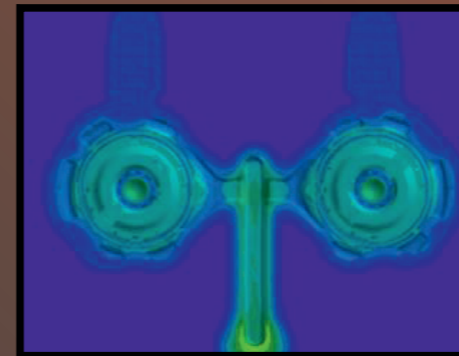
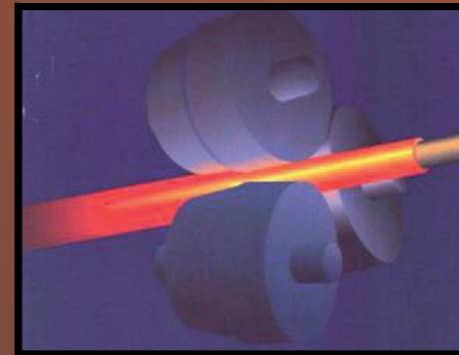
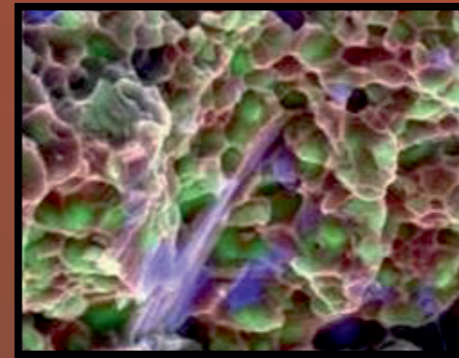
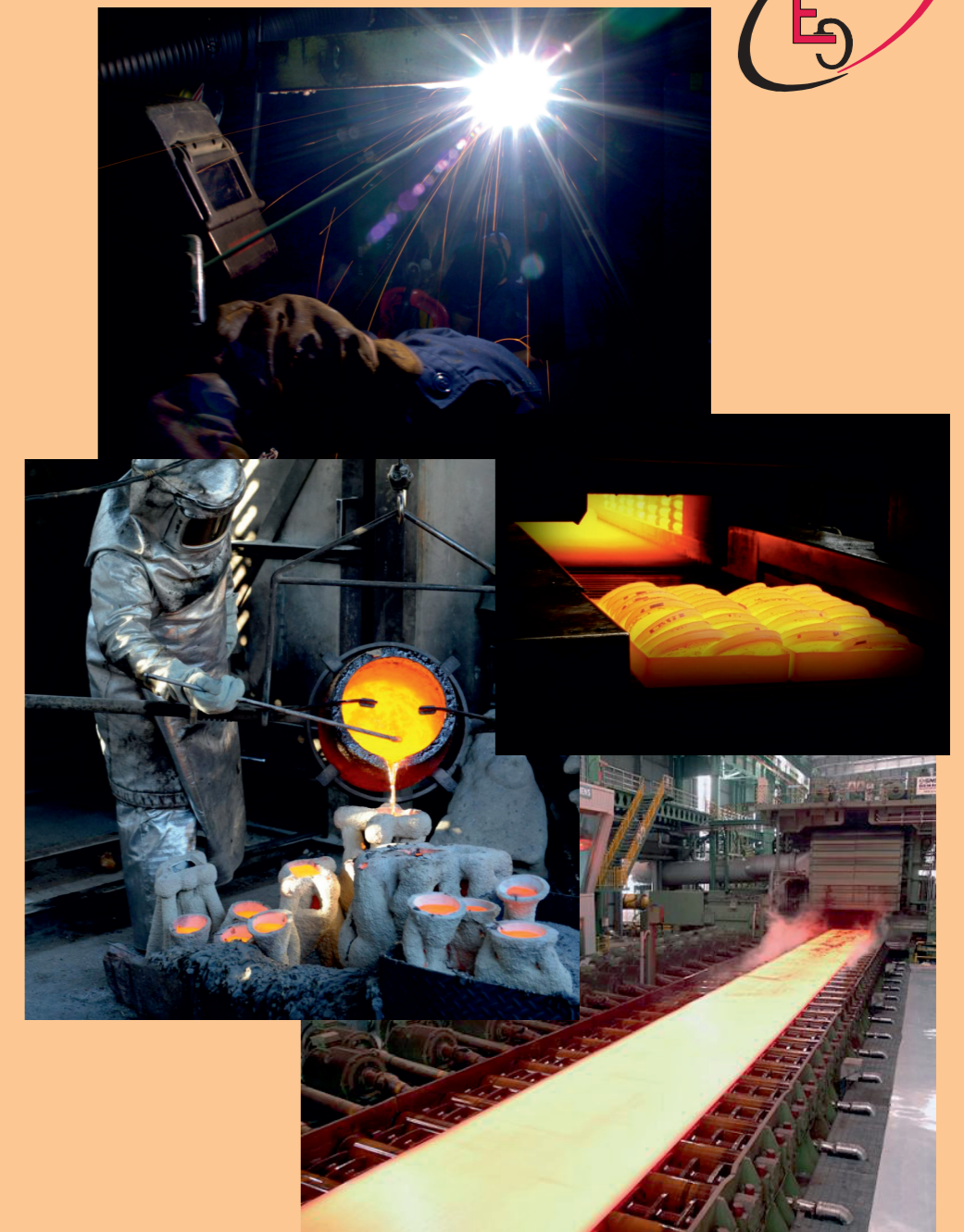




ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE
Strojnícka
fakulta

TECHNOLÓG



ISSN 1337-8996

DOI:

Ročník 14
október 2022

3/2022

TECHNOLÓG

Vychádza spravidla dvakrát ročne. Publikuje vedecké, výskumné, odborné, teoretické práce, návody, štúdie, recenzie, informácie o spracovaní technických materiálov. Zameriava sa na uverejňovanie príspevkov aprác venujúcich sa otázkam z oblasti trieskových a beztrieskových technológií, fyzikálnych princípov nekonvenčných technológií, technologickosti konštrukcií nástrojov, ekonomike výrobného procesu, ekologizácii, spracovaniu odpadov. Takisto publikuje práce o strojoch, nástrojoch, prípravkoch a meracej technike pre oblasť mechanických technológií, výsledkoch výskumu vo sfére informačných technológií v technologickej oblasti. Uverejňuje práce o histórii a vývine mechanických technológií.

Časopis zverejňuje príspevky v jazykoch: slovenskom, českom, poľskom, ruskom, anglickom a nemeckom.

Všetky príspevky sú recenzované dvoma nezávislými recenzentmi a redakcia si vyhradzuje právo na ich redakčnú úpravu. Nepreberá sa zodpovednosť za prípadné škody spôsobené použitím úkonov, metód, produktov, ideí, návodov a pod. publikovaných autormi príspevkov.

Evidenčné číslo MK SR-2800/08

ISSN 1337-8996

Adresa redakcie:

Žilinská univerzita v Žiline, Strojnícka fakulta, Univerzitná 1, 010 26 Žilina

Telefón: 041-513 2764

e-mail: jan.moravec@fstroj.uniza.sk

Vydáva Žilinská univerzita v Žiline v EDIS-vydavateľstve UNIZA

Univerzitná HB, 010 26 Žilina, IČO 00 397 563

šéfredaktor - editor in chief:

výkonný redaktor - executive editor:

redaktor - redactor:

vedecký redaktor - scientific editor:

doc. Ing. Ján MORAVEC, PhD.

doc. Ing. Ján Dižo, PhD.

Ing. Elena Kantoríková, PhD.

prof. Ing. Jozef PILC, CSc.

redakčná rada - editorial board:

prof. Ing. Ivo SCHINDLER, CSc. (CZ)

prof. Ing. Pavol ŠVEC, CSc. (SK)

doc. Ing. Petr KAWULOK, PhD. (CZ)

doc. Ing. Alexander SCHREK, PhD. (SK)

doc. Ing. Jozef BÍLIK, PhD. (SK)

doc. Dr. - Inż. Janusz MUSIAL (PL)

Dipl. Ing. Eva REGER (D)

doc. Ing. Ľudmila DULEBOVÁ, PhD. (SK)

prof. Ing. Georgi KODZHASPIROV, DrSc. (RU)

doc. Ing. Ján DIŽO, PhD. (SK)

doc. Mgr. Branislav FTOREK, PhD. (SK)

doc. Ing. Ján MORAVEC, PhD. (SK)

prof. Ing. Jozef PILC, CSc. (SK)

Dr.h.c. prof. Ing. Karol VASILKO, DrSc. (SK)

prof. Ing. Eva TILLOVÁ, PhD. (SK)

prof. Ing. Peter DEMEČ, CSc. (SK)

prof. Ing. Jan SUCHÁNEK, CSc. (CZ)

prof. Dr. Ing. Milan SÁGA (SK)

prof. Ing. Oleksandr KRAVCHENKO, Dr.Tech.Sc. (UA)

prof. Dr. Ing. Miroslav NESLUŠAN (SK)

prof. Ing. Danka BOLIBRUCHOVÁ, PhD. (SK)

prof. Ing. Emil EVIN, CSc. (SK)

prof. Ing. Alžbeta SAPIETOVÁ, PhD. (SK)

Magazin TECHNOLOG

Publiziert werden wissenschaftliche, fachliche und Forschungsbeiträge, theoretische Abhandlungen, Anleitungen, Studien, Rezensionen, Informationen über die Bearbeitung der technischen Materialien. Der Fokus liegt auf Beiträgen und Arbeiten, die sich mit den Fragen aus dem Gebiet der Span- und Spanlosen Technologien, der physikalischen Prinzipien der unkonventionellen Technologien, der technologischen Konstruktion der Werkzeuge, der wirtschaftlichen Seite des Herstellungsprozesses, der Ökologie, so wie der Abfallverwertung befassen. Genauso werden Beiträge über Maschinen, Werkzeuge, Vorrichtungen und Messtechnik für den Bereich der mechanischen Technologien, Untersuchungsergebnisse über die Informationstechnologie im technologischen Bereich publiziert. Des Weiterem werden Beiträge über die Geschichte und die Entwicklung der mechanischen Technologie veröffentlicht. Das Magazin TECHNOLOG publiziert Beiträge in folgenden Sprachen: Slowakisch, Tschechisch, Polnisch, Russisch, Englisch und Deutsch.

Alle Beiträge sind rezensiert und die Redaktion behält sich den Anspruch auf ihre Bearbeitung durch sie vor. Die Redaktion übernimmt keine Verantwortung für mögliche Schäden, die durch die Anwendung der Tätigkeiten, Methoden, Produkte, Ideen, Anleitungen etc. publiziert durch die Autoren der Beiträge verursacht werden.

Evidenznummer MK SR-2800/08.

ISSN 1337-8996

Adresse der Redaktion: Universität Žilina, Fakultät Maschinenbau, Univerzitná 1, 01026 Žilina

Telefon: +421 (0) 41-513 2764, 513 2814,

Fax: +421 (0) 41-513 1535

Email: jan.moravec@fstroj.uniza.sk

Журнал ТЕХНОЛОГ

Печатает научные, исследовательские, профессиональные, теоретические работы, инструкции, аналитические обзоры, рецензии, информации о переработке технических материалов. Направлен на печатание работ посвященных вопросам в области технологий обработки со стружкой и без, физических принципов нестандартных технологий, технологичности конструкции инструментов, экономики производственного процесса, экологизации, переработке отходов. Также публикует работы о машинах, инструментах, препаратах и измерительной технике для области механических технологий, результат их научных исследований в сфере информационных технологий в технологической области. Публикует статьи по истории и эволюции механических технологий. Журнал публикует статьи на языках: словацком, чешском, польском, русском, английском и немецком.

Все статьи рецензируются и редакция оставляет за собой право их редакционного корректирования. Редакция не несет никакой ответственности за возможные повреждения вызванные использованием операций, методов, продуктов, идей, инструкций и т.д. в опубликованных авторами статьях.

Регистрационный номер MK SR 2800 - /08.

