

---

# Overcasting ako inovatívna metóda spájania kovových materiálov

---

## Martin Medňanský, Ing.\*

Katedra technologického inžinierstva, Strojnícka fakulta,  
Žilinská univerzita v Žiline,  
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.  
E-mail: martin.mednansky@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2771

## Marek Brúna, doc. Ing., PhD.

Katedra technologického inžinierstva, Strojnícka fakulta,  
Žilinská univerzita v Žiline,  
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.  
E-mail: marek.bruna@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2756

## Overcasting as an innovative method of metallic material joining

**Abstract:** This article focuses on the research of innovative metal casting technology of overcasting (or compound casting) as a progressive method of joining metal materials in different phase states (solid-liquid). *Overcasting* allows the creation of bimetallic components with a diffusion-bonded interface that combine the advantageous properties of the matrix and core. It can offer high efficiency, greater design flexibility and weight savings, if suitable materials are joined. The article reviews different approaches to joining similar and dissimilar materials.

**Keywords:** compound casting, overcasting, material joining, hybrid castings.

---

## ÚVOD

Hliník má vysokú pevnosť, tvárnosť a priepustnosť, a preto sú jeho zliatiny považované za vhodnú voľbu pre aplikácie, kde je potrebná nízka hmotnosť. Je vo vysokej miere používaný v leteckom a automobilovom priemysle. S nástupom inovácií a nových technológií v priemysle sa otvárajú možnosti využitia *hliníkových* zliatin novými spôsobmi, a to aj tam, kde by konvenčnými metódami aplikovateľné neboli, vzhľadom na stále sa zvyšujúce požiadavky priemyslu. Medzi takéto spôsoby patrí aj inovatívna metóda spájania kovov [1].

V súčasnosti sa kovy (chemicky zhodné i odlišné) spájajú metódami, ktoré možno klasifikovať do troch hlavných skupín:

1. *Spájanie pevných látok s pevnými:* spájkovanie, valcovanie, zváranie trením, zváranie laserom, explozívne zváranie, povrchovo aktivované spájanie a hydrostatická extrúzia.
2. *Spájanie pevných látok s kvapalnými:* ponáranie za tepla (hot dipping) a zalievanie (overcasting, compound casting).
3. *Spájanie kvapalných látok s kvapalnými:* kontinuálne odlievanie a odlievanie s priamym chladením (*direct chill casting*) [1].

Spájanie pevných telies je zdĺhavý proces a vyžaduje vysoké investície do návrhu tvaru a substrátu.

Spájanie kvapaliny s kvapalinou tiež nie je ekonomické riešenie, a preto nie je vhodné na využitie v priemysle [2].

Spájanie pevných látok s kvapalnými, označované ako zalievanie, *overcasting*, či *compound casting*, sa považuje za najlepšiu techniku spájania vďaka svojim vynikajúcim vlastnostiam vrátane vysokej efektívnosti výroby, vynikajúceho výkonu, flexibility konštrukcie, úspory hmotnosti a nízkych prevádzkových nákladov.

## 1 OVERCASTING

Zalievanie je definované ako výrobná technológia, pri ktorej sa dva kovy, jeden v pevnom stave a druhý v kvapalnom stave, dostávajú do vzájomného kontaktu, takže medzi týmito dvoma materiálmi vzniká zóna difúznej reakcie, a tak dochádza k plynulému prechodu z jedného kovu do druhého. Z dôvodu konštrukčnej flexibility, efektívnosti výroby, úspory hmotnosti a nízkych výrobných nákladov sa v poslednom čase venuje veľká pozornosť overcasting technológii v rôznych systémoch a konštrukčných riešeniach [3].

### 1.1 Aplikácie technológie zalievania

Výhodou technológie zalievania (*overcasting*) je jej široká uplatniteľnosť vzhľadom na to, že výsledný

odliatok bude zdieľať kombináciu výhodných vlastností materiálov jadra a matrice.

