

LIVARSKI VESTNIK

Izdajatelj / Publisher:

Društvo livarjev Slovenije
Lepi pot 6, P.P. 424, SI-1001 Ljubljana
Tel.: ++ 386 1 25 22 488
Fax: ++386 1 426 99 34
E-mail: drustvo.livarjev@siol.net
www.drustvo-livarjev.si

**Glavni in odgovorni urednik /
Chief and responsible editor:**

prof. dr. Alojz Križman
E-mail: probatus@trieria.net

Tehnično urejanje / Technical editing:
mag. Mirjam Jan-Blažič**Uredniški odbor / Editorial board:**

prof. dr. Alojz Križman, Univerza v Mariboru
prof. dr. Primož Mrvar, Univerza v Ljubljani
prof. dr. Jožef Medved, Univerza v Ljubljani
doc. dr. Gorazd Lojen, Univerza v Mariboru
prof. dr. Andreas Bührig-Polaczek, Giesserei
Institut RWTH Aachen
prof. dr. Peter Schumacher, Montanuniversität
Leoben
prof. dr. Reinhard Döpp, TU Clausthal
prof. dr. Jozef Suchy, AGH Krakov
prof. dr. Jaromir Roučka, Institut Brno
prof. dr. Faruk Unkić, Univerza Zagreb
dr. Milan Lampič, Fritz Winter, Stadtallendorf

**Prevod v angleški jezik /
Translation into English:**

prof. dr. Andrej Paulin,

Lektorji / Lectors:

Angleški jezik / English:
dipl. ing. Peter Haensel, Düsseldorf
Slovenski jezik / Slovene:
prof. Janina Šifrer

Tisk / Print:

Fleks d.o.o.

Naklada / Circulation:

4 številke na leto / issues per year
800 izvodov / copies

Letna naročnina: 35 EUR z DDV

Year subscription: 35 EUR (included PP)

Dano v tisk: junij 2016



Naslov/Address:
FerroČrtalič d.o.o.
Sela pri Dolenjskih Toplicah 47
SI-8350 DOLENJSKE TOPLICE

Direktor: Bojan Črtalič

Tel.: +386 (0)7 38 45 100
Fax: +386 (0)7 38 45 115
E: info@ferrocrtalic.com
<http://ferroecoblast.com>

VSEBINA / CONTENTS

Stran / Page:

Milan Topić, Karin Tschiggerl, Mathias Rauter, Klaus Doschek, Hubert Biedermann, Harald Raupenstrauch: Livarski proizvodi in njihova dodana vrednost pri ovrednotenju njihovega življenjskega cikla / Foundry Products and Their Added Value in the Life Cycle Assessments	60
Zdenka Zovko Brodarac, Josip Kalinić, Vanja Šuica: Strjevalno zaporedje v zlitini AISi11 / Solidification Sequence of AISi11 alloy	81
M. Vončina, V. Tubin, P. Mrvar, J. Medved: Spajanje zlitin AA1170 in AA6060 / Bonding of AA1170 and AA6060 alloys	97

AKTUALNO / ACTUAL

Razgovor z letošnjim dobitnikom nagrade Gospodarske zbornice za izjemne gospodarske in podjetniške dosežke, g. Borutom Triplatom, direktorjem družbe OMCO FENIKS Slovenija d.o.o.	109
60. avstrijsko livarsko posvetovanje - Bad Ischl 2016	114
Program / Programme: 56. mednarodno livarsko posvetovanje Portorož 2016 / 56 th International Foundry Conference Portorož 2016	80
Koledar livarskih dogodkov	96

Izdajanje Livarskega vestnika sofinancira Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije
Publishing supported by Slovenian Research Agency
Livarski vestnik je vpisan v razvid medijev Ministrstva za kulturo pod zaporedno številko 588

Milan Topić¹, Karin Tschigge¹, Mathias Rauter², Klaus Doschek², Hubert Biedermann¹, Harald Raupenstrauch²

¹ Katedra za ekonomski in poslovni menedžment, Montanistična univerza / Chair of Economic and Business Management / Montanuniversitaet, Leoben, Avstrija / Austria

² Katedra za toplotno procesno tehnologijo, Montanistična univerza / Chair of Thermal Processing Technology, Montanuniversitaet Leoben Leoben, Avstrija / Austria

Livarski proizvodi in njihova dodana vrednost pri ovrednotenju njihovega življenjskega cikla

Foundry Products and Their Added Value in the Life Cycle Assessments

Povzetek

Naraščajoči stroški energije, novi okoljski predpisi in skrbi glede zanesljivosti energije so povzročili, da se industrija trudi zmanjšati rabo energije in povečati njeno izkoriščenost. Mednarodni in nacionalni zakonodajalci so razvili različne pravne okvirje za izvajanje strategij varčevanja z energijo. Zadnji prispevek k temu je začetek uveljavitve evropske direktive o energijski učinkovitosti, ki se na avstrijski nacionalni ravni uporablja kot zakon o energijski učinkovitosti. Predvsem energijsko intenzivne industrije, npr. livarska industrija, morajo zmanjšati svojo rabo energije, da se poveča energijska učinkovitost in izboljša odnos do okolja. Da bi se izpolnili načrti in cilji, ki jih je postavil zakonodajalec, se mora uporabiti integriran pristop k ukrepom za doseg energijske učinkovitosti s posebnim poudarkom na tehničnih, ekonomskih in ekoloških metodah in ocenah.

Za analiziranje potenciala učinkovitosti v livarski industriji so razvili modulni večnivojski pristop. Model/pristop je nastal s sodelovanjem nosilcev izkušenj in nosilcev znanja v okviru Avstrijske gospodarske zbornice – Združenja avstrijske livarske industrije in njihovih trgovinskih partnerjev na eni strani ter Montanistične univerze Leoben in Avstrijskega inštituta za livarske raziskave (ÖGI) na drugi strani. Pristop omogoča spoznati dejansko rabo energije za procese in izdelke, kar pripelje do boljšega razumevanja nastalih stroškov. Poleg tega ta metodologija razpozna potenciale energijske učinkovitosti in jih združuje v model, ki sloni na pristopu načrtovanja, ocenjevanja in optimizacije rabe energije v livarski industriji. Te mere imajo lahko pozitivne učinke na faze življenjskega cikla izdelka.

Poleg tehničnih in ekonomskih ukrepov predstavlja ocenjevanje življenjskega cikla (LCA – life cycle assesment) pomemben del razvitja modela. LCA omogoča izdelati metodo za ocenjevanje vpliva materiala izdelka in energijskih tokov po vsej dobavni verigi od pridobivanja surovin do konca življenjske dobe uporabnosti izdelka. Metoda sloni na ISO-standardu 14040ff, ki opisuje osnove in okvir za ocenjevanje življenjskega cikla in vključuje: definicijo cilja in obseg LCA, analizo popisa življenjskega cikla (LCI – life cycle inventory), oceno vplivov življenjskega cikla (LCIA – life cycle impact analysis) in tolmačenje življenjskega cikla.

Glede na cilje projekta in interese raziskave se model osredotoča na tri kazalnike vplivov, ki so pomembni za livarsko industrijo: (1) potencial globalnega segrevanja (GWP – global warming potential), (2) celotna potreba po energiji (CED – cumulative energy demand) in (3) celotna potreba po materialih (CMD – cumulative material demand). Koristi

ocenjevanja življenjskega cikla za livarsko industrijo obsegajo identifikacijo potenciala izboljšav okoljskih značilnosti izdelkov, kako priti do informacije za strateško planiranje, postavitev prednosti, razvoj izdelka in procesa kot tudi utemeljitve pri prodaji izdelka.

Ključne besede: ocenjevanje življenjskega cikla, livarstvo, energijska učinkovitost

Abstract

Rising energy costs, new environmental regulations and concerns about energy security are causing industries to conduct efforts to reduce energy consumption and increase energy efficiency. The international and the national legislator are developing different legal framework conditions to support the implementation of energy saving strategies. A recent contribution to this issue is the commencement of the European Energy Efficiency Directive, which at Austrian national level finds its application in the form of the energy efficiency law. Particularly the energy-intensive industries (e.g. foundry industry) are faced to reduce their energy consumption, to increase energy efficiency and improve their environmental performance. In order to fulfill the plans and targets given by the legislator's an integrated approach on energy efficiency measures has to be used with special focus on the technical, economic and ecologic methods and assessments.

For the investigation of the efficiency potential in the foundry industry, the modular-based, multilevel approach was developed. The model/approach was generated through collaboration between the experience and know-how of the Austrian Economic Chamber - Association of Austrian foundry industry and their commercial partners, and science, i.e. the Montanuniversitaet Leoben and the Austrian Foundry Research Institute (ÖGI). The approach enables the derivation of actual energy consumption of processes and corresponding manufactured products, and leads therefore to a better understanding of cost generation. Moreover, the methodology identifies energy efficiency potentials and merges them to a model based approach for the planning, evaluation and optimization of energy consumption in the foundry industry. These measures can show positive effects on the phases of the product lifecycle.

Aside the technical and economic measures, the life cycle assessment (LCA) represents an important part of the model development. LCA provides a method of assessing the environmental impacts of a product material and energy flows across the whole supply chain, from raw material extraction to end of life recycling or disposal. The method is based on ISO Norm 14040ff which describes the principles and framework for life cycle assessment (LCA) including: definition of the goal and scope of the LCA, the life cycle inventory analysis (LCI), the life cycle impact assessment (LCIA) and the life cycle interpretation.

Regarding the aims of the project and research interests the model focuses on three impact indicators relevant for the foundry industry: (1) Global Warming Potential (GWP), (2) Cumulative Energy Demand (CED) and (3) Cumulative Material Demand (CMD). The benefits for the foundry industry from life cycle assessment include the identification of improvement potential of environmental characteristics of products, the purchase of information for strategic planning, priority setting, product and process development, as well as arguments for the marketing of products.

Keywords: Life cycle assessment, foundry, energy efficiency.

1. Uvod

Povečanje prebivalstva, hitra urbanizacija in višanje življenjskega standarda občutno povečuje rabo energije po vsem svetu. Kljub omejenim virom in naraščajočim cenam surovin ima dostop do virov energije in njena raba v Evropi vse večjo vlogo. Odvisnost držav EU od uvoza fosilnih goriv izjemno močno vpliva na njihove trgovske bilance, kar pomeni, da se s tem zmanjšuje njihova kupna moč. Zato je eden od bistvenih elementov vzdušja v EU in energijske politike potreba po izboljšanju energijske učinkovitosti. V okviru strategije Evropa 2020 za pametno, sonaravno in vseobsežno rast si je Evropska unija leta 2008 postavila cilje »20-20-20« za doseganje zelenih učinkov glede podnebja in energije. Eden od ciljev je zmanjšati rabo primarne energije za do 20 % [1]. Za doseg tega cilja je Evropska komisija postavila energijsko učinkovitost v središče in začrtala novo strategijo energijske učinkovitosti, ki bo omogočila vsem članicam ločiti rabo energije od ekonomske rasti. V skladu s tem je EU izdala direktivo 2012/27/EU (EED) o energijski učinkovitosti, ki se navezuje na direktivi 2004/8 / EC in 2006/32 / EC 22. Glavni cilj nove direktive je vzpostaviti splošen okvir ukrepov za vzpodbujanje energijske učinkovitosti v EU. Določa tudi usmeritve za čim večje zmanjšanje ovir na energijskem trgu in obvladovanje nezmožnosti trga, da zavira učinkovitost pri dobavi in rabi energije [2]. Npr. EED vsebuje obveze, ki naj bi si jih vsaka članica EU postavila za svoj pomemben cilj pri nacionalni energijski učinkovitosti, ki sloni na primarni kot končni rabi energije. Izvajanje energijske učinkovitosti bo zmanjšala stroške za energijo, odliv kapitala v države izvoznice nafte in zemeljskega plina ter rešila pomembne investicije v domače gospodarstvo.

1. Introduction

Increasing population, rapid urbanization and the growth of living standards have significantly accelerated the energy consumption in countries around the world. Thorough the limited re- sources and raising raw material prices, access and use of energy resources is playing an increasingly important role in Europe. The dependence of EU countries on imports of fossil fuels strain the foreign trade balance extremely, making it that purchasing power and benefits from the countries flow out. Therefore, one of the essential elements of the European climate and energy policy is to improve the energy efficiency. With the Europe 2020 Strategy for smart, sustainable and inclusive growth, the European Union (EU) lanced in 2008 the "20-20-20" objectives" defining the climate/ energy targets. One of the targets is to reduce the primary energy consumption up to 20% [1]. In order to achieve the targets, the European Commission (EC) places energy efficiency in the focus and outlines the need for a new energy efficiency strategy that will enable all Member States to decouple energy use from economic growth. Furthermore, in this context the EC has launched the Directive on Energy Efficiency 2012/27/EU (EED) and repealing Directives 2004/8 / EC and 2006/32 / EC 22. The main goal of the new Directive is to establish a common framework of measures for the promotion of energy efficiency within the Union. Further, it defines the directions to minimize the obstacles in the energy market and overcome market failures that impede efficiency in the supply and use of energy [2]. For instance, the EED contains the obligations that each Member State shall set an indicative national energy efficiency target, based on either primary or final energy consumption, primary or final energy savings, or energy intensity.

Da bi se doseglo cilje, je Evropska komisija predlagala, da se cilji EU prenesejo v cilje in usmeritve posameznih držav. V Avstriji so to direktivo vpeljali kot Zvezni zakon BGBl I Nr. 72/2014 (EEG) o energijski učinkovitosti [3]. Glavni namen zakona je stabilizirati končno rabo energije v Avstriji (2020) pri 1 050 J/leto, preverjanje ukrepov za energijsko učinkovitost 310 PJ v letih 2014—2020 (ekvivalent 1,5 % avstrijskih končnih potreb po energiji; izboljšanje učinkovitosti dobaviteljev energije na področju energijske učinkovitosti; povečanje deleža obnovljive energije; zmanjšanje emisij toplogrednih plinov in izboljšanje razmerja med dovedeno in rabljeno energijo. Zakon podrobno določa zakonske obveze za velika podjetja, da razvijejo sistem upravljanja z energijo ali da izpeljejo preverjanje rabe energije, dobaviteljev energije za izboljšanje energijske učinkovitosti pri lastnih ali tretjih končnih uporabnikih, obvezo za zvezno vlado, da vodi tako politiko npr. z obnovo zveznih zgradb in da ponudi javnosti ukrepe za energijsko učinkovitost. Izvajanje zakona naj bi nadzorovale agencije za stalni nadzor, ki bi bile odgovorne za ocenjevanje ukrepov učinkovitosti in njihovo nadzorovanje. Trenutno to delo opravlja državna nadzorna agencija za energijsko učinkovitost.

EED in EEG pokrivata ne samo velike industrije ampak tudi elektrarne, javni sektor in transportna podjetja. A je energijska učinkovitost industrije bistvena. Posebno za energijsko intenzivne industrije (npr. livarsko industrijo) je to izziv, da občutno zmanjša rabo energije, poveča svojo energijsko učinkovitost in zmanjša vplive na okolje ter tako doseže postavljene cilje [4].

Pomembna vsebina in cilj EEG je zmanjšanje emisij toplogrednih plinov. V praksi in znanosti se vpliv industrije na okolje meri z znanstveno metodo ocenjevanja življenjskega cikla (LCA) [5]. V zadnjih letih je LCA postala vse bolj pomembna, ker se

The implementation of energy efficiency reduces energy costs, the capital outflow in exporting countries for oil and gas and solves significant investment for the domestic economy.

In order to ensure the achievement of the goals the EC proposed that the EU goals should be translated into national targets and trajectories. In Austria, the implementation of the Directive was carried out in form of the Federal Energy Efficiency Act BGBl I Nr. 72/2014 (EEG) [3]. The main objectives of the Act are stabilization of final energy consumption in Austria (2020) at 1,050 PJ / a; verification of energy efficiency measures between 2014-2020 of 310 PJ (equivalent to 1.5% of the Austrian final energy demand); improving the performance of energy suppliers in the field of energy efficiency; increasing the share of renewables in the energy mix; reduction of greenhouse gas emissions and improvement of input-output ratio. In detail the Act defines the legal obligation for big companies to develop an energy management system or to conduct energy audits, energy suppliers to improve energy efficiency via own or third party end-customers, for the Federal Government to lead by example, e.g. in connection with the restructuring of federal buildings, and for public invitation to tender energy efficiency measures. The implementation of the law should be enforced by a monitoring agency that will be responsible for the evaluation of the efficiency measures, as well as monitoring. Currently the National Energy Efficiency monitoring agency performs this task.

This EED and EEG cover not only large industries, but also power generating companies, as well as the public sector and transport. However, the energy efficiency for the industries is essential. Especially energy intensive industries (e.g. foundry industry), are challenged to reduce their energy

jo lahko uporabi tako za izdelke kot procese. Na eni strani se jo lahko uporabi kot izjavo o izdelku in kot marketinško utemeljitev, na drugi strani pa za vrednotenje vplivov različnih variant na okolje, da se pride do strateških in obratovalnih odločitev na področju obdelanih informacij. Številne industrije, ki jih oskrbuje livarska industrija, kažejo zanimanje za okoljske vidike uporabljenih sestavin/izdelkov.

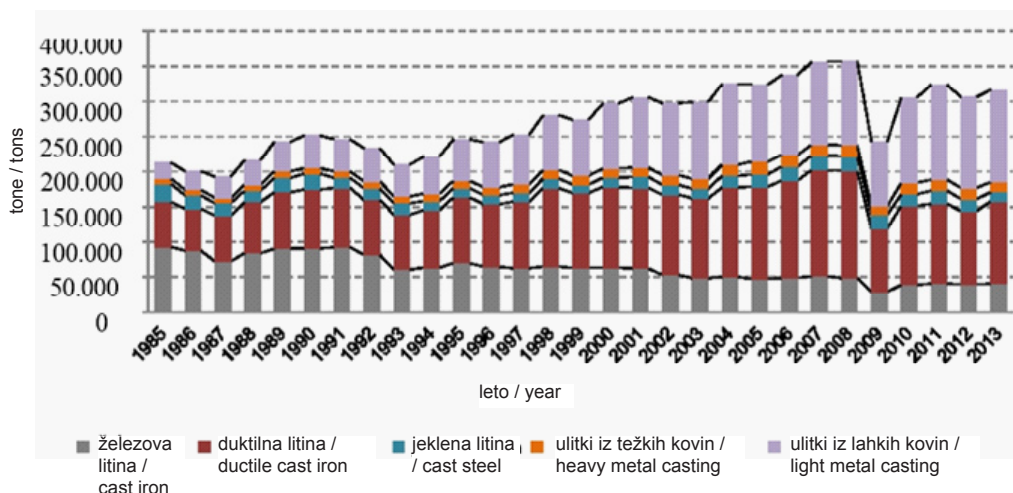
2. Zakon o energijski učinkovitosti – izziv za avstrijsko livarsko industrijo

Avstrijsko livarsko industrijo uradno predstavlja livarska zveza, v kateri je včlanjenih 43 industrijskih livarn (stanje 2013). Po strukturi izdelkov je 16 livarn železa, 23 livarn neželeznih kovin in štiri livarne, ki izdelujejo izdelke iz železove litine in neželeznih kovin. V vseh livarnah je zaposlenih 7 154 ljudi. Dve podjetji imata po več kot 500 zaposlenih, 10 po 200–500, 8 po 100–200 in 23 po manj kot 100 zaposlenih.

consumption noticeably, to increase their energy efficiency and their environmental performance in general to reach the given target values [4].

Important content and the goal of the EEG is the reduction of the greenhouse gas emissions. In praxis and science, the environmental impact from industry is measured through the scientific method Life Cycle Assessment (LCA) [5]. In the recent years LCA is becoming increasingly

important, whereby it can be carried out for both products, as well as processes. On the one hand, it is applied in the context of product declarations and as a marketing argument. On the other hand, it is used to evaluate the environmental impacts of different alternatives in order to provide strategic and operational decisions in the field of processed information. Numerous industries, which are supplied by the foundry industry, are showing interest in the environmental aspects of the used components/products.



Slika 1. Proizvodnja avstrijske livarske industrije (1985-2013) [6]

Figure 1. Production development of the foundry industry in Austria (1985-2013); source [6]

Celotna proizvodnja v letu 2013 je bila 316 795 ton in se je v primerjavi z letom 2012 povečala za 3,4 %. Od tega je bilo 42 % ulitkov iz lahkih kovin, 37 % iz duktilne litine, 13 % iz železove litine, 5 % ulitkov iz težkih kovin in 4 % iz jeklene litine (slika 1). Celoten prihodek sektorja, ki se je v letu 2012 povečal za 0,6 %, je bil 1,34 milijarde EUR. Okoli 80 % izdelkov je bilo izvoženih. Glavnina je bila za avtomobilsko industrijo. Ostali končni izdelki so cevi, cevni priključki in valji [6].

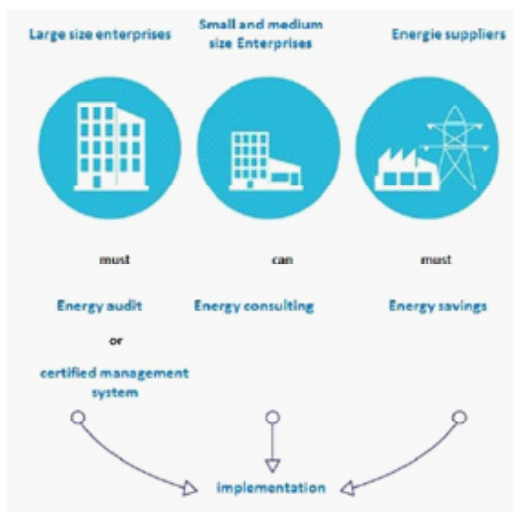
V Avstriji so se že desetletja trudili, da bi vpeljali ukrepe za varčevanje z energijo z namenom zmanjšati sorazmerno velike potrebe po energiji v livarski industriji [7,8,9]. Dichtl (2012) je zagovarjal dejstvo, da je enodimenzijski pogled na potrebe po energiji treba vzeti kot kritičen in negativen z ekološkega in ekonomskega vidika, sicer bo razvoj inovacij in izdelkov začel stagnirati. Poleg tega se morajo livarne osredotočiti na potencialne za varčevanje z energijo z izrabo odpadne toplote, optimizacijo procesov in izdelkov, optimizacijo toplotne obdelave itn. Na drugi strani je Bosse s sodelavci (2013) zagovarjal dejstvo, da raba obnovljive energije ni tehnični problem (npr. elektrika ali biomasa) v livarnah in da bi lahko bilo 97–98 % vse energije zelena energija [10]. Predlagali so, da bi bila v prihodnje raba zelene energije v livarnah odvisna od fleksibilnosti livarskih procesov in od zaposlenih v livarnah. Dejanska raba energije v livarnah je močno odvisna od materiala; pri dobri tehnologiji litja je raba 6 do 30 GJ/t in zajema 2–10 % proizvodnih stroškov. Najpomembnejši kazalniki so masa ulitka, število ulitkov, kakovost materiala, talilni postopki, tehnologije toplotne obdelave in zapletenost ulitkov [7].

Izvajanje nedavnega zveznega zakona o energijski učinkovitosti vpliva tudi na livarsko industrijo. V splošnem so podjetja

2. Energy Efficiency Act - Challenge for the Austrian Foundry Industry

The Austrian foundry industry is officially represented by the Foundry Association, which supports 43 industrial foundries as member companies (status 2013). Structured into the various products, they encompass 16 pure iron foundries, 23 pure non-ferrous metal foundries and 4 foundries producing iron and metal castings. Employing the 7,154 people, the branch has 2 companies with more than 500 employees, 10 companies between 200 and 500 workers, 8 companies between 100 and 200 workers and 23 with less than 100 employees. Total production in 2013 amounts to approx. 316,795 t and compared to 2012 it increased by 3.4%. In the same year the composition of the production is divided into 42% light metal casting, 37% ductile cast iron, 13% cast iron 5% heavy metal casting and 4% cast steel (figure 1). The total turnover of the sector grew by 0.6% compared to 2012 and is approx. EUR 1.34 billion. The direct export quota of the member companies is about 80%. Apart from a few finished products, such as piping, fittings, and cylinders a majority of the products goes into the automotive sector [6].

For decades there have been efforts to implement energy saving measures in order to reduce relatively high energy demand in the foundry industry [7,8,9]. However, Dichtl [7] (2012) argues that though the one-dimensional view on primary energy requirements needs to be seen as critical and is considered negative in ecological and economical terms. Otherwise, innovation and product development would begin to stagnate. Nevertheless, the foundries should put focus on energy saving potentials in waste heat utilization, process and product optimization, optimization of heat treatment



Slika 2. Zahteve po evropski direktivi za podjetja, ki uporabljajo energijo [3]

Figure 2. Requirements for the energy-consuming enterprises in accordance EEG; Source [3]

Energy audit (EA)	Energy management system (EMS)
- every four years (2015, 2019) - Perform only by external auditor - Until 30.11.2015 - before 01.01.2015 executed audits are chargeable (4 years deadline) - costs: ca. 5.000 € per audit	- announcement to monitoring device within the first month of commencement of the act (01.01.2015) - Implementation within the next ten months (30.11.2015) - Compulsive internal audit - costs: ca. 25.000 € during the introduction (depending on the size of the company)

Slika 3. Razlike med energijskim pregledom in sistemom upravljanja z energijo za podjetja, ki uporabljajo energijo, po evropski direktivi [3]

Figure 3. Differences between EA and EMS; Source [3]

glede na ta zakon obvezana izpeljati naslednje akcije:

- da se registrirajo kot podjetja, ki uporabljajo energijo,
- da prijavijo izvajanje energijskega pregleda ali certificiranega sistema upravljanja z energijo do 15.11.2015,

etc. On the other hand, Bosse et al. [10] (2013) argue that there is no technical problem using renewable energy (e.g. electricity or biogas) in foundries, and that 97-98 % of the total energy could be green energy [10]. They suggest that in the future the consumption of green energy in foundries will also depend on the flexibility of foundry processes and of foundry employees. The actual energy consumption in foundries is strongly dependent on the material; the range is between 6 and 30 GJ/t for good cast, and encompasses from 2-10% of the production cost. Dominant factors are cast weight and product numbers, material quality, melting processes, heat treatment technologies, and complexity of castings [7].