ISSN 1337 - 8996

Адрес редакции: Жилінська універзіта, стpоїніцка факулта, Універзітна 1, 01026 Жиліна

Telefón: 041-513 2764, 513 2814

Fax: 041-513 1535

e-mail: jan.moravec@fstroj.uniza.sk

OBSAH

ZOZNAM RECENZENTOV	5
MAXIMILIÁN HELL	6
VPLYV TEPLoty PRECIPITAČNÉHO VYTVRDZOVANIA NA VLASTNOSTI ZLIATINY AISi5Cu2Mg LEGOVANEJ Zr <i>Martina Sýkorová, Dana Bolibruchová</i>	8
SEAMLESS TUBES MANUFACTURING PROCESSES ANALYSIS <i>Jozef Bílik, Róbert Sobota, Roland Šuba, Milan Mojžiš</i>	14
DECISION-MAKING PROCESS AND KNOWLEDGE MANAGEMENT, KNOWLEDGE MANAGEMENT AND SKILLS <i>Ivan Litvaj</i>	19
NÁKLADNÉ PRÍVESY ZA TRAKTOR - KONCEPČNÉ USPORIADANIE A ICH TYPY <i>Ján Dižo, Miroslav Blatnický, Vadym Ishchuk, Denis Molnár</i>	22
PROCES REVERZNÉHO INŽINIERSTVA S VYUŽITÍM 3D LASEROVÉHO SKENOVANIA <i>Katarína Štáffenová, Miroslav Rakýta, Peter Bubeník, Vladimíra Biňasová, Marta Kasajová</i>	25
NÁKLADNÉ PRÍVESY ZA TRAKTOR - ŠPECIÁLNE VERZIE A ZVLÁŠTNÁ VÝBAVA <i>Ján Dižo, Miroslav Blatnický, Vadym Ishchuk, Denis Molnár</i>	31
KNOWLEDGE, KNOWLEDGE MANAGEMENT AND INNOVATIONS <i>Ivan Litvaj</i>	35
NÁVRH MODELU PARNÉHO RUŠŇA <i>Vadym Ishchuk, Ján Dižo, Miroslav Blatnický, Denis Molnár</i>	39
INTEGROVANÝ SYSTÉM PRE REDUKCIU EMISÍ SPALOVACÍCH MOTOROV <i>Pavol Tarbajovský, Michal Puškár</i>	43
TECHNICAL PREPARATION OF PRODUCTION <i>Marta Kasajová, Peter Bubeník, Miroslav Rakýta, Vladimíra Biňasová, Katarína Štáffenová</i>	48
О ВЫБОРЕ МОЩНОСТИ ДВИГАТЕЛЯ АВТОМОБИЛЯ НА ЭТАПЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ <i>Михаил Абович Подригало, Александр Петрович Кравченко, Юрай Герлицы, Виталий Сергеевич Шейн, Александр Сергеевич Ткаченко, Екатерина Александровна Кравченко</i>	52
VPLYV TEPELNÉHO SPRACOVANIA NA NÁSTROJOVÉ OCELE <i>Elena Kantoríková</i>	59
SKÚSENOSTI PRI ULTRAZVUKOVOM SKÚŠANÍ ZVAROV V PRAXI <i>Radoslav Koňár</i>	63
HODNOTENIE TEPELNÉHO ZAŤAŽENIA VYSOKOTLAKOVEJ FORMY POMOCOU NUMERICKEJ SIMULÁCIE <i>Marek Matejka, Radka Podprocká</i>	68

RZECZY KILKA O TRANSPORCIE KOLEJOWYM ŁADUNKÓW W JAPONII <i>Mariusz Kostrzewski, Wojciech Jerzy Nowak, Ján Dižo, Miroslav Blatnický</i>	74
PRECIPITAČNÉ VYTVRDZOVANIE Al-Si-Cu-Mg ZLIATIN <i>Martina Sýkorová, Dana Bolibruchová</i>	78
NUMERICKÉ SIMULÁCIE VPLYVU TECHNOLOGICKÝCH FAKTOROV NA ŠTRUKTÚRU VYSOKOTLAKOVÝCH ODLIATKOV <i>Martin Medňanský, Marek Brůna, Marek Matejka</i>	82
RECENZIA	86

ZOZNAM RECENZENTOV PRÍSPEVKOV

doc. Ing. **Dalibor BARTA**, PhD.
doc. Ing. **Miroslav BLATNICKÝ**, PhD.
Ing. **Miloš BREZÁNI**, PhD.
doc. Ing. **Marek BRŮNA**, PhD.
doc. Ing. **Ján DIŽO**, PhD.
doc. Ing. **Karel GRYC**, PhD.
Ing. **Elena KANTORÍKOVÁ**, PhD.
doc. Ing. **Kateryna KRAVCHENKO**, PhD.
Ing. **Borislav MELO**, PhD.
doc. Ing. **Ján MORAVEC**, PhD.
doc. Ing. **Richard PASTIRČÁK**, PhD.
doc. Ing. **Alexander SCHREK**, PhD.
doc. Ing. **Ladislav SOCHA**, PhD.
Ing. **Roman STROKA**, PhD.
prof. Ing. **Pavol ŠVEC**, PhD.



Maximilián HELL

(*15. máj 1720, Štiavnické Bane – † 14. apríl 1791, Viedeň)

Maximilián Hell sa narodil 15. mája 1720 v *Štiavnických Baniach* (*Windschacht*). Jeho otec *Matej Kornel Hell* bol konštruktérom a staviteľom známych *štiavnických* tajchov - umelých jazier, v ktorých sa zhromažďovala voda ako zdroj energie pre poháňanie banských strojov.

Najznámejšími sú *Počúvadlo*, *Veľká* a *Malá Richňava*, *Evička*, *Klinger*, *Rozgrund* či *Ottergrund*. Tieto vodné diela dodnes dotvárajú ráz krajiny v okolí *Banskej Štiavnice*. Úspešný bol aj jeho brat *Jozef Karol Hell*. S otcovou pomocou skonštruoval vahadlový stroj na čerpanie podzemnej vody.

Do školy chodil v *Štiavnických Baniach*, v štúdiu pokračoval na gymnáziu v *Banskej Bystrici*, kde bol jeho profesorom aj *Saumel Mikovíni*, ktorý vzbudil v mladom *Maximiliánovi* záujem o štúdium matematiky a astronómie.

V roku 1738 vstúpil ako 18-ročný do *jezuitského* rádu. Po dvojročnom noviciáte v *Trenčíne* na jeseň roku 1740 zložil rehoľné sľuby a začal študovať filozofiu, logiku a prírodné vedy na jezuitskom kolégiu vo *Viedni*, kde bol aj asistentom riaditeľa astronomického observatória.

Po roku 1745 odišiel do *Levoče*, kde vyučoval latinčinu, gréčtinu, dejepis a rétoriku na tamojšom jezuitskom gymnáziu, prednášal tiež na jezuitskom gymnáziu v *Banskej Bystrici*. Roku 1751 obhájil doktorát filozofie. Potom ako sám absolvoval štúdium teológie, bol v roku 1752 vysvätený za kňaza. Odišiel prednášať matematiku a fyziku na jezuitskú akadémiu v *Kluži* na území dnešného *Rumunska*. Vybudoval tu tiež hviezdáreň.

Za svoje úspechy bol cisárovnou *Máriou Teréziou*, po smrti astronóma *J. J. Marinoniho*, poverený vybudovať veľkú hviezdáreň *viedenskej* univerzity. Ako jej riaditeľ na nej potom pôsobil až do konca svojho života. Observatórium sa stalo pod jeho vedením centrom prírodovedeckého bádania v *habsburskej* monarchii. Pôsobil ako dvorný astronóm a matematik, a tiež ako profesor mechaniky na *Univerzite vo Viedni*. Vyhotovil plány na výstavbu hviezdární v *Trnave*, *Budíne* a v *Jágrí*.

Viedenské observatórium sa pod jeho vedením stalo centrom prírodovedného bádania v monarchii. *Maximilián Hell* uskutočňoval pravidelné pozorovania planét, slnka, mesiaca a hviezd, od roku 1757 vydával odborné astronomické ročenky *Ephemerides Astronomicae* (Astronomické denníky). Napísal 26 odborných prác, pozoruhodné výsledky dosiahol v oblasti výskumu polárnej žiary a magnetického poľa Zeme. Napísal viacero učebníc matematiky, zaujímal sa o jazykovedu, históriu a literatúru. Jeho životným snom bolo práve o nich a o prírodovede napísať veľké trojzväzkové dielo, ktoré však pre chorobu nedokončil. Bol typickým polyhistorom svojej doby.

Prechod *Venuše* popred slnečný disk pozoroval 6. júna 1761. Druhý raz sa za tým istým úkazom vybral na *dánsky* ostrov *Vardö* za severným polárnym kruhom. Na expedíciu ho pozval *dánsky* kráľ *Kristián VII*. Výprava vyrazila 28. apríla 1768 na konskom záprahu z *Viedne* a smerovala ďalej cez *Prahu*, *Dráždany*, *Lipsko*, *Hamburg*, *Kodaň* a cez územie *Švédska* do *nórskeho* prístavu *Trondheim*.

Hell svoje pozorovanie prechodu *Venuše* cez slnečný disk zopakoval 3. júna 1769. Na základe svojich meraní ako prvý určil mimoriadne presne, vzhľadom na presnosť vtedajších vedeckých prístrojov, paralaxu Slnka na 8,82 oblúkovej sekundy. Súčasná najpresnejšia hodnota je 8,7915 oblúkovej sekundy (Paralaxa je uhol, o ktorý sa zdanlivo posunie nebeské teleso pri pozorovaní z rôznych miest Zeme - z tohto uhla sa potom dá vypočítať vzdialenosť daného telesa). Výsledkami svojich astronomických pozorovaní na ostrove *Vardö* získal medzinárodné uznanie. Viacerí nežičliví vedci chceli síce jeho vedecký triumf sponchybníť, ale nakoniec sa

dokázalo, že jeho výpočty boli správne. Úkaz prechodu Venuše popred slnečný disk v rámci koordinovanej medzinárodnej akcii astronómov z celého sveta vtedy sledovalo asi 200 pozorovateľov. Na úkaz čakali v *Manile* na *Filipínach*, v *Bavorsku*, *Kalifornii*, *Pekingu* a na *Tahiti*. Práve na *Tahiti* to bol slávny moreplavec a bádateľ *James Cook*, ktorý bol ale na rozdiel od *Hella* neúspešný.

Tematika vedeckých prác *Maximiliána Hella* však bola oveľa širšia. Venoval sa banskému právu, vypracoval mapu Uhorska, ale aj mapu mesačného povrchu. Bol členom vedeckých spoločností v *Paríži*, *Štokholme*, *Bologni*, *Kodani* *Göttingene*, *Trondheime* a v *Londýne* - tu v roku 1790 dostal vyznamenanie *Kráľovskej astronomickej spoločnosti*.

Maximilián Hell zomrel 14. apríla 1792 vo *Viedni* na zápal pľúc. Pochovaný bol v rodinnej hrobke *Jozefa von Penklera* - verného priateľa a milovníka astronómie. Hrob už síce neexistuje, ale pamätná doska z neho je umiestnená v cintorínskej kaplnke v *Maria Enzensdorfe* neďaleko *Viedne*.

Je po ňom pomenovaný aj kráter na *Mesiaci* s priemerom 33,3 km a od 31. júla 2000 tiež planétka (3727) *Maxhell*.

Ocenenia

- 1780 - zlatá medaila *poľského* kráľa *Stanislava*, ktorému poslal do daru svoj prístroj na sledovanie planét (*Pressburger Zeitung*),
- 1790 - vyznamenanie rádom *Britského impéria*.

Najvýznamnejšie diela

- 1720 - *Observatio transitu Veneris ante discum Solis die 3 junii anno 1769* (Pozorovanie prechodu Venuše slnečným diskom 3. júna 1769),
- 1789 - *De parallaxi solis ex observationibus transitus veneris 1769 Monumenta, aere perenniora*,
- 1791-94 - *Beiträge zur praktischen Astronomie*, 4. zv.,
- 1755 - *Elementa mathematicae naturalis philosophiae ancillantia*,
- 1801 - *Tabula geographica Ungariae veteris*.

Poznámka

Zrušenie *jezuitskej* rehole 21. júla 1773 (ktorej príslušníkom bol aj *M. Hell*) nariadenej pápežom *Klementom XIV.* by bolo pre vedu v *rakúskej* monarchii značným úderom. V *Rakúsku* bola cisárovná *Mária Terézia* s *jezuitskou* rehoľou celkovo spokojná. Nespokojný s *jezuitami* bol jej syn *Jozef*, ktorý sa mal zakrátko stať *rakúskym* cisárom. Rovnako sa voči reholi stavali nepriateľsky poprední činitelia, ako minister *Wenzel Anton von Kaunitz*, poradca a dvorný lekár *Gerhard van Swieten*, ale i spovedník cisárovnej *J. Müller*. Cisárovná v zlepšenie vzťahov v Cirkvi v *Rakúsku*, v ktorej klérus strácal o reholi priaznivý úsudok. Zverejnenie pápežského dokumentu o zrušení *Mária Terézia* oddialila až na október 1773, aby sa školstvo mohlo pripraviť na radikálne zmeny, ktoré po odchode *jezuitov* mali nastať. Tento počín niektorí autori vysvetľujú tak, že cisárovná nechcela v nijakom prípade prísť o vedca svetového mena *M. Hella*. Medzitým cisárovná založila študijný fond, vďaka ktorému sa zabránilo rozkradnutiu *jezuitského* majetku a jeho potenciál sa využil pre dobro školstva, ktoré prechádzalo osvieteneckými reformami. Dokument o zrušení rehole sa týkal aj 312 *jezuitov slovenského* pôvodu, ktorí pracovali v *rakúskej* provincii.

Vplyv teploty precipitačného vytvrdzovania na vlastnosti zliatiny $AlSi5Cu2Mg$ legovanej Zr

Martina Sýkorová, Ing. *

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

Dana Bolibruchová, prof. Ing., PhD.

Katedra technologického inžinierstva, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.
E-mail: danka.bolibruchova@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2772

Age hardening temperature and its effect on selected properties of Zr containing $AlSi5Cu2Mg$ alloy

Abstract: The article is focused on investigating the effect of precipitation hardening temperature on the mechanical and physical properties of $AlSi5Cu2Mg$ alloy alloyed 0.20 wt. % Zr. The precipitation hardening temperature was stepped by 20 °C from 180 °C to 240 °C. The T6 thermal regimes were designated analogously T6-180 °C, T6-200 °C, T6-220 °C and T6-240 °C. The measured values of material characteristics were compared with the $AlSi5Cu2Mg$ alloy in the cast state. By evaluating YS , UTS and E , the best values of mechanical properties were achieved by applying the thermal regime T6-180 °C. By applying T6-180 °C, there was a negative decrease in ductility. The best ductility value 2 % was achieved by the T6-240 °C. Electrical and thermal conductivity increased due to heat treatment T6-180 °C ÷ T6-240 °C. The best combination of mechanical and physical properties was achieved due to the T6-240 °C heat treatment. The research was focused on the design of the optimal precipitation hardening regime of $Al-Si$ alloy intended for cylinder head castings.

