z wlewków krzepnących z różną szybkością. Pośrednio określono wpływ szybkości stygnięcia na szczelność badanych stopów. Na obecnym etapie badania prezentowane w pracy mają charakter początkowy i są zogniskowane na metodologii badań. Połączenie tradycyjnej metody badania szczelności odlewów z użyciem cieczy z wizualizacją metodą penetracyjną była również wykorzystana do oceny odlewów przemysłowych. Praca wykonana w ramach badań statutowych: subwencja Nr 16.16.170.654/B407

The article concerns work on tightness as a functional property of foundry alloys, mainly cast iron and AL-Si alloys. The author's methodology for tightness testing was presented. In the methods used so far, tightness tests are carried out on disc-shaped samples of small thickness through which a medium in the form of a low-viscosity liquid is forced. The measure of tightness is the pressure that the sample can carry without penetrating. The authors developed a new methodology in which the sample has the shape of a sleeve and the penetration method used in non-destructive testing was used to visualize the penetration. Using a new testing methodology, the tightness of gray cast iron and AL-Si7Mg alloy samples taken from ingots solidifying at different rates was assessed. The influence of the cooling rate on the tightness of the tested alloys was indirectly determined. At the current stage, the research presented in this paper is of an initial nature and focuses on the research methodology. The combination of the traditional method of testing the tightness of castings using liquids with visualization using the penetrant method was also used to evaluate industrial castings.

Work performed as part of statutory research: subsidy No. 16.16.170.654/B407.

Badania scratch test połączenia powłoki $\text{Al}_2\text{O}_3+40\%\text{TiO}_2$ z odlewem ze stopu AZ91,

Scratch test of the connection of the $\text{Al}_2\text{O}_3+40\%\text{TiO}_2$ coating with the AZ91 alloy casting

W pracy przedstawiono wyniki badań scratch test połączenia powłoki $\text{Al}_2\text{O}_3+40\%\text{TiO}_2$ z odlewem ze stopu magnezu AZ91. Powłokę $\text{Al}_2\text{O}_3+40\%\text{TiO}_2$ naniesiono na odlew ze stopu AZ91 z zastosowaniem metody APS (Atmospheric Plasma Spraying). Jako kryterium poprawnego wykonania powłoki przyjęto, grubość powłoki mieszczącą się w przedziale od 280 do 300 μm . Wykonano badania mikrostruktury i analizę składu chemicznego materiału podłoża oraz powłoki $\text{Al}_2\text{O}_3+40\%\text{TiO}_2$. Analizę stanu połączenia powłoki z podłożem wykonano w oparciu o badania mikrostruktury przed i po próbie zarysowania. Rysę wykonano w kierunku od podłoża do powłoki. W próbie zarysowania określono głębokość i szerokość rysy. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono bardzo dobrą jakość połączenia powłoki $\text{Al}_2\text{O}_3+40\%\text{TiO}_2$ z podłożem ze stopu AZ91. Badania scratch test nie wykazały obecności rozwarstwień i pęknięć na granicy przejścia rysy z podłoża do powłoki, co świadczy o wysokiej jakości połączenia powłoki $\text{Al}_2\text{O}_3+40\%\text{TiO}_2$ ze stopem AZ91. Uzyskane, niższe wartości parametrów geometrycznych zarysowania (szerokości i głębokości) powłoki $\text{Al}_2\text{O}_3+40\%\text{TiO}_2$, w porównaniu do podłoża ze stopu AZ91, wskazują na możliwość zastosowania powłoki $\text{Al}_2\text{O}_3+40\%\text{TiO}_2$ do poprawy odporności na zarysowanie elementów i części maszyn wykonanych ze stopu AZ91. Efektem ingerencji indentera w trakcie zarysowania jest proces degradacji mikrostruktury stopu AZ91 i powłoki $\text{Al}_2\text{O}_3+40\%\text{TiO}_2$. W procesie tym główną rolę odgrywa pękanie. W przypadku powłoki $\text{Al}_2\text{O}_3+40\%\text{TiO}_2$ efektem działania indentera jest siatka mikropęknięć, natomiast w mikrostrukturze stopu AZ91 pęknięcia pojawiły się w dużych wydzieleniach fazy $\gamma\text{-Mg}_17(\text{Al}, \text{Zn})_{12}$. Przypuszczać można, że pęknięcia te były spowodowane naciskiem plastycznej fazy jaką jest roztwór stały na twarde i kruche wydzielenia fazy międzymetalicznej $\gamma\text{-Mg}_17(\text{Al}, \text{Zn})_{12}$.