The implementation of the recent Federal Energy Efficiency Act (EEG) affects as well the foundry industry. In general, according to the EEG the companies are obliged to conduct the following actions:

- (1) Registration as an energy-consuming enterprise,
- (2) Notification of the implementation of an energy audit or a certified management system to 11/15/2015
- (3) Continuous reduction of primary energy consumption by 0.6% per year (mandatory for energy suppliers)
- (4) Implementation of indicators to represent the energy demand related to the economic performance

Furthermore, depending on the company size different requirements are have to be met. The grouping of the companies follows the classification given in the European Energy Efficiency Directive (EED), using the indicators such as number of employees, turnover and annual balance sheet. For instance, a medium size enterprise is a company with less than 250 employees, and has a turnover under 50 Mio. EUR or an annual balance sheet less than 43

- da zvezno zmanjšujejo rabo za 0,6 % (obvezno za dobavitelje energije),
- da vpeljejo indikatorje, ki kažejo potrebo po energiji glede na ekonomski učinek.

Poleg tega je treba izpolniti še določene zahteve v odvisnosti od velikosti podjetja. Razvrstitev podjetij je po klasifikaciji, ki je navedena v evropski direktivi o energijski učinkovitosti, v kateri so kazalniki kot število zaposlenih, prihodek in dobiček. Npr. srednje veliko podjetje ima manj kot 250 zaposlenih, prihodek pod 50 milijoni EUR in dobiček pod 43 milijoni EUR. Na drugi strani so majhna podjetja tista, ki imajo manj kot 50 delavcev, prihodek pod 10 milijoni EUR in dobiček pod 5 milijoni EUR [11]. Zahteve, ki najbolj vplivajo na velika podjetja, so, da se morajo registrirati in do 15.11.2015 obvestiti agencijo za nadzorovanje o izvajanju energijskega pregleda ali sistema za upravljanje z energijo (slika 2). V Avstriji zunanji energijski pregledi ali certificirani sistemi upravljanja z energijo ali okoljem vključujejo notranje in zunanje preglede, ki so se začeli januarja 2015 in se morajo narediti vsaka 4 leta. Osnovne razlike med energijskim pregledom in sistemom upravljanja z energijo so prikazane na sliki 3.

Cilj energijskega pregleda je sistematična analiza nosilcev energije ter rabe energije v podjetjih in se naredi s pregledom vseh sistemov v podjetju, povezanih z energijo. Rezultat je odkriti ukrepe za zmanjšanje rabe energije in optimizacijo energijske učinkovitosti [12]. Certificiran sistem upravljanja z energijo je na drugi strani sistem, ki je določen z ISO-standardom 50001, katerega cilj je zmanjšati stroške in emisije toplogrednih plinov z izboljšano energijsko učinkovitostjo [13]. Z izvajanjem evropske direktive in uvajanjem sistema upravljanja v podjetja je bilo opaziti številne prednosti kot so intenzivnejše izvajanje standardiziranih

Mio. EUR. On the other hand, small size enterprises are companies with less than 50 workers and have a turn-over under 10 Mio. EUR or an annual balance sheet less than 5 Mio. EUR [11]. The requirements affecting large size enterprises most, are that they had to register themselves, and until 11/15/2015 the monitoring agency had to be notified about implementation of an energy audit (EA) or a certified management system (EMS) (figure 2). In Austria an external energy audit or a certified energy or environmental management system including internal and external audits beginning with January 2015 needs to be executed every four years. Fundamental differences between EA and EMS (energy management system) are illustrated in the figure 3.

The aim of the energy audit is the systematic analysis of energy carriers and energy consumption in the enterprises, and is carried out by a review of all energy-related systems across the enterprise. As result it identifies measures for reducing energy consumption and optimizing energy efficiency [12]. A certified energy management system on the other hand has a defined system according to ISO Standard 50001, the aim of which is to reduce costs and greenhouse gas emissions by improving energy efficiency [13]. Through the implementation of the EEG and the energy management system in the enterprises several benefits can be noticed, such as increased implementation of standardized energy management systems (ISO 50001), establishing energy efficiency networks, implementation of energy indicators, performance measurement systems and benchmarks, advanced sensor, communication and analysis systems, sensible energy simulation and optimization approaches etc.

sistemov upravljanja z energijo (ISO 50001), vzpostavitev omrežij energijske učinkovitosti, izvajanje kazalnikov energije, delovanje sistemov in kriterijev merjenja, napredna zaznavala, sistemi analiziranja in komuniciranja, pametne energijskih simulacije, optimizacijski pristopi itn.

3. Pristop za ovrednotenje livarskih izdelkov, ki sloni na življenjskem ciklu

Da bi se obvladalo in čim bolj zmanjšalo zakonske izzive za livarsko industrijo, smo oktobra 2013 začeli s triletnim raziskovalnim projektom EnEffGieß- razvoj pristopa za ovrednotenje energijsko učinkovitih, sonaravnih livarskih izdelkov, ki sloni na življenjskem ciklu. Projekt je financirala avstrijska agencija za spodbujanje raziskav (FFG) v okviru programa »skupne raziskave«. Nosilec izvajanja projekta je Zveza avstrijskih livarn ob sodelovanju raziskovalnih institutov: Avstrijski livarski inštitut, Montanistična univerza Leoben s katedro za ekonomsko in poslovno upravljanje (WBW) ter katedro za toplotno procesno tehnologijo (TPT), in industrije: Borbet Austria, Dynacast Austria, Georg Fischer Fittings, Nemak Linz, livarna Tirol Rohre and Voestalpine.

Cilj projekta je razviti model procesa in model vrednotenja, ki bo primeren za povečanje energijske učinkovitosti v livarnah. Model, ki sloni na tehničnih, ekonomskih in okoljskih metodah, bo omogočil ovrednotiti različne livarske izdelke s stališča rabe energije in ugotovil izvedljive ukrepe za povečanje energijske učinkovitosti. Inovacija projekta je v tem, da predstavlja celosten modularni pristop za nova opazovanja in vrednotenje heterogenih izdelkov livarske industrije, ki upošteva tudi posebnosti te industrije.

3. Life-Cycle-Based Approach for the Evaluation of Foundry Products

In order to overcome and to minimize the legal challenges for the foundry industry the three-year research project "EnEffGieß - development of a life-cycle-based approach to evaluation of energy-efficient, sustainable foundry products" was launched in October 2013. The Austrian Research Promotion Agency (FFG) finances the project within the programme „Collective Research“. The project executing organization is the Association of the Austrian Foundry Industry with a broad consortium from research institutions: Austrian Foundry Institute, Montanuniversität Leoben with two chairs (Chair of Economic and Business Management WBW and Chair of Thermal Processing Technology - TPT), as well from the industry: Borbet Austria, Dynacast Austria, Georg Fischer Fittings, Nemak Linz, Tirol Rohre and Voestalpine foundry. The aim of the project is to develop a process and valuation model, which is suitable to increase the energy efficiency in foundries. Based on technical, economic and environmental methods, the model allows to evaluate different foundry products in terms of energy consumption and to identify derivable measures to increase energy efficiency. The innovation of the project is that by the holistic modular approach a new observation and evaluation of heterogeneous products of the foundry industry is generated, referring specifically to the particularities of this industry.

The special focus is placed on considering the product over all stages of their life cycle in order to evaluate the actual effectiveness of production comprehensively. The specific analyses are conducted using the methodology for assessment of environmental impacts. For that matter the indicators (1) cumulative primary energy

Poseben poudarek je bil dan obravnavanju izdelka v vsem njegovem življenjskem ciklu, da bi se podrobno ovrednotila dejanska učinkovitost izdelave. Narejene so bile posebne analize na osnovi metodologije ocenjevanja vplivov na okolje. Zato smo analizirali naslednje parametre: (1) celotna potreba po primarni energiji (CED – cumulative energy demand), (2) celotna potreba po materialih (CMD – cumulative material demand) (vstopna stran) in (3) potencial globalnega segrevanja (GWP – global warming potential) (izstopna stran) z njihovimi kategorijami vplivov. Ta model posebej ustreza posebnostim livarske industrije in omogoča predstavitev ter vrednotenje energijskih izgub in energijske učinkovitosti glede na vire.

4. Analiza življenjskega cikla (LCA – life cycle analysis)

V zadnjih desetletjih so nastali številni standardi, vodila in navodila javnih ali internih skupin, da bi zadostili potrebam po zanesljivem in uporabni presoji vplivov na okolje na proizvodni in organizacijski ravni (npr. ISO 14 040; ISO 14 033; ISO 14 024, ISO 14 021). Večina njih zasleduje pristop življenjskega cikla. LCA je metoda za merjenje in vrednotenje vplivov proizvodnih sistemov na okolje v celotnem življenjskem ciklu, ki ga uporabljajo številne industrije (slika 4) [5]. Ta metoda postaja pomembna tudi za livarsko industrijo, kar se trenutno kaže v zvezi z upravljanjem sonaravne dobavne verige. Za to industrijo je zelo pomembno, da analizira celotno potrebo po energiji za posamezen izdelek v celotnem življenjskem ciklu. Npr. izdelek iz lahke zlitine potrebuje več energije, če se raba energije nanaša le na dejansko maso izdelka. Raba energije sloni v tem primeru na proizvodni fazi izdelka. Zato je

demand (CED) and (2) cumulative material demand (CMD) (input side) and (3) Global Warming Potential (GWP) (output side) with their impact categories are analyzed. This model will specifically respond to the specifics of the foundry industry and allows the source-related presentation and evaluation of energy losses and energy efficiency.

4. Life Cycle Analysis (LCA)

In recent decades' numerous standards, principles, and guidelines have been developed, either by public or by private groups, in order to meet the needs for dependable and usable environmental assessment at product and organization level (e.g. ISO 14.040; ISO 14.033; ISO 14.024, ISO 14.021). Many of them follow the life cycle approach. LCA is a method for the measurement and evaluation of the environmental impacts of product systems throughout their entire life cycle, used by many industries (figure 4) [5]. As well for the foundry industry this method

gains on importance, which is currently reflected in the context of sustainable supply chain management. It is very important for this industry to analyze the cumulative energy demand for a product, analyzing the whole life cycle. For example, a light weight product needs way more energy if the energy consumption is related to the actual weight of the product. Energy consumption is in this case based on the production phase of the product. Therefore, it is necessary to evaluate products and the energy consumption for those on a life cycle basis starting with the raw material production and ending with the recycling phase of a certain product.

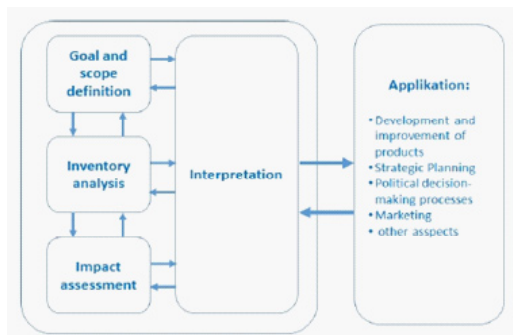
Conducting an LCA is very time consuming and requires specific methodological skills,

potrebno ovrednotiti izdelke in rabo energije za celoten življenjski cikel od proizvodnje surovin do faze recikliranja določenega izdelka. Izvedba LCA je dolgotrajna in zahteva posebne metodološke izkušnje, pri čemer je izvajanje v industrijski praksi še vedno pomanjkljivo. Na osnovi preglednih materialnih in energijskih tokov pomaga obravnavanje stroškov za celoten življenjski cikel, da se odkrijejo najbolj obetavni potenciali energijske učinkovitosti in sinergij med izdelovanjem [14].



Slika 4. Življenjski cikel jekla [15]

Figure 4. life cycle of steel; source [15]



Slika 5. Okvir ocenjevanja življenjskega cikla po ISO 14040 [16]

Figure 5. Life cycle assessment framework according to ISO 14040; source [16].

whereby the implementation in industrial practice is still deficient. Based on transparent material and energy flows the consideration of costs over the entire life cycle helps to uncover the most promising energy efficiency potentials and synergies in operation [14].

4.1 Methodological Framework for LCA

The methodological approach for conducting the life cycle assessment is presented by the international Standards ISO 14040 and ISO 14044 that describe the principles and framework for conducting and reporting LCA studies, and include certain minimal requirements [5]. According to the Standard 14040, LCA is defined as the "compilation and evaluation of the inputs, outputs and potential environmental impacts of a product system throughout its life cycle". Therefore, the LCA is a tool for assessing the environmental impacts of a product's material and energy flows across the whole supply chain, from raw material extraction to end of life recycling or disposal [16].

The method for the conduction of the LCA encompasses the inventory of relevant inputs and outputs of a product system, evaluates the potential environmental impacts associated with those inputs and outputs, and at the end interprets the result of the inventory analysis and impact assessment phases in relation to the objectives of the study [5]. In order to fulfill the consistent and uniformly use, the requirements and guidelines are detailed described in the Norm 14040.

The LCA study includes four stages (figure):

- 1) Definition of the goal and scope of the LCA (stage 1)
- 2) Life cycle inventory analysis (LCI) phase (stage 2)

4.1 Metodološki okvir za LCA

Metodološki pristop za ocenjevanje življenjskega cikla je predstavljen s standardoma ISO 14040 in 14044, ki opisujeta osnove in okvir za izvajanje LCA-študij, poročanje o njih ter vključujeta določene minimalne zahteve [5]. Po standardu ISO 14040 je LCA definiran kot »zbiranje in ocenjevanje vhodov, izhodov in potencialnih vplivov proizvodnega sistema na okolje v celotnem življenjskem ciklu«. Zato je LCA orodje za ocenitev vplivov materialnih in energijskih tokov izdelka po vsej dobavni verigi od pridobivanja surovin do končnega recikliranja ali odlaganja odpadkov [16].

Metoda za izvedbo LCA obsega popis bistvenih vhodov v proizvodni sistem, izhodov iz njega in na koncu razlago rezultatov analize popisa in faze ocenjevanja vplivov glede na cilje študije [5]. Da bi bila izpolnjena stalna in enakomerna raba, so zahteve in navodila podrobno opisana v standardu 14040. Študija LCA obsega štiri stopnje (slika):

- 1) določitev ciljev in obsega LCA,
- 2) analizo popisov življenjskega cikla (LCI),
- 3) oceno vpliva življenjskega cikla (LCIA),
- 4) fazo razlaganja.

Prvi korak pri izvedbi LCA je ugotoviti, opravičiti in razložiti cilje študije LCA, določiti ciljano uporabo rezultatov in na koncu ugotoviti izvajalce dejavnosti ter nosilce interesov, ki naj bi uporabljali rezultate študije (ciljna publika). Tu je potrebno določiti meje sistema, ki so odvisne od cilja študije in se lahko delijo na od zibelke do vrat, od vrat do vrat, od zibelke do groba in od zibelke do zibelke. Drugi korak je izpeljava analize popisa z ugotavljanjem vseh vhodnih in izhodnih elementov v sistemu. Pridobivanje podatkov je zelo dolgotrajen proces in obsega na vhodni strani surovine,

- 3) Life cycle impact assessment (LCIA) (stage 3)
- 4) Interpretation phase (stage 4)

The first step conducting the LCA is to state, justify and explain the goal of the LCA study, specify the intended use of the results (application), and at the end identify the practitioner and the stakeholders that are intended to use the study results (target audience). At this point, it is necessary to define system boundaries that are dependent from the goal of the study, and can be divided into cradle to gate, gate to gate, cradle to grave and cradle to cradle. The second step is conducting the inventory analysis by identifying all input and output elements in the system. The acquisition of the data is very time consuming and encompasses from the input side the raw and operative materials, energy, and from the output side products, by product, waste and emissions to air, water and soil. The data collected should be calculated related to the functional unit. The third phase sets the results of the inventory analysis in connection with the impact categories and impact indicators. After this classification, all parameters are set to an equivalence factor within each impact category. For instance, by the impact category all emissions are calculated into the unit "kg CO₂ equivalent". This stage gives the crucial information for the interpretation phase. The main elements of this stage are the evaluation of results, the analysis of results, and the formulation of the conclusions and recommendations of the study [5, 16].

4.2 Practical Implementation of the LCA in the Foundry Industry

Life cycle assessments for the foundry industry gain increasingly on importance. Numerous studies have been conducted in

uporabljane materiale, energijo in na izhodni strani izdelke, stranske proizvode, odpadke in emisije v zrak, vodo, zemljo. Zbrani podatki morajo biti preračunani v ustrezno funkcionalno enoto. Tretja faza povezuje rezultate analize popisa s kategorijami in indikatorji vplivov. Po tej razvrstitvi so vsi parametri v vsaki kategoriji vplivov preračunani tako, da so med seboj enakovredni. Npr. v kategoriji vplivov so vse emisije preračunani na ekvivalent - kg CO₂. Ta stopnja daje odločilne informacije za fazo predstavitve rezultatov. Glavni elementi te stopnje so ovrednotenje rezultatov, analiza rezultatov in oblikovanje zaključkov ter priporočil študije [5,16].

4.2 Praktično izvajanje LCA v livarsko industriji

Ocenjevanje življenjskega cikla postaja za livarsko industrijo vse pomembnejše. V zadnjih letih so bile narejene številne študije, ki analizirajo na eni strani končni izdelek, v katerem je livarski izdelek pomembna sestavina, in na drugi strani izdelek ali procese v samem livarstvu. Npr. v avtomobilski industriji različne študije prikazujejo vpliv vozil v vsej njihovi življenjski dobi na okolje (npr. Audi, BMW, Mercedes-Benz itn.) [17,18,19], da bi si zagotovili okoljske certifikate. Evropsko združenje avtomobilskih proizvajalcev (ACEA) je napovedalo poročilo o oceni življenjskega cikla v letu 2012, v katerem so priporočili, da bi vse študije LCA slonele na ISO 14040/44 in bi vključevale delničarje, da se zagotovi njihova podpora [20]. Avtomobilska industrija je uporabljala ocenjevanje življenjskega cikla in sorodna orodja interno, čeprav so bile neke ocene tudi objavljene. Trenutno so v avtomobilski industriji tri glavna področja uporabe ocenjevanja življenjskega cikla:

recent years that analyze, on one side the final product with the foundry product as important component, or on the other side the product or processes from the foundry itself. For instance, for the automotive industry several studies illustrate the environmental impact from vehicles across their whole life cycle (e.g Audi, BMW, Mercedes-Benz etc.) [17,18,19] in order to issue environmental certificates. The European Automobile Manufacturing Association (ACEA) announced the position paper on Life Cycle Assessment in 2012 and suggests that all LCA studies should be based on the ISO 14040/44, complemented on full stakeholder involvement to ensure acceptance [20]. The Automotive industry has used Life Cycle Assessments and related tools internally, although some have been published externally. Currently the automobile industry shows three major areas of application for life cycle assessments:

- (1) internal use - LCA as an instrument for environmentally oriented product and process development and for decision-making processes
- (2) publication of life cycle assessments to document product or process related environmental performance
- (3) Joint automobile industry studies and/or (funded) LCA-projects about questions of general interest

The examples (found in literature) from the automotive sector illustrate assessments for the single automotive parts. Bonollo et al. (2006) have conducted a LCA comparison between aluminium and cast iron cylinder blocks. The results showed that while during the production stage the environmental load related to the aluminum block is higher than the one related to the cast iron block, during use and end-of-life treatment the gain of aluminum over cast iron makes the aluminum cylinder block more environment friendly than the cast iron one [21]. Similar

- interna uporaba LCA kot orodje za okoljsko usmerjen razvoj izdelkov in postopkov in za procese odločanja,
- objava ocenjevanja življenjskega cikla kot dokument, da je izdelek in postopek okolju prijazen,
- skupne študije avtomobilske industrije in/ali (financiranih) projektov LCA o vprašanih splošnega interesa.

Primeri iz avtomobilskega sektorja (najdeni v literaturi) opisujejo ocenjevanje posameznih avtomobilskih delov. Bonollo in sodelavci (2006) so naredili LCA-primerjavo med aluminijastimi in litoželeznimi bloki motorjev. Rezultat je pokazal, da je v fazi proizvodnje vpliv aluminijastega bloka na okolje večji od litoželeznega, med uporabo in pri predelavi odpadkov na koncu uporabnosti izdelka pa je aluminij boljši od železove litine, tako da je aluminijast blok motorja bolj okolju prijazen kot litoželezni [21]. Podobno raziskavo je naredil Frische (2009), ko je primerjal energijsko učinkovitost in CO₂-emisije pri izdelavi karterjev, narejenih iz železove litine ali aluminijeve zlitine. On je trdil na osnovi energijske in CO₂-bilance, da bo izdelava motorja iz železove litine cenejša od aluminijastega.

Poleg tega motor iz železove litine prispeva k varovanju okolja in varčuje s fosilnimi gorivi [22]. Clegg (2013) je naredil študijo o uporabi ocenjevanja življenjskega cikla pri izdelavi in uporabi ulitkov [23]. On trdi, da je vrednost predpostavke, da je aluminij boljši od železove litine, vprašljiva, ker se zmanjšanje porabe goriva lahko doseže na račun drugih vplivov na okolje. Rezultati LCA jasno kažejo, da je celoten vpliv železove litine na okolje manjši od vpliva aluminija, kljub temu da ima železova litina med uporabo avtomobila večji vpliv na okolje.

LCA livarskih izdelkov se uporablja tudi v drugih industrijah/pri drugih izdelkih. Rittjoff je s sodelavci (2004) raziskal vpliv

re-search was conducted by Frische (2009), comparing the energy efficiency and CO₂ Emissions of the manufacturing of cylinder crankcases made of cast iron or aluminum alloy.

He argues that the energy and CO₂ balance for the future cast iron based motor manufacturing is cheaper. As well, cast iron contributes to further environmental protection and saves fossil fuels [22]. Clegg (2013) conducted a study about the application of a life-cycle assessment in the production and use of castings [23]. He argues, the validity of the assumption that aluminium is a better alternative to a ferrous alloy needed to be questioned because the reduction in fuel consumption may be achieved at the expense of other environmental impacts. The results of the LCA illustrates clearly that despite higher environmental impacts of iron cast in the auto use phase the total environmental impact is smaller than from aluminum.

The LCA from foundry products finds application also in other industries/products. Rittjoff et al. (2004) have examined the environmental impact of various materials in production of bicycle frames. Based on the four environmental indicators (Global Warming Potential (GWP), Cumulative Energy Demand (CED), Cumulative Material Demand (CMD) and Consumption of water), the authors have compared the frames manufactured from aluminum, steel and carbon fiber reinforced plastic. The outcomes have indicated that the frames made from steel have the best performances at all environmental indicators. However, the production of steel is at the same time energy and recourse intensive [24]. Another example of LCA research is the one from Saha (1996), developing a decision-making framework for foundry sand using life cycle assessment and costing techniques [25].

različnih materialov na okolje pri izdelavi koles. Na osnovi štirih okoljskih kazalnikov (potencial globalnega segrevanja, celotna potreba po energiji, celotna potreba po materialih in poraba vode) so avtorji primerjali aluminijaste in jeklene okvirje ter okvirje iz plastike, okrepljene z ogljikovimi vlakni. Rezultati so pokazali, da so jekleni okvirji boljši po vseh okoljskih kazalnikih. A je proizvodnja jekla istočasno energijsko intenzivna [24]. Drug primer raziskave LCA je naredil Saha (1996), ki je razvil okvir za odločanje o livarskih peskih z uporabo tehnike ocenjevanja življenjskega cikla in stroškov [25].

V okviru projekta „EnEffGieß“ se LCA uporablja na eni strani za računanje vplivov določenih/povprečnih izdelkov partnerskih podjetij na okolje, na drugi strani je metodika LCA vpeljana v Excelovo orodje „Quick Check tool“ (orodje za hitro kontrolo) za računanje ekološkega kazalnika GWP v obliki ekvivalentov CO_2 . Na osnovi podatkov podjetij o rabi energije se je z orodjem Quick Check Tool izračunalo številne uporabne številske vrednosti na področju sistema upravljanja z energijo, potreb po energiji, porabe energije, stroškov za energijo in vplivov na okolje. Izračuni so bili narejeni na različnih ravneh, najprej za celotno podjetje, nato za procese in naprave ter končno za izdelke.

Da bi podčrtali motiv LCA in ponazorili računanje s tem orodjem, bomo predstavili izmišljen primer, ki sloni na dejanskih podatkih. Določitev mej sistema je usmerjeno na samo livarstvo (od vrat do vrat) s funkcionalno enoto za eno enoto primerjalnega izdelka (v kg ali t). Modelno podjetje je livarna železove litine s proizvodnjo 13 000 t izdelkov iz 15 000 t staljene železove litine, ki ima kupolko za tališno peč. Proizvodni postopek obsega taljenje, ulivanje, toplotno obdelavo, strojno obdelavo, končno kontrolo in

Within the project "EnEffGieß" the LCA is used, on one hand to calculate the environmental impact of specific/average products from partner companies, on the other hand the LCA method is implemented in the Excel-based "Quick Check tool" for the calculation of the ecological indicator GWP in form of CO_2 equivalents. Based on the energy consumption data from the companies, the Quick Check Tool calculates the different operating figures in the fields of energy management system, energy demand, energy consumption, energy costs, and environmental impact. The calculations are made for the different levels, starting with the whole company, going further into the process and aggregate levels, and finishing at product level.

In order to underline the theme LCA and to illustrate the calculations within the tool, a fictitious example based on the realistic data will be presented. The definition of the system boundaries is orientated on the foundry itself (gate-to-gate) with the functional unit given as one piece of the reference product (in kg or tons). The model company is an iron foundry with a cupola melting furnace with production of 13,000 tons of products from 15,000 tons of melting iron. The production process includes the processes melting, casting, heat treatment, mechanical treatment, final control and numerous supporting processes (e.g. compressed air station, water station, buildings and other utilities etc.). The energy carriers are electricity, natural gas and coke.

The impact categories for this example concern the environmental category "climate change" and its indicator "Global Warming Potential" (GWP). In addition, the Cumulative Energy Demand (CED) is calculated. GWP or CO_2 equivalent is a measure of how much heat a greenhouse gas traps into the atmosphere. The comparative unit is

številine podporne postopke (npr. postajo za stisnjen zrak, vodno postajo, zgradbe in gospodarska poslopja itn). Energenti so elektrika, zemeljski plin in koks.

Kategorije vplivov so v tem primeru okoljska kategorija »klimatske spremembe« in njen kazalnik potencial globalnega segrevanja (GWP). Dodatno je bila izračunana celotna potreba po energiji (CED) ali CO₂-ekvivalent. GWP ali CO₂-ekvivalent sta merilo, koliko toplote je ujete v toplotnogrednem plinu v atmosferi. Primerjalna enota je ogljikov dioksid. Pretvorba energije v emisije CO₂ je odvisna od različnih parametrov in je zelo zapletena, zato smo za računanje uporabili standardne vrednosti iz literature. Npr. emisijski faktorji v našem orodju in za ta primer so vzeti iz evropske referenčne baze podatkov za življenjski cikel [26] in iz baze podatkov Avstrijske zvezne agencije za okolje [27].