ÚVOD

$Al-Si-Cu-Mg$ zliatiny sa v dôsledku výhodnej kombinácie zlievarenských a mechanických vlastností uplatňujú v oblasti produkcie vysoko namáhaných komponentov (hláv valcov). Hlavy valcov sú komplexné odliatky určujúce výkon motora a najmä spotrebu paliva. Snahy znižovať množstvo spotrebovaného paliva konvenčnými spaľovacími motormi vychádza z dlhodobej hospodárskej a environmentálnej krízy. Eliminovanie množstva spotrebovaného paliva možno dosiahnuť zvýšením materiálových charakteristík používaných materiálov.

Jednou z možností efektívneho zvyšovania vlastností $Al-Si-Cu-Mg$ zliatin je legovanie prostredníctvom vhodne zvolených očkovacích a modifikujúcich prvkov (napr. Zr, Sr). Prítomnosť Zr ako legujúceho prvku sa prejavuje vznikom intermetalických fáz. Intermetalické fázy bohaté na Zr majú za následok zvýšenie pevnostných charakteristík. Nedochádza však k významnejšiemu zvýšeniu fyzikálnych charakteristík, ktoré vo veľkej miere ovplyvňujú funkčnosť a životnosť odliatkov.

Hlavným problémom hláv valcov je práve akumulácia tepla v dôsledku zložitej geometrie odliatku. Vznikom nerovnomerného teplotného poľa

v odliatku dochádza k zníženiu životnosti motora a poruche jednotlivých komponentov. Rovnomernejšie teplotné pole vzniká zvýšením tepelnej vodivosti zliatiny. Vodivosť súvisí s pohyblivosťou nosičov tepla (elektrónov, fonónov). Nečistoty v tuhom roztoku a nepriaznivá morfológia eutektického Si pôsobia ako centrá rozptylu elektrónov, ktoré výrazne znižujú vodivosť materiálu. Literárnym prieskumom bolo preukázané, že návrhom optimálneho režimu tepelného spracovania možno efektívne zvýšiť fyzikálne vlastnosti $Al-Si$ zliatin [1].

Práca bola zameraná na návrh optimálneho režimu tepelného spracovania T6 zliatiny $AlSi5Cu2Mg$ legovanej Zr. V práci bol analyzovaný vplyv vybraných teplôt precipitačného vytvrdzovania - starnutia na výsledné mechanické a fyzikálne vlastnosti zliatiny $Al-Si-Cu-Mg$. Hlavným cieľom práce bolo prostredníctvom kombinácie tepelného spracovania a legovania Zr dosiahnuť vynikajúce mechanické vlastnosti pri normálnych aj zvýšených teplotách, zvýšiť fyzikálne vlastnosti, funkčnosť a životnosť odliatkov hláv valcov.

1 METODIKA A REALIZÁCIA EXPERIMENTOV

Na experiment bola zvolená podeutektická zliatina $AlSi5Cu2Mg$ charakteristická konštantným prídavkom 0,20 hm. % Zr . Experimentálna zliatina $AlSi5Cu2Mg$ je význačná limitovaným obsahom Ti . Z tohto hľadiska nie je možné použiť štandardné očkovačlá. Chemické zloženie experimentálnej zliatiny $AlSi5Cu2Mg$ je uvedené v tab. 1.

Tab. 1. Chemické zloženie experimentálnej zliatiny $AlSi5Cu2Mg$

$AlSi5Cu2Mg$	Chemické zloženie [hm.%]		
	Si	Cu	Mg
	5,40	1,85	0,29
	Zr	Sr	Ti
	0,19	0,008	0,01
	Cr	Mn/Fe	Al
0,017	0,09	zvyšok	

Experimentálne vzorky boli pripravené technológiou gravitačného odlievania do kovovej formy. Teplota odlievania bola stanovená na $740\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Experimentálne vzorky boli následne podrobené tepelnému spracovaniu T6 s odstupňovanou teplotou precipitačného vytvrdzovania o $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ od $180\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $240\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tepelný režim pozostával z rozpúšťacieho žihania $520\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}/5\text{ h}$, rýchleho ochladzovania do vody o teplote $70\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ a starnutia $180\text{ }^{\circ}\text{C} \div 240\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}/5\text{ h}$. Pre experiment boli zvolené 4 režimy T6 označené ako:

- T6-180 – starnutie $180\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}/5\text{ h}$,
- T6-200 – starnutie $200\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}/5\text{ h}$,
- T6-220 – starnutie $220\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}/5\text{ h}$,
- T6-240 – starnutie $240\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}/5\text{ h}$.

Referenčné hodnoty poskytovala experimentálna zliatina $AlSi5Cu2Mg$ v liatom stave, ktorá bola označená ako referenčná zliatina (RZ).

Metodika stanovenia tepelnej vodivosti bola založená na meraní konduktivity experimentálnych vzoriek prostredníctvom meracieho zariadenia *Sigma Check 2* od spoločnosti *Ether NDE*. Dosadením hodnôt elektrickej vodivosti (σ) do empirického vzorca (1) bol následne uskutočnený výpočet hodnôt tepelnej vodivosti (λ):

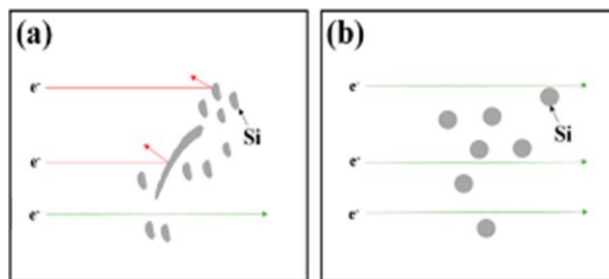
$$\lambda = 4,29 \cdot \sigma - 13,321 \left[\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \right]. \quad (1)$$

Mechanické charakteristiky (R_m [MPa], $R_{p0,2}$ [MPa], E [GPa] a A_5 [%]) experimentálnych zliatin boli určené statickou skúškou ťahom podľa normy *EN ISO 6892-1*. Skúška ťahom bola vykonaná univerzálnym trhacím zariadením *Inspekt desk 50 kN*. Pre každý experimentálny variant bola

vyhotovená sada piatich skúšobných tyčí s priemerom 8 mm.

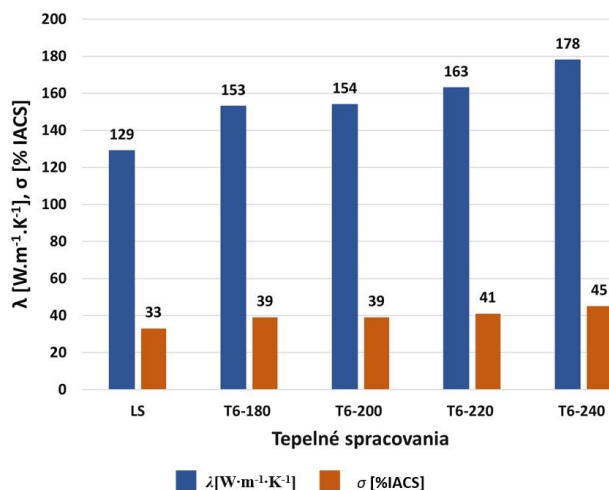
2 FYZIKÁLNE VLASTNOSTI

Vplyv precipitačného vytvrdzovania na tepelnú vodivosť zliatiny je závislý od teploty a doby pôsobenia precipitačného vytvrdzovania - starnutia. Počas precipitačného vytvrdzovania dochádza k rozpúšťaniu fáz bohatých na Cu , ktoré znižujú vodivosť zliatin na báze Al . Negatívny účinok intermetalických fáz na báze Cu na vodivosť je kompenzovaný transformáciou morfológie eutektického Si . Ako možno vidieť na obr. 1a, eutektický Si vylúčený v liatom stave vo forme ihlíc blokuje prenos elektrónov. Aplikovaním tepelného spracovania T6 (obr. 1b) dochádza k transformácii eutektického Si na energetický výhodnejší stav zaoblených zrn. Takto vylúčené častice eutektického Si zabezpečujú výhodnejší prenos elektrónov prostredím, čím dochádza k zvýšeniu vodivosti materiálu [2, 3].



Obr. 1. Prenos elektrónov: a) liaty stav, b) stav po T6[1]

Hodnoty tepelnej a elektrickej vodivosti sú spracované v závislosti od režimu tepelného spracovania do grafickej závislosti (obr. 2).



Obr. 2. Graf závislosti fyzikálnych vlastností od teploty precipitačného vytvrdzovania zliatiny $AlSi5Cu2Mg$

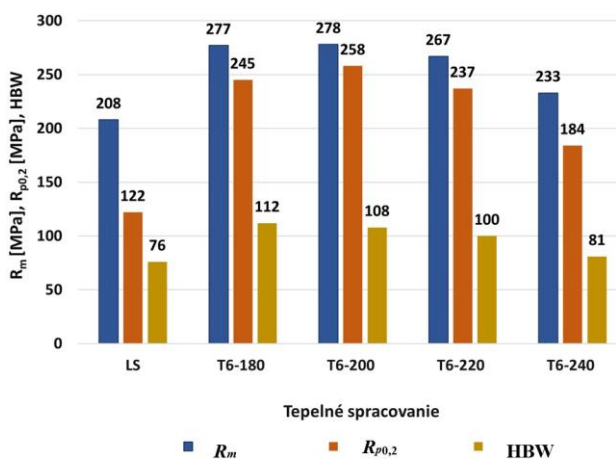
Na základe výsledkov možno preukázať, že účinkom tepelného spracovania T6-180 – T6-240 dochádza k nárastu tepelnej a elektrickej vodivosti v porovnaní s RZ v liatom stave. Najvýraznejší nárast elektrickej a tepelnej vodivosti takmer 27 % bol zaznamenaný

experimentálnym variantom T6-240. Zanedbateľný účinok tepelného spracovania na termofyzikálne vlastnosti bol preukázaný zvýšením teploty precipitačného vytvrdzovania zo 180 °C na 200 °C ± 5 °C.

3 MECHANICKÉ VLASTNOSTI

Hodnotenie mechanických vlastností určených statickou skúškou ťahom podľa normy EN ISO 6892-1 bolo založené na porovnávaní experimentálnych variantov T6-180 – T6-240 s RZ v liatom stave, ktorá poskytovala referenčné hodnoty. Namerané hodnoty boli spracované do grafickej závislosti obr. 3.

Vplyvom tepelného spracovania T6-180 – T6-240 dochádza k nárastu medze pevnosti (R_m) v porovnaní so zliatinou v liatom stave. Najvyšší nárast R_m 25 % bol zaznamenaný experimentálnou zliatinou T6-200 v porovnaní s RZ. Následným zvyšovaním teploty precipitačného vytvrdzovania dochádza k poklesu R_m v porovnaní s T6-180 a T6-200. Najväčší pokles R_m 16 % bol zaznamenaný experimentálnou zliatinou T6-240. Dohovorená medza klzu ($R_{p0,2}$) vykazuje vplyvom tepelného spracovania T6 podobný priebeh ako medza pevnosti. Maximálna hodnota $R_{p0,2}$ je dosiahnutá aplikovaním tepelného režimu T6-200, pričom bol zaznamenaný 47 % nárast $R_{p0,2}$ v porovnaní s RZ. Zvyšovaním teploty precipitačného vytvrdzovania nad 200 °C dochádza k poklesu $R_{p0,2}$. Podobne ako pri hodnotení R_m , bol najväčší pokles $R_{p0,2}$ v porovnaní s T6-200 zaznamenaný experimentálnou zliatinou T6-240.

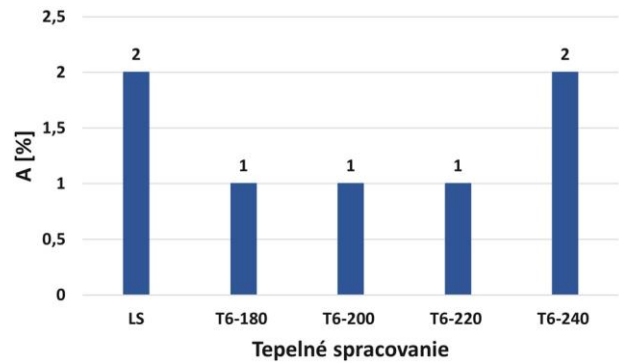


Obr. 3. Graf závislosti R_m [MPa], $R_{p0,2}$ [MPa] a HBW od teploty precipitačného vytvrdzovania zliatiny $AlSi5Cu2Mg$

Medza pevnosti, dohovorená medza klzu a tvrdosť experimentálnej zliatiny $AlSi5Cu2Mg$ legovanej 0,20 hm. % Zr vzrastá v dôsledku prítomných spevňujúcich intermetalických fáz Mg_2Si a Al_2Cu . Účinkom vyššej teploty precipitačného vytvrdzovania (T6-220, T6-240) dochádza k poklesu

pevnosti a tvrdosti v dôsledku mierneho prestarnutia hliníkovej zliatiny $AlSi5Cu2Mg$ [4, 5].

Aplikovaním tepelných režimov T6-180, T6-200 a T6-240 bol zaznamenaný 50 % pokles ťažnosti v porovnaní s RZ. Ďalšie zvyšovanie teploty precipitačného vytvrdzovania bolo sprevádzané zvýšením ťažnosti na počiatočnú hodnotu, ktorú poskytovala RZ v liatom stave.