Technológii zalievania sa intenzívne venuje napr. *Inštitút Fraunhofer*. Na lokálne zvýšenie mechanických vlastností, prioritne pevnosti pri vysokých teplotách, používajú v odliatku z hliníkovej matrice jadro z nehrdzavejúcej ocele. Jadro je vložené do dutiny formy pre vysokotlakové odlievanie a má tvar drôtených alebo perforovaných dosiek. Predkladá sa aj potenciálne využitie technológie na vysoko efektívnu realizáciu chladiacich kanálov. Vložením chladiaceho kanála - dutej rúrky cenovo dostupného štandardného materiálu ako zliatina *Al* alebo ocele, do dutiny formy je možné vytvoriť chladiace kanály plášťa elektromotora bez potreby použitia zlievarenského jadra [4].

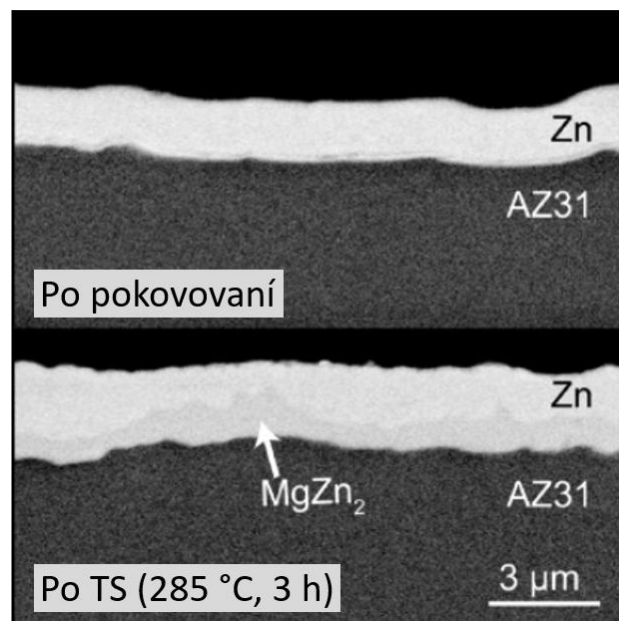
Využitie kovových pien pre absorpciu energie je jedným z hlavných predmetov výskumov aj v oblasti technológie zalievania. Výrobcovia automobilov využívajú myšlienku *crash boxov* - úmyselne ľahko zdeformovateľné časti karosérie na zachytenie čo najväčšieho množstva energie v prípade nárazu. Umiestňujú sa medzi nárazník a prednú lištu vozidla. Vyplnením rúrky *hliníkovou* penou je možné zvýšiť schopnosť absorpcie energie. Vyplnený *crash box* sa zrúti s väčším počtom záhybov na celej dĺžke steny rúrky. Vykonané štúdie výrobcu *FIAT* a *Nórskej univerzity vedy a techniky* ukazujú, že spolu so zlepšenou axiálnou absorpciou energie dochádza aj k veľkému zlepšeniu absorpcie energie pri mimoosových zrážkach [5].

Hybridné odliatky vyrobené zalievaním kovovej peny sa okrem tlmenia energie, vibrácií a nimi vzniknutého hluku nachádzajú uplatnenie aj ako tepelná izolácia v odvetví elektromobility. Vo všeobecnosti batéria elektromobilu produkuje teplo a elektrické napätie. Batéria je preto nutné pokryť špeciálnym materiálom, aby nedochádzalo k prepätiu. Vzhľadom na pokračujúcu snahu udržať hmotnosť vozidla na minimálnej úrovni ponúka technológia zalievania jasnú výhodu oproti tradičným mechanickým upevneniam [5].

## 2 ZALIEVANIE KOVOV NA ROVNAKÝCH BÁZACH - OVERCASTING

Spájanie identických kovov, ako napr. *Mg* a jeho zliatiny, bolo tiež experimentálne skúmané. Prírodná vrstva oxidu/hydroxidu na zliatinách *horčíka* zvyčajne bráni metalurgickému spájaniu prostredníctvom odlievania. Preto bola na substrát *AZ31* aplikovaná špeciálna úprava, ktorá nahradila vrstvu oxidu povlakom *Zn/MgZn<sub>2</sub>* (obr. 1). Substrát bol po brúsení a čistení ponorený do roztoku síranu zinočnatého, čím vzniká na substráte vrstva zinku s hrúbkou asi 100 nm. Ďalším krokom bola