Razpredelnica 1 prikazuje neposredne emisije CO₂ iz livarskega procesa. Največji relativni prispevek h globalnemu segrevanju predstavlja koks, ki se uporablja za taljenje, sledi zemeljski plin pri toplotni obdelavi in elektrika za taljenje. V celoti je bil GWP ocenjen za vzorčno livarno na 10 252 t/leto. S spremembo posameznih parametrov, npr. s povečanjem ali zmanjšanjem porabe energenta v modulu, se lahko prikažejo različne proizvodne poti ali postopki. Ta postopek se navadno uporabi pod imenom »analiza občutljivosti« za primerjanje različic in/ali nadomestil v okviru ocenjevanja življenjskega cikla.

Drugi kazalnik je celotna potreba po energiji (CED). CED je izračunan na osnovi vhoda vse primarne energije za izdelavo izdelka ob upoštevanju ustreznih začetnih procesnih verig [28]. Celotna poraba v tej livarni je bila 31,24 GWh (slika 6).

Sankeyev diagram kaže, da sta glavna procesa, pri katerih se rabi energija, taljenje in toplotna obdelava, v okviru 92 % celotne

carbon dioxide. The conversion of energy in CO₂ emissions depends on various parameters and proves to be very complex, therefore standard values from literature are used for the calculation. For instance, the emission factors within the tool and for this example are used from the European reference Life-Cycle Database [26] and the Austrian Federal Environment Agency [27].

Table 1 shows the direct CO₂ emissions from the foundry process. The largest relative contribution to global warming is delivered by coke which is caused by the consumption within the melting process, followed by natural gas in the heat treatment, and electricity in the melting. Overall, the GWP of the sample foundry is estimated at 10,252 t/a. By changing individual parameters, for example, an increase or decrease in consumption of an energy carrier in a module, a comparison of different production routes or methods can be represented. This procedure is usually carried out as so-called "sensitivity analysis" for the comparison of alternatives and / or substitutes in the context of life cycle assessment.

The second indicator is the Cumulative Energy Demand (CED). CED calculated based on the total primary energy input for the generation of a product, taking into account the pertinent front-end process chains [28]. The total energy consumption in this foundry is 31.24 GWh (figure 6) .

The Sankey diagram illustrates, the major energy consumption processes are melting and heat treatment with 92% of the total energy consumption. Consumption of the energy carrier coke for melting iron and recycled material makes almost 60% of the total energy demand. Using this energy flow diagram, any changes for the optimization measures become immediately visible. These cumulative values may be supplemented by monetary data and

Razpredelnica 1. Neposredne emisije CO₂ iz livarskega procesa**Table 1.** Direct CO₂ emissions from the foundry process

proces / process	energent / energy carrier	poraba / consumption	enota / unit	emisijski faktor / emissions factor	CO ₂ ekvivalenti / equivalents (t/a)
taljenje / melting	elektrika / electricity	2 254,22	MWh/a	0,366 t CO ₂ /MWh	825
	zem. plin / natural gas	830,65	MWh/a	0,2 t CO ₂ /MWh	166
	koks / coke	18 299,42	MWh/a	0,38 t CO ₂ /MWh	6,954
litje / casting	elektrika / electricity	337,48	MWh/a	0,366 t CO ₂ /MWh	124
	zem. plin / natural gas	378,80	MWh/a	0,2 t CO ₂ /MWh	76
toplotna obdelava / heat treatment	elektrika / electricity	22,53	MWh/a	0,366 t CO ₂ /MWh	8
	zem. plin	7,234,88	MWh/a	0,2 t CO ₂ /MWh	1,447
strojna obdelava / mech. treatment	elektrika / electricity	4,55	MWh/a	0,366 t CO ₂ /MWh	2
končni nadzor / final control	elektrika / electricity	517,33	MWh/a	0,366 t CO ₂ /MWh	189
pomožni postopki / support processes	elektrika / electricity	1,144,84	MWh/a	0,366 t CO ₂ /MWh	419
	zem. plin / natural gas	212,45	MWh/a	0,2 t CO ₂ /MWh	42
				skupaj	10,252

rabe energije. Poraba energenta koksa za taljenje in recikliranje materiala predstavlja skoraj 60 % celotnih potreb po energiji. Iz uporabe tega diagrama za tok energije postane takoj jasno, kaj je treba storiti za optimizacijo. Te skupne vrednosti se lahko dopolnijo s podatki o denarnih sredstvih in dajejo koristno informacijo za ukrepe, ki jih je treba vpeljati, da se poveča energijska učinkovitost v livarni.

5. Sklepi

Izvajanje evropske direktive in avstrijskega zakona o energijski učinkovitosti je izziv za podjetja v Avstriji. Glavne ovire predstavlja pomanjkanje praktičnega izvajanja. Livarska industrija predstavlja kompleks energijsko intenzivnih procesov. Če se primerjajo samo livarski izdelki, je energijska bilanca v primerjavi z drugimi možnimi materiali negativna. Npr. izdelek iz lahke zlitine potrebuje mnogo več energije, če se pri

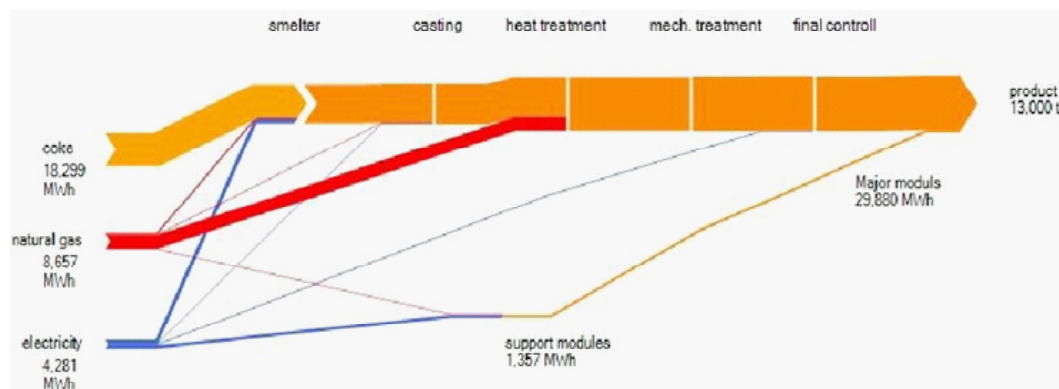
provide valuable information for measures implemented to increase energy efficiency in the foundry.

5. Conclusions

The implementation of the European Energy Efficiency Directive and the Austrian Energy Efficiency Act is a challenging process for companies in Austria. One of the major obstacles lies in a lack of practical implementation. The foundry industry includes complex, particularly energy-intensive processes. Considering only the production of the foundry products, the energy balance compared to alternative materials may be negative. For example, a lightweight product needs much more energy if the energy consumption is related to the actual weight of the product. Energy consumption is in this case based on the production phase of the product, which is one of many phases in the whole life

rabi energije upošteva le dejansko maso izdelka. Raba energije v tem primeru sloni le na izdelovalni fazi izdelka, ki je le ena faza v celotnem življenjskem ciklu izdelka. Zato je potrebno ovrednotiti izdelke in rabo energije za celoten življenjski cikel, ki se začne z izdelavo materialov in konča z recikliranjem določenega izdelka. Razumen in pomemben rezultat za celotno energijo, ki je potrebna za nek izdelek, se dobi le z oceno življenjskega cikla izdelka. Zato mora predpostavka, da ima livarski izdelek prednost pred drugimi nadomestnimi izdelki, sloneti na oceni življenjskega cikla. Če se združijo napor za izboljšanje energijske učinkovitosti in ekonomski vidiki, so številne možnosti (ekonomske, tehnološke in ekološke), da se izboljša učinkovitost livarske industrije. Pozornost mora biti posvečena procesom s prepoznanim potencialom energijske uspešnosti. Če obravnavamo ulitke v celotnem življenjskega ciklu izdelka, je to koristno, ker postanejo energijski in materialni tokovi prepoznavni in se lahko naredijo ekonomske ter ekološke ocene. Primerni kazalniki in značilnosti dajejo informacije, ki lahko dokažejo prednosti ulitkov (npr. v primerjavi z drugimi možnimi izdelki). Nadalje ta ocena daje osnovo za

cycle of the product only. Therefore, it is necessary to evaluate products and the energy consumption for those on a life cycle basis starting with the raw material production and ending with the recycling phase of a certain product. A reasonable and significant result for the whole energy consumption of a product can only be achieved if a life cycle assessment is made for such products. Consequential this results in the assumption that foundry products may be more advantageous than their substitution products, based on lifecycle considerations. Combined with efforts to improve energy efficiency and economic aspects there are numerous possibilities (economic, technological and ecological) to increase the performance of the foundry industry. The focus should be on processing the identified energy efficiency potential. Consideration of castings over the entire product life cycle is beneficial because actual energy and material flows are transparent, and ecological and economic assessments can be made. Appropriate indicators and characteristics provide information that can prove favorability of castings (e.g. comparison to alternatives). Further this assessment provides a basis



Slika 6. Celotna potreba po energiji za modelno livarno

Figure 6. Cumulative energy demand for the model foundry

dokumentiranje novih zakonitih zahtev in za standardizirane, primerljive podatke za strateško-izvajalsko upravljanje z energijo in viri v livarni. Zato so prednosti ocenjevanja življenjskega cikla: (1) prepoznavanje možnosti za izboljšanje okoljskih značilnosti izdelkov v posameznih fazah življenjskega cikla, (2) osnovna informacija za strateško planiranje, postavljanje prioritet, razvoj izdelkov in procesov, (3) izbor bistvenih kazalnikov za vplive na okolje, (4) trditve, povezane z marketingom izdelkov (npr. izjave o izdelkih, oznake za okoljsko ustreznost). Projekt En-EffGieß ima za cilj, da z orodjem

„Quick Check Tool“ ugotovi »vroča mesta« v livarski proizvodnji. Prispevek naj bi dal pregled energijske učinkovitosti in razmislek o življenjskem ciklu v livarski industriji kot tudi prikazal odzive na izvajanje izzivov.

for the documentation in the context of new legal requirements, and standardized, comparable processing data of the strategic-operational energy and resource management in the foundry. Therefore, the benefits of the Life cycle assessment are (1) identifying opportunities for improvement of environmental characteristics of products in the life cycle phases, (2) basis of information in the context of strategic planning, priority setting, product and process development, (3) selection of relevant indicators of environmental performance, (4) statements for the marketing of products (e.g. product declarations, environmental labeling). The project En- EffGieß aims to provide support with the "Quick Check Tool" within this process by identifying the "hot spots" in the foundry production.

Viri / References:

1. EC (European Commission) (2010): Communication from the Commission, Europe 2020. A strategy for smart, sustainable and inclusive growth. Brussels; 2010.
2. EC (European Commission)(2012): Directive of the European Parliament and of the Council on energy efficiency; 2012, 2012/27/EU.
3. National Energy Efficiency Act BGBl I Nr. 72/2014, Federal Law Gazette I No. 72/2014. Austria 2014.
4. Coss, S.; Topic, M.; Tschiggerl, K., Raupenstrauch, H. (2015): Development and Application of a modular-based, multi-level approach for increasing energy efficiency. Journal of Thermal Engineering, Vol. 1 Special Issue 1, 355-366.
5. ISO 14040 (2006): Environmental management -- Life cycle assessment -- Principles and framework, 2006.
6. Kerbl, A.; Maiwald, P. Fachverband der Giessereiindustrie: Jahresbericht 2013, https://www.wko.at/Content.Node/branchen/oe/Maschinen-Metallwaren-Giessereiindustrie-Fachverband/Giessereiindustrie/Jahresberichte/Jahresbericht_2013.pdf (15.07.2015).
7. Dichtl, H. (2012):Energieverbrauch in den österreichischen Gießereien und Anmerkungen zur Energieeffizienz, Wirtschaftskammer Österreich, 2012.
8. Cagno, E., Ramirez-Portilla, A., Trianni, A. (2015): Linking energy efficiency and innovation practices: Empirical evidence from the foundry sector; in Energy Policy Volume 83, p. 240-256, 2015.
9. Patrik Thollander, P., Mardan, N., Karlsson, M. (2009): Optimization as investment

- decision support in a Swedish medium-sized iron foundry - A move beyond traditional energy auditing; in *Applied Energy*, Volume 86, p. 433-440, 2009.
10. Bosse, M.; Frost, E.; Hazrat, M. (2013): Ermittlung von branchenspezifischen Potentialen zum Einsatz von erneuerbaren Energien in besonders energieintensiven Industriesektoren am Beispiel der Gießerei-Industrie, Umweltbundesamt Deutschland, 2013.
 11. Bundesministerium für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft. Bundesministerium für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft: Verpflichtete energieverbrauchende Unternehmen. <http://www.bmwf.gv.at/EnergieUndBergbau/Energieeffizienz/Seiten/Gro%C3%9Fe-energieverbrauchende-Unternehmen.aspx> (17.07.2015).
 12. WIFI Unternehmensservice (2014): Energieaudit nach EN 16247-1 - Tipps für Unternehmen; Wirtschaftskammer Österreich, 2014.
 13. ISO 50001 (2011): Energy Management System, 2006.
 14. Tschiggerl, K.; Coss, S.; Topic, M.; Biedermann, H.; Raupenstrauch, H. (2015): A Transdisciplinary Approach for Increasing Efficiency and Environmental Performance in the Foundry Industry In: ICEE 2015: „2nd International Conference on Energy and Environment: Bringing together Engineering and Economics“, in: Proceedings of the 2nd International Conference on Energy and Environment, 18/19 June 2015, S. 59-66.
 15. World steel association (2010): Life cycle assessment in the steel industry - A position paper issued by the Steel Association (worldsteel), 2010.
 16. Guinee, J.B (2002): Handbook on Life Cycle Assessment; Operational Guide to the ISO Standards, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht 2002.
 17. Audi AG (2011): Life Cycle Assessment; Total Vehicle Development and Product Communications, Ingolstadt 2011. http://www.audi.com/content/dam/com/EN/corporate-responsibility/product/audi_a6_life_cycle_assessment.pdf (17.07.2015).
 18. Daimler AG (2014): Life cycle - environmental certificate Mercedes Benz B Class Electric Drive; Global Product Communications Mercedes-Benz Cars, Stuttgart, 2014. http://www.daimler.com/Projects/c2c/channel/documents/2582749_fi_nal_UZ_B_KI_ED_engl_15_12.pdf (17.07.2015).
 19. BMW Group (2014): Environmental certification BMW i8, Bayerische Motoren Werke - BMW AG, München, 2014. http://www.bmwgroup.com/com/en/_common/_pdf/Environmental_Certification_i8.pdf (17.07.2015).
 20. ACEA (2012): Position paper on Life Cycle Assessment; European Automobile Manufacturing Association (ACEA); Brussels, 2012.
 21. Bonollo, F., Carturan, I., Capitò, G., and Molina, R. (2006): Life cycle assessment in the automotive industry: comparison between aluminium and cast iron cylinder blocks; in *Met- allurgical Science and Technology Vol. 2 - N.2*; 2006.
 22. Frische, E. (2009): Vergleich der Energieeffizienz und CO₂-Emissionen bei der Herstellung von Zylinderkurbelgehäusen aus Gusseisen oder aus Aluminiumlegierungen; in *Gießerei- Rundschau* 56, Heft 9/10, 2009.
 23. Cleg, A.J. (2004): The application of life-cycle assessment to the environmental impacts in the production and use of castings; in *Archives of Foundry*, Vol. 4, No 13, p. 33-44, 2004.
 24. Ritthoff, Michael / Merten, Thomas / Spies-Wallbaum, Holger / Liedtke, Christa (2004): Stahl im Vergleich: Verfahren, Ressourceneffizienz, Recycling, Umwelt;

in: Stahl und Eisen, Vol. 124, Nr. 7, S. 61-66

25. Saha, N., (1996): A decision making framework for foundry sand using life cycle assessment and costing techniques. Electronic Theses and Dissertations, 1996.
26. EC (European Commission): DG Joint Research Centre - Institute for Environment and Sustainability: European reference Life-Cycle Database (ELCD) Version III, <http://eplca.jrc.ec.europa.eu/ELCD3/index.xhtml> (14.07.2015)
27. Umweltbundesamt: Berechnung von Treibhausgas (THG)-Emissionen verschiedener Energieträger, "<http://www5.umweltbundesamt.at/emas/co2mon/co2mon.htm>" (14.07.2015)
28. Röhrlich, M., Mistry, M., Martens, P., Buntenbach, S., Ruhrberg, M., Dienhart, M., Briem, S., Quinkertz, R., Alkan, Z., Kugeler, K. (2000): A method to calculate the cumulative energy demand (CED) of lignite extraction; in The International Journal of Life Cycle Assessment, Vol. 5, Issue 6, p. 369-373, 2000. !



DRUŠTVO LIVARJEV SLOVENIJE SLOVENIAN FOUNDRYMEN SOCIETY

vas vljudno vabi na / invites you to

**56. MEDNARODNO LIVARSKO POSVETOVANJE
56th INTERNATIONAL FOUNDRY CONFERENCE**

PORTOROŽ 2016

s spremljajočo razstavo / with accompanying exhibition

14.-16. september 2016

Informacije/Contact: Društvo livarjev Slovenije,

Lepi pot 6, p.p. 424, 1001 Ljubljana,

T: +386 1 2522 488, F: +386 1 4269 934

drustvo.livarjev@siol.net, www.drustvo-livarjev.si

Strjevalno zaporedje v zlitini AlSi11

Solidification Sequence of AlSi11 alloy

Povzetek

Avtomobilska industrija je zaradi medsebojne konkurence in okoljskih predpisov za zmanjšanje emisij in porabe goriva prisiljena uporabljati napredne materiale in tehnologije. Ta cilj se lahko doseže predvsem z zmanjševanjem mase in zmanjševanjem velikosti sestavnih delov, kar omogočajo napredni materiali in tehnologije.

Najbolj uporabljan avtomobilski aluminijast del so kolesa, ki so tlačno ulita. Za zapleteno geometrijo tankostenskega ulitka se uporablja zlitina AlSi11 (EN AC 44000). Ta zlitina spada v skupino »evtektičnih zlitin«, zanjo pa sta značilna sorazmerno nizko tališče ter ozek interval strjevanja, kar oboje pri enakomerno porazdeljeni evtektični mikrostrukturi daje odlične mehanske in tehnološke lastnosti. Zato se ta zlitina široko uporablja pri visokotlačnem in nizkotlačnem ulivanju. Silicij je eden od najpomembnejših zlitinskih elementov, ki omogoča dobro livnost aluminijevih zlitin. Dodatek silicija izboljša odpornost proti pokanju v vročem in sposobnost napajanja ulitkov. Sinergija med vplivi zlitinskih elementov in oligoelementov pojasnjuje nastanek različnih intermetalnih faz.

Delež stranskih zlitinskih elementov (Mg, Cu) in oligoelementov (Fe, Mn, Cr, Zn) je bil v preiskovani zlitini AlSi11 majhen. Tankostenska geometrija ulitka zagotavlja pri nizkotlačnem ulivanju in hitrem ohlajevanju (v čim krajšem času) nastajanje številnih pomembnih intermetalnih faz.

Metalografska analiza je pokazala prisotnost naslednjih mikrostrukturnih sestavin: primarni aluminij α_{Al} , glavni evtektik $\alpha_{Al} + \beta_{Si}$, visokotemperaturna železova faza Al₅FeSi, intermetalni fazi Mg₂Si in Al₈FeMg₃Si₆ v sekundarnem evtektiku.

Korelacija med ugotovljenimi mikrostrukturnimi sestavinami, termodinamičnim modeliranjem in diferencialno vrstično kalorimetrijo je pokazala natančno strjevalno zaporedje za zlitino s preiskovano kemično sestavo.

Ključne besede: AlSi11, avtomobilska industrija, termodinamično modeliranje, mikrostruktura, strjevanje

Abstract

The automotive industry is forced to apply advanced materials and technologies in order to overcome the mutual competition, but also for compliance with environmental regulations requiring reduction of emissions, and fuel consumption. One of main component for achieving this goal is weight saving by downsizing of components using advanced materials and production technologies.

The widest production of automotive aluminium component refers to wheels produced by low pressure die casting. Complex geometry of thin wall wheel casting indicates application of AlSi11 alloy (EN AC 44000). An AlSi11 alloy (EN AC 44000) belongs to the group of "eutectic alloys" and is characterized with relatively low melting point and narrow

solidification interval which both brought to the uniformly distributed eutectic microstructure indicating superior mechanical and technological properties. This is the reason for this alloy to be widely used for high and low pressure die casting production. Silicon is one of the most important alloying elements which comprehend to good castability of aluminium alloys. Addition of silicon improves resistance to hot cracks and feeding capability. Synergy of influenced alloying and trace elements effect comprehend to different intermetallic phase evolution.

The content of secondary alloying elements (Mg, Cu) and trace elements (Fe, Mn, Cr, Zn) was minor in investigated AlSi11 alloy. Also thin wall casting geometry using low pressure die casting technology ensures rapid cooling with minimal available time for significant number of intermetallic phases development.

Metallographic analysis resulted in following microstructural constituents: primary aluminium α_{Al} , main eutectic $\alpha_{Al} + \beta_{Si}$, high temperature iron phase Al_5FeSi , intermetallic phases in form of secondary eutectic Mg_2Si and $Al_8FeMg_3Si_6$.

Correlation of established microstructural constituents with thermodynamic modelling and differential scanning calorimetry indicates exact solidification sequence for this particular chemical composition.

Key words: AlSi11, automotive industry, thermodynamic modelling, microstructure, solidification

1. Uvod

Avtomobilskaindustrija je zaradi medsebojne konkurence in okoljskih predpisov za zmanjšanje emisij in porabe goriva prisiljena uporabljati napredne materiale in tehnologije. Odnos med zmanjšanjem mase in zmanjšanjem CO_2 emisij izpušnih plinov je precej zapleten. V odvisnosti od načina računanja so dobljene vrednosti zmanjšanja CO_2 med 3 g/km in 13 g/km pri zmanjšanju mase vozila za 100 kg. Vsi ti različni rezultati so pravilni, ker so odvisni od definicije, do kakšne mere se upošteva zmanjšanje mase. Zato je pomembno razlikovati med dvema vrstama zmanjšanja mase in dvema vrstama prihranka goriva [1]:

- neposredno zmanjšanje mase: masa enega ali več sestavnih delov se zmanjša zaradi zamenjave težjega materiala z lažjim;
- posredno zmanjšanje mase: dodatno zmanjšanje se doseže z zmanjšanjem velikosti določenih sestavnih delov (tj.

1. Introduction

The automotive industry is forced to apply advanced materials and technologies in order to overcome the mutual competition, but also for compliance with environmental regulations requiring reduction of emissions, and fuel consumption. The relation between light weighting and the reduction of tailpipe CO_2 emissions is quite complex. Depending on how the calculation is made, various CO_2 reduction values ranging from 3 g/km up to 13 g/km for a weight saving of 100 kg are reported. These different outcomes are all correct, as they depend on definitions and to what extent the light weighting is exploited. It is therefore important to distinguish between two kinds of weight savings and two kinds of fuel savings [1].

- Direct weight saving: the weight reduction due to exchanging a heavier material for a lighter material in one or several components.
- Indirect weight saving: additional weight reduction obtained by downsizing

zavor, obes, motorja itn.) s tem, da ostanejo zmogljivosti vozila enake kot prej. Posredno zmanjšanje mase se prišteva k posrednemu zmanjšanju in lahko predstavlja do 50 % dodatnih prihrankov pri masi celotnega avtomobila;

- primarni prihranek goriva: gorivo se prihrani zaradi manjše potrebne energije za gibanje manjše mase;
- sekundarni prihranek goriva: dodatni prihranek goriva se doseže z optimizacijo pogona (tj. prestavnega razmerja, elektronike pri motorju, gibne prostornine itn.) s tem, da se ohranjajo zmogljivosti vozila na enaki ravni.

Najmanjše zmanjšanje emisije CO₂ se doseže pri kombinaciji neposrednega zmanjšanja mase in primarnega prihranka goriva. Največje zmanjšanje emisije CO₂ se doseže, če se prištejeta še posredno zmanjšanje mase in sekundarni prihranek goriva.

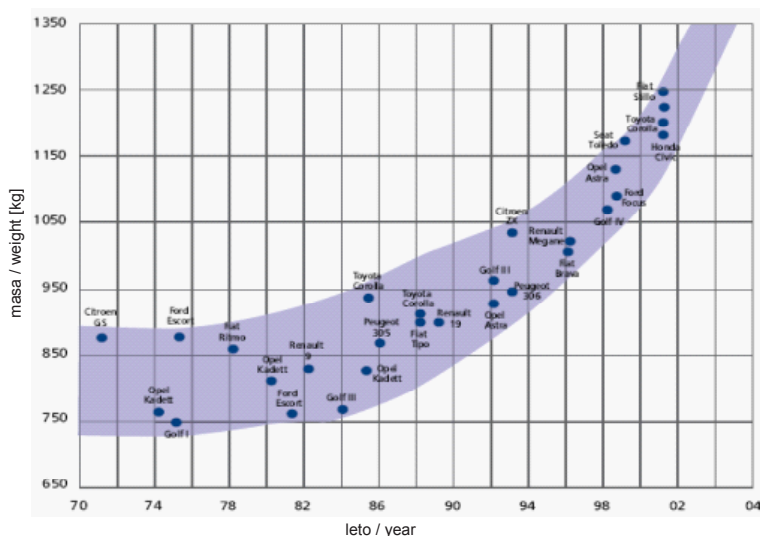
V zadnjih 40 letih je bilo opaziti dramatično povečanje mase avtomobilov za 300-400 kg v istem avtomobilskem razredu

certain components (i.e. brakes, suspension, engine, etc.) to keep vehicle performances at the same level as before. Indirect weight savings come on top of direct weight savings, and can represent up to 50% additional savings on the weight of the complete car.

- Primary fuel saving: fuel saved thanks to the lower energy demand related to moving a lighter mass.
- Secondary fuel saving: additional fuel saving obtained by optimizing the drive train (i.e. gear ratio, engine electronics, displacement, etc.) to keep performances at the same level as before.

The lowest CO₂ emissions savings will be achieved by combining direct weight savings and primary fuel savings exclusively. The largest CO₂ reductions are achieved when both indirect weight-saving and secondary fuel saving are added together.