The paper presents the results of scratch tests on the connection of the $\text{Al}_2\text{O}_3+40\%\text{TiO}_2$ coating with the AZ91 magnesium alloy casting. The $\text{Al}_2\text{O}_3+40\%\text{TiO}_2$ coating was applied to the AZ91 alloy casting using the APS (Atmospheric Plasma Spraying) method. The criterion for the correct coating application was the coating thickness ranging from 280 to 300 μm . Microstructure studies and chemical composition analysis of the substrate material and the $\text{Al}_2\text{O}_3+40\%\text{TiO}_2$ coating were conducted. The analysis of the coating-to-substrate connection was based on microstructure examinations before and after the scratch test. The scratch was made in the direction from the substrate to the coating. In the scratch test, the depth and width of the scratch were determined. Based on the conducted research, it was found that the $\text{Al}_2\text{O}_3+40\%\text{TiO}_2$ coating has a very good quality connection with the AZ91 alloy substrate. Scratch test studies did not show any delaminations or cracks at the scratch transition boundary from the substrate to the coating, which indicates a high quality of the $\text{Al}_2\text{O}_3+40\%\text{TiO}_2$ coating connection with the AZ91 alloy. The obtained lower values of the geometric parameters of the scratch (width and depth) for the $\text{Al}_2\text{O}_3+40\%\text{TiO}_2$ coating, compared to the AZ91 alloy substrate, indicate the potential use of the

Al₂O₃+40%TiO₂ coating to improve the scratch resistance of elements and machine parts made of the AZ91 alloy. The effect of the indenter's intervention during scratching is the degradation of the microstructure of the AZ91 alloy and the Al₂O₃+40%TiO₂ coating. In this process, cracking plays the main role. In the case of the Al₂O₃+40%TiO₂ coating, the effect of the indenter's action is a network of microcracks, while in the microstructure of the AZ91 alloy, cracks appeared in large precipitates of the γ -Mg₁₇(Al, Zn)₁₂ phase. It can be assumed that these cracks were caused by the pressure of the plastic phase, which is the solid solution \square , on the hard and brittle precipitates of the intermetallic phase γ -Mg₁₇(Al, Zn)₁₂.

Wybrane aspekty procesu ulepszenia aluminium w systemie kompleksowej obróbki rafinacji barbotażowej

Selected aspects process of improvements of the aluminum in a complex barbotage refining system

Aluminium jak również stopy aluminium ze względu na swe unikatowe właściwości należą do jednych z najczęściej stosowanych metali i stopów. Stopy aluminium, a szczególnie czyste aluminium w stanie ciekłym wraz ze wzrostem temperatury charakteryzują się dużą skłonnością do rozpuszczania wodoru. Proces uszlachetniania ma na celu uzyskanie wysokiej klasy jakości stopu pod względem niskiej ilości zanieczyszczeń i porowatości oraz korzystnej dla uzyskania wysokich właściwości mikrostruktury. System rafinacji barbotażowej zainstalowany na Wydziale Odlewnictwa AGH posiada możliwość rafinacji metodą wirującego dysku ciekłego metalu w sposób ciągły lub pulsacyjny ale również system wprowadzania w strumieniu gazu rafinującego zapraw proszkowych, soli. Materiał zaprawy proszkowej oraz gaz rafinujący stanowi mieszaninę fluidalną, która wprowadzona do ciekłego metalu ma wywoływać określone efekty. Może to być zintensyfikowanie oczyszczania metalu z zanieczyszczeń gazowych i niemetalicznych lub też uzyskanie zgarów o niskiej zawartości metalu lub też redukcji niekorzystnych pierwiastków, takich jak: sodu w aluminium przeznaczonych do przeróbki plastycznej lub wapnia w stopach aluminium-krzem. Prowadzone badania prowadzone są w kierunku wywołania zmian w procesie krystalizacji aluminium poprzez tworzenie się związków *in situ* w celu ograniczenia rozrostu kryształów. W pracy przedstawiono wybrane aspekty procesu uszlachetniania aluminium w systemie rafinacji barbotażowej, w kierunku doboru składu i granulacji soli zapraw proszkowych konstrukcji głowicy rotora, czy też systemu dozującego aby proces przebiegał bezproblemowo, a efekt implementacji był do przewidzenia.

Projekt badawczy dofinansowany w ramach programu "Inicjatywa doskonałości - uczelnia badawcza" dla AGH.

Projekt badawczy finansowany ze środków programu „Inicjatywa Doskonałości – Uczelnia Badawcza” w AGH w Krakowie

Aluminium as well as aluminium alloys are among the most commonly used metals and alloys due to their unique properties. Aluminium alloys, and especially pure aluminium in the liquid state with increasing temperature, are characterised by a high tendency to dissolve hydrogen. The process of improvements of metals aims to produce a high-grade alloy in terms of low impurities and porosity and a microstructure that is favourable for high properties. The barbotage refining system installed at the AGH Foundry Department has the possibility of refining by rotating disk, liquid metal in a continuous or pulsed manner but also a system for introducing powder mortars, salts in the refining gas stream. The powder mortar material and the refining gas constitute a fluidised mixture, which, when introduced into the liquid metal, is supposed to produce specific

effects. This could be to intensify the purification of the metal from gaseous and non-metallic impurities, or to achieve low melting-loss or reduction of unfavourable elements such as sodium in aluminium or calcium in aluminium-silicon alloys. Research is being conducted to induce changes in the crystallisation process of aluminium through the formation of in situ compounds to reduce crystal growth. This paper presents selected aspects process of improvements of the aluminium in a barbotage refining system, towards the selection of the composition and granulation of the powder mortar salts of the rotor head design or dosing system so that the process runs smoothly and the implementation effect is predictable.