galvanizácia, čím dochádza k zhrubnutiu vrstvy na 2 až 3 μm a tepelné spracovanie na zvýšenie adhézie *Zn* vrstvy k substrátu. Tepelné spracovanie sa vykonávalo v inertnej atmosfére argónu pri 285°C po dobu 3 hod. Difúznou reakciou vznikla medzivrstva *MgZn<sub>2</sub>*, ktorá tvorí chemické previazanie substrátu a povlaku. Po tejto preparácii bol substrát pripravený na zalievanie v inertnej atmosfére s teplotou liatia 700 až 750°C [6].

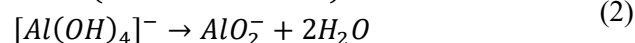
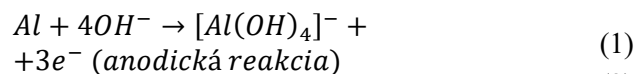


Obr. 1. Tepelným spracovaním vytvorená medzivrstva *MgZn<sub>2</sub>* [6]

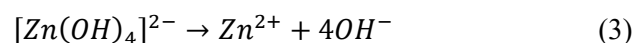
Spojenie *hliníkových* zliatin nebolo dokonale dosiahnuté z dôvodu prítomnosti vrstvy oxidu hlinitého (*Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>*) na povrchu tuhej *hliníkovej* zliatiny [6]. Táto povrchová vrstva má vyššiu teplotu tavenia (2072°C) ako roztavený kov, čo obmedzuje zmáčavosť pri zalievaní roztaveného materiálu [6].

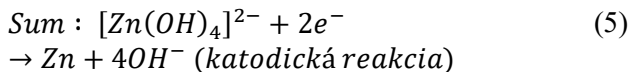
Tento problém riešil *Papis a kol.*, ktorí nahradili vrstvu *Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>* s vysokou teplotou tavenia (2072°C) vrstvou zinku s nízkou teplotou tavenia (420°C). Princíp *pozinkovania* v tomto experimente pozostával z chemického odstránenia stôp po valcovaní na materiály a chemického čistenia povrchu materiálu substrátu leptaním, po ktorom nasledovalo ponorenie substrátu do roztoku *NaOH* a *zinkových* aniónov s obchodným menom *SurTech652* bez potreby špeciálnej atmosféry. Pri namáčaní substrátu prebiehajú reakcie, pri ktorých dochádza k nahrádzaniu vrstvy *Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>* vrstvou zinku [3]:

Oxidácia:

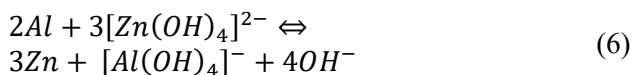


Redukcia:

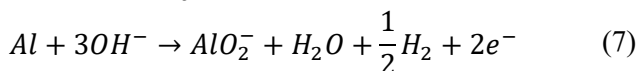




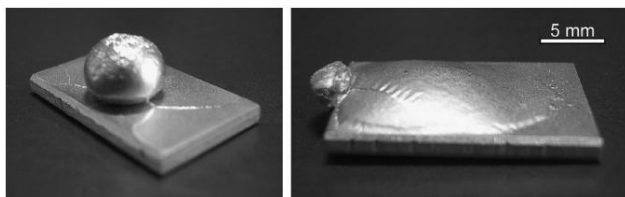
Celková reakcia:



Anodická vedľajšia reakcia na tvorbu  $\text{H}_2$ :