A dramatic increase in car mass by 300-400 kg for the same class of cars has been noticed in last 40 years, despite the



Slika 1. Spirala mase pri proizvodnji avtomobilov [1]

Figure 1. Spiral of weight for cars production [1]

kljub povečani uporabi lažjih sestavnih delov, predvsem iz aluminijevih zlitin. Ta pojav v avtomobilski industriji je znan kot »spirala mase« in se je pojavil kot posledica povečanja moči in hitrosti vozil, udobja, aktivne in pasivne varnosti ter boljšega delovanja avtomobilov, kot kaže slika 1.

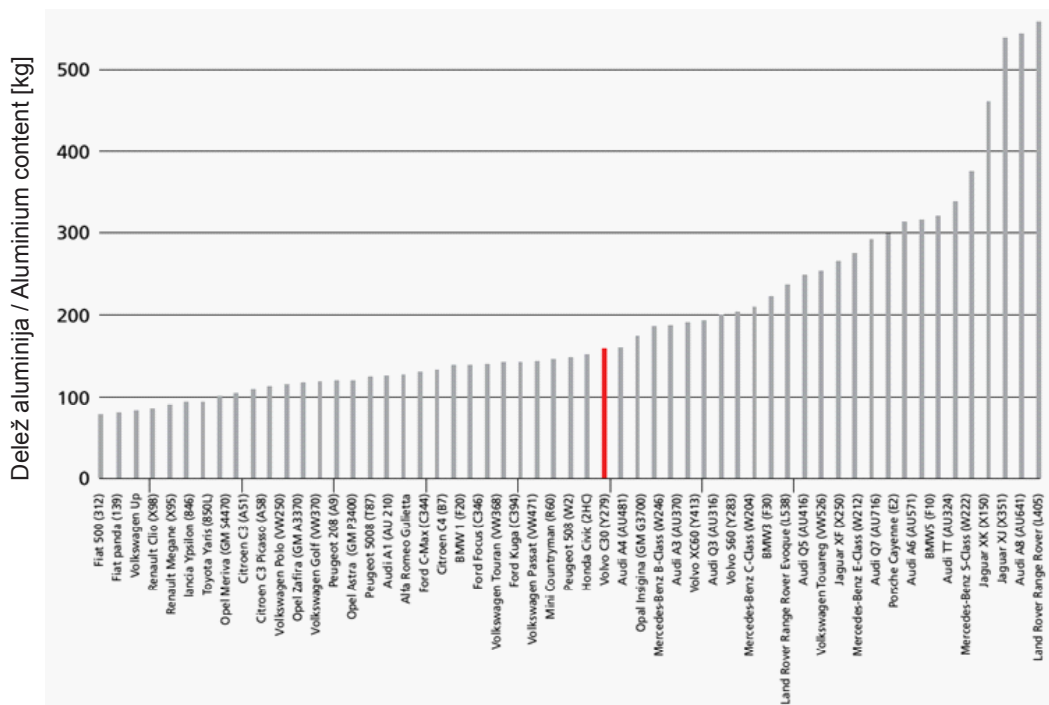
Zaradi strogih okolijskih in varnostnih zahtev, ki jih morajo izpolnjevati izdelovalci avtomobilov, postaja filozofija industrije, da se zmanjšajo velikosti sestavnih delov in se jih izdeluje iz lažjih materialov, vse pomembnejša. Pregled določene uporabe aluminijevih sestavnih delov v evropskih avtomobilih prikazuje slika 2.

Študija Evropskega združenja za aluminij kaže, da se je povprečna količina aluminija v avtomobilu, izdelanem v Evropi,

increasing use of light components, primarily aluminium alloys. This phenomenon is known in the automotive industry as a concept of "spiral of weight", and has appeared as a result of increasing power and speed, comfort, active and passive safety features and better performance of cars, as shown in Figure 1.

Due to the rigorous environmental and safety requirements, which are placed in front of the car manufacturers, industrial philosophy of downsizing and production of light weight components is increasingly gaining the significance. An overview of particular use of aluminum components in European cars is shown in Figure 2.

A study by European Aluminium Association shows that the average amount of aluminium used per car produced in



Slika 2. Delež aluminija v evropskih avtomobilih [2]

Figure 2. Aluminium content in EU cars [2]

potrojila v letih 1990–2012, kar pomeni povečanje s 50 kg na 140 kg [2].

Z rastočim deležem vgrajenih aluminijevih sestavnih delov in sestavov (tudi iz drugih lahkih kovin in materialov) se je zmogljivost, varnost in ekološka prijaznost avtomobilov večala. Široka uporaba aluminijevih zlitin v avtomobilih je predstavljena na sliki 3.

Slika 4 kaže statistično porazdelitev aluminijevih delov za določen namen.

Glavni vzrok za tako široko uporabo je ekonomski. Povprečni evropski avtomobil, ki vsebuje 140 kg aluminija, prevozi več kot 200 000 km (15 000 na leto). Aluminijevski sestavni deli so v povprečju 40 % lažji kot deli, ki so bili z njimi nadomeščeni (neposredno zmanjšanje mase), 25 %-no zmanjšanje mase pa se doseže še z zmanjšanjem velikosti delov (posredno zmanjšanje mase). Na osnovi začetnih predpostavk se lahko izračuna [2]:

- vsak kg aluminija prispeva v povprečju 1 kg zmanjšanja mase,
- 1 kg aluminija v avtomobilu zmanjša emisijo CO₂ za 18 % v času uporabe

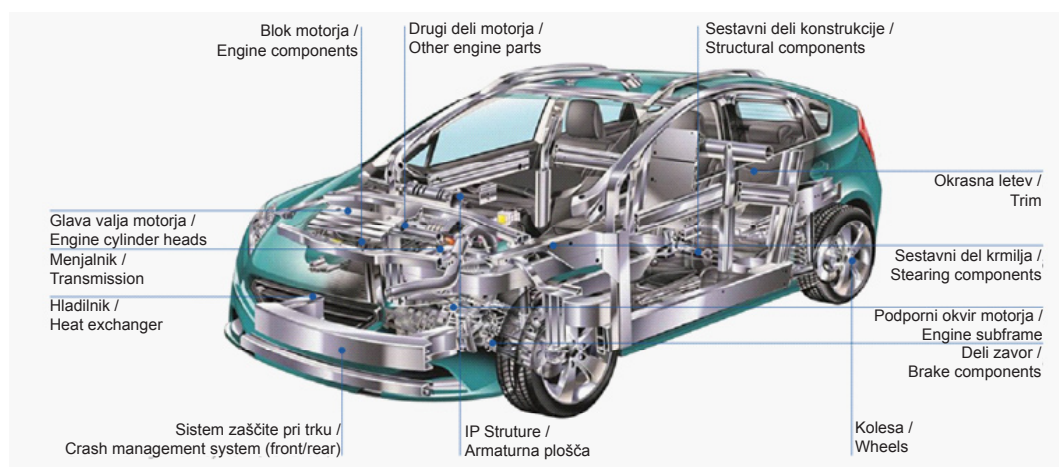
Europe almost tripled between 1990 and 2012, increasing from 50 kg to 140 kg [2].

With a growing share of built-in components and assemblies made of aluminium alloy (and other light metals and materials) performances, safety and eco-friendliness of cars is growing. Wide application of aluminium alloys in cars is shown in Figure 3.

Statistical distribution of aluminium components used for particular purpose is shown in Figure 4.

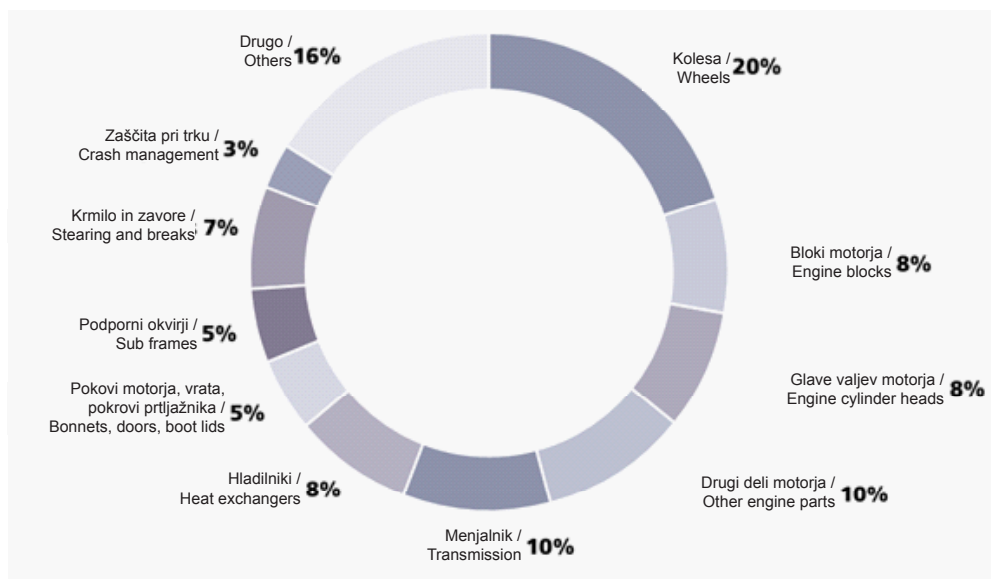
The main reason of such wide application lays down in economic approach. Average European car containing 140 kg of aluminium exceeds a driving distance of 200.000 km (15.000 km / year). Aluminium component is on average 40% lighter than the replaced component (direct weight saving) and that 25% additional weight reduction is obtained by downsizing other components (indirect weight savings). On the base of this initial assumption following calculation has been made [2]:

- each kg of aluminium provides an average light-weighting of 1 kg



Slika 3 Potencialna uporaba aluminija [2]

Figure 3. Potential of aluminium application [2]



Slika 4 Porazdelitev aluminija v EU-avtomobilih [2]

Figure 4. Distribution of aluminium in EU cars [2]

avtomobila,

- 1 kg aluminija v avtomobilu zmanjša emisijo CO₂ za 17 % med celotno življenjsko dobo avtomobila,
- ker je evropska proizvodnja 16 000 000 avtomobilov na leto, pomeni to okoli 40 000 000 ton emisij CO₂ v življenjski dobi avtomobila,
- 140 kg aluminija v povprečnem avtomobilu pomeni 65 litrov letnega prihranka goriva.

Najširše uporabljan aluminijski del so kolesa. Zapleteni geometriji tankostenskih ulitkov najbolj ustreza zlitina AlSi11 (EN AC 44000). Za kolesa se največ uporablja nizkotlačno litje. Cilj naše raziskave je bil ugotoviti strjevalno zaporedje v zlitini z analizo vzorcev, vzetih iz obroča kolesa. Primer ulitka kolesa prikazuje slika 5.

Zlitina AlSi11 (EN AC 40000) spada v skupino »evtektičnih zlitin«, zanjo pa je značilno sorazmerno nizko tališče

- 1 kg of aluminium in a car reduces CO₂ emissions by 18 kg during its use phase
- 1 kg of aluminium in a car reduces CO₂ emissions by 17 kg during its whole life-cycle
- based on a yearly European production of 16 million cars, this corresponds to roughly 40 million tons of avoided CO₂ emissions during their lifespan.
- 140 kg of aluminium in an average car result in an annual average fuel saving of 65 litres.

The widest production of aluminium component refers to wheels. Complex geometry of thin wall wheel casting indicates application of AlSi11 alloy (EN AC 44000). Wheels are mostly produced by low pressure die cast technology. The aim of this investigation was to establish the solidification sequence of an alloy by analysis of the sample taken from the



Slika 5. Ulitek kolesa

Figure 5. Wheel casting

in ozek interval strjevanja, kar oboje prispeva k enakomerni porazdelitvi evtektične mikrostrukture in s tem odličnim mehanskim ter tehnološkim lastnostim [3-5]. Zato se ta zlitina široko uporablja za visoko- in nizkotlačno litje. Silicij je eden najpomembnejših zlitinskih elementov, ki prispevajo k dobri livnosti aluminijevih zlitin. Dodatek silicija izboljša odpornost proti pokanju v vročem in sposobnost napajanja ulitkov [6]. Sinergija učinkov vplivnih elementov in oligoelementov nam omogoča

wheel ribbon. An example of wheel casting is shown in Figure 5.

An AlSi11 alloy (EN AC 44000) belongs to the group of "eutectic alloys" and it is characterized with relatively low melting point and narrow solidification interval which both brought to the uniformly distributed eutectic microstructure indicating superior mechanical and technological properties [3-5]. This is the reason for this alloy to be widely used for high and low pressure die casting production. Silicon is one of the most important alloying elements which comprehend to good castability of aluminium alloys. Addition of silicon improves resistance to hot cracks and feeding capability [6]. Synergy of influenced alloying and trace elements effect comprehend to different intermetallic phase evolution [7].

Predicted solidification sequence of an AlSi11 alloy and development of possible microstructural constituents is shown in Table 1.

2. Experimental

Experimental was related to AlSi11 alloy (EN AC-44000) [8]. Investigation methodology

Razpredelnica 1. Reakcije, ki potekajo med strjevanjem zlitine AlSi11 [7]

Table 1. Reaction occurring during solidification of AlSi11 alloy [7].

Opisi reakcije / Reaction description	Reakcija / Reaction
Nastanek dendritne mreže / Dendrite network development	$L \rightarrow \alpha_{Al}$
Izločanje faz AlMnFe in AlFeSi / Precipitation of AlMnFe and AlFeSi phases	$L \rightarrow \alpha_{Al} + Al_{15}(FeMn)_3Si_2$
	$L \rightarrow \alpha_{Al} + Al_{15}(FeMn)_3Si_2 + Al_5FeSi$
Glavna evtektična reakcija in izločanje Si in MnFe / Main eutectic reaction and precipitation of Si and MnFe phases	$L \rightarrow \alpha_{Al} + \beta_{Si} + Al_{15}(FeMn)_3Si_2 + Al_5FeSi$
Izločanje sekundarnih evtektikov Mg_2Si in Al_2Cu / Precipitation of secondary eutectic Mg_2Si and Al_2Cu phases	$L \rightarrow \alpha_{Al} + Mg_2Si + Al_2Cu + Al_5FeSi + \beta_{Si}$
Izločanje ternarnih evtektikov AlFeMgSi in AlCuMg / Precipitation of ternary eutectic AlFeMgSi and AlCuMg phases	$L \rightarrow \alpha_{Al} + \beta_{Si} + Mg_2Si + Al_8FeMg_3Si_6 + Al_5Mg_8Cu_2Si_6$

razumeti nastanek različnih intermetalnih faz [7].

Napoved strjevalnega zaporedja v zlitini AlSi11 in nastanek možnih mikrostrukturnih sestavin daje razpredelnica 1.

2. Poskusi

Poskusi so bili narejeni z zlitino AlSi11 (EN AC-44000) [8]. Raziskovalna metodologija je zajemala taljenje in pripravo taline s kemično sestavo, zahtevano po predpisih. Ulivanje je potekalo na stroju za nizkotlačno ulivanje. Kemična sestava se je ugotavljala na licu mesta z analizo napravo ARL 3460 Advantage OES Metals Analyzer.

Kemična sestava taline se je najprej uporabila za izračun ravnotežnega faznega diagrama s programom ThermoCalc (TCW 5.0). Program omogoča izračun termodinamične stabilnosti posameznih faz. Za ugotavljanje temperatur izločanja posameznih mikrostrukturnih sestavin zlitine AlSi11 smo na napravi Netzch STA 409 C/CD napravili simultano termično analizo. Za analizo se je vzel preskušanelec z obroča dejanskega ulitka kolesa.

Metalografsko analizo smo napravili s svetlobnim mikroskopom Olympus GX51, da bi vizualno ugotovili posamezne mikrostrukturne sestavine. Vzorce smo fotografirali z digitalno kamero Olympus DP70 in jih pri različnih povečavah mikroskopa analizirali s programsko opremo Analysis@MaterialsResearchLab. Določene faze smo prepoznavali z vrstičnim mikroskopom Tescan Vega z EDS. Vzorci za metalografsko analizo so bili tudi vzeti iz ulitka dejanskega kolesa.

comprehends melting and preparation of requested chemical composition according requisition. Casting was performed on low pressure die casting machine. Chemical composition was determined "in situ" on ARL 3460 Advantage OES Metals Analyzer.

Chemical composition of melt was initial precondition for calculation of equilibrium phase diagram by ThermoCalc (TCW 5.0) programme. Programme enables calculation of thermodynamical stability of particular phases. In order to establish precipitation temperatures of particular microstructural constituents of AlSi11 alloy, simultaneous thermal analysis was performed on Netzch STA 409 C/CD. The analysis was performed on the test sample taken from the ribbon of actual wheel casting.

Metallographic analysis was performed on optical microscope Olympus GX51 in order to visually identification of particular microstructural constituents. Samples were recorded by digital camera Olympus DP70, while the analysis was performed by Analysis@MaterialsResearchLab software at different microscope magnifications. Particular phases were recognized on scanning electron microscope Tescan Vega by EDS investigation (energy dispersive spectrometry). Samples for metallographic analysis were also taken from the actual wheel casting.

3. Results and Discussion

3.1 Chemical investigation

Comparison of required chemical composition (EN 1706:1998, [8]) and actual sample shown in Table 2.

3. Rezultati in razprava

3.1 Kemična preiskava

Primerjavo med zahtevano kemično sestavo (EN 1706:1998 [8]) in sestavo vzorca daje razpredelnica 2.

3.2 Ravnotežno strjevanje – ThermoCalc (TCW)

Iz termodinamičnih izračunov stabilnosti posameznih faz pri začetni temperaturi 743 °C, tlaku 10^5 MPa in ugotovljeni kemični sestavi preiskovane zlitine je bil sestavljen ravnotežni fazni diagram, ki ga kaže slika 6.

Politermni prerez faznega diagrama zlitine AlSi11 kaže naslednje izračunano strjevalno zaporedje: izračun dendritne faze α_{Al} poleg izločanja visokotemperaturne intermetalne faze na osnovi železa, izračun primarnega in evtektičnega Si, izločanje kompleksnih faz $Al_8FeMg_3Si_6$ in Mg_2Si sekundarnega evtektika. Ker je talina stabilna do 566 °C in izračun sekundarnih evtektičnih faz poteka pod to temperaturo, kaže to na omejene možnosti izločanja. Ravnotežno termodinamično modeliranje tudi kaže na izločanje drugih intermetalnih faz, kot so $Al_{13}Cr_4Si_4$, $Al_5Cu_2Mg_8Si_6$ in Al_3Ni . Vse poteka pod 400 °C kot rezultat reakcij v trdnem stanju.

Chemical composition of an actual sample indicates minor quantities of trace elements. Iron and manganese was much below the requested values. Ratio Fe/Mn~53,23 was very high which indicates possible needle-like Al_5FeSi evolution. Low contents of magnesium and copper also limitate significant amount of secondary eutectic phase Mg_2Si and Al_2Cu .

3.2 Equilibrium Solidification – ThermoCalc (TCW)

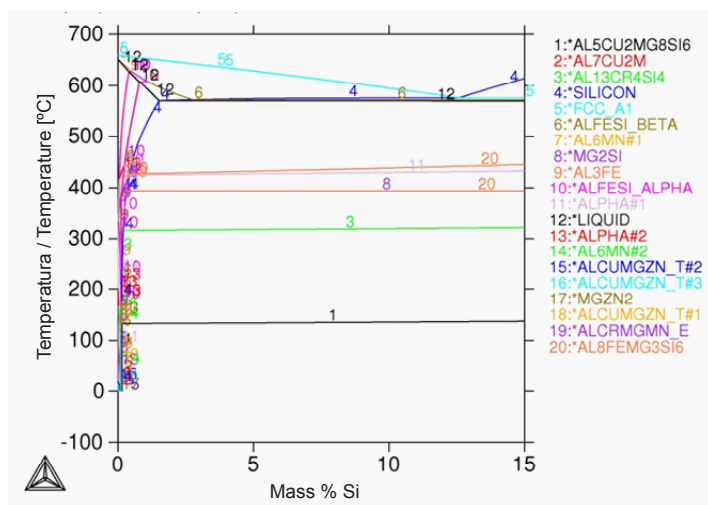
Thermodynamic calculation of particular phases stability at initial conditions of temperature 743 °C, pressure 10^5 MPa and obtained chemical composition of investigated alloy resulted in equilibrium phase diagram, shown in Figure 6.

Polythermal section of phase diagram of AlSi11 alloy indicates solidification sequence as follows: dendrite evaluation α_{Al} beside precipitation of high temperature intermetallic phases on iron base, silicon (primary and eutectic) evaluation, and precipitation of complex secondary eutectic intermetallic phases $Al_8FeMg_3Si_6$ and Mg_2Si . Since liquid is stable till 566 °C, secondary eutectic phases evaluation is occurring below this temperature which indicate limited sources and positions for its precipitation. Equilibrium thermodynamic modelling also indicates precipitation of other intermetallic phases such as $Al_{13}Cr_4Si_4$, $Al_5Cu_2Mg_8Si_6$ and Al_3Ni , all below 400 °C as a result of solid state reactions.

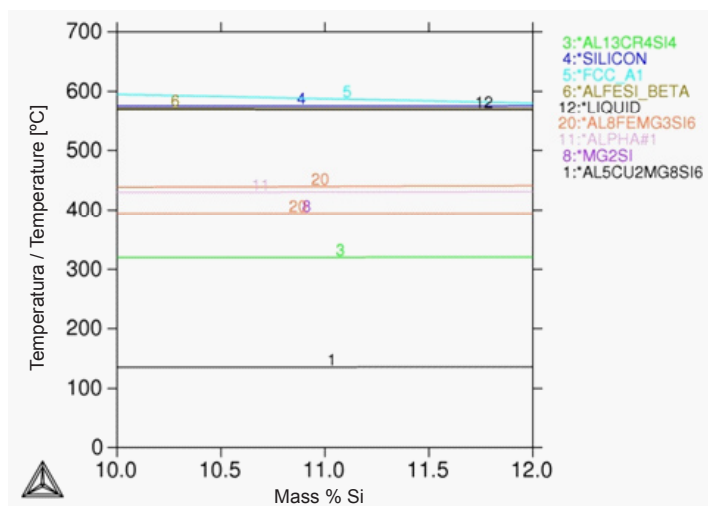
Razpredelnica 2. Primerjava med zahtevano kemično sestavo (EN 1706:1998 [8]) in sestavo vzorca

Table 2. Comparison of required chemical composition (EN 1706:1998, [8]) and actual sample

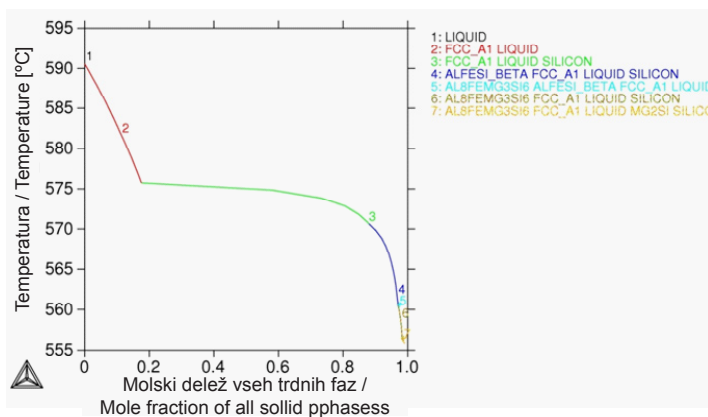
Element, m.f. %	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Cr	Ni	Sr
EN AC 44000	10,0-11,8	0,19	0,05	0,10	0,20-0,45	0,07	0,15	-	-	-
Dejanski vzorec / Actual sample	10,6276	0,0905	0,001	0,0017	0,1808	0,004	0,0909	0,0007	0,0046	0,0319



a)



b)



c)

Slika 6. Termodinamični izračun ravnotežnega faznega diagrama zlitine AlSi11

a) delni ravnotežni fazni diagram zlitine AlSi11 za 0–15 mas. % Si

b) delni ravnotežni fazni diagram zlitine AlSi11 za 12–15 mas. % Si

c) ravnotežno zaporedje strjevanja v zlitini AlSi11

Figure 6.

Thermodynamical calculation of equilibrium phase diagram of AlSi11 alloy

a) Partial equilibrium phase diagram of AlSi11 alloy from 0–15 % Si

b) Partial equilibrium phase diagram of AlSi11 alloy from 10–12 % Si

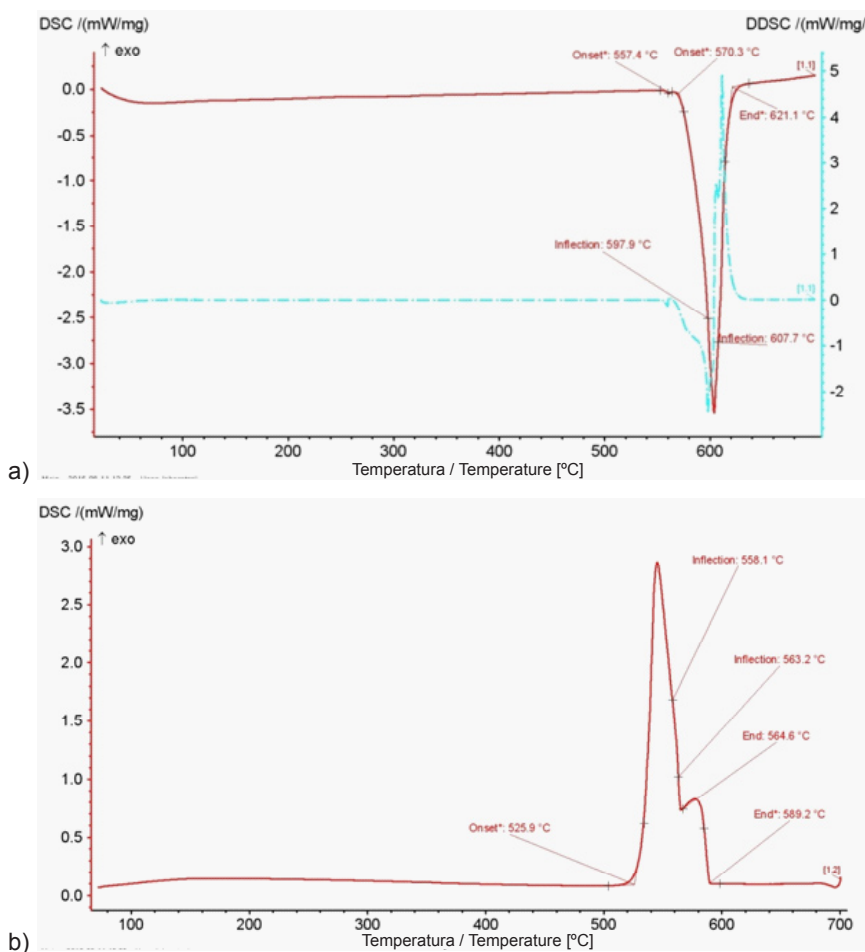
c) Equilibrium solidification sequence of AlSi11 alloy

3.3 Simultana termična analiza - diferencialna vrstična kalorimetrija (DSC)

Simultana termična analiza je bila narejena z napravo za diferencialno vrstično kalorimetrijo in prikazana kot diagram s segrevalnimi in ohlajevalnimi krivuljami, dobljenimi pri hitrosti 0,17 K/s, kot kažeta sliki 7a in 7b.