Research project supported/partly supported by program „Excellence initiative – research university” for the AGH University

Bogusław Pisarek, Tomasz Szymczak, Bartłomiej Januszewicz, Marta Różycka
Lodz University of Technology, Poland

Analiza możliwości zastosowania obróbki cieplnej odlewów ze stopu EN AC-46000 wykonanych we wspomaganej próżnią technologii HPDC

Analysis of the Applicability of Heat Treatment of Castings of EN AC-46000 Alloy Made in Vacuum-Assisted HPDC Technology

Celem pracy było opracowanie parametrów technologicznych procesu obróbki cieplnej wyrobów ze stopu EN AC-46000 wykonywanych w wspomaganej próżnią technologii HPDC. Wykonane odlewy poddano obróbce cieplnej T6 zgodnie z opracowanym planem eksperymentu. Próbki zbadano pod kątem wybranych właściwości mechanicznych oraz obecności deformacji na powierzchni odlewów. Dokonano również analizy mikrostruktury odlewów. Przeprowadzono optymalizację parametrów technologicznych procesów przesycań i starzenia wykorzystując statystyczne metody badawcze, tj. dwuetapową metodę optymalizacji Boxa-Wilsona oraz regresję wielokrotną krokową w programie komputerowym Statgraphics Plus. Dokonano również symulacji przewidującej właściwości mechaniczne dla określonych parametrów procesów przesycań i starzenia, z których otrzymano zoptymalizowane wartości nastaw obu procesów.

The aim of the study was to develop technological parameters of the heat treatment process of EN AC-46000 alloy products made in vacuum-assisted HPDC technology. The castings were subjected to T6 heat treatment according to the developed experimental plan. The samples were examined for selected mechanical properties and the presence of deformations on the surface of the castings. The microstructure of the castings was also analyzed. Optimization of technological parameters of the solution heat treatment and aging processes was carried out using statistical research methods, i.e. the two-stage Box-Wilson optimization method and multiple step regression in the Statgraphics Plus computer program. A simulation was also made to predict the mechanical properties for specific parameters of the solution heat treatment and aging processes, from which optimized values of the settings of both processes were obtained.

Zastosowanie masy formierskiej na osnowie SiC w technologii odlewów warstwowych

Application of SiC based moulding sand in technology of layered castings

Artykuł dotyczy technologii odlewów warstwowych, w których część nośna wykonana jest z żeliwa szarego z grafitem płatkowym, a część robocza z wysokochromowej stali X46Cr13. Odlewy zostały wykonane przy użyciu metody preparowania wnęki formy z wykorzystaniem masy formierskiej na osnowie SiC. Celem badań było przeprowadzenie obróbki cieplnej stali X46Cr13 bezpośrednio w formie odlewniczej, co miało zostać osiągnięte poprzez dobór masy formierskiej o odpowiednich parametrach fizykochemicznych. Podczas zalewania i chłodzenia formy rejestrowano temperaturę na zewnętrznej powierzchni wkładki stalowej, aby sprawdzić, czy osiągnęła ona wymaganą temperaturę austenitizacji. Następnie przeprowadzono badania jakości połączenia między częścią nośną z żeliwa szarego a częścią roboczą ze stali, przeprowadzono badania mikrostrukturalne za pomocą mikroskopu świetlnego i skaningowego oraz zmierzono twardość na powierzchni stali X46Cr13. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że wysoka przewodność cieplna masy formierskiej na osnowie węgla krzemu dyskwalifikuje ją do użycia w analizowanej technologii integracji obróbki cieplnej stali X46Cr13 z procesem wytwarzania odlewu bimetalowego z żeliwa szarego. W mikrostrukturze stali, oprócz martenzytu, obecne były także perlit i ferryt. W związku z tym nie uzyskano zadowalającego wzrostu twardości powierzchni roboczej w porównaniu do stanu wyżarzonego stali X46Cr13, co ostatecznie potwierdziło, że hartowanie wkładki stalowej nie powiodło się.

The article concerns the technology of layered castings made with a system where the base part is made of gray cast iron with flake graphite and the working part is made of high-chromium steel X46Cr13. The castings were produced using mould cavity preparation method utilizing a molding sand based on SiC. The idea of the research was to perform heat treatment of X46Cr13 steel directly in the casting mould, with the success of this approach guaranteed by selecting molding sand with appropriate physicochemical parameters. During the pouring and cooling of the mould, the temperature on the outer surface of the steel insert was recorded to check if it reached the required austenitization temperature. The castings were then examined for the quality of the bond between the gray cast iron base part and the steel working part, microstructure studies were conducted using light and scanning microscopes, and hardness was measured on the surface of X46Cr13 steel. Based on the conducted research, it was found that the high thermal conductivity of the molding sand made with a silicon carbide base disqualifies it for use in the analyzed technology of integrating heat treatment of X46Cr13 steel with the process of producing a bimetal system with gray cast iron. In the microstructure of the steel, in addition to martensite, pearlite and ferrite were present. Therefore, a satisfactory increase in the hardness of the working surface compared to the annealed state of X46Cr13 steel was not achieved, which ultimately confirmed that the hardening of the steel insert was unsuccessful.