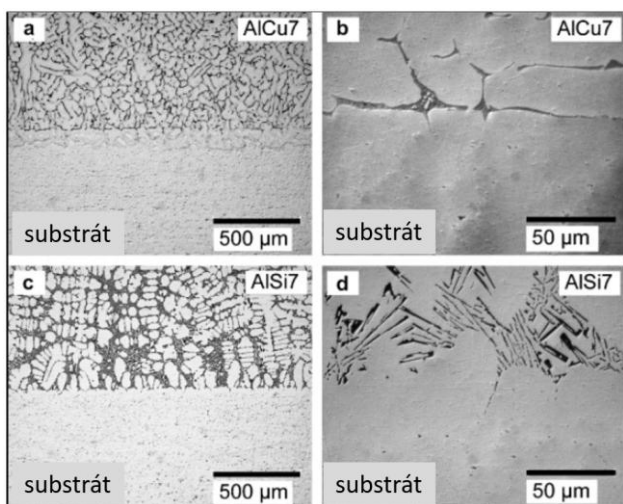


Po takto vzniknutom tenkom filme  $\text{Zn}$  sa vykonáva galvanizácia na zhrubnutie vrstvy z 400 nm na 5 až 10  $\mu\text{m}$ . Výsledné zlepšenie zmačavosti bolo zachytené na obr. 2.



Obr. 2. Zvýšenie zmačavosti substrátu pozinkovaním [3]

Pri zalievaní  $\text{Al-Al}$  materiálov gravitačným odlievaním dochádzalo na rozhraní materiálov k zliedenským chybám ako pórovitosť a trhliny. Vzniku týchto chýb je možné zamedziť použitím tlaku pri zalievaní technológiou *squeeze overcasting*, pri ktorom dochádza k pevnému metalurgickému prepojeniu materiálov (obr. 3). Tepelné spracovanie zlepšuje mechanické vlastnosti zaliateho materiálu - vhodným je tepelné spracovanie starnutím [3, 6].



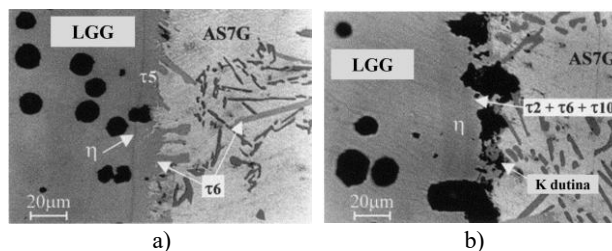
Obr. 3. Zalievanie  $\text{AlMg1}$  substrátu taveninou  $\text{AlCu7}$  a  $\text{AlSi7}$  [3]

### 3 ZALIEVANIE KOVŮ NA ODLIŠNÝCH BÁZACH - COMPOUND CASTING

*Overcasting* sa experimentálne ukázal ako osvedčený proces spájania rôznych kovov.

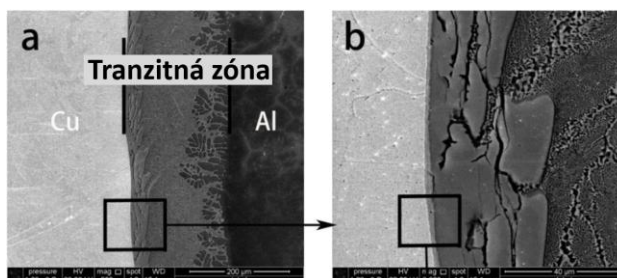
Viala a kol. úspešne vytvorili odliatok zo zliatiny hliníka s vložkou z liatiny s guľôčkovým grafitom. Tá bola gravitačným odlievaním do kokily zaliata prehriatou taveninou zliatiny hliníka. Skúmal sa aj

vplyv tepelného spracovania na vzniknutú tranzitnú zónu. V odliatkoch bez tepelného spracovania sa v metalurgicky vzniknutej tranzitnej zóne nachádzali intermetalické fázy  $\eta$  ( $\text{Al}_5\text{Fe}_2$ ),  $\tau_5$  ( $\text{Al}_{7.4}\text{Fe}_2\text{Si}$ ) a  $\tau_6$  ( $\text{Al}_{4.5}\text{FeSi}$ ) (obr. 4). Po tepelnom spracovaní sa v tranzitnej zóne nachádzajú intermetalické fázy  $\tau_2$  ( $\text{Al}_5\text{Fe}_2\text{Si}_2$ ) a  $\tau_{10}$  ( $\text{Al}_{12}\text{Fe}_5\text{Si}_3$ ). Na obr. 4 možno pozorovať vznik tzv. *Kirkendallových dutín* v tranzitnej zóne v dôsledku nerovnomernej difúzie  $\text{Al}$  atómov zo zliatiny do miest, kde prebiehala reakcia  $\text{Fe}$  a  $\eta$ , a nárast hrúbky tranzitnej zóny z 12 na 22  $\mu\text{m}$  [6].