3.3 Simultaneous Thermal Analysis - Differential Scanning Calorimetry (DSC)

Simultaneous thermal analysis has been performed using differential scanning calorimetry (DSC) resulted in heating and cooling curves diagram with the rate of 0,17 K/s, shown in Figures 7a and b, respectively.



Slika 7 Simultana termična analiza zlitine AlSi11, narejena z napravo za diferencialno vrstično kalorimetrijo; a) segrevalna krivulja; b) ohlajevalna krivulja

Figure 7. Simultaneous thermal analysis of AlSi11 alloy samples by DSC method; a) heating and b) cooling curve

Razpredelnica 3 Primerjava temperatur faznih premen po DSC in TCW**Table 3.** Comparison of TCW and DSC phase transformation temperatures

Reakcija št. / Reaction No.	Temperatura / Temperature [°C]		Napovedana reakcija / Predicted reaction
	TCW	DSC	
1	590	589,2	Nastanek dendritne mreže / Dendrite network development
2	575	-	Izločanje primarnega silicija / Primary silicon evolution
3	572	564,6	Izločanje faze Al_5FeSi / Precipitation of Al_5FeSi phase
4	502	563,2	Eutektična reakcija / Eutectic reaction
5	439	558,1	Izločanje faze $\text{Al}_8\text{FeMg}_3\text{Si}_6$ / Precipitation of $\text{Al}_8\text{FeMg}_3\text{Si}_6$ phase
6	394	525,9	Izločanje faze Mg_2Si / Precipitation of Mg_2Si phase

Simultana termična analiza je pokazala na številne fazne premene pri strjevanju zlitine AlSi11. Primerjavo med temperaturami, dobljenimi z DSC, in z termodinamičnim modeliranjem (TCW) daje razpredelnica 3.

Pomik pomembnih faznih premen, ugotovljenih z diferencialno vrstično kalometrijo, k nižjim temperaturam je bil pričakovan zaradi neravnotežnih razmer. Eutektična reakcija poteka pri občutno višji temperaturi (563,2 °C) v primerjavi z ravnotežnimi razmerami. Strjevanje dejanskega vzorca se konča s kompleksnima fazama $\text{Al}_8\text{FeMg}_3\text{Si}_6$ in Mg_2Si .

3.4 Metalografska analiza

Zlitino AlSi11 smo metalografsko analizirali s svetlobnim in vrstičnim elektronskim mikroskopom. S svetlobnim mikroskopom so se vizualno ugotavljale mikrostrukturne sestavine na osnovi njihovih morfoloških značilnosti. Določene značilne faze smo prepoznavali z vrstičnim elektronskim mikroskopom (SEM) z energijsko disperzijsko sprektrometrijo (EDS).

3.5 Svetlobna mikroskopija

Z mikrostrukturno preiskavo smo ugotavljali mikrostrukturne sestavine vzorcev osnovne

Simultaneous thermal analysis indicates a number of phase transformations during solidification of AlSi11 alloy. Comparison of DSC obtained temperatures with those obtained by thermodynamic modelling – TCW is shown in Table 3.

The shift of significant DSC phase transformations temperatures toward lower values was expected due to non-equilibrium conditions. Eutectic reaction occurs at significantly higher values (563,2 °C) when compared to equilibrium one. Solidification of actual sample ends with complex intermetallic phases $\text{Al}_8\text{FeMg}_3\text{Si}_6$ and Mg_2Si .

3.4 Metallographic Analysis

Metallographic analysis of AlSi11 alloy was performed by optical and scanning electron microscopy. Optical microscopy was used for visual identification of microstructural constituents on the base of their morphology characteristics. Noticed characteristic phases were identified by scanning electron microscope (SEM) using energy dispersive spectrometry (EDS).

3.5 Light Microscopy

Microstructural investigations comprehend visual identification of microstructural

in modificirane zlitine AlSi11, vzetih iz taline, in jih primerjali z mikrostrukturnim atlasom [7].

Različne povečave so odkrile številne mikrostrukturne sestavine in njihove morfologije, kot prikazuje slika 8.

V splošnem je bila mikrostruktura vzorca zlitine AlSi11 sestavljena iz naslednjih sestavin: primarni dendriti aluminija (α_{Al}), eutektični silicij, intermetalne faze na osnovi železa, predvsem igličasta faza Al_5FeSi , in še drobne faze na osnovi magnezija (Mg_2Si , $Al_8FeMg_3Si_6$).

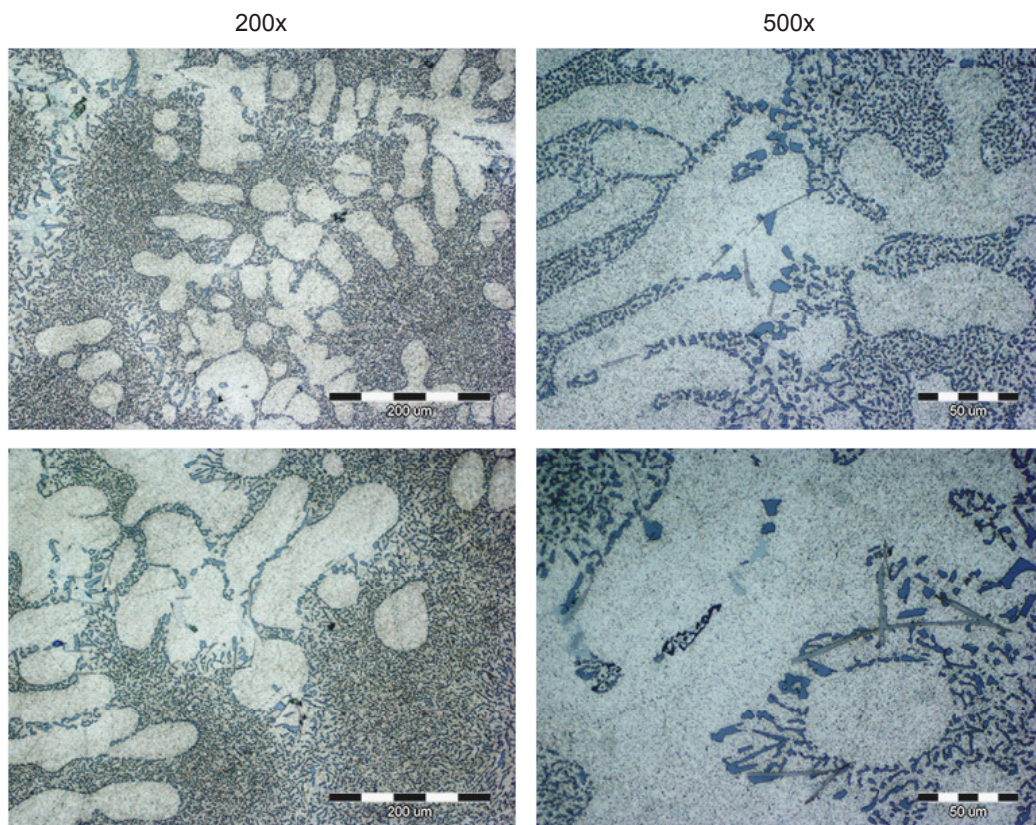
Mikrostruktura kaže na dobro razvito dendritno mrežo. Analiza razdalj med sekundarnimi dendritnimi vejami (SDAS) je

constituents of base and modified AlSi11 alloy melt samples by comparison with the microstructure atlas [7].

Different magnification reveals number of microstructural constituents and their morphologies, as shown in Figure 8.

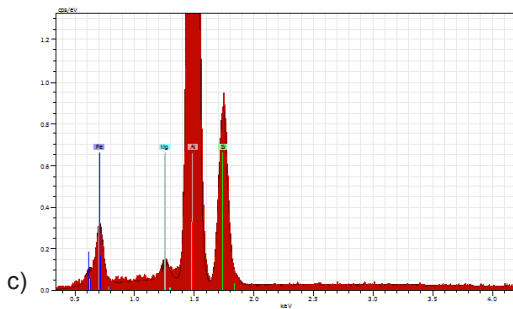
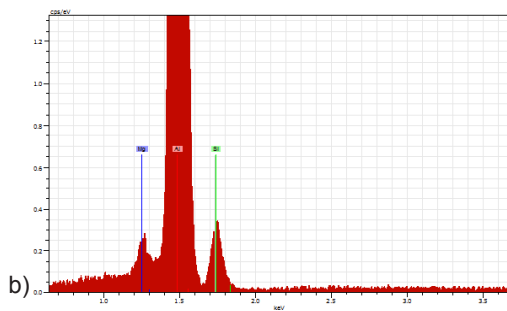
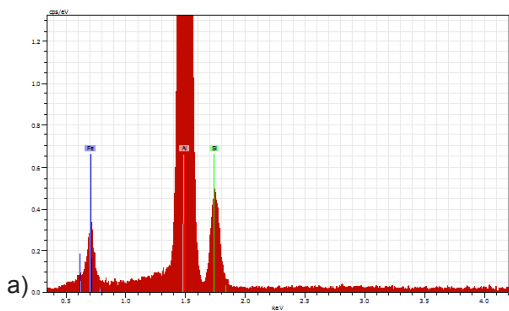
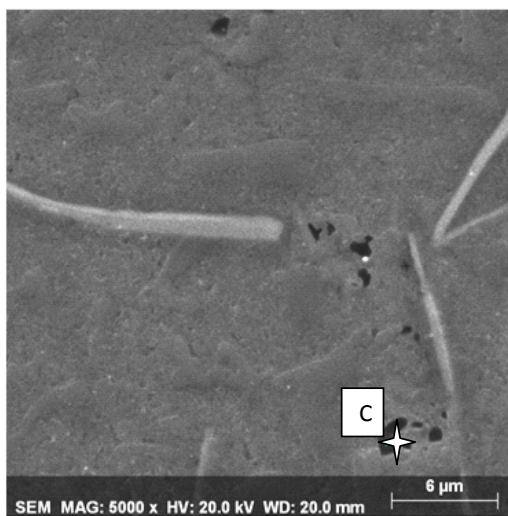
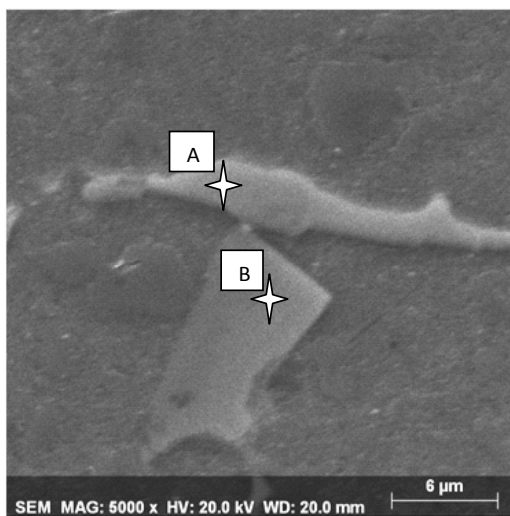
In general, in microstructure of AlSi11 alloy sample consist from following constituent: primary aluminum dendrites (α_{Al}), eutectic silicon, intermetallic phases on iron base mostly in needle-like morphology Al_5FeSi , as well as fine secondary intermetallic phases on the base of magnesium (Mg_2Si , $Al_8FeMg_3Si_6$).

Microstructure indicates highly developed dendrite network. An analysis of



Slika 8 Mikrostruktura zlitine AlSi11

Figure 8. Microstructure of AlSi11 alloy



Slika 9. Analiza mikrostrukturnih sestavin v zlitini AlSi11 s SEM/EDS

Figure 9. Analysis of microstructural constituents of AlSi11 alloy by SEM/EDS

dala naslednji rezultat $SDAS = 30,39 \mu m$, kar ustreza tehnologiji nizkotlačnega litja. Eutektični silicij je bil v celoti modificiran.

secondary dendrite arm spacing resulted in following value $SDAS = 30,39 \mu m$ which corresponds to applied low pressure die casting technology. Eutectic silicon has been completely modified.

3.6 Elektronska mikroskopija

Mikrostrukturne sestavine zlitine AlSi11 so bile preiskane z energijskodisperzijsko spektrometrijo. Primere ugotavljanja intermetalnih faz kaže slika 9.

Z EDS smo ugotovili naslednje mikrostrukturne sestavine v zlitini AlSi11: primarni aluminij (α_{Al}), glavni evtektik ($\alpha_{Al} + \beta_{Si}$), visokotemperaturno fazo Al_5FeSi na osnovi železa, in intermetalni fazi sekundarnega evtektika (Mg_2Si , $Al_8FeMg_3Si_6$).

4 Sklepi

Zlitina AlSi11 je navadno uporabljana zlitina v avtomobilski industriji, ker ima ozek interval strjevanja, kar omogoča dobro livnost in specifično strjevalno zaporedje zaradi večje količine sekundarnih zlitinskih elementov in oligoelementov. Delež sekundarnih zlitinskih elementov (Mg, Cu) in oligoelementov (Fe, Mn, Cr, Zn) je bil v preiskani zlitini AlSi11 majhen. Tankostenska geometrija ulitka zagotavlja hitro ohlajanje v zelo kratkem času, kar je pomembno za nastanek številnih intermetalnih faz. Modeliranje ravnotežnega faznega diagrama, simultana fazna analiza in mikrostrukturne preiskave so omogočile ugotoviti strjevalno zaporedje v zlitini AlSi11.

Metalografska analiza je pokazala prisotnost naslednjih faz: primarni aluminij (α_{Al}), glavni evtektik ($\alpha_{Al} + \beta_{Si}$), visokotemperaturna faza Al_5FeSi na osnovi železa, in intermetalni fazi sekundarnega evtektika (Mg_2Si , $Al_8FeMg_3Si_6$).

Primerjava dobljenih mikrostrukturnih sestavin, sestavin, napovedanih s termodinamičnim modeliranjem, in sestavin, ki jih je nakazala diferencialna vrstična kalorimetrija, je omogočila natančno ugotoviti strjevalno zaporedje zlitine z našo

3.6 Electron Microscopy

Microstructural constituent of AlSi11 alloys were examined by energy dispersive spectrometry. Examples of identification of intermetallic phases are shown in Figure 9.

Following microstructural constituents have been established by EDS analysis of AlSi11 alloy: primary aluminium α_{Al} , main eutectic $\alpha_{Al} + \beta_{Si}$, high temperature iron base phase Al_5FeSi , secondary eutectic intermetallic phases Mg_2Si and $Al_8FeMg_3Si_6$.

4 Conclusions

Although AlSi11 alloy represents a common alloy in automotive applications with narrow solidification interval characterized with high castability, it reveals specific solidification sequence due to amount of secondary alloying and trace elements. The content of secondary alloying elements (Mg, Cu) and trace elements (Fe, Mn, Cr, Zn) was minor in investigated AlSi11 alloy. Also thin wall casting geometry ensures rapid cooling with minimal available time for significant number of intermetallic phases development. Modelling of equilibrium phase diagram, simultaneous phase analysis and microstructural investigations resulted in determination of solidification sequence of AlSi11 alloy.

Metallographic analysis resulted in following microstructural constituents: primary aluminium α_{Al} , main eutectic $\alpha_{Al} + \beta_{Si}$, high temperature iron phase Al_5FeSi , intermetallic phases in form of secondary eutectic Mg_2Si and $Al_8FeMg_3Si_6$.

Correlation of established microstructural constituents with thermodynamic modelling and differential scanning calorimetry indicates exact solidification sequence for this particular

sestavo: nastanek dendritne mreže (589,2 °C), izločanje faze Al_5FeSi (564,6 °C), eutektična reakcija (563,2 °C), izločanje faze $\text{Al}_8\text{FeMg}_3\text{Si}_6$ (558,1 °C) ter izločanje Mg_2Si faze (525,9 °C).

chemical composition as follows: dendrite network development (589,2 °C), precipitation of Al_5FeSi phase (564,6 °C), eutectic reaction (563,2 °C), precipitation of $\text{Al}_8\text{FeMg}_3\text{Si}_6$ phase (558,1 °C), and precipitation of Mg_2Si phase (525,9 °C).

Viri / Literature

- [1] EAA - European Aluminium Association 4: Aluminium in cars, report "Sustainability of the European aluminium industry 2008", http://www.european-aluminium.eu/pdf/Aluminium_in_cars_Sept2008.pdf
- [2] EAA-Aluminium-in-Cars-Unlocking-the-light-weighting-potential, 2013, http://www.european-aluminium.eu/wp-content/uploads/2013/10/EAA-Aluminium-in-Cars-Unlocking-the-light-weighting-potential_September2013_03.pdf
- [3] J. R. Davis, Aluminium and Aluminum Alloys, ASM Specialty Handbook, ASM International, Materials Park, Ohio, USA, (2002).
- [4] J. Campbell, Metal quality studies in secondary remelting of aluminum, Technical Paper, 47 (2004), 78-81.
- [5] K. Krone, Aluminiumrecycling, Vom Vorstoff bis zur fertigen Legierung, Vereinigung Deutscher Schemlhütten, Düsseldorf, 2000
- [6] BAKER, H.: Alloy Phase Diagrams. ASM Handbook – Volume 3. ASM International, Materials Park. Ohio, 1992., p. 253
- [7] L. Bäckerund, G. Chai, J. Tamminen: Solidification Characteristics of Aluminium Alloys, Foundry Alloys, AFS/Skanaluminium, Stockholm, 2, (1999).
- [8] EN 1706:1998 Aluminium and aluminium alloys – Castings – Chemical composition and mechanical properties

AKTUALNO / ACTUAL

Koledar livarskih prireditvev

Termin	Naziv dogodka	Kraj / država dogodka
14.-16.09.2016	56th International Foundry Conference Portoroz 2016	Portoroz/Slovenija
20.-22.09.2016	Metal 2016	Kielce/Poljska
21.-23.09.2016	Int. Zinc Diecasting Conference	Brescia/Italija
23.-24.09.2016	International Foundry Forum	Dresden/Nemčija
28.09.-01.10.2016	48. IOC 2016	Bor/Srbija
29.09.-01.10.2016	ANKIROS – ANNOFER - TURKCAST	Istanbul/Turčija
03.-07.10.2016	Fond-Ex	Brno/Češka
01.-02.02.2017	VDI-Tagung Giesstechnik im Motorenbau	Magdeburg/Nemčija
16.-17.03.2017	Aachener Giesserei-Kolloquium	Aachen/Nemčija

Spajanje zlitin AA1170 in AA6060

Bonding of AA1170 and AA6060 alloys

Izvleček

Interakcija med dvema materialoma na osnovi aluminija za posebne namene, kot je delo pri povišanih temperaturah in tlakih, pospešuje spajanje v trdnem. Zaradi povišane temperature na fazni meji tam poteka difuzija. Tako imenovano »difuzijsko spajanje« poteka pri temperaturah, ki predstavljajo 50 - 70 % temperature tališča osnovnega materiala. Pred spajanjem je potrebno trdni površini ustrezno očistiti. Vse nečistoče na površini (okside, prah, vlago ...) je potrebno odstraniti.

Preiskovali smo interakcije med dvema enakima (AA1170) in dvema različnima (AA1170 in AA6060) materialoma. Preizkuse smo naredili s termomehanskim simulatorjem metalurških stanj Gleeble 1500D pri različnih temperaturah (400–600 °C), z različnimi silami (40–80 kN) in različnimi konstrukcijami orodji. Stisnjene vzorce smo preiskovali makroskopsko. Mikrostrukture smo analizirali s svetlobno mikroskopijo, spoje pa z DSC-analizo. Najboljše rezultate spajanja smo dosegli pri stiskanju z orodjem z negativom rebra s silo 35 kN pri temperaturi 450 °C. Za čiščenje smo uporabili čistilno sredstvo Nubadur 152 (S).

Ključne besede: aluminijeve zlitine, spajanje, povišane temperature

Abstract

The interaction of the two materials based on aluminium for special conditions, such as elevated temperature and pressure, speeds up the bonding in the solid. Due to the elevated temperature at the interface, the process of diffusion occurs. The so-called "diffusion bonding" is carried out at high temperatures, of about 50-70 % of the melting temperature of the base material. Before bonding the solid surface must be properly cleaned. All the impurities (oxides, dust, moisture ...), which are present on the surface of metals must be removed.

The interaction between two identical (AA1170) and two different (AA1170 and AA6060) materials has been investigated. Tests were carried out by thermomechanical simulator of metallurgical states Gleeble 1500D at different temperatures (400–600 °C), forces (40–80 kN) and various tool constructions. Compressed samples were examined macroscopically. Furthermore, the microstructure was analyzed by optical microscope and the bond was tested using DSC analysis. The microhardness of the bonds was analysed. The best results show the bond that was compressed with the construction of the tool with negative rib at temperature of 450 °C and force of 35 kN, which was cleaned with cleaning media Nubadur 152 (S).

Key words: Aluminium alloys, bonding, elevated temperature

1. Uvod

Difuzijsko spajanje materialov v trdnem stanju je postopek za izdelavo monolitnih spojev, pri katerih nastanejo vezi na atomski ravni kot rezultat spajanja dveh površin zaradi lokalne plastične deformacije pri povišanih temperaturah, kar pospešuje medsebojno difuzijo v površinskih plasteh materialov, ki so v stiku [1].

Spajanje v trdnem stanju je skupna oznaka za postopke spajanja brez veziva. Material se segreje, da nastane luknjičasta površina, spoj pa se doseže s stiskanjem. Površini prideta v stik na ravni atomskih razdalj, zato na vez vplivajo adhezijske sile. Ker se v mejni plasti poviša temperatura, se sproži difuzijski proces. Zaradi pritiska se vez deformira, kombinacija pritiska ter visoke temperature pa spodbudi proces rekristalizacije [2].

Difuzijsko spajanje navadno poteka pri visokih temperaturah, ki predstavljajo 50–70 % temperature tališča osnovnega materiala. Daljši časi, ki se uporabljajo pri klasičnih postopkih spajanja s pritiski, npr. pri spajanju z valjanjem ali kovanjem, olajšajo lezenje, kar prispeva k boljšemu spajanju in pomeni, da je potreben manjši pritisk za tesen stik med očiščenima površinama. Zato difuzijsko spajanje za razliko od večine postopkov spajanja v trdnem navadno ni povezano z veliki deformacijami [3]. Postopki difuzijskega spajanja se delijo na difuzijsko spajanje brez dodajanja materiala in na difuzijsko spajanje z dodajanjem materiala. V našem primeru je bilo uporabljeno difuzijsko spajanje brez dodajanja materiala.

Spajanje v trdnem stanju je postopek, pri katerem povišana temperatura in tlak omogočata nastanek vezi, ko razmere na stični površini omogočijo difuzijo. Pred spajanjem morata biti stični površini ustrezno očiščeni. Vse nečistoče, kot so

1. Introduction

Diffusion bonding of materials in the solid state is a process for making a monolithic joint with the formation of bonds at an atomic level as a result of joining the opposite surfaces due to local plastic deformation at elevated temperatures, which increases the interdiffusion at the surface layer of the materials, which are brought together [1].

Joining in solid state is a joint mark for proceedings in which there is no bonding material, but the material is heated only to the pitting state and the joint is achieved by pressing. Here the surface is brought to the atomic level distance (distance between the atoms), therefore the adhesion forces influence on the bond. Due to the increase in temperature at the boundary layer the process of diffusion occurs. Because the bond is deformed due to the pressure, a combination with the high temperature processes of recrystallization occurs [2].

Diffusion bonding in the solid state is normally carried out at high temperatures, approximately 50 – 70 % of the melting temperature of the base material. Longer times used in conventional joining by pressure, for example roll or forge bonding, are used to facilitate the process of creep to contribute to the bonding and that there is a reduction of pressure required to achieve close contact between the cleaned surfaces. Therefore, in opposite to most processes of the solid state joining, diffusion bonding is not normally associated with high deformations [3]. The diffusion bonding procedures are divided into diffusion bonding without added material, and the diffusion bonding with the addition of material. In our case, the method used is the diffusion bonding without added material.

Joining the solid state is a process where elevated temperature and pressure allow the formation of the bond, whereas

dušik, absorbirani ioni (ioni žvepla, fosforja in kisika), delci prahu, maščoba in vlaga, je potrebno odstraniti [4]. Površina se lahko očisti kemično ali mehansko [5].

Cilj tega prispevka je bil preiskati interakcijo med dvema materialoma na osnovi aluminija in tudi ugotoviti optimalne razmere za stiskanje, ki omogočajo dobro spajanje. Narejene so bile tri različne serije spajanja pri različnih pogojih in določili najboljše razmere za stiskanje zlitin AA1170 in AA6060.

2. Raziskovalni del

Raziskali smo interakcijo med dvema enakima (AA1170) in dvema različnima (AA1170 in AA6060) materialoma. Kemične sestave uporabljenih zlitin so prikazane v razpredelnici 1. Razpredelnica 2 prikazuje tri različne serije poskusov pri različnih eksperimentalnih pogojih. Vezi smo preskušali s termomehanskim simulatorjem metalurških stanj Gleeble 1500D z različnimi silami (40–80 kN) pri različnih temperaturah (400–600 °C), pri čemer smo orodje za stiskanje vsakokrat prilagodili dobljenim predhodnim rezultatom.

Naredili smo tri različne serije poskusov stiskanja. Prva serija vzorcev je bila stisnjena pri enaki, konstantni temperaturi (400 °C), medtem ko se je sila stiskanja spreminjala. Uporabili smo čistilo Ridolin 241 (5 %). Vse vzorce smo metalografsko pripravili in preiskali s svetlobnim mikroskopom Olympus BX61. Poleg tega smo merili tudi debelino vezi.