Oporność na kawitację powłok WCCoCr i CrCNI natryskiwanych metodą APS.

Cavitation resistance of WCCoCr and CrCNI coatings sprayed by the APS method

W artykule przedstawiono badania strukturalne oraz właściwości mechaniczne dwóch powłok natryskiwanych cieplnie metodą APS (Air Plasma Spraying) na podłożu ze stali kotłowej. Do wykonania powłok wykorzystano dwa proszki o różnym składzie chemicznym: Praxair W-121 (WCCoCr) na bazie węgla wolframu oraz Praxair CRC-410 (CrCNI) na bazie węgla chromu. W celu oceny jakości połączenia powłok z podłożem przeprowadzono test zarysowania (scratch test) z użyciem diamentowego węgelnika Rockwella przy stałym obciążeniu 10 N, w kierunku od podłoża do powłoki. Naniesione powłoki wykazały się dobrą adhezją do podłoża, co potwierdzono brakiem rozwarstwień. Przeprowadzono również badania mikrotwardości powłok, uzyskując średnie wartości: 886 HV_{0,2} dla powłoki WCCoCr oraz 904 HV_{0,2} dla powłoki CrCNI.

Ponadto powłoki i podłoża ze stali kotłowej poddano badaniom odporności na kawitację zgodnie z normą ASTM G32-16. Pomiaru profili chropowatości powierzchni przeprowadzono w stanie surowym oraz po 15, 30, 60 i 120 minutach kawitacji. Miarą zużycia kawitacyjnego była różnica wartości chropowatości powierzchni próbek w stanie wyjściowym i po czasie 120 minut kawitacji.

The article presents structural studies and mechanical properties of two coatings applied using the APS (Air Plasma Spraying) method on boiler steel substrate. Two powders with different chemical compositions were used for the coatings: Praxair W-121 (WCCoCr) based on tungsten carbide and Praxair CRC-410 (CrCNI) based on chromium carbide. To evaluate the quality of the bond between the coatings and the substrate, a scratch test was conducted using a Rockwell diamond indenter under a constant load of 10 N, moving from the substrate toward the coating. The applied coatings demonstrated good adhesion to the substrate, as confirmed by the absence of delamination. Microhardness tests of the coatings were also carried out, yielding average values of 886 HV_{0.2} for the WCCoCr coating and 904 HV_{0.2} for the CrCNI coating.

Additionally, the coatings and the boiler steel substrate were subjected to cavitation resistance tests according to the ASTM G32-16 standard. Surface roughness profiles were measured in the as-deposited state and after 15, 30, 60, and 120 minutes of cavitation exposure. The measure of cavitation wear was the difference in surface roughness values of the samples between the initial state and after 120 minutes of cavitation.

Grzegorz Radzioch ^a, Dariusz Bartocha ^b, Marcin Kondracki ^b

^aOras Olesno Sp. z o.o., ^bSilesian University of Technology, Poland

Wpływ dodatków stopowych na procesy skurczowe i odporność na korozję bezołowiowych mosiądzów odlewniczych

The Impact of Alloying Additives on the Shrinkage Processes and Corrosion Resistance of Lead-Free Casting Brasses

W artykule przedstawiono analizę porównawczą mosiądzu bezołowiowego (CB771) i zawierającego ołów (CB770). Badania miały na celu ocenę procesów skurczowych oraz odporności na korozję. Próbki CB771 o zmodyfikowanym składzie chemicznym, wzbogacone cynkiem, aluminium i cyną, zostały porównane z próbkami CB770 pod względem skurczu odlewniczego i podatności na odcynkowanie. Analiza dylatogramów wykazała, że różne dodatki stopowe w różny sposób wpływają na skurcz i stabilność wymiarową w wysokich temperaturach. Dodatki aluminium i cyny w znacznym stopniu poprawiły odporność na odcynkowanie. Natomiast dodatek cynku okazał się mniej skuteczny. Badania mikroskopowe potwierdziły, że stopy z dodatkami aluminium i cyny mają drobniejszą strukturę, co może przekładać się na wyższe właściwości mechaniczne. Wyniki sugerują, że stopy bezołowiowe mogą zastąpić tradycyjne stopy w zastosowaniach sanitarnych, zmniejszając negatywny wpływ ołowiu na środowisko i zdrowie publiczne

The article presents a comparative analysis of lead-free brass (CB771) and lead-containing brass (CB770). The study aimed to assess shrinkage processes and corrosion resistance. CB771 samples with modified chemical composition, enriched with zinc, aluminum and tin, were compared with CB770 samples in terms of casting shrinkage and susceptibility to dezincification. Dilatometric analysis revealed that different alloying additives affect shrinkage and dimensional stability at high temperatures in various ways. Aluminum and tin significantly improved resistance to dezincification, while the addition of zinc proved to be less effective. Microscopic examinations confirmed that alloys with aluminium and tin additives have a finer structure, which can translate to higher mechanical properties. The results suggest that lead-free alloys can replace traditional alloys in sanitary applications, reducing the negative impact of lead on the environment and public health.