Obr. 4. Tranzitná zóna zaliatej  $\text{LGG}$  zliatinou  $\text{Al}$ : a) pred tepelným spracovaním, b) po tepelnom spracovaní [7]

Ďalšou zaujímavou kombináciou kovov je  $\text{Al-Cu}$  bimetal. Ten je špecifický nízkou hustotou, odolnosťou voči korózii, nízkou hmotnosťou vďaka prítomnosti hliníka a veľmi vysokou tepelnou vodivosťou vďaka prítomnosti medi. Med' je však pri zvýšených teplotách náchylná na oxidáciu, čo spôsobuje chyby, ako sú trhliny alebo póry v tranzitnej zóne. Zinkové povlakovanie sa zaviedlo v rôznych prípadoch na ochranu povrchu pevného substrátu pri zalievaní. Nielenže zinkový povlak môže úspešne znížiť mieru oxidácie, ale nízka teplota topenia ( $420^\circ\text{C}$ ) a vysoká rozpustnosť zinku v materiáloch, ako je hliník a horčík, pri zvýšenej teplote môže tiež zabrániť zvýšenej koncentrácii zinku v tranzitnej zóne. Experimentálne bol vytvorený bimetal zaliatím pevného *pozinkovaného medeného* substrátu taveninou  $\text{Al}$  zliatiny, využitím technológie *Squeeze casting* (obr. 5).



Obr. 5. REM snímka morfológie  $\text{Al-Cu}$  bimetalického materiálu [8]

V závislosti od teploty liatia a aplikovaného tlaku boli v tranzitnej zóne odliatkov pozorované 4 vrstvy: Vrstva  $\text{Al}_4\text{Cu}_9$ , vrstva  $\text{Al}_2\text{Cu}$ , eutektická vrstva  $\text{Al-Cu}$  a vrstva tuhého roztoku  $\text{Al}$  bohatá na  $\text{Cu}$ . Zväčšovanie

hrúbky tranzitnej zóny túto zónu, ako aj mieru prepojenia materiálov, oslabuje a vznikajú v nej trhliny. Najlepšie mechanické vlastnosti bimetal vykazoval pri použití teploty odlievania 700°C [1, 8, 9].

Ďalším využitím technológie *compound casting* je v rámci znižovania ekonomickej záťaže na výrobu konkrétnej súčiastky vhodné zvoliť materiál povrchu odliatku z nehrdzavejúcej ocele a jadro odliatku z tyče konštrukčnej ocele.

V prípade zalievania substrátu taveninou s podobnou teplotou tavenia dochádza k nataveniu substrátu. Z tohto dôvodu boli pri experimentálnom zalievaní týchto dvoch typov ocelí technológiou liatia na vytaviteľný model pozorované tri rozhrania: v dôsledku interakcie tavenina/tavenina (rozhranie I), interakcie stuhnutá konštrukčná ocel'/tavenina nehrdzavejúcej ocele (rozhranie II) a interakcie pevná látka/pevná látka (rozhranie III). Dospelo sa k záveru, že rozhrania I a II majú vyššiu mikrotvrdosť ako rozhranie III, pretože oblasť interakcie rozhrania I a II má zmes martenzitickej a bainitickej mikroštruktúry. Keďže difúzia *uhlíka* prebieha z konštrukčnej ocele do nehrdzavejúcej ocele, *Cr* a *Ni* difundujú v opačnom smere difúzie *uhlíka*. Mechanické vlastnosti bimetalu boli vyššie ako vlastnosti nehrdzavejúcej ocele, ale nižšie ako vlastnosti konštrukčnej ocele [10].

Ďalšie experimenty a výskumy preukázali úspešné spôsoby prípravy bimetalických odliatkov *horčíka* a *hliníka* bimetalických odliatkov liatiny s vysokým obsahom *chrómu* a ocele so stredným obsahom *uhlíka* a sivej liatiny a zliatiny *medi* (*Cu*) [1].