V drugi seriji se je spremenila geometrija stiskalnega orodja. Vzorce smo stiskali pri različnih temperaturah in z različnimi pomiki orodja. Uporabili smo čistilo Nabudur 152 (5 %). Vse vzorce smo preiskali s svetlobnim mikroskopom Olympus BX61 in izmerili debelino vezi. Pri vzorcih 2/2 in

these conditions on the contact surface lead to diffusion. Very important is also the preparation of the surface. Before joining the solid surface must be provided by properly cleaning. All contaminants must be eliminated, which may consist of nitrogen, absorbed ions (ions of sulphur, phosphorus and oxygen), the dust particles, grease and moisture [4]. The surface can be cleaned chemically or mechanically [5]. The purpose of this work was to investigate the interaction between the two materials based on aluminium and also to determine optimal conditions of compression that would provide a good bond. Three different series of compression at different conditions were examined and the best conditions of pressing aluminium alloy AA1170 and AA6060 were determined.

2. Experimental Work

The interaction between two identical (AA1170) and two different (AA1170 and AA6060) materials was investigated. Chemical composition of used alloys is presented in Table 1. With this aim, three different series were made at various experimental conditions, presented in Table 2. Tests of bonding were carried out by thermomechanical simulator of metallurgical states Gleeble 1500D at different temperatures (400–600 °C) and forces (40–80 kN), whereas the bonding tool was adjusted every time regarding the previous results.

Three different series of compression tests were made. The first series of samples were compressed at the same, constant temperature (400 °C), where the force of compression varied. Cleaning agent Ridolin 241 (5 %) was used. All samples were metallographic prepared and analyzed using an optical microscope Olympus BX61.

Razpredelnica 1. Kemična sestava uporabljenih zlitin / mas. %**Table 1.** Chemical composition of used alloys / mass fraction, %

		Element									
		Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti
Zlitina / Alloy	AA1170	ostanek / alloy	0,0423	0,1030	0,0027	0,0032	0,0204		0,0037	0,0133	0,0050
	AA6060	ostanek / alloy	0,5188	0,3124	0,0121	0,0211	0,6407	0,0040	0,0032	0,0459	0,0118

Razpredelnica 2. Vzorci za poskuse**Table 2.** Experimental samples

vzorec / sample	zgornji vzorec / upper sample	spodnji vzorec / lower sample	temperatura / temperature [°C]	sila / force [kN]
1/1	AA1170 (očiščen) / (cleaned)	6060 (očiščen) / (cleaned)	400	80
1/2	AA1170 (očiščen) / (cleaned)	AA1170 (očiščen) / (cleaned)	400	27
1/3	AA1170 (očiščen) / (cleaned)	AA1170 (očiščen) / (cleaned)	400	40
1/4	AA1170 (očiščen) / (cleaned)	AA6060 (očiščen) / (cleaned)	400	40
1/5	AA1170 (očiščen) / (cleaned)	AA1170	400	40
1/6	AA1170 (očiščen) / (cleaned)	AA6060	400	40
1/7	AA1170 (očiščen) / (cleaned)	AA1170 (očiščen) / (cleaned)	400	60
1/8	AA1170 (očiščen) / (cleaned)	AA6060 (očiščen) / (cleaned)	400	60
1/9	AA1170 (očiščen) / (cleaned)	AA1170	400	60
1/10	AA1170 (očiščen) / (cleaned)	AA6060	400	60
2/1	AA1170 (očiščen) / (cleaned)	AA1170 (očiščen) / (cleaned)	400	1,5
2/2	AA1170 (očiščen) / (cleaned)	AA1170 (očiščen) / (cleaned)	500	2,5
2/3	AA1170 (očiščen) / (cleaned)	AA1170 (očiščen) / (cleaned)	500	3
2/4	AA1170 (očiščen) / (cleaned)	AA1170 (očiščen) / (cleaned)	600	3
2/5	AA1170 (očiščen) / (cleaned)	AA1170 (očiščen) / (cleaned)	550	3
2/6	AA1170 (očiščen) / (cleaned)	AA6060 (očiščen) / (cleaned)	500	3
2/7	AA1170 (očiščen) / (cleaned)	AA6060 (očiščen) / (cleaned)	550	3
2/8	AA1170 (očiščen) / (cleaned)	AA6060 (očiščen) / (cleaned)	450	3
3/1	AA1170	AA6060	450	3
3/2	AA1170	AA6060	500	3
3/3	AA1170	AA6060	550	3
3/4	AA1170	AA1170	550	3
3/5	AA1170	AA1170	500	3
3/6	AA1170	AA1170	450	3

2/7 smo merili še trdoto. Poleg tega smo vzorce elektrolizno jedkali in mikrostrukturo preiskali v polarizirani svetlobi.

V tretji seriji poskusov se je geometrija orodja zopet spremenila. Napravili smo

Furthermore, the thickness of the bond was measured.

In the second series the squeezing tool geometry was changed. Samples were pressed at different temperatures

negativ orodja, ki je bilo uporabljeno v drugi seriji. Uporabili smo čistilo Nabudur 152 (5 %). Pri vzorcih 3/1, 3/3, 3/4 in 3/6 smo merili debelino vezi, vzorca 3/3 in 3/4 smo elektrolizno jedkali in mikrostrukturo analizirali v polarizirani svetlobi.

Z diferenčno vrstično kalorimetrijo (DSC) smo analizirali dva vzorca druge serije (2/5 in 2/7) in dva vzorca (3/3 in 3/4) tretje serije poskusov stiskanja. Vsi vzorci so bili stisnjeni pri 550 °C, pomik orodja je bil 3 mm. Edina razlika med njimi je bila geometrija orodja. Z DSC analizo smo analizirali tudi nedeformirano zlitino AA1170. Trdoto smo merili z merilnikom Vickers - Instron Tukon 2100B. Obremenitev je bila 0,02 kg.

Vzorke smo vložili v hladno polimerno maso in jih pripravili po standardnem metalografskem postopku za mikroskopske preiskave. Nekatere smo tudi elektrolizno jedkali. Vzorke smo preiskali s stereomikroskopom Olympus SZ61 in svetlobnim mikroskopom Olympus BX61, s katerim smo tudi merili debelino vezi.

3. Rezultati in razprava

Rezultate meritev pri poskusih stiskanja vzorcev 1/3 in 1/8 kaže slika 1. Merili smo temperaturo, silo in pomik orodja. Pri prvi seriji poskusov stiskanja se je temperatura znižala za 70–100 °C. Uporabljeni sili sta bili 40 in 60 kN.

Slika 2 grafično prikazuje časovno spreminjanje sile, temperature in pomika orodja glede na čas pri drugi seriji poskusov stiskanja. Vidi se, da se je temperatura pri vseh stiskanjih znižala za 50 do 100 °C. Pri stiskanju pri 500 °C in pomiku orodja za 3 mm (slika 2.a) je bila dosežena sila 75 kN. Ko se je temperatura stiskanja zvišala za 50 °C (slika 2.b), se je sila zmanjšala za okrog 10 kN.

and different movements of the tool. Cleaning agent Nabudur 152 (5 %) was used. All samples were examined with an optical microscope Olympus BX61 and the thickness of the bond was measured. At the samples 2/5 and 2/7 the hardness was measured. Moreover, these samples were electrolytic etchant and the microstructure was analyzed in polarized light.

In the third series the geometry of the tool has been changed, namely, a negative tool used in the second series has been created. Cleaning agent Nabudur 152 (5 %) was used. In the samples 3/1, 3/3, 3/4 and 3/6 the thickness of the bond was measured, samples 3/3 and 3/4 were electrolytic etched and microstructurally analyzed in the polarized light.

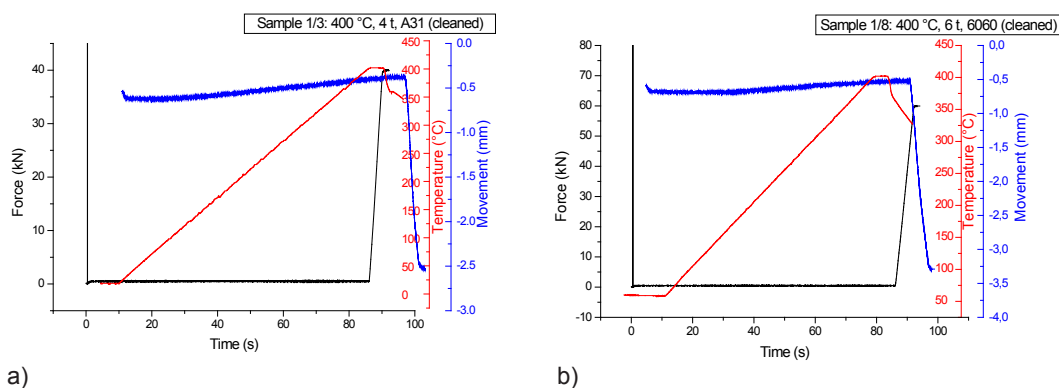
DSC analysis was made from two samples of the second (2/5 and 2/7) and from two samples from the third (3/3 and 3/4) series of compression tests. All these samples were pressed at temperature 550 °C, and the movement of the tool was 3 mm. The only difference between them was the tool geometry. DSC analysis was done on the undeformed alloy AA1170 also.

Hardness measurements were carried out on Vickers - Instron Tukon 2100B. Load was 0.02 kg.

Samples were submitted into the polymer cold mass and microscopic prepared by standard metallographic procedure, some were also electrolytic etched. The samples were examined with a stereo-microscope Olympus SZ61 and an optical microscope Olympus BX61, where the thickness was also measured.

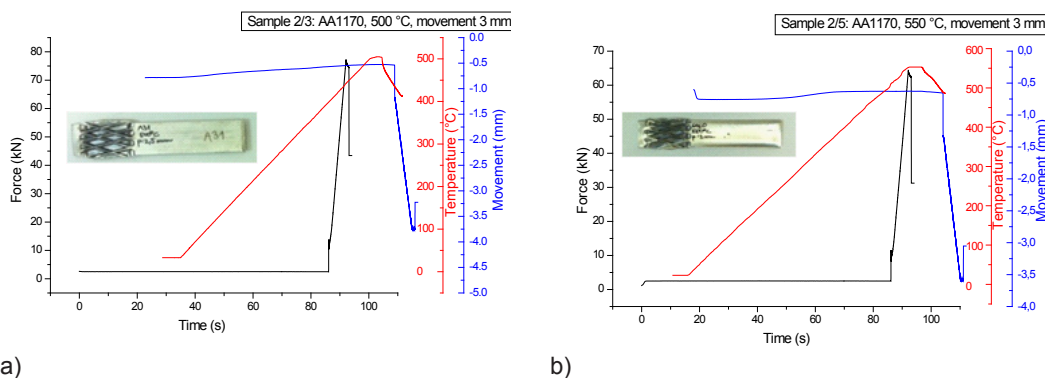
3 Results and Discussion

The measurements of compression test of samples 1/3 and 1/8 are presented in Figure 1. The temperature, force and the



Slika 1. Grafični prikaz časovnega spreminjanja sile, temperature in pomika orodja za vzorca 1/3 (a) in 1/8 (b)

Figure 1. Graphic show of force, temperature and tool movement of sample 1/3 (a) and 1/8 (b)



Slika 2. Grafični prikaz časovnega spreminjanja sile, temperature in pomika orodja pri vzorcih 2/3 (a) in 2/5 (b)

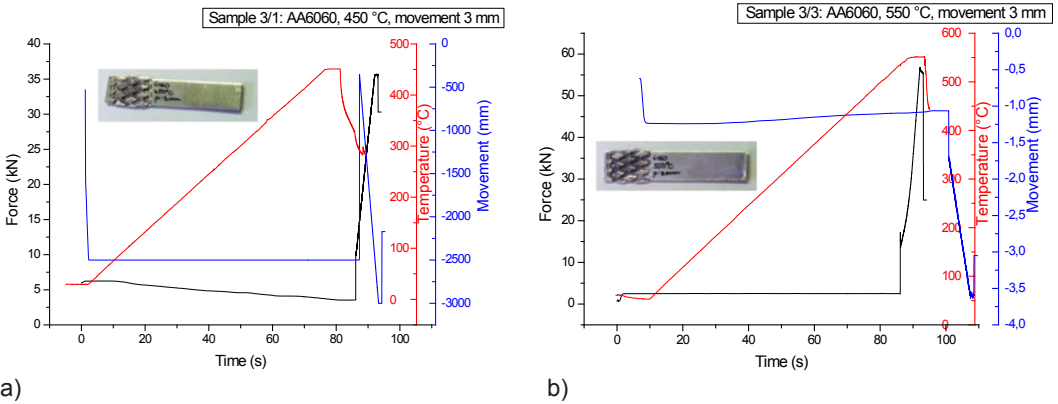
Figure 2. Graphic show of force, temperature and tool movement of sample 2/3 (a) and 2/5 (b)

Diagram na sliki 3 kaže časovno spreminjanje sile, temperature in pomika orodja pri tretji seriji poskusov stiskanja. Vidi se, da se je temperatura pri vseh poskusih stiskanja znižala za 80 - 150 °C. Dosežene sile so bile med 35 in 70 kN.

Trdoto smo merili na vzorcih 2/5 in 2/7. Na nestisnjenem delu vzorca 2/5 je bila trdota zlitine AA1170 približno 28 HV, na stisnjenem pa približno 32 HV. Vidi se, da se trdota materiala s stiskanjem rahlo

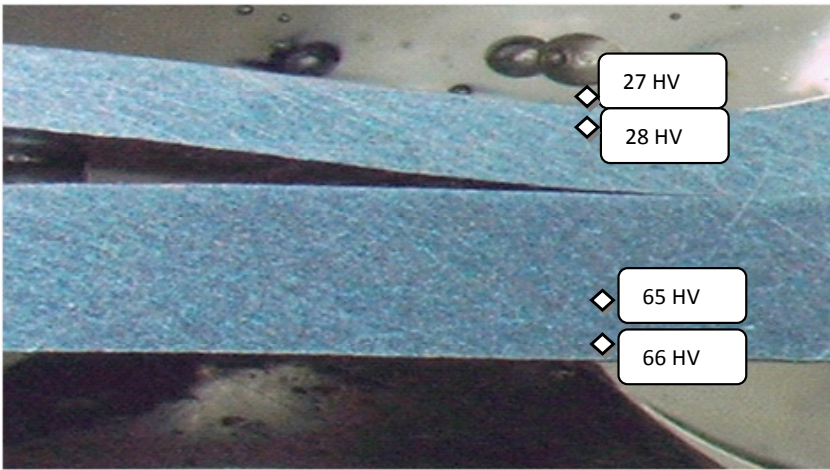
movement of the tool were measured. At the first series of pressing tests the temperature was reduced namely by 70–100 °C. The tests were made with force of 40 and 60 kN.

Figure 2 shows a graphical representation of the force, temperature and the tool movement regarding the time of the second series of compression tests. It can be seen that the temperature in all cases of the compression is reduced from 50 to 100

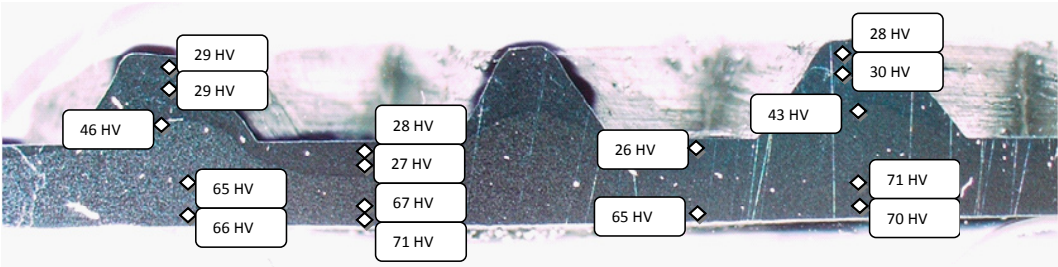


a) b)
Slika 3. Grafični prikaz časovnega spreminjanja sile, temperature in pomika orodja pri vzorcih 3/1 (a) in 3/3 (b)

Figure 3. Graphic show of force, temperature and tool movement of sample 3/1 (a) and 3/3 (b)



Slika 4. Trdota vzorca 2/7, nespojeni vzorec
Figure 4. Hardness of sample 2/7, unbonded part



Slika 5. Trdota vzorca 2/7, spojeni vzorec
Figure 5. Hardness of sample 2/7, bonded part

spreminja. Pri stiskanju vzorca 2/7 je bila trdota nestisnjenega dela zlitine AA1170 (slika 4) okoli 27 HV, zlitine AA6060 pa 65 HV. Na stisnjenem delu zlitine AA1170 (slika 5) je bila trdota okoli 28 HV in zlitine AA6060 67 HV, trdota vezi pa je bila 44 HV. Vidi se, da je trdota zlitine AA6060 dvakrat višja od trdote zlitine AA1170. Trdota vezi je nekje vmes.

V prvi seriji poskusov stiskanja je spoj nastal vedno, kadar je bila površina obeh vzorcev očiščena. Vidi se, da smo najboljšo vez dosegli pri stiskanju enakih materialov. Najboljša vez je bila pri vzorcih 1/3 in 1/7, ko sta bila stisnjena enaka materiala s silo 40 kN in 60 kN. A pri stiskanju dveh različnih aluminijastih materialov se je na spoju vedno pojavilo nekaj oksida. Razpredelnica 3 prikazuje rezultate meritev spoja za vse tri serije poskusov stiskanja.

V drugi seriji poskusov stiskanja je bila vez dosežena vedno. Pri stiskanju enakih materialov meje niso bile vidne, pri stiskanju različnih pa so bile vidne. Pri stiskanju pri temperaturi 600 °C (vzorec 2/4) je med poskusom prišlo do taljenja materiala. Na sliki 6 je prikazan makroskopski posnetek vezi vzorca 2/6. Razpredelnica 3 prikazuje tudi rezultate meritev debeline vezanih vzorcev v drugi seriji poskusov stiskanja.

Tudi pri tretji seriji poskusov stiskanja je vedno nastal spoj. Meje med enakimi materiali pri stiskanju niso bile vidne, medtem ko so bile vidne pri stiskanju

°C. In the case of compression at 500 °C and the displacement of 3 mm (Figure 2.a), a force of 75 kN was achieved. When the temperature of compression increased for 50 °C (Figure 2.b), the force is reduced by approximately 10 kN.

The graph in Figure 3 shows the dependence of force, temperature and displacement on the time of the third series of compression tests. It can be seen that the temperature in all cases of compression is reduced by 80–150 °C. The forces that were have achieved are between 35 and 70 kN.

Hardness was measured on a samples 2/5 and 2/7. In the uncompressed part of the sample 2/5, the hardness of the alloy AA1170 was approximately 28 HV and in the compressed part approximately 32 HV. It can be seen that the hardness of the material slightly changed by the pressing. In the case of the compression of the sample 2/7 hardness on an uncompressed part of AA1170 alloy (Figure 4) was approximately 27 HV and AA6060 alloy 65 HV. On the compressed part (Figure 5) of AA1170 alloy, hardness was approximately 28 HV, at AA6060 alloy 67 HV and on the bonded part 44 HV. It can be seen that the hardness of the alloy AA6060 is about twice as high as the hardness of the alloy AA1170. The hardness of the bond is somewhere in between.

In the first series of compression tests the joint was always achieved when the



Slika 6. Meritve debeline vezi na vzorcu 2/6

Figure 6. Thickness measured in sample 2/6

dveh različnih materialov. Razpredelnica 3 prikazuje tudi rezultate meritev debeline spoja pri tretji seriji poskusov stiskanja.

Razpredelnica 3. Rezultati meritev debeline vezi pri vseh treh serijah poskusov stiskanja

Table 3. Results of thickness measurement of all series of compression test

vzorec / sample	povprečna debelina (μm) / average thickness (μm)	
	na izboklini	v vdolbini
1/1	2639,3	1051,01
1/2	2582,64	1287,89
1/3	2598,52	1325,69
1/4	2788,74	1278,41
1/5	2752,98	1228,63
1/6	2676,63	1430,01
1/7	2766,94	1260,06
1/8	2757,39	1296,76
1/9	2798,01	1218,01
1/10	2730,13	1304,99
2/3	2307,21	957,12
2/5	2307,63	868,82
2/6	2118,85	1062,84
2/7	2465,60	1142,07
2/8	2633,67	1230,12
3/1	2504,88	1108,94
3/3	2504,88	1148,48
3/4	2465,99	1122,14
3/6	2326,75	970,34

Sliki 7 in 8 kažeta mikrostrukturo stisnjenega dela vzorcev 3/3 in 3/4. Na mikrostrukturnih posnetkih se lahko vidi, da so zrna na mestih spoja deformirana in razpotegnjena v smeri toka materiala ali deformacije. Zato je spoj boljši.

Na sliki 9 je prikazana primerjava DSC krivulj pri segrevanju vzorcev 2/5, 3/4 in nedeformirane zlitine AA1170. Vzorca 2/5 in 3/4 sta bila stisnjena pri 550 °C in pomiku orodja za 3 mm. Edina razlika med njima je

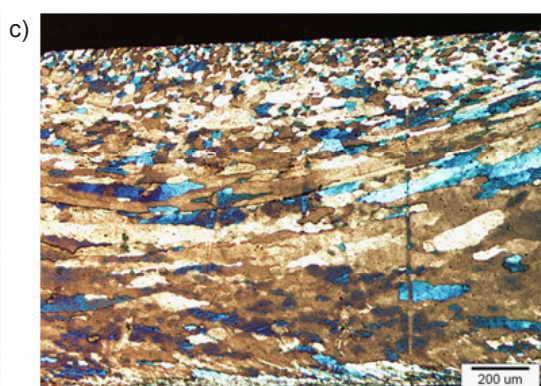
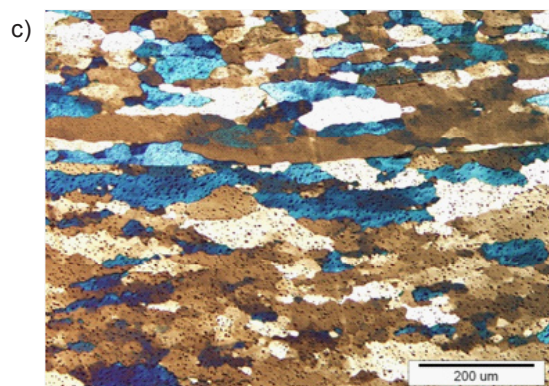
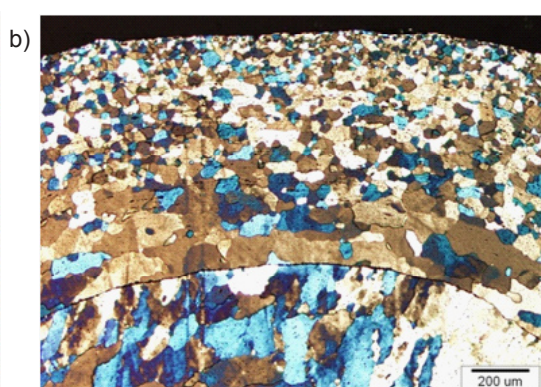
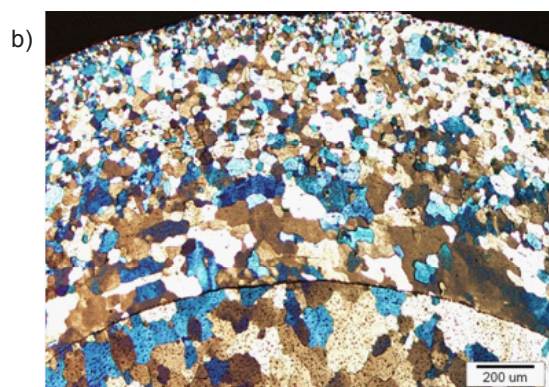
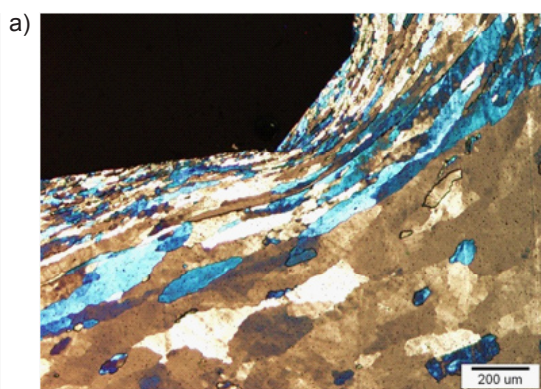
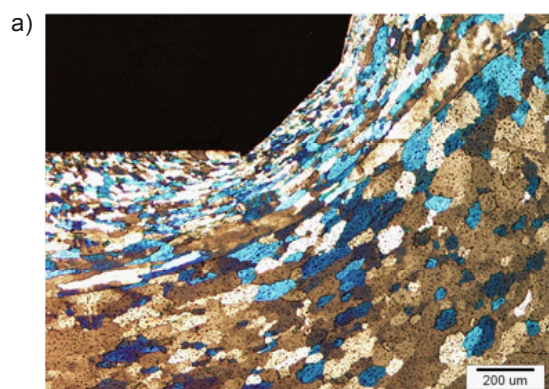
surface of both samples were cleaned. It can be seen that the best bond was made in case of compression of two identical materials. The best bond has been made with a sample of 1/3 and 1/7, when two identical cleaned materials with force of 40 kN and 60 kN were compressed. In case of pressing of two different aluminium materials, in all cases there are some oxides at the junction. Table 3 presents the results of measurements of the thickness of the all three series of compression tests.

In the second series of compression tests the bond was always achieved. When compressing the same material, boundaries are not visible, while at compression of different materials, are visible. When compressing at 600 °C (sample 2/4) melting of the material occurred during the test. In Figure 6, the macroscopic bond of sample 2/6 is presented. Table 3 presents the results of measurements of the thickness of the bonded sample in second series of compression tests.

In the third series of compression tests the joint was also always achieved. The boundaries at pressing the same materials are not visible, while in the pressing of two different materials are visible. Table 3 presents the results of measurements of the thickness of the third series of compression tests.

Figures 7 and 8 show the microstructure of the compressed segment of sample 3/3 and 3/4. From the microstructural images can be seen that the grains on a bonded place deform and flow in the direction of the material flow or deformation. For this reason, the joint is better.