Ocena jakości połączenia pomiędzy powłoką $ZrO_2\text{-}Y_2O_3$ z międzywarstwą NiAl a odlewem ze stopu AlSi7Mg z wykorzystaniem metody scratch test

Evaluation of the quality of the connection between the $ZrO_2\text{-}Y_2O_3$ coating with a NiAl interlayer and the AlSi7Mg alloy casting using the scratch test method

Dobre właściwości wytrzymałościowe w stosunku do wagi, niska wartość współczynnika rozszerzalności cieplnej, dobra odporność korozyjna sprawiają, że stopy aluminium-krzem są powszechnie stosowane na elementy i części maszyn. Stopy te, z uwagi na dobre właściwości mechaniczne oraz właściwości odlewnicze, znalazły zastosowanie na elementy dla przemysłu lotniczego i motoryzacyjnego, między innymi jako komponenty silników spalinowych: bloki silników, tłoki oraz głowice cylindrów. W komorze silnika, w której panują zmienne warunki wywołane spalaniem mieszanki paliwowo-powietrznej, elementy współpracujące takie jak tłoki i głowice, są narażone na oddziaływanie wysokiej temperatury, ciśnienia oraz szoku cieplnego, co może prowadzić do ich uszkodzenia. Jednym z rozwiązań poprawiających trwałość eksploatacyjną elementów silnika jest zastosowanie powłok typu TBC (Thermal Barrier Coating). Powłoki typu TBC, które charakteryzują się niską przewodnością cieplną, tworzą warstwę izolacyjną między strefą gorącą silnika, wywołaną spalaniem mieszanki paliwowo-powietrznej, a komponentami silnika. Zastosowanie powłok TBC, oprócz poprawy trwałości eksploatacyjnej silnika, zwiększa jego moc oraz zmniejsza zużycie paliwa bez konieczności dokonywania znaczących modyfikacji konstrukcyjnych silnika spalinowego. Praca stanowi pierwszy etap obszernych badań dotyczących poprawy trwałości eksploatacyjnej części silnika samochodowego ze stopu aluminium. Zaproponowany w pracy sposób poprawy ich trwałości eksploatacyjnej polega na zastosowaniu powłoki powłoką $ZrO_2\text{-}Y_2O_3$ z międzywarstwą NiAl. Podłoże stanowił odlew ze stopu AlSi7Mg. Ocenę jakości połączenia między warstwy z podłożem i międzywarstwy z powłoką wykonano w oparciu o wyniki badań scratch test (próba zarysowania). Obserwację obszaru zarysowania prowadzono z wykorzystaniem mikroskopu skaningowego (obrazy SEM). Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono brak rozwarstwień na granicy przejścia rysy z podłoża do międzywarstwy NiAl oraz z międzywarstwy do powłoki $ZrO_2\text{-}Y_2O_3$, co świadczy o bardzo dobrej jakości połączenia powłoki z odlewem. Wyniki badań scratch test i pomiary geometrii rysy wskazują na znacznie wyższą odporność na zarysowanie powłoki $ZrO_2\text{-}Y_2O_3$ w porównaniu do odlewu ze stopu AlSi7Mg.

Good strength properties in relation to weight, low thermal expansion coefficient, good corrosion resistance make aluminum-silicon alloys widely used for machine elements and parts. These alloys, due to their good mechanical properties and casting properties, have found application in components for the aviation and automotive industries, including as components of combustion engines: engine blocks, pistons and cylinder heads. In the engine chamber, where variable conditions prevail caused by the combustion of the fuel-air mixture, cooperating elements such as pistons and heads are exposed to high temperature, pressure and thermal shock, which can lead to their damage. One of the solutions improving the operational durability of engine components is the use of TBC type coatings (Thermal Barrier Coating). TBC type coatings, which are characterized by low thermal conductivity, create an insulating layer between the hot zone of the

engine, caused by the combustion of the fuel-air mixture, and the engine components. The use of TBC coatings, in addition to improving the operational durability of the engine, increases its power and reduces fuel consumption without the need for significant structural modifications of the combustion engine. The work is the first stage of extensive research on improving the operational durability of car engine parts made of aluminum alloy. The method of improving their operational durability proposed in the work consists in using a ZrO₂-Y₂O₃ coating with a NiAl interlayer. The substrate was a casting made of AlSi7Mg alloy. The assessment of the quality of the connection between the layers with the substrate and the interlayer with the coating was performed based on the results of the scratch test. The observation of the scratch area was carried out using a scanning microscope (SEM images). Based on the tests carried out, it was found that there were no delaminations at the scratch transition boundary from the substrate to the NiAl interlayer and from the interlayer to the ZrO₂-Y₂O₃ coating, which indicates a very good quality of the coating connection with the casting. The scratch test results and scratch geometry measurements indicate a significantly higher scratch resistance of the ZrO₂-Y₂O₃ coating compared to the AlSi7Mg alloy casting.