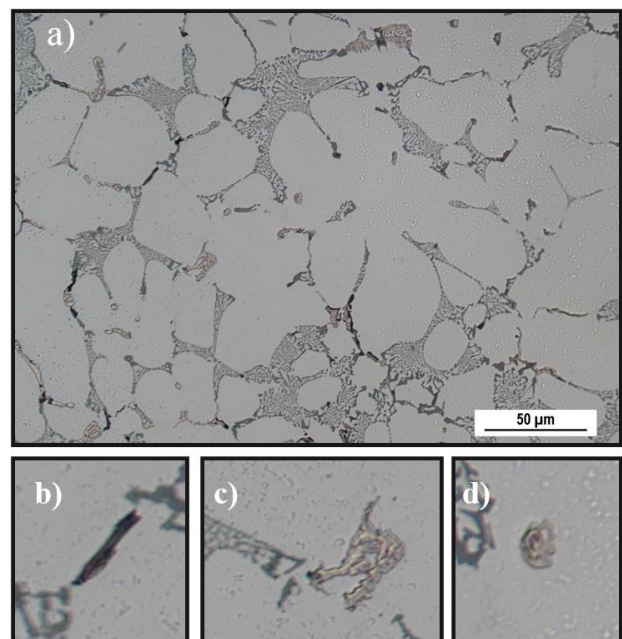


Obr. 4. Graf závislosti A [%] od teploty precipitačného vytvrdzovania na zliatinu $AlSi5Cu2Mg$

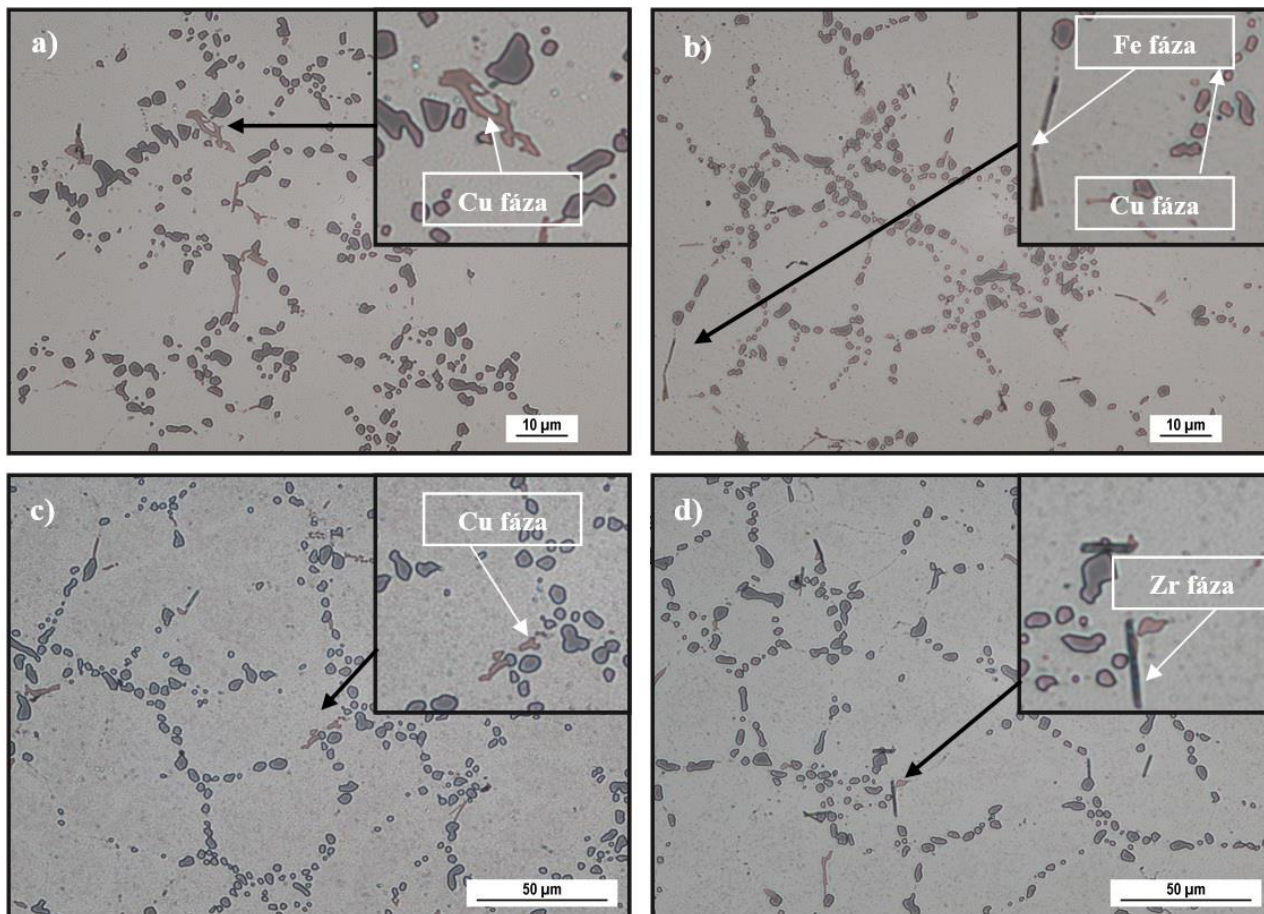
Ťažnosť zliatin určených na odliatky hláv valcov je významná materiálová charakteristika, ktorá predurčuje životnosť a funkčnosť komponentov pracujúcich v širokom rozsahu prevádzkových teplôt. Zliatiny bežne používané pre odliatky hláv valcov disponujú približne 2 % ťažnosťou. Tepelné spracovanie zliatiny $AlSi5Cu2Mg$ sa z toho hľadiska považuje za najefektívnejšie.

4 HODNOTENIE MIKROŠTRUKTÚRY

Mikroštruktúrna analýza vzoriek bola hodnotená prostredníctvom metód optickej mikroskopie a riadkovej elektrónovej mikroskopie (REM).



Obr. 5. Mikroštruktúra zliatiny $AlSi5Cu2Mg$ v liatom stave a), morfológia Fe intermetalických fáz b), morfológia intermetalických fáz na báze Cu, REM c)-d)

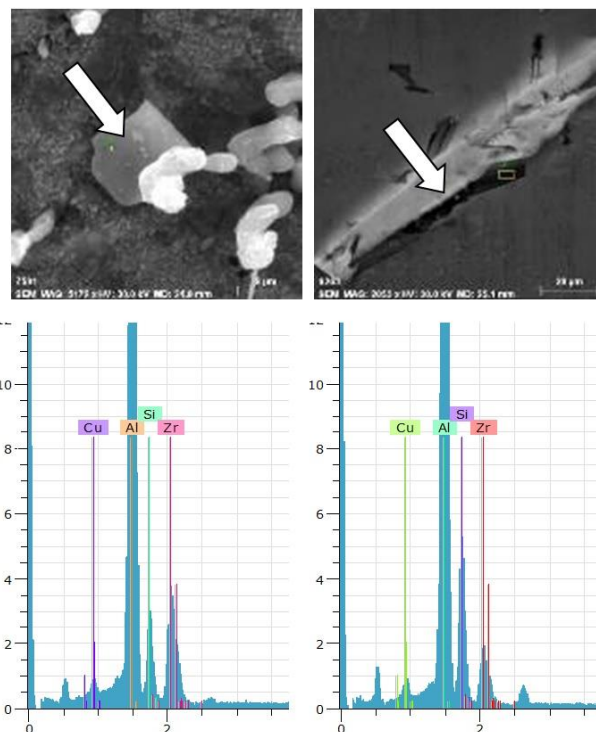


Obr. 6. Mikroštruktúra $AlSi_5Cu_2Mg$ po tepelnom spracovaní: a) T6-180, b) T6-200, c) T6-220, d) T6-240

Mikroštruktúra $AlSi_5Cu_2Mg$ v liatom stave je tvorená α -fázou, eutektickým Si a intermetalickými fázami na báze Cu a Fe . Eutektický Si možno v rovine metalografického výbrusu pozorovať v podobe nedokonale oblých zŕn. Táto skutočnosť svedčí o tom, že zliatina $AlSi_5Cu_2Mg$ bola od výrobcu dodaná v predmodifikovanom stave (obr. 5). Intermetalické fázy na báze Fe boli pozorované vo forme šedých ihlíc s rozštiepeným zakončením (obr. 5b). Intermetalické fázy bohaté na Cu možno v rovine metalografického výbrusu pozorovať v podobe ternárneho eutektika kompaktnej morfológie (obr. 5c) alebo izolovaných častíc (obr. 5d) [3].

Vplyvom tepelného spracovania T6 dochádza k sféroidizácii eutektického Si . Na obr. 6a-b možno eutektický Si pozorovať vo forme dokonale oblých zŕn. Zvyšovaním teploty precipitačného vytvrdzovania nad $200\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ (T6-220 – T6-240) dochádza k lokálnemu zhrubnutiu eutektického Si ako možno pozorovať na obr. 6c, d. V rovine metalografického výbrusu boli pozorované intermetalické fázy na báze Cu , Fe a Zr .

Intermetalické fázy bohaté na Zr možno v rovine metalografického výbrusu pozorovať vo forme ostrohranných zŕn alebo hrubých ihlíc (obr. 7). EDX analýzou boli fázy bohaté na Zr identifikované ako fázy typu Al_3Zr a $AlSiZr$.



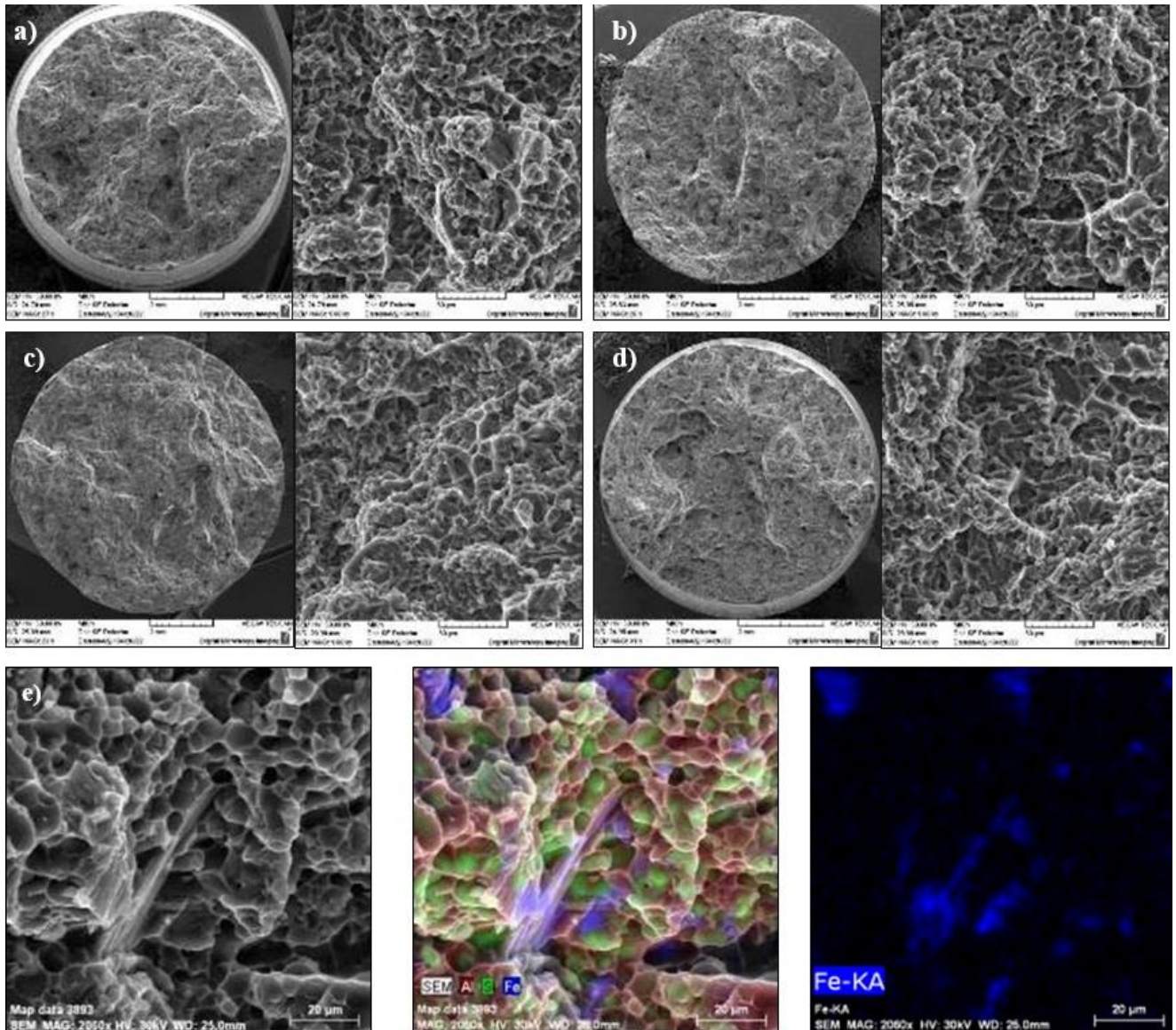
Obr. 7. EDX analýza intermetalických fáz na báze Zr

5 FRAKTOGRAFICKÉ HODNOTENIE

Matrica zliatin na báze $Al-Si$ pozostáva z tuhého roztoku α , v ktorom sú vylúčené kryštály eutektického Si a intermetalické fázy. Tuhý roztok α

charakteristickou mriežkou K12 disponuje vysokými plastickými vlastnosťami. Naopak tvrdé a krehké intermetalické fázy dosahujú len veľmi nízke plastické vlastnosti. Výsledný vzhlád lomovej plochy preto závisí nielen od tvaru a veľkosti eutektického *Si* ale aj od množstva prítomných intermetalických fáz [3].