In Figure 9, a comparison of heating DSC curves of samples 2/5, 3/4 and undeformed alloy AA1170 is presented. Samples 2/5 and 3/4 were compressed at 550 °C and at the displacement of 3 mm. The only difference between them was in the geometry of the



Slika 7. Mikrostruktura vzorca 3/3: (a) prehod v rebro, (b) rebro vzorca in (c) spoj

Figure 7. Microstructure of sample 3/3: (a) transition into the rib, (b) the rib of the sample and (c) the bond

Slika 8. Mikrostruktura vzorca 3/4: (a) prehod v rebro, (b) rebro vzorca in (c) spoj

Figure 8. Microstructure of sample 3/4: (a) transition into the rib, (b) the rib of the sample and (c) the bond

bila geometrija orodja. Zaradi spremenjene geometrije orodja je bila hitrost deformacije posameznih delov spajanih materialov različna. Zato lahko sklepamo, da je bila stopnja deformacije v vzorcu 3/4 večja kot v vzorcu 2/5. Za taljenje vzorca 2/5 je bila potrebna energija 229,3 J/g, vzorca 3/4 183,1 J/g in nedeformirane zlitine AA1170 283,9 J/g. Vidi se, da sta bila potek taljenja in talilna toplota odvisna od stopnje deformacije.

tools. Due to changes in the geometry of the tool, the rate of deformation in the individual parts of the bonded materials varies. It can be concluded that the degree of deformation in sample 3/4 is greater than in sample 2/5. For the melting of the sample 2/5 there was 229.3 J/g energy required, for sample 3/4 183.1 J/g, and for undeformed alloy AA1170 283.9 J/g. It can be seen that the course of melting and heat of fusion is associated with the degree of deformation.

4. Sklepi

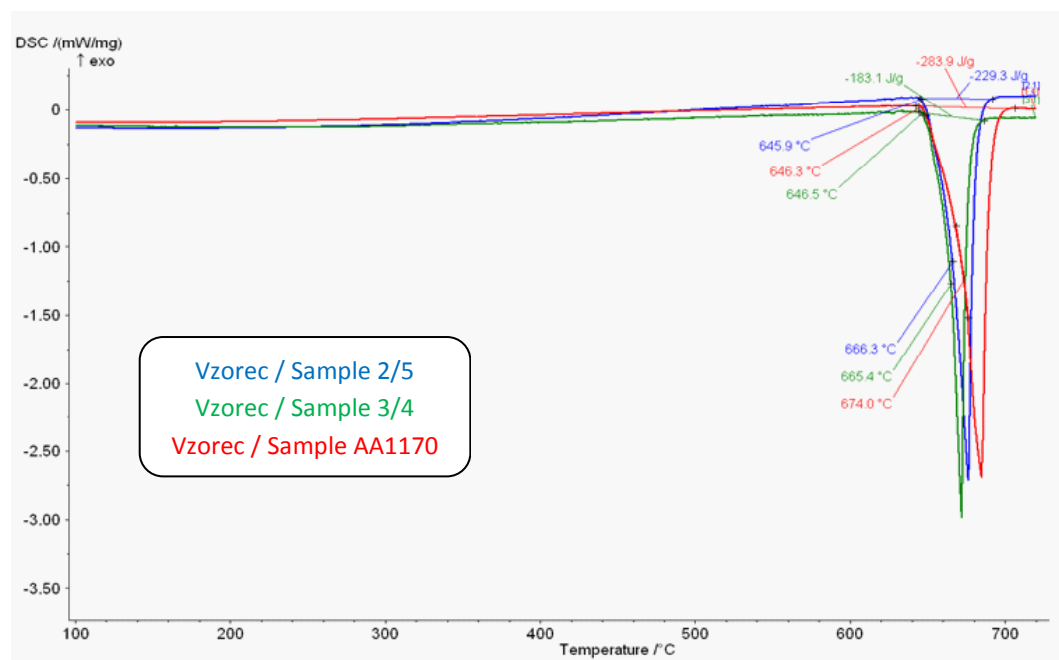
Glede na dobljene rezultate sklepamo, da:

- ima priprava površine vzorcev pred stiskanjem velik vpliv pri doseganju dobrih spojev; spoj je boljši, če sta obe površini očiščeni pred stiskanjem; poleg tega je površina bolje pripravljena s

4. Conclusions

According to the results it can be concluded:

- The surface preparation of the samples before compression has great influence on good bond achievement. The bond is better if both surfaces are cleaned



Slika 9. Primerjava segrevalnih DSC krivulj za vzorce 2/5, 3/4 in zlitine AA1170

Figure 9. The comparison of heating DSC curves of sample 2/5, 3/4 and AA1170

- čistilom Nabudur 152 (S),
- se trdoti deformiranih in nedeformiranih delov stisnjenih delov le malo razlikujeta; trdota vezi je med trdotama obeh spojenih materialov,
 - na spoj vpliva geometrija orodja; spoj je najboljši, kadar se uporabi negativ rebra (tretja serija poskusov stiskanja), pri čemer je za dober spoj potrebna manjša sila; v tretji seriji je bil dober spoj dosežen že s stiskanjem pri 450 °C s silo 35 kN;
 - iz segrevalnih DSC krivulj lahko sklepamo, da deformacija vpliva na potek taljenja in strjevanja materiala; stopnja deformacije vpliva na hitrost taljenja (naklon krivulje DSC), ki se večja s stopnjo deformacije, in na potrebno toploto taljenja, ki se s stopnjo deformacije zmanjšuje.
- prior to compression. Furthermore, the surface is better prepared by cleaning with a cleaning agent Nabudur 152 (S).
- Hardness of the deformed and undeformed parts of the compressed materials are changed only slightly. The hardness of the bond was somewhere in between the both bonded materials.
 - The geometry of the tool has influence on the joint. The junction is the best in the construction of a negative rib (third series of compression), which also required less force to achieve a good bond. In the third series of the compression test a good bond is obtained already at the pressing at a temperature of 450 °C and at force of 35 kN.
 - From the heating DSC curves can be concluded that deformation effects on the course of melting and solidification of the material. The degree of deformation impacts on the melting rate (slope of the DSC curve), which with the degree of deformation is increased and on the necessary heat of fusion, which with the deformation rate is decreased.

Viri / References

- 1 Shirzadi.A.A. Diffusion Bonding Aluminium Alloys and Composites: New Approaches and Modelling, 1997
- 2 Gliha, Vladimir, Pučko, Bogdan. Postopki spajanja. Skripta. Maribor 2007, 95-100
- 3 ASM Specialty Handbook: Aluminium and Aluminium Alloys. Edited By J. R. Davis. ASM International. s. l. 2002 (peti ponatis). str. 22 – 23
- 4 Eizadjou, M., Danesh Manesh, H., In Janghorban K. Mechanism of warm and cold roll bonding of aluminium alloy strips. Materials and Design, 2009, 30, str. 4156–4161
- 5 Li, Long. Nagai,Kotobu, in YIN, Fuxing. Progress in cold roll bonding of metals. Science and technology of advanced materials, 2008, 9, str. 1–11

AKTUALNO / ACTUAL

O Livarni Omco Feniks iz Žalca, z direktorjem Borutom Triplatom



Borut Triplat univ.dipl.inž.
metalurgije, direktor livarne
OMCO FENIKS

Naš sogovornik je to pot gospod Borut Triplat, univ.dipl. inž. metalurgije, direktor uspešne, hitro rastoče livarne OMCO FENIKS Slovenija d.o.o. iz Žalca, ki je tudi prejemnik letošnje nagrade Gospodarske zbornice Slovenije za izjemne gospodarske in podjetniške dosežke.

Glede na poslovne rezultate ter razvoj podjetja je priznanje prav gotovo dokaz neumornega strokovnega dela ter vztrajnosti v že nekaj let uspešnem razvoju podjetja. V zvezi s to ugotovitvijo in podjetjem na sploh je direktor Borut Triplat povedal:

Naše podjetje je del belgijske gospodarske skupine OMCO International, ki je tudi lastnik podjetja. Zaradi tega v podjetju nimamo slepomišenja z lastniškimi vprašanji. Podjetje se tako izključno ukvarja s stroko, proizvodnjo in kakovostjo izdelkov. Vsak odgovarja za svoje delo in koordiniranje dela je usmerjeno le v cilj znižanja stroškov in kakovosti proizvodnje. Cilji družbe so popolnoma jasni: od strokovnega načrtovanja čim hitreje in s čim nižjimi stroški do izdelka s kakovostjo, ki jo zahteva trg. Ob 85% deležu izvoza na svetovni trg je tak način razmišljanja edina možnost, ki nam zagotavlja mesto na globalnem trgu. Celotno filozofijo v podjetju namenjamo temu cilju.

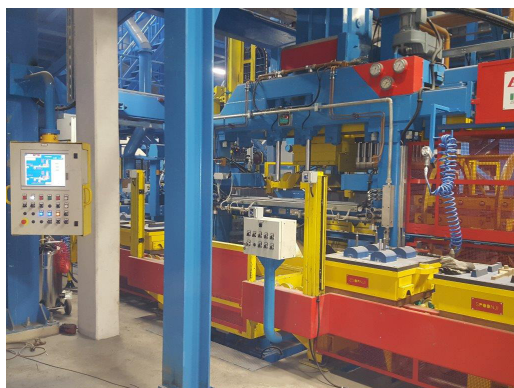
Livarstvo v Žalcu ima že skoraj 140 letno tradicijo. Podjetje ima torej svojo bogato zgodovino ter ob vmesnih kriznih obdobjih, sedaj sloni na zelo trdnih temeljih:

Res je, že leta 1878 je bila v Žalcu strojna delavnica v okviru katere je bila tudi manjša livarna. Na stari lokaciji v Žalcu je podjetje delovalo vse do sredine šestdesetih let prejšnjega stoletja. Prav tako je bila naša posebnost tudi litje zvonov iz kositrovih bronov. Do sedaj je bilo ulitih preko 2.500 zvonov od najmanjših s težo 2 kg, pa do najtežjega do sedaj ulitega zvona, ki je tehtal kar 3.360 kg. Pri tem gre za individualna naročila ter posamično izdelavo, ki pa danes več ne predstavlja kašnega pomembnejšega deleža v programu. Nova livarna z imenom Ferralit je nato leta 1963 bila zgrajena v Vrbju pri Žalcu in na tej lokaciji se je razvila livarna sive litine z osnovnim agregatom hladno-zračne kupolne peči ter s horizontalnim kontinuiranim litjem sive litine. Leta 1974 je bila postavljena prva mrežno frekvenčna indukcijska peč. V devetdesetih so bile postavljene prve srednje frekvenčne indukcijske peči ter leta 1995 nova avtomatska formarska linija. Zaradi tranzicijskih težav je tedanja livarna postala nesolventna. Iskal se je strateški partner novoustanovljene družbe Feniks in leta 2001 je lastnik postala belgijska družba Omco International NV. Z novim lastnikom je postopno prišlo do preusmeritve proizvodnje v izdelavo ulitkov iz steklarskih litin ter izdelavo legirane sive litine in nodularne litine.

Torej je sprememba lastništva doprinesla k bistvenim spremembam v proizvodnem programu ter seveda k posodobitvi proizvodnje in racionalizaciji stroškov:

Ob prehodu na nove usmeritve je prav gotovo dobro, da se človek ozre nazaj na pot, ki jo je prehodil, pa ne da bi se po njej vrnil v preteklost temveč, da bi mu te izkušnje pomenile nov pristop ter drugačen doprinos v razvoju podjetja. Omco Feniks se danes s 160 zaposlenimi uvršča med srednje velike gospodarske subjekte. V zadnjih letih je v posodobitve ter v ureditev ekološke sprejemljivosti ter pogojev dela bilo vloženih preko 12 mio EUR. Tehnološke posodobitve zagotavljajo večjo storilnost ter možnost izdelave zelo kakovostnih izdelkov. Varstvo okolja je urejeno skladno s standardom ISO 14001 in veljavno zakonodajo. Podjetje je leta 2008 pridobilo tudi okoljevarstveno dovoljenje IPPC.

Najpomembnejše naložbe v zadnjih letih so:



Nov formarski stroj Belloi & Romagnoli za izdelavo peščenih form



Hladilni boben na novi liniji Belloi & Romagnoli.

V dograjeni novi livarni je v letu 2015 je postavljen nov formarski stroj Belloi & Romagnoli. Uporablja se za izdelavo peščenih form v katere se ulije pripravljena talina. Forme potujejo po hladilni liniji dokler se ulitki ne strdijo, nakar se jih strese v hladilni boben. Lastnosti: velikost okvirja 650x650x250/250 mm, hitrost je 50 form na uro, čas hlajenja je 64 min na formo.

V hladilni boben na sliki zgoraj se stresajo ulitki iz peščenih form. V bobnu se nato ohladijo in ločijo od peska ter v večini tudi od livnega kanala.

Glede na izvoz na zahtevne globalne trge so verjetno zahteve po kakovosti in spremljanju kakovosti verjetno zelo visoke.

Sistem kakovosti je v našem podjetju natančno določen s predpisi in poslovniki. Za zagotavljanje kakovosti imamo certifikat ISO 9001-2008. Cilj ni le v zagotavljanju kakovosti samega izdelka, temveč v kakovosti celotnega procesa in storitev. Pomembna sta nadzor procesov in preskušanje proizvodov, ki ga izvaja osebje, ki ni odvisno od delavca, ki neposredno izvaja naloge in aktivnosti. Postavili smo si geslo: »v OMCO Feniksu kakovost prodajamo in ne razprodajamo!«

S spektrometrom se sprti preverja sestava litine v peči pred litjem in tako se zagotavlja ustrezno kemijsko sestavo taline.



Spektrometer ARL 3460 za kemijske analize materiala.
Spektrometer ARL 3460 za kemijske analize materiala.

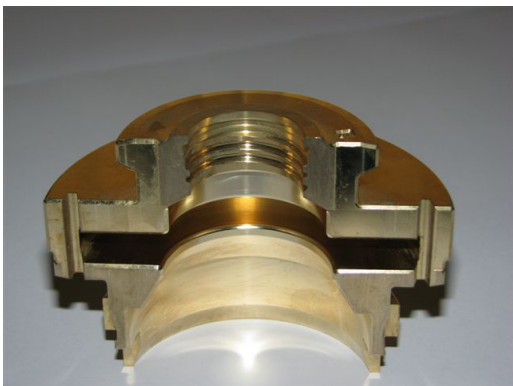


Laboratorij z napravami za ugotavljanje lastnosti formarskega peska.

V laboratoriju za ugotavljanje lastnosti formarskega peska se ugotavlja predvsem vsebnost vlage, stisljivost, prepustnost in tlačna trdnost.

Ali je izdelava ulitkov za potrebe steklarske industrije res pomenila enega izmed najpomembnejših programskih premikov?

Proizvodna oprema in tehnološki procesi v naši livarni omogočajo izredno širok izbor litja izdelkov različnih velikosti, oblik in kakovosti litin ter količinsko individualno, maloserijsko in srednje serijsko proizvodnjo ulitkov. Kakovosti litin so skrbno izbrane in prilagojene zahtevam kupcev. Tako smo izjemno fleksibilni. To pa zahteva znanje, izkušnje in upoštevanje vseh standardov kakovosti. Vsak izdelek je skrbno načrtovan in sledljiv. Načrtovanje in tehnologija litja sta podprta z izdelavo načrta modela po programu SolidWorks ter izdelavo najrazličnejših simulacij litja v programu Magmasoft. Izdelava ulitkov za potrebe steklarske industrije danes zavzema velik del proizvodnega programa. Kompleti teh ulitkov se po mehanski obdelavi in sestavi uporabljajo v steklarski industriji za proizvodnjo steklarskih izdelkov z metodo vpihovanja tekočega stekla. Izbor kvalitet je



Izdelek za steklarsko industrijo: Naziv izdelka: Grlo
Material: večkomponenten Al bron
Uporaba: za izdelavo steklenic, specifičnost je v navoju steklenice oz. njenem zgornjem delu.



Izdelek za steklarsko industrijo: Naziv izdelka : Kalup
Material: večkomponenten Al bron
Uporaba: za izdelavo steklenic, specifičnost je v visokih zahtevah samega telesa steklenice.

zelo širok. Vse kvalitete so bile posebej razvite zaradi zahtev po fini strukturi ter ustrezni toplotni prevodnosti.

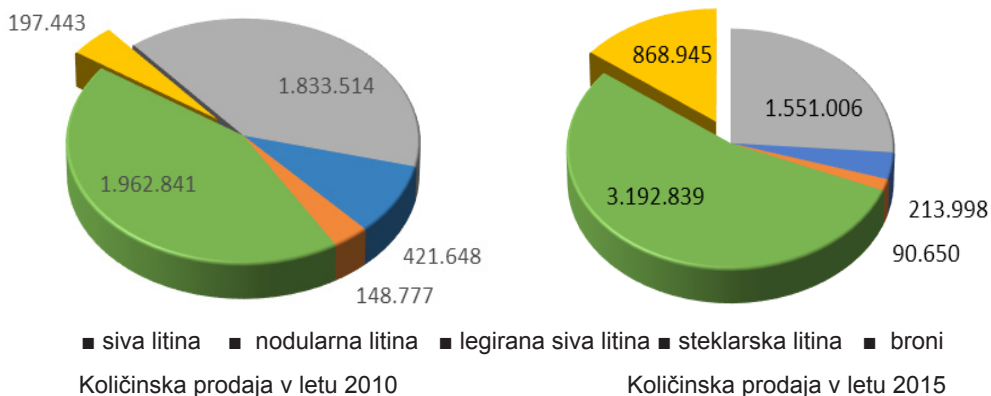
Kako je pa s specifičnimi izdelki iz vermikularne, nodularne in ognjevarne sive litine?

Vermikularna litina združuje lastnosti sive litine z lamelnim grafitom in nodularne litine s kroglastim grafitom. Ima ugodne mehanske lastnosti: natezno trdnost 400-500N/mm² pri raztezu 2-6%. Lastnosti te litine so opredeljene s standardom EN 16079. Litina je primerna za sestavne dele, ki so pod vplivom mehanskih in toplotnih obremenitev.

Priprava in litje nodularne litine je zahteven proces. Kvalitete so opredeljene s standardom EN-1563. Zaradi boljših mehanskih lastnosti se ulitki uporabljajo v strojogradnji za dele z višjimi zahtevami po mehanskih lastnostih. Ognjevarna siva litina je visoko legirana s Cr in Ni. Pri tem so izredno visoke tehnološke zahteve predvsem pri tehnologiji priprave litine. Ulitki so namenjeni predvsem za procese, kjer so izpostavljeni visokim temperaturam. Najpogosteje se uporabljajo za proizvodnjo rešetk kurišč kotlov in sežigalnic. Kvalitete so opredeljene s standardom EN 10295. Pri vseh navedenih materialih gre za zelo zahtevne postopke izdelave, ki ob visokem znanju zahtevajo še dolgoletne izkušnje.

Kakšni pa so številčni podatki o gibanju proizvodnje v zadnjih letih?

Količinska proizvodnja je v letu 2010 bila skupaj 3.914 ton, v letu 2015 pa že 5.918 ton, kar pomeni porast za 51,2 %. Seveda gre tudi za strukturne spremembe. Količinska proizvodnja steklarske litine je v skupnem deležu leta 2010 znašala 50,2%, leta 2015 pa že 53,9 %. Izrazit padec v deležih pa imamo pri sivi litini od deleža 46,9 % v letu 2010 na delež 26,2 % v letu 2015. Največji porast v deležih imamo pri bronih in sicer od deleža 5% v letu 2010 na delež 14,7 % oz. v količinah kar za faktor 4,4 krat. Gre seveda za več komponentne Al brone, ki presegajo vsa pričakovanja. Padec pa imamo pri nodularni litini tako v količinah in še bolj pri deležu.



Ali se te spremembe v strukturi proizvodnje odražajo tudi v finančni realizaciji prodaje izdelkov?

Prav gotovo se sprememba v strukturi proizvodnje kaže tudi ugodno v finančni realizaciji. Če je rast proizvodnje v obdobju 2010 (11,276 mio EUR) do 2015 (17,931 mio

EUR) bila 51,2 %, je rast finačne realizacije prodaje v enakem obdobju kar 59%, saj je bila v letu 2015 kar za 6,655 mio EUR višja kot v letu 2010. Delež finančne realizacije s prodajo ulitkov steklarske litine je v tem obdobju narasel od 37% na 41% oz. za faktor 1,7. Ob količinskem porastu področja večkomponentnih Al bronov, je delež v finančni realizaciji teh ulitkov narasel že na 33,2 % oz. za faktor 3,4. Finančna realizacija prodaje izdelkov iz sive litine, je sicer ostala enaka, vendar z ekvivalentno manjšim deležem. Bistveno nižja pa je prodajna realizacija izdelkov iz nodularne litine. Spremembe v deležih posameznih vrst izdelkov so torej imele pozitiven učinek in v tej smeri velja nadaljevati.

Zadnja leta posluje OMCO Feniks odlično, z najvišjo poslovno boniteto in predvidena je tudi v prihodnje letna rast 8% ter dodatno zaposlovanje. Ali je takšna napoved realna?



OMCO Feniks je poslovno leto 2015 zaključil zelo dobro, s prihodki od prodaje dobrih 18 mio EUR ter odličnim poslovnim izidom 3 mio EUR. Kazalnik poslovne uspešnosti EBITDA je dosegel slabih 17

%. Vse to smo realizirali s 159 zaposlenimi. V preteklem letu je bila zaključena izključno z lastnimi sredstvi tudi 5 mio investicija v novo sodobno livarno, ki je bila dokončana v pičlih sedmih mesecih, kar nam bo omogočilo večjo prilagodljivost zahtevam poslovnih partnerjev, tako kvalitetno kot količinsko, predvsem nam bo pa omogočen skrajšan čas od naročila do dobave izdelkov, kjer je naše podjetje že danes v svetovnem vrhu.

Novo naložbo nam bodo omogočile približno četrtninsko rast poslovnih prihodkov že v letu 2016. Naš načrt je doseči 21,5 mio prihodkov in kazalec EBITDA nad 19%. Prav tako že v tem letu računamo z dodatno zaposlitvijo 15 sodelavcev. Kljub ne najboljšim razmeram na evropskem in svetovnem trgu imamo naročil dovolj.

Naša specialna nišna proizvodnja je izdelava orodij za potrebe steklarske industrije. Gre za zelo zahteven trg z zelo kratkimi roki dobave, ki so do 5 delovnih dni od prejema naročila do odpreme. V tem času je potrebno vse: od načrtovanja, vseh proizvodnih delov procesa, do končne kontrole in pakiranja. Smo edini v Evropi, ki v tako kratkem času izpeljejo ta naročila.

Veseli smo, da smo lahko поблиže spoznali izjemne poslovne dosežke livarne OMCO Feniks in ob tem tudi vzoren strokovni pristop in prizadevnost ter osebno zavzetost za razvoj podjetja, ki jo že vrsto let udejanja direktor Borut Triplat, letošnji nagrajenec Gospodarske zbornice za izjemne gospodarske in podjetniške dosežke.

Razgovor vodil glavni in odgovorni urednik Livarskega vestnika
zasl. prof. dr. Alojz KRIŽMAN

AKTUALNO / ACTUAL



60. avstrijsko livarsko posvetovanje - Bad Ischl 2016

V organizaciji Avstrijskega društva livarskih strokovnjakov VÖG, Instituta za livarstvo Univerze za montanistiko Leoben ter Avstrijskega livarskega inštituta ÖGI, je bilo v času 7. in 8. april v Kongresni in gledališki hiši v Bad Ischl-u organizirano 60. Avstrijsko livarsko posvetovanje.

Posvetovanje je potekalo pod geslom: **»Industrija 4.0 – sprememba v livarni«**. Predavatelji iz Avstrije, Nemčije, Švice in Slovenije so podali skupaj 23 predavanj, od tega 7 plenarnih ter po 8 predavanj v sekciji neželeznih zlitin in v sekciji železovih zlitin. Skupno se je posvetovanja udeležilo 260 udeležencev iz šestih držav. Na spremljajoči razstavi opreme, tehnologij, izdelkov in razvojnih dosežkov je sodelovalo 24 razstavljalcev iz Avstrije, Nemčije in Švice. Organizatorji so pripravili zbornik s povzetki vseh predavanj ter seznamom razstavljalcev in udeležencev. Podajamo osnovne dosežke večine plenarnih ter nekaterih drugih zanimivejših predstavitev:

Wilfried Sihn, Tehniška univerza Dunaj, Institut za upravljaljske znanosti in Fraunhofer Austria Research GmbH, Dunaj je predstavil predavanje: **»Industrija 4.0 – priložnosti, tveganja in primeri uporabe v praksi«**. Izpostavil je osnovni namen programa »Industrija 4.0«, ki predstavlja dejansko četrto industrijsko revolucijo. S tem pojmom označujemo integracijo najsodobnejših informacijskih in komunikacijskih tehnologij v klasične proizvode in procese, ki zahtevajo nove poslovne modele in nove tržne pristope. Pri tem je osnovno vprašanje višje dodane vrednosti za odjemalce teh proizvodov. Medmrežne povezave stvari, procesov, podatkov, servisa in ljudi ponujajo enormne gospodarske možnosti in so gonilo novih poslovnih modelov. Industrija 4.0 ni vezana le na proizvodne obrate, temveč posega v številna področja našega življenja. Osnovni gradniki tega razvoja so v znanju in komunikativnosti. Cilj so vrednostne verige s ciljem stalnega generiranja v dobro celovitega razvoja družbe. Livarne bodo lahko konkurenčne le s strategijo prehoda v »pametne« livarne in »pametne proizvode« in s tem s strategijo inovativnega procesa s stalnimi izboljšavami in prilagajanjem zahtevam sodobne družbe.

Alois Wiesinger, iz podjetja Fill GmbH, Avstrija, je izpostavil tudi za livarne pomembno temo: **»Povezava med razvojem naprav in virtualnim začetkom obratovanja«**. Globalizacija in naraščajoča kompleksnost proizvodov in proizvodnje zahtevata opuščanje klasičnih verig ustvarjanja. Ob tem so potrebni pospešeni inovacijski-, razvojni- in uporabni ciklusi ter prilagajanje hitrim tržnim spremembam, kar zahteva zelo fleksibilno in individualizirano proizvodnjo. Vse večje so zahteve po decentraliziranem krmiljenju procesov in fleksibilnejših strojih in napravah. Izpostavljene so nove zahteve do procesov

in naprav in vključevanje digitalnih modelov in metod. Še posebej za gradnjo naprav je potrebna modifikacija razvojnih možnosti z učinkovito uporabo novih računalniških metod.

Günter Eder, Quantoras KG Wien, je s sodelavcema predstavil za vse livarne vse bolj pomembno področje: **»Oskrba 4.0 za livarne-optimizacija stroškov v nabavi s prehodom od »velike baze« (Big Data) do »pametne baze« (Smart Data) podatkov«**. Povprečen delež materiala v livarni znaša 60% celotne prodajne vrednosti. 5% prihrank pri nabavi ima na dobiček enak učinek kot 30% povečanje obsega prometa. S posebej razvitim računalniškim programom so bile optimirane alternative dobaviteljev in vsi podatki, ki so s tem povezani. Iz enormnih količin podatkov so bili pomembni zbrani relevantni podatki. Tako je bila izdelana »pametna baza«, ki je omogočila relevantne ocene dobaviteljev in s tem generiranje potenciala prihranka. S tem je vedno omogočeno alternativno iskanje dobaviteljev in tako nabava na ravni, ki omogoča prihrank stroškov.