Mikrostruktura kompozytu Al-TiC wytworzonego techniką odlewania odśrodkowego

Microstructure of aluminium-TiC composite manufactured by centrifugal casting

Wykonano symulację numeryczną odlewania odśrodkowego materiału kompozytowego złożonego z aluminium i węgla tytanu z wykorzystaniem programu Visual-Cast. W celu weryfikacji wyników, wytworzono odlew tarczy z tego materiału. Wsad do wytopu stanowił kompozyt Al/TiC wykonany wcześniej metodą syntezy SHS-in bath. Tak otrzymany wsad ponownie przetopiono w piecu indukcyjnym i odlano do wirującej formy piaskowej z pionową osią obrotu. Wykonano badania mikroskopowe mikrostruktury na przekroju wykonanego odlewu tarczy o średnicy 150mm. Wyznaczono udział cząstek węgla tytanu oraz zmiany twardości w funkcji promienia tarczy. Wykazano, że cząstki rozłożyły się gradientowo na długości promienia. Uzyskano 50% większy udział cząstek w zewnętrznej części odlewu w porównaniu do części wewnętrznej. Wyniki symulacji nie potwierdziły danych uzyskanych doświadczalnie

A numerical simulation of casting a metal matrix composite consisting of aluminium and TiC reinforcement was carried out by Visual-Cast software. For verification of the results of the numerical experiment, a disc-shaped centrifugal composite casting was manufactured. The charge was consisted of Al/TiC composite previously produced at SHS in the bath synthesis process. This charge was re-melted in an electric induction furnace and then poured into the mould made of furan sand, which rotated on a vertical axis. The microstructure examinations were carried out parallel to the radius of the manufactured disc (150mm in diameter) by SEM and LM. It was shown that the casting hardness and volume fraction of the reinforcement was a smooth gradient from outer area to the inner area of the casing. A 50 % higher volume fraction of particles was observed in the outer zone of the casting compared to the zone near the axis of rotation. The results of the numerical simulation have not been confirmed in the real experiment.

Charakterystyka austenitu szczątkowego w stopowym staliwie narzędziowym GX70CrMnSiNiMo2

Characteristics of retained austenite in GX70CrMnSiNiMo2 alloy tool steel

Powszechnie uważa się, że austenit szczątkowy ma niewielką twardość i jest powodem przyspieszonego zużycia elementów. W pracy wykazano, że austenit szczątkowy ma zbliżoną twardość do twardości martenzytu i może ona wynosić nawet blisko 900HV0.2 a jego udział objętościowy słabo zależy od intensywności chłodzenia ośrodka podczas hartowania i dla badanego stopu wynosi około 21%. Zmniejszenie szybkości chłodzenia przez zastosowanie chłodzenia w powietrzu, kiedy to szybkość chłodzenia jest najmniejsza, wtedy V_v Asz rośnie, nawet do (31%) a jego twardość jest najmniejsza i znacznie maleje do wartości nieco ponad 800HV0.2, podobnie jak twardość martenzytu, która obniża się średnio do twardości blisko 850HV0.2. Występowanie Asz i jego wysoką twardość należy wiązać z segregacją pierwotną takich pierwiastków jak: C, Cr, Mn, Si, Ni, M, których zawartość w obszarach międzydendrytycznych jest największa.

It is commonly believed that retained austenite has low hardness and is the cause of accelerated wear of components. This study shows that retained austenite has hardness similar to martensite and the values obtained can even come close to 900HV0.2. The cooling rate of the medium during hardening has but only a very insignificant effect on the volume fraction of retained austenite and for the tested alloy it approaches 21%. Reducing the cooling rate by using air cooling, which provides the lowest cooling rate, makes the volume fraction V_v of the retained austenite Asz increase even to 31%, while its hardness is the lowest and significantly decreases to a value slightly above 800HV0.2, similarly to the hardness of martensite, which decreases on average to a value close to 850HV0.2. The occurrence of the retained austenite Asz and its high hardness should be associated with the primary segregation of elements such as C, Cr, Mn, Si, Ni, M, whose content in the interdendritic areas is the highest.

Bartosz Tokarski^a, Jan Jezierski^b, Marcin Janczak^a
^aHydro-Vacuum S.A. ^bSilesian University of Technology, Poland

Wpływ dodatków stopowych na przemianę eutektyczną żeliwa wysokochromowego

The Impact of Alloying Additions on the Eutectic Transformation of High-Chromium Cast Iron

W artykule opisano wpływ dodatków stopowych takich jak tytan, bor i niob na przemianę eutektyczną żeliwa wysokochromowego zawierającego znaczną ilość azotu, badanie prowadzono w warunkach przemysłowych jednej z polskich odlewni. Badanie wpływu dodatków stopowych mierzono ich wpływem na punkty charakterystyczne krzywych krystalizacji stopu rejestrowanych urządzeniem do analizy termicznej żeliwa. W artykule analizie poddano wyłącznie zakres przemiany eutektycznej nie rejestrując na krzywej punktów charakterystycznych dla temperatury likwidus badanego żeliwa. Zbadano również wpływ dodatków na mikrostrukturę żeliwa zawierającego 32% chromu i 2% węgla. W artykule ukazano również uzyskane właściwości mechaniczne oraz twardość w stanie lanym takiego żeliwa.