Na lomovej ploche možno ojedinele pozorovať prítomnosť intermetalických fáz, ktoré sa prejavujú výskytom štiepných faziet. K lokálnemu štiepnému porušeniu dochádza v dôsledku nízkych plastických a pevnostných vlastností intermetalických fáz. Štiepne fazety identifikované pomocou *EDX* analýzy majú charakter intermetalických fáz na báze *Fe*



Obr. 8. Lomová plocha zliatiny *AlSi5Cu2Mg*, tepelné spracovanie T6, REM: a) T6-180, b) T6-200, c) T6-220, d) T6-240, e) *EDX* analýza štiepných faziet na báze *Fe*

Na obr. 8 možno pozorovať, že reliéf lomových plôch jednotlivých experimentálnych variantov sa výrazne nelíši. Lomová plocha tepelne spracovanej zliatiny *AlSi5Cu2Mg* je charakteristická transkrystalickým tvárnym porušením s jamkovou morfológiou a plasticky pretvorenými hrebeňmi α -fázy. Eutektický *Si* možno na lomových plochách pozorovať vo forme izolovaných častíc, ktoré sú lokalizované na dne jamiek. Lokálne zhrubnutie eutektického *Si* účinkom tepelného spracovania T6-220 a T6-240 (obr. 8b, d) sa na lomovej ploche prejaví zmenou veľkosti jamiek [2].

(obr. 8e). V okolí železitých intermetalických fáz bola preukázaná zvýšená koncentrácia *Cu*. Na základe tejto skutočnosti možno skonštatovať, že železité intermetalické fázy pôsobia ako potenciálny nukleačný zárodok pre fázy bohaté na *Cu*. Intermetalické fázy na báze *Zr* neboli identifikované na lomovej ploche [3].

ZÁVER

Cieľom práce bolo definovať vplyv teploty precipitačného vytvrdzovania na mechanické a fyzikálne vlastnosti zliatiny *AlSi5Cu2Mg* legovanej

Zr, ktorá je určená pre odliatky hláv valcov. Na základe nadobudnutých výsledkov možno konštatovať nasledujúce tvrdenia:

- so zvyšujúcou sa teplotou precipitačného vytvrdzovania dochádza k efektívnemu nárastu fyzikálnych vlastností,
- k zvýšeniu fyzikálnych vlastností dochádza v dôsledku zmeny morfológie eutektického Si na energeticky výhodnejší stav,
- R_m , $R_{p0.2}$ a HBW experimentálnych zliatin rastie až do teploty starnutia $200\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ ($T6-200$), následným zvyšovaním teploty dochádza k miernemu poklesu mechanických vlastností v dôsledku prestarnutia zliatiny $AlSi5Cu2Mg$,
- so zvyšujúcou sa teplotou starnutia ($T6-180$, $T6-200$, $T6-220$) ťažnosť klesla o 50 %,
- aplikovaním tepelného režimu $T6-240$ ťažnosť stúpla no počiatočnú hodnotu dosahovanú RZ v liatom stave,
- so vzrastajúcou teplotou starnutia ($T6-220$, $T6-240$) možno pozorovať lokálne zhrubnutie eutektického Si,
- vzrastajúca teplota precipitačného vytvrdzovania neovplyvnila morfológiu prítomných intermetalických fáz bohatých na Cu, Fe a Zr.
- teplota precipitačného vytvrdzovania výrazne neovplyvnila mechanizmus lomu.

Aplikovaním tepelného spracovania $T6-240$ bola

dosiahnutá najvýhodnejšia kombinácia mechanických vlastností (ťažnosti) a tepelnej vodivosti zliatiny $AlSi5Cu2Mg$ s prídavkom Zr.

Pod'akovanie

Článok bol vytvorený v rámci projektu grantovej spoločnosti VEGA 1/0160/22. Autori ďakujú agentúre za podporu.

LITERATÚRA

- [1] DONG, Z. et al. (2021): *Effect of short T6 heat treatment on the thermal conductivity and mechanical properties of different casting processes Al-Si-Mg-Cu alloys*. METALS, Vol. 11, 11 p.
- [2] TILLOVÁ, E. - CHALUPOVÁ, M. (2009): *Štruktúrna analýza Al-Si zliatin*. Žilina: EDIS – vydavateľstvo ŽU, ISBN 978-80-554-0088-4.
- [3] JARCO, A. - PEZDA, J. (2021): *Effect of heat treatment process and optimization of its parameters on mechanical properties and microstructure of the AlSi11(Fe) alloy*, Materials, Vol. 4, 20 p.
- [4] JANG, J. et al. (2012): *Effect of solution treatment and artificial aging on microstructure and mechanical properties of Al-Cu alloy*, Transactions of Nonferrous Metals Society of China, Vol. 23, 631-635 p., ISSN 1003-6326.
- [5] TUNCAY, T. et al. (2020): *The effect of Cr and Zr additives on the microstructure mechanical properties of A356 alloy*. Transactions of The Indian Institute of Metals. Vol. 73, 5, 1273 - 1285 p.

Seamless Tubes Manufacturing Processes Analysis

Jozef Bílik, doc. Ing., PhD.*

Department of Machining and Shaping, Institute of Production Technologies,
Faculty of Materials Science and Technology in Trnava,
Slovak University of Technology in Bratislava,
Jána Bottu 25, 917 24 Trnava.
E-mail: jozef.bilik@stuba.sk, Tel.: +421 915 761 406

Róbert Sobota, Ing., PhD.

Department of Machining and Shaping, Institute of Production Technologies,
Faculty of Materials Science and Technology in Trnava,
Slovak University of Technology in Bratislava,
Jána Bottu 25, 917 24 Trnava.
E-mail: robert.sobota@stuba.sk, Tel.: +421 908 657 796

Roland Šuba, Ing., PhD.

Department of Welding and Foundry, Institute of Production Technologies,
Faculty of Materials Science and Technology in Trnava,
Slovak University of Technology in Bratislava,
Jána Bottu 25, 917 24 Trnava.
E-mail: roland.suba@stuba.sk, Tel.: +421 908 031 818

Milan Mojžiš, Ing., PhD.

ŽP VVC Podbrezová, Inc.,
Kolkáreň 35, 976 81 Podbrezová,
E-mail: mojzis.milan@zelpo.sk, Tel.: +421 48 645 4035

Abstract: The paper is focused on analysis of processes applied at seamless tube production by hot rolling and precise seamless tube production by drawing. The paper mentions factors influencing final properties of tubes as geometrical uniformity of dimensions and mechanical properties. There are mentioned also analysis of stress strain state during drawing and application of forming theory on determination of stress values during drawing. There are also results of tests for determination of internal and external defects during tube production, tests of mechanical properties of tubes and tests of tube formability.

INTRODUCTION

For seamless tubes production is typical the high investment costs for machinery. There are also high production area demands and high production costs. It is challenging technological process from workpiece preparation until production of high variety of tube dimensions from various materials. The production of small dimensions' seamless tubes and precise seamless tubes is combination of hot forming and cold forming operations. The hot forming includes mainly rolling operations and cold forming mainly die drawing operations. The technological process of tube production includes also preparation of tips for die drawing, chemical processes to provide suitable lubrication conditions and also demanding processes of heat treatment (interoperation and final heat treatment) to achieve required mechanical properties of tubes.

Other independent branch of seamless tubes production processes is tube production with internal

complex shaped surface for power generation and weapon industry. Other special process is production of tubes with variable wall thickness, i.e. tailored tubes production. From the point of view of costly alloyed material savings there are experimental processes of tube production from gradient workpieces made by casting, welding on, etc. [1].

The tubes are subsequently processed by operations as bending, expansion, reduction, etc. The tubes are also workpiece for various fittings production, for example elbows, sweat tees, etc. The tube is processed by conventional methods and also non-conventional methods as hydroforming, rotational forming, metal spinning, etc. Because of this the tube formability tests are made (tensile tests, technological tests). Due to wide range of the tube production and processing problem the paper is focused just on chosen theoretical and technological aspects.

1 METHODS OF TUBE PRODUCTION BY HOT ROLLING (HOT ROLLED TUBE PRODUCTION)

The initial billet workpiece has circular or rectangular cross-section and it is mostly made by

Further step is mostly hot rolling sometimes preceded by hot piercing. The precision of dimensions and geometry as so as the surface quality of hot rolled tubes is significantly influenced by rolling temperature. Because of this if there are

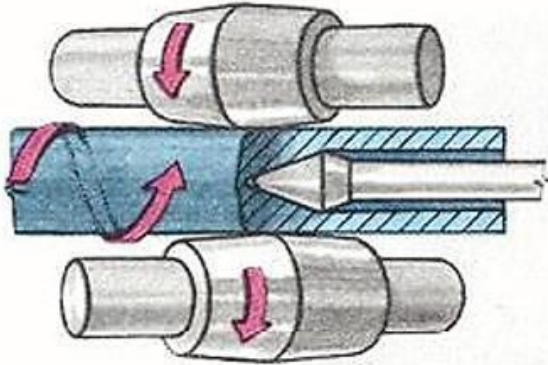
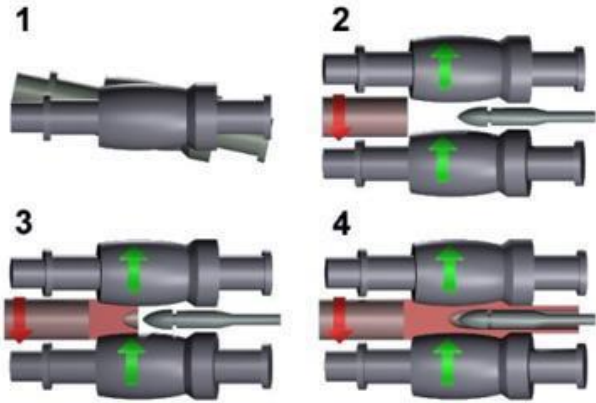


Fig. 1. Principle of the Mannesman method of tube production by rolling



continuous casting and cut to required lengths.

requirements for increased precision subsequently the cold drawing on final dimension is used.

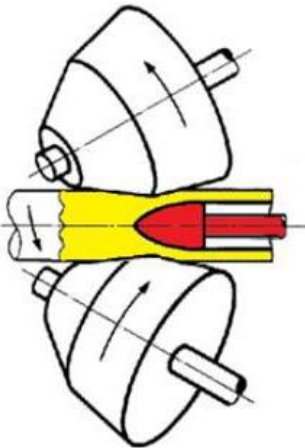


Fig. 2. Principle of the Stiefel method of tube production by rolling

The rolled seamless tubes of various sizes are made by various methods as the *Mannesman*, *Stiefel*, *Diescher*, *Erhart*, or *Assel method*. Also *PQF* technology rolling can be used. These methods differ by the way of hollow part production from workpiece made by continuous casting [2-5].

The *Mannesmann* method of seamless tube production uses skew rolling, which uses two rolls $3\div 7^\circ$ askew. The material is translated by helical motion and pushed on plug which smoothes and calibrates the hole (Fig. 1).

The *Stiefel method* of seamless tube production uses discs instead of rolls (Fig.2) but the principle is similar to *Mannesman method* of tube production by rolling.

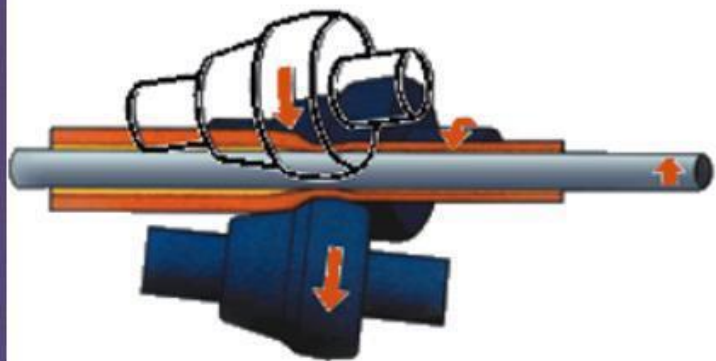
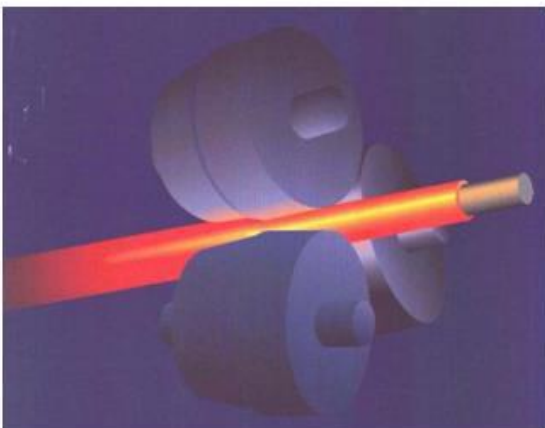


Fig. 3. Principle of the Assel method of tube production by rolling

The *Assel method* uses three rolls 10÷15° askew. The shape of rolls enables the movement of material inside tools and its subsequent deformation (Fig.3).

2 PRODUCTION OF PRECISE TUBES BY COLD DRAWING

The production of precise seamless tubes is complex issue because of complex process with many factors influencing the production process and final properties of drawn tubes.