Werner Stapela, FIT AG, Lupburg, Nemčija, je podal predavanje: **»Aditivno načrtovanje in proizvodnja kot izdelovalni postopek prihodnosti (ADM)«**. Glede na spremenjene potrebe odjemalcev in potreb trga, je tradicionalna livarska tehnika oblikovanja izdelkov danes prišla do svojih mej. Možnost kako zapreti to omejitev ponujajo inovativni postopki dodatnih (aditivnih) izdelav kot npr. 3D-tiskanje, kot se poimenuje tehnologija zgradbe iz nanošenih plasti. Prednosti te tehnologije v primerjavi z litjem so možnosti kompleksnejših geometrij, manjše in različne debeline sten in notranjih zgradb za lahke konstrukcije. Možna je tudi individualna masovna proizvodnja. Bistveno je spoznanje, da je možno višjo vrednost doseči le z aditivno usmerjenim konstruiranjem. Torej je učinkovita le kombinacija načrtovanja in proizvodnje (ADM). Danes se za ADM tehnologijo uporabljajo tudi kovinski materiali: aluminij, titan, orodna jekla, plemenita jekla (Inconel). Z aditivnim postopkom so dane nove možnosti inovativnim izdelovalnim postopkom.

Steffen Günther, Kuka Industries, Augsburg, Nemčija je predstavil temo: **»Kaj pomeni Industrija 4.0 za livarno«**. Vedno širša paleta proizvodov in krajše dobe uporabnosti so nove tržne zahteve na katere se mora odzvati sodobna industrija, če želi ostati konkurenčna.

V pametnih podjetjih proizvodnjo prilagajajo novim zahtevam glede povezav, energijske in surovinske učinkovitosti in predvsem fleksibilnosti podjetij prihodnosti. Procesi so vse bolj decentralizirani in dinamično krmiljeni. Procesi in postopki se bistveno spreminjajo. V livarnah razvijajo nove koncepte za celice in naprave predvsem z namenom, da zadostijo novim zahtevam za ulite dele. Predavanje je dopolnil še **Ralph Nitsche** iz sesterskega podjetja **Kuka Roboter GmbH, Gersthofen, Nemčija** z inovativnima primeroma avtomatizacije s Kuka roboti: popolna avtomatizacija montaže paketa jeder za ročni gredi z vključenimi 50 roboti in proizvodnjo ter montažo 400 paketov jeder v eni izmeni ter primer litja z dvema robotoma v livarni Georg Fischer.

Iz strokovnega področja železovih litin lahko izpostavimo naslednja tri predavanja :

Domnin Gelmedin, Lutz Scheibe, Neue Halberg – Guss GmbH, Saarbrücken, Nemčija sta predstavila temo: **»Porast odpornosti materiala pri termično-mehanskem utrujanju (TMF) glav cilindra iz sive litine z vermikularnim grafitom«**. Visoki tlaki v glavi cilindra zahtevajo zamenjavo sive litine z lamelnim grafitom (GJL) s sivo litino z vermikularnim grafitom (GJV). Predvsem obremenitve v ciklusu zagona in v ciklusu zaustavitve, kot tudi spremembe obremenitev rezultirajo cikle napetost-reztezek, ki vodijo do termično-mehanskega utrujanja. Ker pa ima GJV nižjo toplotno prevodnost, se

zahteva prilagoditev strukture s prilagojeno debelino stene izdelka. S konstrukcijskimi spremembami je torej možno povečati TMF. Zaradi tega litino EN-GJV-450 optimirajo na TMF. Določeno strukturo lahko pridobimo z ustrežno stopnjo nasičenosti, nudularnostjo in strukturo matrice. Na ta način je možno doseči bistveno višjo življenjsko dobo glav cilindrov.

Konrad Weiß, RWP GmbH, Rötgen, Nemčija je podal predavanje: **»Lahka konstrukcija iz sive litine z možnostjo lokalnega načrtovanja trdnosti«**. Danost, da bi sivo litino uveljavili tudi kot lažji konstrukcijski material je v lokalnem izboljšanju trdnosti, kot tudi s samim načrtovanjem višjih lokalnih trdnostnih lastnosti. Odločujoča za lokalne lastnosti je struktura, ki jo lahko predvidimo iz diagramov: čas-temperatura-transformacija (TTT diagrami). S pomočjo TTT diagramov je možno z izračunom lokalne hitrosti ohlajanja in numerično simulacijo predvideti lokalne trdnostne lastnosti ulitka. Nova uporaba Jominy – kalilnega preizkusa omogoča kvantitativno TTT sliko brez, da bi za to potrebovali dilatometrijo. Tako se lahko debeline sten lokalno prilagodijo zahtevanim trdnostim, oziroma se lokalno prilagodijo ohlajevalni pogoji. Tako je na osnovi Jominy preizkusov in TTT diagramov možno določati lokalne trdnostne lastnosti in s tem razširiti potencial sive litine kot konstrukcijskega materiala.

Florian Thome, Kurtz Eisenguss GmbH & Co. KG, Hasloch, Nemčija je predstavil temo vezano na moto posvetovanja: **»Pametna livarna (Smart Foundry)-Industrija 4.0-livarna«**. Livarna Kurtz s 235 letno tradicijo izdelave ulitkov iz železovih litin ima danes 120 zaposlenih in je izpostavila svojo najsodobnejšo livarno z ročnim formanjem kot primer trajnega, učinkovitega industrijskega obrata z zagotovljeno prihodnostjo. Samo tako lahko tudi v prihodnje izpolnjujejo različne in kompleksne zahteve kupcev. To so dosegli na osnovi edinstvene lastne tehnološke ravni z novim pretokom materiala, računalniško podprtim logističnim sistemom, časovno natančnim pretokom v proizvodnji in s podporo podjetja SAP (Systemanalyse und Programmentwicklung) integriranimi poslovnimi procesi. Prednosti take pametne livarne so: SAP-integracija strank in poslovnih partnerjev, povečana zvestoba ob večji varnosti planiranja, dolgoročno zagotovljen trajnostni razvoj ob upoštevanju zahtev okolja. Prepričljivi učinki so: enostavno upravljanje kompleksnih izdelovalnih procesov, kontinuiran nadzor naprav in izdelovalnih postopkov preko centralnega vodenja, optimalni pretočni časi.

Iz strokovnega področja neželeznih litin prav tako izpostavljamo tri predavanja:

Laszlo Jud, Bühler AG, Uzwil, Švica je skladno z motom posvetovanja izpostavil temo: **»Industrija 4.0-Priložnosti in izzivi«**. Internet stvari (Internet of Things - IoT), Industrija 4.0 in pametna tovarna (Smart factory) so danes že ustaljeni pojmi razvojnih usmeritev. Industrija 4.0 predstavlja revolucijo v usmeritvi industrije, vendar to ob priložnostih predstavlja tudi izzive. Pričakuje se razvoj popolnoma novih proizvodnih tehnik- revolucionarna zasnova, optimizacija obstoječih tehnik avtomatizacije-evolucijska zasnova. Kot centralna naloga pa je predvideno usklajeno zbiranje podrobnejših informacij. Sodobne naprave za tlačno litje vključujejo že danes množico informacij. Vendar je ta potencial danes dokaj neizrabljen. Torej obstaja priložnost preučitve zbirke podatkov in s sodobnimi metodami analize podatkov koristno izrabiti ter s tem izboljšati konkurenčnost. Uporaba relevantnih podatkov je tako največji izziv. To je možno le s sodelovanjem vseh udeleženi v celotni verigi ustvarjanja vrednosti.

Hartmut Rockmann s soavtorji, Magma GmbH Aachen, Nemčija je podal predavanje:

»Učinkovita razčlenitev orodja za tlačno litje s sistematično analizo toplotnih tokov s pomočjo virtualnega načrtovanja poskusov«. V ospredju takega načrtovanja so zahteve po določeni kakovosti ulitka. Veliko zahtev po kakovosti ulitkov je v neposredni povezavi s toplotno bilanco v formi za tlačno litje. Osnova za optimalno termično razčlenitev orodja in procesa je v natančnem razumevanju procesa vseh sodelujočih, od konstrukterja orodja do odgovornega za kakovost. Na primeru orodja za tlačno litje aluminija je na osnovi virtualnih preizkusov, s pomočjo simulacije procesa litja, prikazan lokalni energijski tok v orodju in kako ti lokalni tokovi vplivajo na sam proces in kakovost ulitka. Kvantitativna primerjava vseh variant lahko ob uporabi statističnih metod daje rezultate obremenitev orodja. Na ta način je možno načrtovati sistem temperiranja orodja. S programom Magma 5 je tako omogočeno avtonomno optimiranje orodja. Nova metoda tako omogoča podrobnejše razumevanje procesa kot osnove razvoja robustnega in kakovostnega orodja za tlačno litje.

Markus Weigl, Grenzebach Maschinenbau GmbH, Ausbach-Bäumenheim/Hamlar, Nemčija je podal prispevek: **»Torno varjenje aluminija in njegovih zlitin«.** Aluminij in Aluminijeve zlitine niso primerne za talilno in obločno varjenje. Zaradi svojih materialnih lastnosti pa so primerne za stično tornno varjenje. Ta način potrebuje plastičnost spojin materialov, ki jo dosežemo s kombinacijo visokih tlakov in zmernih temperatur. V tem primeru torej ne prihaja do nataljevanja in ne prihaja do poroznosti ali toplotnih razpok. Zaradi nižjih temperatur so tudi pri ohlajanju skrčki materiala manjši in s tem večja stabilnost izmer. Cilj tega postopka je omogočiti varjenje vseh tehniških aluminijevih zlitin pod pogoji serijske proizvodnje.

Tudi 60. Avstrijsko livarsko posvetovanje je bilo izvedeno na visoki ravni, tako s prispevki predavateljev kot v organizacijskem smislu. Ob tem je potrebno izpostaviti podporo raziskovalnih inštitutov in univerz pri vključevanju livarske industrije v evropski program Industrija 4.0, kar bo tudi v prihodnje osnova za konkurenčnost na globalnem trgu. Na podlagi dogovora o izmenjavi in sodelovanju med Društvom livarjev Slovenije in Avstrijskim društvom livarjev (VOG), sta se avstrijskega livarskega posvetovanja v Bad Ischl-u udeležila predsednica Društva livarjev Slovenije, mag. Mirjam JAN-BLAŽIČ ter glavni in odgovorni urednik Livarskega vestnika, zasl. prof. dr. Alojz KRIŽMAN.

*Glavni in odgovorni urednik Livarskega vestnika
Zasl. prof. dr. Alojz KRIŽMAN*

AKTUALNO / ACTUAL

PROGRAM / PROGRAMME

56. mednarodno livarsko posvetovanje Portorož 2016 / 56th International Foundry Conference Portorož 2016

Sreda / Wednesday, 14. 09. 2016

16.30-19.00:	Prijava udeležencev na recepciji posvetovanja / Registration of participants at the Conference reception desk
17.30:	Transfer pred Hotelom Slovenija za Piran / Bus transfer from Hotel Slovenija to Piran
18.00:	Sprejem na občini Piran / Reception at the Municipality of Piran

Četrtek / Thursday, 15. 09. 2016 Dvorana / Hall Cristoforo Colombo

9.30-9.45:	MIRJAM JAN-BLAŽIČ predsednica / President , <i>Društvo livarjev Slovenije</i> Otvoritveni nagovor / The Opening Address
------------	---

Dvorana / Hall Cristoforo Colombo Plenarna predavanja / **Plenary Lectures**

9.45-10.15:	C. WILHELM, <i>Bundesverband der Deutschen Gießerei-Industrie, Düsseldorf (D)</i> : Future Prospects for Foundry Technology / Prihodnji vidiki za livarsko tehnologijo
10.15-10.45:	A. BÜHRIG-POLACZEK, <i>RWTH Aachen University (D)</i> : Trends and challenges for the Foundry Industry - overview of future oriented key aspects of research and development / Trendi in izzivi za livarsko industrijo – pregled v prihodnost usmerjenih vidikov raziskav in razvoja

10.45-11.15:	P. MRVAR ¹ , A. KRIŽMAN ¹ , A. MIKLOŽIČ ² , Z. PUŠNIK ² , N. MARČIČ ² , A. MAHMUTOVIČ ³ , M. PETRIČ ¹ , <i>1Department of Materials and Metallurgy, Faculty of Natural Sciences and Engineering, University of Ljubljana, 2Mariborska livarna Maribor d.d., 3TC livarstvo d.o.o. (SI): The entire design of the high pressure die casting in case of the selected cast product / Celovito načrtovanje tlačnega litja na primeru izbranega ulitka</i>
11.15-11.30:	Odmor / Break
11.30-12.00:	P. SCHUMACHER, <i>Oesterreichisches Giesserei-Institut Leoben (A): Atomistic observation of modification in Al-Si alloys / Atomistična obravnava modificiranja v Al-Si zlitinah</i>
12.00-12.30:	K. KERBER, N. ERHARD, <i>Oskar Frech GmbH + Co. KG (D): Industry 4.0 – the die casting plant of tomorrow / Industrija 4.0 – jutrišnja tlačna livarna</i>
12.30-13.00:	G. EDER, T. CSERMELY, <i>Quantoras KG (A): Sourcing 4.0 for foundries - improvements in purchasing with big data to smart data / Financiranje 4.0 za livarne – izboljšave v nakupih z veliko podatki do nakupov s pametnimi podatki</i>
13.00-15.00:	Odmor za kosilo / Lunch Break
15.00-15.30:	K. WEISS ¹ , R. VOMHOF ¹ , R. STAUSS ² , T. GEUSENS ³ , <i>1RWP GmbH, 2MetallgiessereiStauss, 3TG Consulting (D): 3 D printing supported by simulation - Development of a light weight Trailer Axis / 3-D tiskanje podprto s simulacijo – razvoj lahkih osi tovornih prikolic</i>
15.30-16.00:	B. KALKUNTE ¹ , V. KOLDA ² , <i>1Calcom ESI SA (CH), 2Mecas ESI (CZ): Novel modelling approach to virtually test of the part ejection in die casting / Nov pristop v modeliranju za virtualni test izmeta ulitka iz kokile</i>
16.00-16.15:	Odmor / Break
16.15-16.45:	I. RIPOSAN, M. CHISAMERA, S. STAN, I. C. STEFAN, M. C. FIRICAN, V. UTA, <i>Politehnica University of Bucharest (RO): Control of Cast Iron Solidification by Thermal Analysis – major influencing factors review / Nadzor strjevanja sivih litin s termično analizo – pregled glavnih vplivnih faktorjev</i>
16.45-17.15:	I. DUGIĆ ¹ , S. SEIFEDDINE ² , F. HENRIKSSON ¹ , C. STREBEL ¹ , M. HOLMGREN ¹ , <i>1Linnaeus University, Faculty of Technology, Department of Mechanical Engineering, Växjö, 2Jönköping University, School of Engineering, Department of Material and Manufacturing, Jönköping (SE): Ways to improve mechanical properties of recycled aluminium alloys / Načini za izboljšavo mehanskih lastnosti recikliranih aluminijevih zlitin</i>

Četrtek zvečer / Thursday evening, 15. 09. 2016

18.00:	Večerja na ladjah Portorož in Laho z vožnjo po slovenskem morju in zaključkom na terasi hotela Riviera / Dinner on board of boats Portorož and Laho and a boat ride along Slovenian coast and with later gathering on the terrace of hotel Riviera
--------	---

Petek / Friday, 16. 09. 2016

Sekcija A / Section A: Dvorana / Hall: Robert Scott

Železove litine in livarska tehnologija / Cast iron and casting technology

9.00 - 9.20:	G. WOLF, S. KRUMM, <i>TU BERGAKADEMIE FREIBERG (D)</i> : Application of robots in foundries / Uporaba robotov v livarnah
9.20-9.40:	P. MALACEK, <i>LHS Clean Air Systems GmbH (A)</i> : Energy efficient reduction of emissions in foundries – vision or state of the art / Energijsko učinkovito zmanjšanje emisij v livarnah – vizija ali stanje
9.40-10.00:	M. KOMPREJ, <i>Livar d.d. (SI)</i> : The problem of castings convexity made of grey cast iron at solidification / Problematika izbočenosti ulitkov iz sive litine pri strjevanju
10.00-10.15:	Odmor / Brake
10.15-10.35:	C. DOMMASCHK, G. WOLF, <i>TU BERGAKADEMIE FREIBERG (D)</i> : A new continuous reference row for the graphite structure in grey cast iron / Nova zvezna referenčna vrsta za strukturo grafita v sivih litinah
10.35-10.55:	R. DOEPP, <i>Technical University Clausthal (D)</i> : Contribution to the mechanical properties of grey cast iron / Prispevek k mehanskim lastnostim sive litine
10.55-11.15:	V. DAKRE, A. LIKHTE, S. U. PATHAK, D. R. PESHWE, <i>Visvesvaraya National Institute of Technology, Nagpur (IN)</i> : Effect of Austenitization Temperature on Wear Properties of Carbide Austempered Ductile Iron / Vpliv temperature avstenitizacije na obrabne lastnosti karbidne bainitno poboljšanje duktilne litine
11.15-11.30:	Odmor / Brake
11.30-11.50:	A. KUMP ¹ , P.E. PERSSON ¹ , R. ANDERSSON ¹ , Č. MIKYŠKA ² , <i>1NovaCast Systems AB (SE), 2Livar d.o.o. (SI)</i> : Application of thermal analysis using a sand cup with different levels of inoculants to simulate real solidification conditions for in-stream inoculation practice / Uporaba termične analize s peščeno merilno celic z različnimi količinami cepiva za simulacijo realnih pogojev strjevanja pri cepljenju v curek
11.50-12.10:	U. KLANČNIK ¹ , M. DROBNE ¹ , I. KOGOVŠEK ¹ , P. MRVAR ² , J. MEDVED ² , <i>1Valji d.o.o., 2Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta (SI)</i> : High and low alloyed indefinite chill cast iron: impact on mechanical and microstructural properties / Visoko in nizko legirana litina Indefinite-Chill: vpliv na mehanske lastnosti in mikrostrukturo
12.10-12.30:	S. AL JASIM, <i>Kovis Livarna d.o.o. (SI)</i> : Control and optimization of gray and ductile iron production using thermal analysis / Kontrola in optimizacija proizvodnje lamelne in nodularne sive litine s termično analizo
12.30-12.45:	Odmor / Brake
12.45-13.05:	B. ČUK, <i>Siapro d.o.o. (SI)</i> : Decrease of production costs by regeneration of green sand (case study) / Znižanje proizvodnih stroškov z regeneracijo bentonitnega peska (študija primera)

13.05-13.25:	B. OBREHT ¹ , I. SURINA ² , <i>1TDR Legure d.o.o., 2Simag d.o.o. (SI): Managing oxygen activity during GJS and GJV cast iron production / Obvladovanje aktivnosti kisika pri proizvodnji GJS- in GJV-sivih litin</i>
13.25-13.45:	B. BAUER ¹ , I. MIHALIC POKOPEC ¹ , M. PETRIČ ² , P. MRVAR ² , <i>1 Fakulteta za strojništvo in ladjedelništvo, Univerza v Zagrebu (CRO), 2 Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta (SI): Influence of cooling rate and chemical composition on chunky graphite content in spheroidal graphite cast iron parts / Vpliv ohlajevalne hitrosti in kemijske sestave na delež grudastega grafita v sivi litini s kroglastim grafitom</i>

Sekcija B / Section B: Dvorana/ Hall: Roald Amundsen
Neželezne zlitine / Non-ferrous alloys

9.00-9.20:	M. MANAPURAM, <i>North Eastern Regional Institute of Science & Technology (IN): World casting value analysis and casting value indices: a study / Analiza cene ulitkov v svetu in indeksi cen ulitkov: študija</i>
9.20-9.40:	F. ZUPANIČ ¹ , T. BONČINA ¹ , <i>1 University of Maribor, Faculty of Mechanical Engineering (SI): Effect of scandium on the properties of aluminium casting alloys / Vpliv skandija na lastnosti aluminijevih livnih zlitin</i>
9.40-10.00:	B. STAUDER ¹ , H. KERBER ² , P. SCHUMACHER ² , <i>1Nemak Linz GmbH, 2Oesterreichisches Giesserei-Institut Leoben (A): Mechanical properties of sand cores / Mehanske lastnosti peščenih jeder</i>
10.00-10.15:	Odmor / Brake
10.15-10.35:	G. GORŠE ¹ , A. MEGUŠAR ¹ , U. ERŽEN ¹ , P. MRVAR ² , A. MAHMUTOVIĆ ³ , <i>1LTH Castings d.o.o., 2Faculty of Natural Sciences and Engineering, University of Ljubljana, 3TC Livarstvo d.o.o. (SI): Shrinkage porosity reduction with local squeezing in high pressure die casting process / Zmanjševanje strjevalne poroznosti z metodo lokalnega stiskanja pri procesu visokotlačnega litja</i>
10.35-10.55:	S. SCHARF, E. RIEDEL, R. BÄHR, <i>Otto-von-Guericke, University of Magdeburg (D): Developments to an innovative and sustainable heat treatment process for aluminium based casting components / Razvoji inovativnemu in trajnostnemu procesu toplotne obdelave aluminijevih ulitkov</i>
10.55-11.15:	F. GIGEZ, <i>Fondarex Sa (CH): Innovations in Vacuum Die Casting / Novosti pri vakumskem kokilnem litju</i>
11.15-11.30:	Odmor / Brake
11.30 - 11.50	P. MALINOWSKI, K. LISZKA, J. SUCHY, K. KLIMKIEWICZ, <i>AGH University of Science and Technology (PL): Training system based on engineers competence star / Sistem učenja, osnovan na inženirjevih kompetencah</i>
11.50-12.10:	F. TEICHMANN, S. MÜLLER, H. PRIES, K. DILGER, <i>TU Braunschweig, Institute of Joining and Welding (D): The Application of Laser Beam Welding at Reduced Pressure for the Joining of Secondary High Pressure Die Casting Al-Si Alloys / Aplikacija laserskega varjenja pri znižanem tlaku za spajanje sekundarnih Al-Si zlitin za tlačno litje</i>

12.10-12.30:	Z. ZOVKO BRODARAC ¹ , D. STANIČ ² , <i>1University of Zagreb, Faculty of Metallurgy, Sisak, 2CIMOS-P.P.C. Buzet (CRO)</i> : Study of innovative AlSi7MgCu alloy with improved properties / Študija inovativne AlSi7MgCu zlitine z izboljšanimi lastnostmi
12.30-12.45:	Odmor / Brake
12.45-13.05:	M. PETRIČ, L. LAVTAR, S. KASTELIC, P. MRVAR, <i>Department of Materials and Metallurgy, Faculty of Natural Sciences and Engineering, University of Ljubljana (SI)</i> : Optimization of cooling-heating sistem in HPDC tools / Optimizacija hladilno-grelnega sistema v orodjih za tlačno litje
13.05-13.25:	P. MAJERIČ ¹ , D. JENKO ² , B. FRIEDRICH ³ , R. RUDOLF ^{1,4} , <i>1University of Maribor, Faculty of Mechanical Engineering (SI), 2Institute of Metals and Technology (SI), 3IME Institute of Process Metallurgy and Metal Recycling, RWTH Aachen (D), 4Zlatarna Celje d.d. (SI)</i> : Formation of gold nanoparticles with Ultrasonic Spray Pyrolysis / Nastanek zlatih nanodelcev pri ultrazvočni razpršilni pirolizi
13.25-13.45:	M. VONČINA, T. POŽENELJ, M. PETRIČ, P. MRVAR, J. MEDVED, <i>Department of Materials and Metallurgy, Faculty of Natural Sciences and Engineering, University of Ljubljana (SI)</i> : Influence of foundry defects on the electrical properties of Al-castings / Vpliv livarskih napak na električne lastnosti ulitka iz aluminija

Posterske predstavitve / Poster presentations

1.	A. MAHMUTOVIČ ¹ , S. KASTELIC ^{1,2} , M. PETRIČ ² , P. MRVAR ² , <i>1TC Livarstvo d.o.o., 2Faculty of Natural Sciences and Engineering, University of Ljubljana (SI)</i> : High pressure die casting optimization using numerical simulation / Optimizacija tlačnega litja s pomočjo numerične simulacije
2.	J. MEDVED ¹ , P. MRVAR ¹ , J. ČEVKA ² , M. VONČINA ¹ , D. JAGODIČ ¹ , <i>1Faculty of Natural Sciences and Engineering, University of Ljubljana, 2EXOTERM d.d. (SI)</i> : Determination of thermal properties of exothermic insulating materials / Ugotavljanje toplotnih lastnosti eksotermno-izolacijskih materialov
3.	R. PEZER ¹ , A. MAHMUTOVIČ ² , I. ANŽEL ¹ , P. MRVAR ³ , <i>1University of Zagreb, Faculty of Metallurgy, Sisak (CRO), 2TC Livarstvo d.o.o. (SI), 3Faculty of Natural Sciences and Engineering, University of Ljubljana (SI)</i> : Physical and numerical simulation based optimization in continuous casting of Cu SMA alloys / Fizikalno in numerično osnovana simulacija optimizacije pri kontinuirnem litju zlitin Cu SMA
4.	R. RUDOLF, Ž. ERMAN, I. ANŽEL, A. KRIŽMAN IN M. BRUNČKO,... (SI): Characterization of microstructure and determination of biocompatibility of CoCr alloys for potential use in dental techniques / Karakterizacija mikrostrukture in ugotavljanje biokompatibilnosti CoCr-zlitin za potencialno uporabo v dentalni tehniki
5.	G. KUGLER, P. MRVAR, M. PETRIČ, A. KRIŽMAN, M. TERČELJ, <i>Faculty of Natural Sciences and Engineering, University of Ljubljana (SI)</i> : Improving the mechanical properties of AM60 foundry alloy / Izboljšanje mehanskih lastnosti zlitine AM60

DRUŠTVO LIVARJEV SLOVENIJE The Slovenian Foundrymen Society

Chairman of Programme Committee:
Alojz Križman, Prof. PhD

Madam Chair of Organising Committee:
Mirjam Jan-Blažič, MSc