## ZÁVER

*Overcasting* umožňuje vytvárať bimetalické súčiastky s difúzne viazaným rozhraním, ktoré spájajú výhodné vlastnosti matrice a jadra. Vzhľadom na problematiku *oxidických* vrstiev  $Al_2O_3$  je predmetom výskumu ich nutné odstraňovanie alebo modifikácia rôznymi metódami - povlakovaním zinkom, galvanizáciou, tepelným spracovaním - za účelom zlepšenia zrnitosti a zabezpečenia metalurgického spojenia medzi súčasťami zo zhodných alebo odlišných kovov.

Technológia *overcasting* vykazuje vysoký aplikačný potenciál v automobilovom a elektromobilovom priemysle - pre výrobu energeticky absorpčných komponentov, chladiacich systémov a konštrukčných prvkov s vysokými nárokmi na pevnosť, teplotnú odolnosť a hmotnostnú optimalizáciu.

## Pod'akovanie

*Tento článok vznikol ako súčasť grantového projektu KEGA 029ŽU-4/2023: Rozvoj dištančnej formy vdelávania pre študentov strojárskoho zamerania na*

*báze interaktívnej platformy vo svetových jazykoch. Autori ďakujú grantovej agentúre za podporu.*

## LITERATÚRA

- [1] ALI, M. A. - JAHANZAIB, M. - WASIM, A., HUSSAIN, S. - ANJUM, N. A. (2018): *Evaluating the effects of as-casted and aged overcasting of Al-Al joints*. In: The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 96(1–4), 1377–1392.
- [2] HAJJARI, E. - DIVANDARI, M. - RAZAVI, S. H. - EMAMI, S. M. - HOMMA, T. - KAMADO, S. (2011): *Dissimilar joining of Al/Mg light metals by compound casting process*. In: Journal of Materials Science, 46(20), 6491–6499.
- [3] PAPIS, K. - HALLSTEDT, B. - LÖFFLER, J. - UGGOWITZER, P. (2008): *Interface formation in aluminium–aluminium compound casting*. In: Acta Materialia, 56(13), 3036–3043.
- [4] FRAUNHOFER IFAM - BUSSE, M. - CLAUSEN, J. - KLEI, J. (2021): *Metal-to-metal compound casting for innovative cast components* [online]. Dostupné na: [https://www.ifam.fraunhofer.de/content/dam/ifam/en/documents/Shaping\\_Functional\\_Materials/casting\\_technology/metal-to-metal-compound-casting-for-innovative-cast-components-fraunhofer-ifam.pdf](https://www.ifam.fraunhofer.de/content/dam/ifam/en/documents/Shaping_Functional_Materials/casting_technology/metal-to-metal-compound-casting-for-innovative-cast-components-fraunhofer-ifam.pdf)
- [5] BANHART, J. (2007). *Metal Foams - from Fundamental Research to Applications*. In: RAJ, B. (ed.) *Frontiers in the design of materials*. CRC Press. ISBN 978-1420-0473-01.
- [6] PAPIS, K. - LÖFFLER, J. - UGGOWITZER, P. (2010): *Interface formation between liquid and solid Mg alloys—An approach to continuously metallurgical joining of magnesium parts*. In: Materials Science and Engineering: A, 527(9), 2274–2279.
- [7] VIALA, J. - PERONNET, M. - BARBEAU, F. - BOSSELET, F. - BOUIX, J. (2002): *Interface chemistry in aluminium alloy castings reinforced with iron base inserts*. In: Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 33(10), 1417–1420.
- [8] LIU, T. - WANG, Q., SUI, Y., WANG, Q., & DING, W. (2016): *An investigation into interface formation and mechanical properties of aluminum–copper bimetal by squeeze casting*. In: Materials & Design, 89, 1137–1146.
- [9] ZHANG, H. - CHEN, Y. - LUO, A. A. (2014): *A novel aluminum surface treatment for improved bonding in magnesium/aluminum bimetallic castings*. In: Scripta Materialia, 86, 52–55.
- [10] ŞİMŞİR, M., KUMRUOĞLU, L. C., & ÖZER, A. (2009): *An investigation into stainless-steel/structural-alloy-steel bimetal produced by shell mould casting*. In: Materials & Design, 30(2), 264–270.