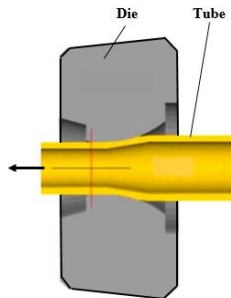


Fig. 4. Principle of tube die drawing

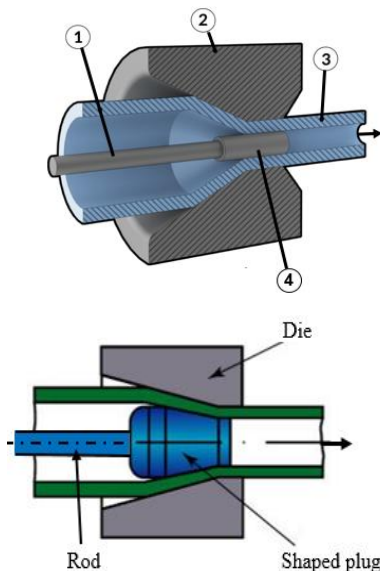


Fig. 5. Principle of tube drawing with fixed cylindrical plug and shaped plug: 1 – rod, 2 – die, 3 – tube, 4 - cylindrical plug

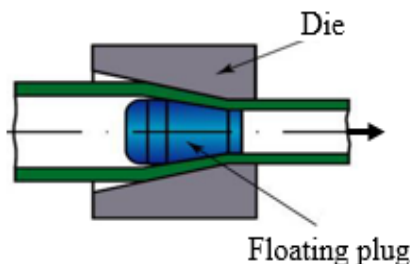


Fig. 6. Principle of tube drawing with floating plug

These factors are connected with preparation of initial workpiece by continuous casting, processes of hot forming for preparation of workpiece as hot rolled tube, processes of cold forming connected with deformation strengthening, processes of heat

treatment between operations and processes of final heat treatment.

The most used methods of precise seamless tubes are [6, 7]:

- tube drawing without plug (die drawing Fig.4) – usually used as final operation for small diameter tube drawing,
- tube drawing with fixed plug – either cylindrical (Fig.5), or shaped plug connected to rod (the length of drawn tube is limited by length of rod),
- tube drawing with floating plug (Fig.6) – the working position of plug is sustained by friction force between plug and drawn tube (the length of drawn tube is practically unlimited),
- and tubes with a smaller diameter can be reeled up as coil).

2.1 Factors influencing final precision of drawn tubes

The factors influencing final precision of drawn tube are following:

- initial workpiece for cold drawing – it is hot rolled tube which due to eccentricity and internal polygons created during production process has non-uniform strain,
- temperature during tube drawing connected with deformation heat during drawing which depends on the value of reduction and with heat caused by friction. The significant role has drawing rate and thermal conductivity of tube, die and plug material (measurements by thermos camera shows tube temperature leaving die approximately from 130 to 180°C),
- dimensions and geometry of die and plug, precision of die and plug production,
- wear of die and plug during tube production,
- possible deformation of tube after die if stress caused by drawing force in tube cross section after die increases over flow stress of drawn tube.

2.2 Stress strain states during tube drawing

The stress and strain schemes in each area during tube drawing with fixed cylindrical plug are shown on Fig. 7 [8].

From the law of constant volume, the strains during tube drawing has to be equal to:

$$\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 = 0, \quad (1)$$

where $\varphi_1 = \varphi_L$ – logarithmic (true) strain connected with change of tube length,

$\varphi_2 = \varphi_d$ – logarithmic (true) strain connected with change of tube diameter,

$\varphi_3 = \varphi_s$ – logarithmic (true) strain connected with change of tube wall thickness,

$$\varphi_1 = \varphi_L = \ln \frac{L}{L_0}, \quad (2)$$

where L_0 – tube length before drawing,

L – tube length after drawing,

$$\varphi_1 = \varphi_d = \ln \frac{d_s}{d_{s0}}, \quad (3)$$

where d_{s0} – average diameter of tube before drawing,

d_s – average diameter of tube after drawing,

$$\begin{aligned} d_{s0} &= d_0 + s_0 = D_0 - s_0 \\ d_s &= d_r + s_r = D_r - s_r \end{aligned} \quad (4)$$

$$\varphi_3 = \varphi_s = \ln \frac{s}{s_0}, \quad (5)$$

where s_0 – tube wall thickness before drawing,

s_r – tube wall thickness after drawing.

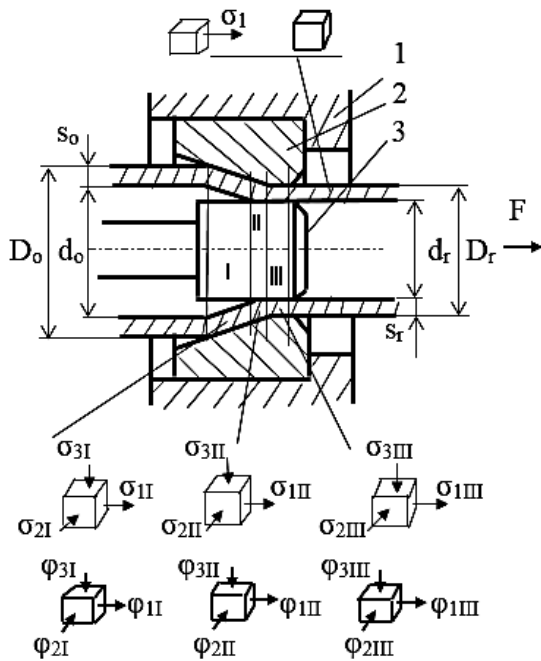


Fig. 7. Scheme of tube drawing with fixed cylindrical plug with stress strain states: 1 – die holder, 2 – die, 3 – fixed plug
Based on the *Levy-Misses equations*:

$$\frac{\varphi_1 - \varphi_2}{\sigma_1 - \sigma_2} = \frac{\varphi_2 - \varphi_3}{\sigma_2 - \sigma_3} = \frac{\varphi_1 - \varphi_3}{\sigma_1 - \sigma_3} = \frac{3}{2} \cdot \frac{\varphi_i}{\sigma_i}, \quad (6)$$

where φ_i – intensity of strain,

σ_i – stress intensity.

The tube drawing process is axially symmetric problem and thus $\sigma_2 = \sigma_3$:

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{1}{2} \cdot [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2]}, \quad (7)$$

where σ_p – flow stress of tube material determined experimentally on the basis of strain value during respective draw:

$$\varphi_i = \frac{\sqrt{2}}{3} \cdot \sqrt{[(\varphi_1 - \varphi_2)^2 + (\varphi_2 - \varphi_3)^2 + (\varphi_1 - \varphi_3)^2]}. \quad (8)$$

If it is supposed monotonous these equations can be used to determine stresses σ_2 and σ_3 on the basis of strains. The stress value σ_1 in the direction of drawing can be determined from force F measured during drawing:

$$\sigma_1 = \frac{F}{S_r}, \quad (9)$$

where S_r – tube cross section after drawing:

$$S_r = \pi \cdot d_s \cdot s_r, \quad (10)$$

Figure 8 shows curve of drawing force measured during tube die drawing from E235 material with initial outer diameter of tube $\varnothing 31.8$ mm and wall thickness 2.6 mm to final outer diameter $\varnothing 25$ mm. The force was measured on tensile test machine during die drawing using special equipment.

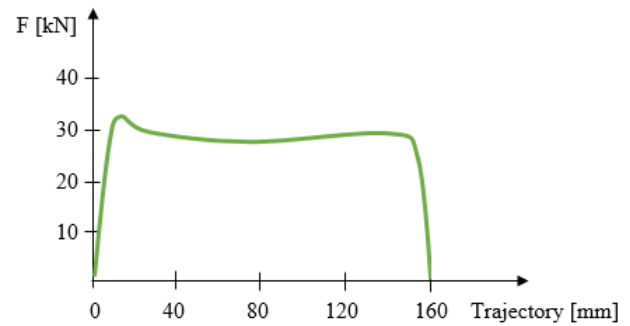


Fig. 8. Measured drawing force during tube die drawing

The maximum drawing force was $F_{max} = 31.8$ kN which means average value of tensile stress in tube wall after die $\sigma_{1max} = 173.9$ MPa. Thus determined stress value can be used for further analysis of stress strain states according to theory mentioned earlier.

3 TESTING OF TUBES

At seamless tubes production process there are multiple tests focused to determine possible surface and internal defects by non-destructive methods or destructive tests to control basic mechanical properties. From non-destructive tests the ultrasonic tests, eddy currents test and sometimes X-ray tests are used. From destructive tests there are tests like tensile test, impact test, creep tests to determine the final mechanical properties of tubes (especially tensile strength, yield strength, etc.). Also the hardness measurement and metallography tests are quite often.

The independent group of tests are technological tests of tube formability. These are made due to

further processing of tubes by bending to produce elbows, fittings, etc.

The technological tests are following:

- bending test,
- end expansion test,
- end flanging test,
- compression test between two smooth and parallel plates,
- ring expansion test,
- hydraulic pressure test.

For example, the results of technological compression test of tube with outer diameter 22 mm and wall thickness 2 mm from E235 material are mentioned in Tab. 1. Figure 9 shows test sample before and after technological compression test.



Fig. 9. Test sample before and after technological compression test

The technological compression test was made according to the *STN 420415a standard*. The three characteristic dimensions were measured after test: maximum height on the sides, minimum height in the centre of test sample and width of test sample. The measurement results are in Tab. 1.

Tab. 1. Average values measured on test samples during compression test of tube with $\varnothing 22$ mm

Measured parameter	Sample No. 1	Sample No. 2
The largest height of a sample [mm] 20 °C	7.03	7.10
The smallest height of a sample [mm]	4.85	4.78
Sample width [mm]	31.50	31.43
Force [kN]	14.2	13.8

CONCLUSION

The aim of this paper is analysis of seamless tube production processes with focus on possibilities of application of knowledge from forming theory to analyse stress strain states during tube drawing. The paper mentions also analysis of factors which can

influence the final precision of drawn tubes. This analysis enables to control the tube drawing process by parameter optimization to achieve required constant geometry of tubes at minimum production costs. Such production costs will be achieved by material savings (dimensions of tubes after drawing will be in bottom range of tolerances) and minimizing the number of draws. The determination of drawing force is significant also for determination of possible reserve of plasticity and formability during drawing which enables the increasing of reduction in one draw and subsequent decreasing of number of draws. The tube testing is also important from the point of view of their final properties and possibility of their further processing to various products.

Acknowledgements

This work was supported by the Slovak Research and Development Agency under the Contract no. APVV-18-0418.

REFERENCES

- [1] BALÁŽOVÁ, M. (2013): *Research production technology of pipe from gradient half product*. Dissertation thesis. Trnava: MTF STU.
- [2] KOLLEROVÁ M. - ŽIDEK M. - POČTA B. - DEDEK V. (1991): *Rolling*. Bratislava, Alfa, 576 p., ISBN 80-05-00729-9.
- [3] TURŇA, J. (2021): *Research of production technology for hot rolled tubes for power engineering in Železiarne Podbrezová*. Dissertation thesis. Trnava: MTF STU.
- [4] RIDZOŇ. M. - MOJŽIŠ. M. - MARTINKOVIČ. M. - BELLA. P. - DOMOVCOVÁ. L. - PARILÁK, Ľ. (2015): *Mechanical properties and macroscopic deformation of precision seamless tubes during cold drawing.*, Academic Journal of Manufacturing Engineering, 13- p.- 26-31.
- [5] TURŇA, J. - RIDZOŇ, M. - MOJŽIŠ, M. - KÁN, M. - PARILÁK, Ľ. (2019): *The influence of reduction on the surface temperature in the process of drawing tubes*. In *Hutnik- Wiadomości Hutnicze*. Vol. 86, iss. 8, s. 276-278. ISSN 1230-3534.
- [6] MOJŽIŠ, M. (2018): *Research and Optimization of the Drawing Technology of precision seamless tubes*. Dissertation thesis. Trnava: MTF STU 133 p.
- [7] PERNIS. R. (2007): *Theory of metal forming*. Trenčín, ISBN 978-80-8075-244-6.
- [8] BÍLIK. J. - KAPUSTOVÁ, M. - RIDZOŇ. M. (2015): *Theory of forming*. Trnava: AlumniPress, ISBN 978-80-8096-215-9.
- [9] MORAVEC, J. (2015): *Metal Forming Theory*, EDIS publishing house University of Zilina 332 p., ISBN 978-80-554-1095-1.

Decision-making process and knowledge management, knowledge management and skills

Ivan Litvaj, Ing., PhD.*

Department of Power Electrical Systems, Faculty of Electrical Engineering and Information Technology,
University of Žilina,
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, Slovak Republic.
E-mail: ivan.litvaj@uniza.sk, Tel.: +421 915 761 406

Abstract: In this paper, I focus on knowledge management, and I also deal specifically with decision-making, decision-making processes in management. Knowledge management is a modern and much-needed management system. Decision-making is an important activity of managers, decision-making is one of the keys and most difficult activities of business management. In this paper, I briefly describe knowledge management, decision-making, decision-making processes in management, their interconnection with knowledge management

INTRODUCTION

The main actors in the knowledge society are people themselves, able to create and use new knowledge effectively, thoughtfully and continuously. The response to these requirements is the emergence of a new discipline - knowledge management, which seeks to develop a systematic way of identifying, acquiring, maintaining and using intellectual capital. [1] Knowledge is stored in people's minds, not in information systems. If we want to work with knowledge, we have to work with people. Knowledge management is a deliberate activity that aims to ensure that people have the right knowledge at the right time. In 1900, the share of knowledge-

based *GDP* in total *GDP* in *Europe* was about 10 %. Today it is over 50% and by 2020 this ratio is estimated at 70 % [2] These statistics clearly and unambiguously confirm the importance of knowledge management for enterprises.