The article describes the effect of alloying additives such as titanium, boron and niobium on the eutectic transformation of high chromium cast iron containing a significant amount of nitrogen, the study was conducted under industrial conditions of one of Polish foundries. The study of the influence of alloying additives was measured by their effect on the characteristic points of alloy crystallisation curves recorded with a device for thermal analysis of cast iron. In this paper, only the range of eutectic transformation was analyzed without recording the characteristic points of the liquidus temperature of the studied cast iron on the curve. The effect of additives on the microstructure of cast iron containing 32% chromium and 2% carbon was also studied. The article also shows the obtained mechanical properties and hardness in the poured state of such cast iron.

Analiza zjawiska okluzji powietrza w układzie doprowadzającym dla wybranego procesu HPDC

Analysis of the air occlusion phenomenon in the runner system for the selected HPDC process

Odlewnictwo ciśnieniowe aluminium jest jedną z najpopularniejszych metod odlewania stosowaną w przemyśle. Biorąc pod uwagę ilość oraz stopień skomplikowania procesów zachodzących podczas produkcji, połączonych z wysoką wydajnością, istnieje duże ryzyko pojawienia się niepożądanych zjawisk, które wpływają na jakość odlewów. Zjawiska te mogą mieć charakter incydentalny, wynikający z „naturalnej” zmienności procesu. Natomiast powtarzalny charakter zjawisk niepożądanych może wynikać przykładowo z błędów konstrukcji gałązki odlewniczej lub wprost z ustawienia procesu. Połączenie powtarzalnych błędów z wysoką wydajnością zwiększa ryzyko wytworzenia dużej ilości odlewów niezgodnych z wymaganiami klienta, generując przy tym ogromne koszty produkcyjne. Przykładem niepożądanego zjawiska, który może mieć charakter powtarzalny jest okluzja powietrza podczas wypełnienia wnęki formy. Ta skutkuje nasileniem wad takich jak porowatość gazowa czy zanieczyszczenia tlenkowe. Najobszerniej przeanalizowano i opisano zjawisko to z punktu widzenia komory wlewowej. Konstrukcja wyrobu i prędkość wypełnienia są najtrudniejsze, czasem niemożliwe do modyfikacji, dlatego też analiza skupia się na optymalnym zasilaniu, a skala problemu minimalizowana przez zastosowanie próżni. Układ doprowadzający również może być obszarem wystąpienia okluzji. W odróżnieniu od odlewu, jego konstrukcja doskonale nadaje się do modyfikacji na etapie projektowania.

W artykule przedstawiono przykład zjawiska okluzji powietrza na etapie przepływu ciekłego metalu przez układ doprowadzający. Problem ten jest często pomijany, natomiast jego skala i konsekwencje są trudne do zdefiniowania. Na podstawie przeprowadzonych symulacji płynięcia oraz ciśnienia zauważono występowanie tego problemu. Stwierdzono zależność od konstrukcji układu doprowadzającego, prędkości przepływu ciekłego metalu.

Aluminium die casting is one of the most popular casting method used in industry. The complexity of processes happening during production, combined with high efficiency, generate a high risk of undesirable phenomena occurring that affect the quality of castings. These phenomena may be incidental, resulting from the "natural" variability of the process. However, the repeatable nature of undesirable phenomena may result, for example, from errors in the construction of the casting tree or directly from the process setting. The combination of repeatable errors with high efficiency increases the risk of producing a large number of castings that do not meet the customer's requirements.

An example of an undesirable phenomenon that may be repeatable is air occlusion during the filling of the mould. This results intensify defects such as gas porosity or oxide contamination. This phenomenon has been most extensively analysed and described from the pouring chamber

point of view. The product design and filling speed are the most difficult, sometimes impossible to modify, therefore the analysis focuses on optimal gating. The scale of the problem is minimized by the use of vacuum. The runner system can also be an area of occlusion. Unlike the casting, its design is good for modification at the design stage.

The article presents an example of the air occlusion phenomenon at the stage of liquid metal flow through the runner system. This problem is often omitted, but its scale and consequences are difficult to define. Based on the flow and pressure casting simulations, the occurrence of this problem was noticed. It was noted that occlusion is dependent on the flow rate of the liquid metal and the design of the runner system.

Dawid Witasiak^{a,b}, Aldona Garbacz-Klempka^a, Janusz Kozana^a, Marcin Piękoś^a, Marcin Papaj^b, Piotr Papaj^b

^aAGH University of Science and Technology, Poland, ^bZakład Odlewniczy METAL-KOLOR sp. z o.o.

Badanie szczelności odlewów metodą spadku ciśnienia. Wpływ dodatków stopowych oraz zawartości cyny na szczelność odlewów z brązu CuSn10.