1 KNOWLEDGE MANAGEMENT AND SKILLS

In terms of practical application, knowledge management focuses on the following two important areas:

- preservation of knowledge. Knowledge is stored in practice using information and communication technologies,

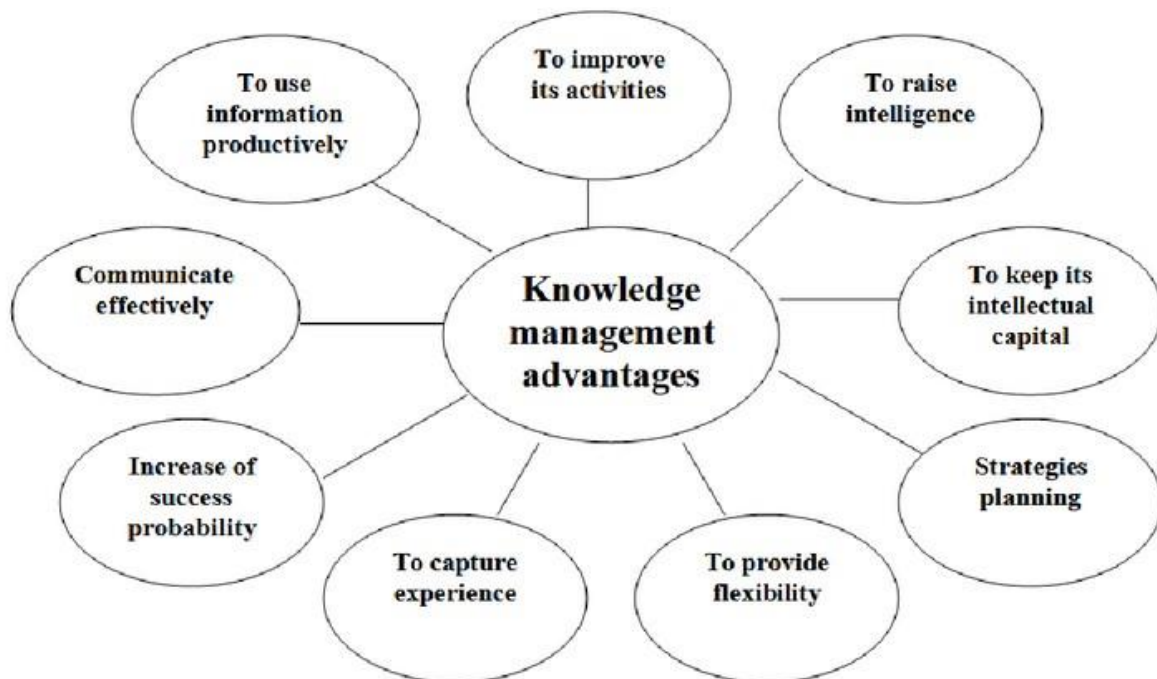


Fig. 1. Knowledge management advantages [9]

- transfer of necessary knowledge and skills between employees.

1.1 Knowledge management and skills

Skills - we divided it into hard and soft. Their difference is that - hard skills are, for example, professional knowledge, language skills, technical knowledge, soft skills include, example, communication, teamwork, adaptability, etc. At present, companies are mainly interested in soft skills. Managers gradually gain practical experience during their managerial practice, these gained experience is reflected in their skills due to their abilities. The best and proven way to acquire and improve managerial skills (planning, organizing, leading people, negotiating, making decisions, knowing how to solve problems) is a combination of education, lifelong learning, training and practice, thus the practical use of knowledge.

2 KNOWLEDGE MANAGEMENT AND DECISION-MAKING PROCESSES

The article also deals with decision-making processes in management. The description of the decision-making process is explained and illustrated in Fig. 2.

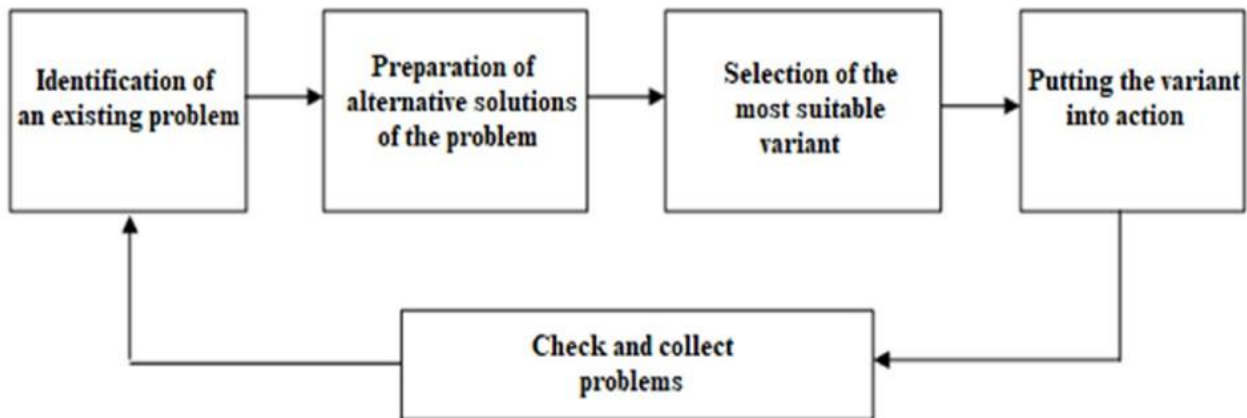


Fig. 2. Decision – making process [3]

3 MANAGER AS A DECISION-MAKER

Defining a manager as a person is not a simple matter because managers work in a variety of positions and levels of management. There are many definitions for the term manager, and I have chosen the following:

- a manager can be defined as a person whose primary activities are the managerial functions by which he acts on objects of management. A manager is a person who plans, organizes, manages, and controls human, financial, and information resources [4],
- the manager is primarily a profession-the manager, through managerial functions,

- directs the activities of the organizational unit (departments, teams) to achieve the set,
- goals [5],
- a manager can be defined as an area manager who applies his vision, has a strategic perspective, works with ideas, and looks ahead [6],
- managers are responsible for achieving results through the specialized efforts of other people, individually, in groups, or in organizations [7].

4 TYPES OF DECISION-MAKING IN MANAGEMENT

Decision making, therefore, requires the competence of the manager as a decision - maker.

Simply wanting to make decisions does not yet entitle the person to participate in the decision-making process. Even where the decision is legally enshrined, there is no guarantee of a particularly high-quality decision. For anyone to make decisions, they must first ensure that they have the necessary competences to do so. In management, we know three types of decision-making: rational, spontaneous, and intuitive.

5 RATIONAL DECISION-MAKING

All decisions made by managers must be rational. The element of rationality in the manager's decision-making process is an essential prerequisite for the performance of the managerial function. The elements of rationality include:

- *consistency*; the steps taken in the decision-making process are oriented towards the interests of the organization and are related to the achievement of the objectives of the particular organization.
- *objectivity and logic*; decisions are carried out in the interests of the best objective of the organization. The objectives of the organization

are prioritized, and personal, interests are not preferred.

- *logical*; the logical organization of all objectives in the organization, including their specificity, measurability, and others [8].

CONCLUSION

Our civilization currently has a vast, record amount of information and knowledge, and the growth of information and knowledge continues. This fact significantly affects the development in the economy and, of course, in society as a whole, in all its areas. Based on developments to date, we can assume that this trend will continue in the 21st century. Knowledge, the effective use of employee knowledge in companies today is, in the current turbulent conditions in the global market - absolutely key to the company and its competitiveness. Businesses need to be aware of this and implement knowledge management into their management system. It is necessary that all managers, at all levels of management, use knowledge, knowledge management in the decision-making process to improve this process.

REFERENCES

- [1] ČARNICKÝ, Š. - MESÁROŠ, P. (2006): *Potreba implementácie manažmentu znalostí v slovenských podnikoch*. Ekonomický časopis, 54, 4, ISSN 0013-3035.
- [2] *Manažovanie v súčasnej a budúcej ére*. Available on: referaty.atlas.sk/odborne-humanitne/ekonomia/39131/?print=1.
- [3] RIPLOVÁ, K. - HRUBIZNA, M. (2008): *Strategické rozhodovanie a riadenie znalostí v podniku*. II. mezinárodní konference studentské vědecké a odborné činnosti. „Příležitosti mladé generace v oblasti vědy, výzkumu a inovací.“ EPI, Evropský polytechnický institut, Česká republika, ISBN 978-80-7314-147-9.
- [4] SEDLÁK, M. (2009): *Manažment*. 4. vydanie. Bratislava: IURA EDITION, 434 s., ISBN 978-80-8078-283-2.
- [5] MAJTÁN, M. et al. (2009): *Manažment*. 3. vydanie. Bratislava: SPRINT, 424 s., ISBN 978-80-89085-72-9.
- [6] HANGONI, T. - IMRICHOVÁ, A. (2010): *Manažment a jeho aplikácia v sociálnej práci*. Gorlice: ELPIS, 136 s., ISBN 978-83-928613-4-8.
- [7] DONNELLY, J. - GIBSON, J. - IVANCEVICH, J. (1992): *Fundamentals of management*. Boston: IRWIN, 358 s., ISBN 0-256-09791-7.
- [8] PONIŠČIAKOVÁ, O. (2013): *Rozhodovanie po novom*. J. ProIN, 14, 14–16. Available online: <https://www.mindtools.com/pages/article/cynefin-framework.htm> (accessed on 17 June 2020).
- [9] JAUNIŠKYTĖ I. - KVARACIEJUTĖ E. (2008): *Structure of knowledge management*. Global Academic Society Journal: Social Science Insight, 1, 2, pp. 4-20, ISSN 2029-0365.

Nákladné prívesy za traktor - koncepčné usporiadanie a ich typy

Ján Dižo, doc. Ing., PhD.*

Katedra dopravnej a manipulačnej techniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.
E-mail: jan.dizo@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2560

Miroslav Blatnický, doc. Ing., PhD.

Katedra dopravnej a manipulačnej techniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.
E-mail: miroslav.blatnicky@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2659

Vadym Ishchuk, Ing.

Katedra dopravnej a manipulačnej techniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.
E-mail: vadym.ishchuk@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2563

Denis Molnár, Ing.

Katedra dopravnej a manipulačnej techniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.
E-mail: denis.molnar@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2659

Freight tractor trailers - a conceptual layout and their types

Abstract: The article is focused on theoretical background, which relates with conceptual layout and engineering design of freight trailers, which are proposed to be towed by a tractor. There are one-, two- or more-axles trailers, which are determined to transport goods of many kinds. Some of them have rigid superstructure for transport palletised material, which is loaded by a forklift machine, some of them use tipping superstructure, which allows more comfortable unloading bulk material (feed, building material etc.) and some of tractor trailers are equipped with a tank for transportation of liquid goods.

ÚVOD

Pojem traktorové prípojné vozidlá je v rámci poľnohospodárskej sféry súhrnné označenie pre traktorové prívesy a návěsy, kde základným rozdielom medzi traktorovým prívesom a návěsom spočíva v miere prenosu celkovej hmotnosti na samotný traktor. Traktorový príves (alebo návěs) je prípojné vozidlo, ktoré je svojou konštrukciou určené výhradne na prepravu materiálu, predovšetkým poľnohospodárskych komodít. Nemá vlastný zdroj pohonu a prevažne je ťahaný traktorom alebo iným pracovným strojom [1].

1 KONCEPČNÉ USPORIADANIE TRAKTOROVÝCH PRÍVESOV

Podľa konštrukčného riešenia ložnej plochy delíme traktorové prívesy a návěsy na niekoľko druhov [1, 2]:

- *valníkový* (obr. 1) – svojou konštrukciou určený výlučne na prepravu materiálu, ložná plocha môže byť krytá plachtou, zvyčajne vybavený odnímateľnými bočnicami, v rámci technických parametrov doplnený nastavbami bočníc,
- *sklápací* (obr. 2) – určený na prepravu materiálu, konštrukcia prispôbena sklápajúcej ložnej ploche, v rámci možností sklápania ich delíme na:
 - a) prívesy a návěsy s možnosťou sklápania na stranu (dvojstranné),
 - b) prívesy a návěsy s možnosťou sklápania dozadu (jednostranné),
 - c) prívesy a návěsy s možnosťou sklápania na stranu a dozadu (trojstranné).
- *skriňový* – slúži prevažne na prepravu nadrozmerného nákladu, vybavený jednoduchou

skriňovou nadstavbou bez ďalšieho účelového zariadenia,

- *špeciálny* – svojou konštrukciou prispôbený len na prepravu určitých druhov nákladu, doplnený špeciálnym vybavením podľa potreby, v rámci účelu použitia ich delíme na:

- a) prívesy a návěsy s výmenným systémom nadstavieb,
- b) nosiče kontajnerov,
- c) fekálne/rozmetadlá organických hnojív,
- d) prívesy na prepravu živých zvierat,
- e) cisterny na vodu,
- f) cisterny na mlieko,
- g) cisterny na pohonné látky,
- h) prívesy a návěsy špeciálne upravené na vývoz dreva,
- i) podvalníky,
- j) oplénové prívesy ,
- k) iné.



Obr. 1. Valníkový príves na prepravu balíkov [3]



Obr. 2. Sklápací príves BSS 14 [3]

2 SKLÁPACIE PRÍVESY ZA TRAKTOR

Traktorové prípojné vozidlá sa líšia okrem konštrukcie a účelu použitia, najmä spôsobom vykladania prepravovaného materiálu. Základným charakteristickým znakom traktorových sklápacích prípojných vozidiel je sklápacia ložná plocha.

2.1 Jednostranné sklápacie prívesy

Prívesy a návěsy tejto kategórie majú možnosť sklápania len do jednej strany, poväčšine dozadu, a to pomocou jedného hydraulického piestu, resp. kombinácie dvoch hydraulických piestov

umiestnených v strednej časti rámu podvozka (obr. 3) alebo v prednej časti rámu v oblasti predného čela (obr. 4). Ak obidve bočnice, predné čelo, podlaha a rám korby týchto prípojných vozidiel tvoria jeden zvarovaný celok, hovoríme o tzv. vaňovej korbe, pri ktorej je sklopné len zadné čelo..