Leak test of castings using the pressure change method. Effect of alloying additives and tin content on the tightness of CuSn10 bronze castings.

Nieszczelność odlewów stanowi istotny problem w przemyśle odlewniczym, wpływający na jakość oraz użyteczność produkowanych komponentów. W celu weryfikacji wymaganej szczelności testom zostały poddane odlewy wykonane warunkach przemysłowych na terenie Zakładu Odlewniczego METAL-KOLOR w Starachowicach, w technologii klasycznych mas formierskich. Odlewy wykonano ze stopu odlewniczego CuSn10 (wg EN 1982, PN-91/H87026). Wytopy doświadczalne cechowały się zmienną zawartością cyny oraz wprowadzonymi dodatkami stopowymi.

Zakres badań obejmował analizę mikrostruktury stopów przy użyciu mikroskopii optycznej oraz skaningowej mikroskopii elektronowej z analizą składu chemicznego w mikroobszarach metodą spektroskopii dyspersji energii (SEM-EDS), a także testy szczelności, które wykonano za pomocą urządzenia FORTEST model T8060. Test szczelności polegał na pomiarze różnicy ciśnień między wartością zadaną na aparaturze, a zmierzoną w odlewie po czasie 60 sekund, przy ciśnieniu roboczym 3 atm. Badania prowadzono na terenie Zakładu Odlewniczego METAL-KOLOR oraz w laboratoriach i Odlewni Doświadczalnej na Wydziale Odlewnictwa Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie.

Badania zostały zrealizowane w ramach doktoratu wdrożeniowego nr 68.10.170.07250/B148 oraz subwencji nr 16.16.170.654/B407.

Leakage of castings is a significant problem in the foundry industry, affecting the quality and usability of manufactured components. In order to verify the required tightness, made a series castings under industrial conditions at the METAL-KOLOR Foundry in Starachowice, the mould was made from green sand technology. The castings were made of CuSn10 casting alloy (according to EN 1982, PN-91/H87026). The experimental smelts were characterized by variable tin content and introduced alloying additives.

The scope of the study included analysis of the microstructure of the alloys using optical microscopy and scanning electron microscopy with micro-area chemical composition analysis by energy dispersive spectroscopy (SEM-EDS), as well as leakage tests, which were performed using a FORTEST model T8060. Leak test measured the pressure difference between the set value at the inlet and the value recorded inside the casting after a specified time. The working pressure was set to 3 atm, and the measurement duration was 60 seconds.

The research was carried out in the area of METAL-KOLOR and at the Faculty of Foundry of the AGH University of Science and Technology in Krakow.

The research was carried out implementation PhD programme no. 68.10.170.07250/B148 and subvention no. 16.16.170.654/B407

Sterowanie procesem wypełniania wnęk wielkogabarytowych form piaskowych zalewanymi stopami żelaza

Controlling the process of filling cavities in large-sized sand molds poured with iron alloys

Zalewania wielkogabarytowych form piaskowych charakteryzuje się szeregiem specyficznych cech, w większości utrudniających uzyskanie odlewów bez wad. Z uwagi na małą termiczną odporność form piaskowych wytwarzanych najczęściej z mas ze spoiwami organicznymi (mas furanowych) zachodzi konieczność szybkiego zapełniania form w czasie nie dłuższym niż około 120min. Ponadto z wielu względów formy zalewane są syfonowo. Negatywne zjawiska, które występują podczas zalewania to: skłonność do przenoszenia żużla ze zbiornika wlewowego do formy, zjawisko „fontanny” metalu z wlewów umieszczonych w dnie wnęki formy, zmniejszająca się szybkość podnoszenia metalu we wnęcie formy w końcowej fazie zalewania. W pracy prezentowane są autorskie rozwiązania testowane przy wytwarzaniu odlewów wlewnic i kadzi żużlowych żeliwnych. Wykazano znaczącą poprawę procesu zalewania tak od strony bezpieczeństwa, jak i zwiększenia jakości uzyskiwanych odlewów wytwarzanych. Testy prowadzono w Odlewni Krakodlew S.A.

Praca wykonana w ramach projektu: Nr POIR.01.01.01-00-0633/16.

Pouring large-size sand molds is characterized by a number of specific features, most of which make it difficult to obtain defect-free castings. Due to the low thermal resistance of sand molds, most often made of masses with organic binders (furan masses), it is necessary to quickly fill the molds in no longer than about 120 minutes. Moreover, for many reasons, the molds are poured siphonally. Negative phenomena that occur during pouring include: a tendency to transfer slag from the pouring tank to the mold, the phenomenon of "fountain" of metal from the sprues placed at the bottom of the mold cavity, and a decreasing speed of metal lifting in the mold cavity in the final phase of pouring. The work presents original solutions tested in the production of ingot mold castings and cast iron slag ladles. A significant improvement in the pouring process was demonstrated, both in terms of safety and the increase in the quality of the resulting manufactured castings. The tests were carried out at Odlewnia Krakodlew S.A. Work performed as part of the project: Nr POIR.01.01.01-00-0633/16.