Obr. 3. Jednostranný sklápací návěs so spodným piestom [4]



Obr. 4. Jednostranný sklápací návěs s predným piestom [5]

2.2 Dvojstranné sklápacie prívesy

Pri tejto kategórii traktorových prívesov a návěsov môže byť proces sklápania realizovaný do pravej, resp. ľavej strany (obr. 5).



Obr. 5. Dvojstranný sklápací príves [6]

Nie je možné však sklápanie dozadu. Samotný proces sklápania je zabezpečený pomocou dvojice hydraulických piestov. Hydraulické piesty sú umiestnené na ráme podvozka, ktorý poväčšine tvoria navzájom zvarované, otvorené alebo uzavreté profily. Vrchná časť hydraulických piestov je uložená v tzv. guľovom osadení, ktoré je privarené

na patrične dimenzovanom nosnom križi, ktorý je hlavným nosným prvkom celej korby. Súčasťou rámu podvozka sú taktiež otočné guľové čapy, ktoré umožňujú sklápanie.

2.3 Trojstranné sklápacie prívesy

Tieto prívesy a návesy umožňujú sklápanie korby na obidve strany a taktiež dozadu (obr. 6 a obr. 7). Proces sklápania je realizovaný prostredníctvom jedného hydraulického piesta, ktorý je spravidla uložený presne v strednej časti rámu podvozka. Zmena strany sklápania je vykonávaná prostredníctvom zaistenia príslušných guľových čapov.



Obr. 6. Trojstranný sklápací príves sklopený na stranu [7]



Obr. 7. Trojstranný sklápací príves sklopený dozadu[7]

ZÁVER

Cieľom príspevku bolo predstaviť úvod do problematiky nákladných prívesov, ktoré sú určené pre pripojenie za poľnohospodárske, prípadne lesné traktory. Tieto prívesy umožňujú prepravu materiálu a tovaru a hlavne zabezpečujú veľmi široké využitie traktorov. Líšia sa svojou veľkosťou, konštrukciou aj praktickým využitím. Príspevok predstavuje úvod do širokej problematiky, ktorá je zameraná na

konštrukčný návrh prívesu za traktor. V ďalších príspevkoch budú prezentované nasledujúce kroky potrebné pre správny riešenie tejto problematiky

POĎAKOVANIE

Tento výskum podporila Kultúrna a vzdelávacia grantová agentúra MŠ SR v projekte č. KEGA 023ŽU-4/2020: „Vývoj pokročilých virtuálnych modelov na štúdium a skúmanie prevádzkových charakteristík dopravných prostriedkov.“

Tento výskum podporila Kultúrna a vzdelávacia grantová agentúra MŠ SR v projekte č. KEGA 036ŽU-4/2021: „Implementácia moderných metód počítačovej a experimentálnej analýzy vlastností komponentov vozidiel do vzdelávania konštruktérov dopravných prostriedkov budúcnosti.“

LITERATÚRA

[1] Nariadenie Európskeho parlamentu a rady (EÚ) č. 167/2013 Z.z. o schvaľovaní poľnohospodárskych a lesných vozidiel. [Online]. 2013 [cit. 2022-07-01]. Dostupné na internete:

<https://publications.europa.eu/sk/publication-detail/-/publication/d70aa207-c878-4455-adbe-579a510d4282/language-sk>.

[2] MAJDAN, R. - TKÁČ, Z. - KOSIBA, J. - ABRAHÁM, R. - TULÍK, J. (2016): *Teória a konštrukcia traktorov*. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, 2016. ISBN 978-80-552-1580-8.

[3] WTC - Písečná s.r.o. (2018): *Traktorové prívesy*. [Online]. 2018 [cit. 2019-10-25]. Dostupné na internete: <http://www.wtc-pisecna.eu/traktorove-valniky-plt-5>.

[4] ZDT Nové Veselí, spol. s.r.o. (2018): *Traktorové prívesy a návesy*. [Online]. 2018 [cit. 2018-10-25]. Dostupné na internete: <http://www.zdt.cz/cz/vyroby/>.

[5] S-PROFIT OPAVA s.r.o. (2018): *Prívesy a návesy BIG*. [Online]. 2018 [cit. 2018-10-25]. Dostupné na internete: <http://www.big-navesy.cz/stranky/fotogalerie>.

[6] AGROFOTO (2018): *Fotogaléria BSS* [Online]. 2018 [cit. 2018-10-25]. Dostupné na internete:

<https://www.agrofoto.pl/forum/gallery/image/719991-bss/>.

[7] AGROMEPA s.r.o. (2018): *Traktorové prívesy FLIEGL*. [Online]. 2018 [cit. 2018-10-25]. Dostupné na internete: <http://agromepa.sk/web/category/fliegl/sklapace>.

Proces reverzného inžinierstva s využitím 3D laserového skenovania

Katarína Štaffenová, Ing.

Katedra priemyselného inžinierstva, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.
E-mail: katarina.staffenova@fstroj.uniza.sk, Tel.: +421 41 513 2740

Miroslav Rakyta, doc. Ing., PhD.

Katedra priemyselného inžinierstva, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.
E-mail: miroslav.rakyta@fstroj.uniza.sk, Tel.: +421 41 513 2737

Peter Bubeník, doc. Ing., PhD.

Katedra priemyselného inžinierstva, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.
E-mail: peter.bubenik@fstroj.uniza.sk, Tel.: +421 41 513 2719

Vladimíra Biňasová, Ing., PhD., DiS.*

Katedra priemyselného inžinierstva, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.
E-mail: vladimira.binasova@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2727

Marta Kasajová, Ing., PhD.

Katedra priemyselného inžinierstva, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.
E-mail: marta.kasajova@fstroj.uniza.sk, Tel.: +421 41 513 2707

Reverse engineering process using 3D laser scanning

Abstract: This paper describes laser scanning technology as a tool for reverse engineering. The content includes theoretical starting points and knowledge about 3D models, reverse engineering and laser scanning. Furthermore, a method of reverse engineering using 3D laser scanning is proposed, compared with the standard reverse engineering process. The main contribution is comparing the use of hardware in the form of a scanner and software for post-processing.

ÚVOD

Reverzné inžinierstvo s využitím 3D laserového skenovania už priemyselná prax pozná viac ako 10 rokov. Za týchto 10 rokov sa však veľmi rozvíjali technológie, hardvérové a softvérové riešenia. Organizácie rôzneho charakteru navrhovali a aplikovali postupy a kombinácie reverzného inžinierstva. S nástupom 3D laserového skenovania sa tento proces zrýchlil a zefektívnil. Cieľom tejto práce je popísať, čo predstavuje pojem 3D model, reverzné inžinierstvo a 3D laserové skenovanie. V ďalšej časti je popísaný navrhovaný postup reverzného inžinierstva s využitím hardvéru a softvéru od spoločnosti *FARO Focus* v spojení s

grafickým softvérom *MicroStationV8* od spoločnosti *Bentley*. Na konci práce je uvedené porovnanie navrhovaného postupu a postupu využívaným konkurenčnou spoločnosťou.

1 3D MODEL

3D modelovanie je proces vytvárania 3D reprezentácie akéhokoľvek povrchu alebo objektu manipuláciou s mnohouholníkmi, hranami a vrcholmi v simulovanom 3D priestore. 3D modelovanie sa dosahuje ručne pomocou špecializovaného 3D produkčného softvéru, ktorý umožňuje umelcovi vytvárať a deformovať polygonálne povrchy alebo skenovaním objektov v

reálnom svete do množiny dátových bodov používaných na digitálne zobrazenie objektov. 3D modelovanie sa používa v celej rade oblastí vrátane strojárstva, architektúry, zábavy, filmu, špeciálnych efektov, vývoja hier a komerčnej reklamy. 3D modelovanie opisuje použitie softvérových nástrojov, ako sú napríklad programy pomocou počítačového dizajnu (CAD), na vytváranie 3D digitálnych reprezentácií objektov [1].

Napriek tomu, že základom softvéru pre 3D modelovanie je komplexný rad matematických funkcií, programy automatizujú výpočty pre používateľov a majú používateľské rozhrania založené na nástrojoch. 3D modely sú výstupom 3D modelovania a sú založené na rôznych digitálnych reprezentáciách. Hraničná reprezentácia (*B-rep*) používa matematicky definované povrchy, ako sú kužele, gule a *NURBS* (nejednotná racionálna základná spline), ktoré sú prepojené topológiou na presnú reprezentáciu objektov ako vodotesných objemov. Modely *B-rep* sú preferovaným riešením pre inžinierstvo a mnoho aplikácií 3D modelovania pre návrh, simuláciu a výrobu spotrebných a priemyselných výrobkov. Facetové modely aproximujú povrchy pomocou spojených rovinných polygónov a sú preferovaným riešením pre menej presné, vysokorýchlostné, tvarové reprezentácie používané v hrách, animáciách a digitálnych maketách [2].

Virtuálne 3D modely je možné premeniť na fyzické objekty pomocou 3D tlače alebo tradičných výrobných postupov. Modely je možné tiež previesť na statický obraz pomocou 3D vykresľovania, ktoré sa bežne používa na vytváranie fotorealistických zobrazení pre aplikácie predaja, marketingu a elektronického obchodu. 3D modely je možné vytvárať procesom reverzného inžinierstva, v ktorom sa technológia 3D skenovania používa na vytváranie digitálnych replík predmetov z reálneho sveta vrátane vyrábaných dielov a zostáv, modelov voľného tvaru navrhnutých z antuky a z anatómie človeka [3].

2 REVERZNÉ INŽINIERSTVO

Reverzné inžinierstvo je jedna z progresívnych technológií výrobných systémov. Predstavuje technologický proces, pomocou ktorého je možné vytvoriť z existujúceho produktu späťne CAD model, prípadne výkresovú dokumentáciu podľa konkrétnych požiadaviek zákazníka. Uplatnenie nájde pri tvorbe výkresov náhradných dielov, ktorých príslušná technická dokumentácia je buď zničená, nekompletná, alebo nebola nikdy vytvorená [4]. Tak isto pri vytváraní tvarovo zložitého ručne tvarovaného modelu z modelovacej hmoty, či iných prototypových súčiastkach. Takto získané dáta sa

dajú využiť pri výrobe súčiastok s malým počtom v dávke na 3D tlačiarňi.

Využitie reverzného inžinierstva:

- tvorba výkresovej dokumentácie prototypových súčiastok,
- skrátenie vývojového a inovačného cyklu produktu,
- modernizácia výrobného procesu,
- návrh nových súčastí prispôbených existujúcim súčastiam,
- aktualizácia výkresovej dokumentácie lisovacích foriem.

Digitalizácia, ako hlavná činnosť v procese reverzného inžinierstva pre oblasť strojárskej výroby, a zber vstupných dát z reálneho objektu je možná niekoľkými spôsobmi ako napríklad manuálnym meraním, poloautomatickým meraním dotykovou sondou, skenovaním povrchu laserom, optickým 3D skenovaním povrchu alebo CT skenovaním [5].

Momentálne najpoužívaným spôsobom digitalizácie pre potreby reverzného inžinierstva je laserové skenovanie povrchu pomocou 3D laserového skeneru. Vďaka výkonným technológiám a overenej metodike pre 3D meranie a 3D digitalizáciu dokážeme preniesť komplexné tvarové objekty z reálneho sveta do digitálnej podoby. Virtuálne 3D modely sa vyznačujú vysokou presnosťou, čo je predpokladom ich efektívneho využitia v CAD systémoch. Reálne modely digitalizujeme od úrovne polygonálnej siete (mesh), matematicky opísaných objektov (plochy, diery, úkopy) až po editovateľné modely v CAD systémoch a to všetko použitím kombinovaných kontaktných meračích a skenovacích techník a pokročilých metód reverzného inžinieringu.

3 LASEROVÉ SKENOVANIE

Laserové skenovanie, najmä 3D, je jednou z technológií reverzného inžinierstva, ktorá predstavuje moderný prístup k digitalizácii priestorových informácií o objekte, ktoré je možné využiť pre 3D produktové a výrobné systémy, so zameraním na samotnú realizáciu objektov (priemyselných, umeleckých a historických), s náročným zaostrovaním. prístupné a nebezpečné priestory, animácia a tvorba 3D a simulačných modelov [6, 7] Proces digitalizácie rozdeľujeme podľa nasledujúcich krokov:

1. Krok 1 predstavuje prípravu skenovania - opísaná technológia predstavuje vysokú rozmerovú presnosť 3D modelov až do 3 mm. Považujeme však za dostatočnú presnosť 2 cm ÷ 5 cm. Následne táto presnosť ovplyvňuje kvalitu skenovania. Na začiatku každého

projektu je potrebné dohodnúť si všetky podmienky, za akých budú modely vytvorené alebo ako budú v budúcnosti využívané. Model môže byť užitočný napríklad na reorganizáciu alebo plánovanie výroby, vytváranie knižnic objektov alebo analýzu statických štruktúr. Každá metóda má iné kritériá na skenovanie objektu, nastavenie skenera a následné vytvorenie modelu.

2. Krok 2 predstavuje vytvorenie referenčnej mriežky - pred samotným skenovaním je potrebné umiestniť referenčné body v celej hale, aby sa vytvorila referenčná mriežka. Každý referenčný bod je umiestnený na konkrétnom mieste a má svoje súradnice a značku. Toto vytvorenie referenčnej mriežky sa neskôr použije pri spájaní skenov a špecifikuje budúci virtuálny model. V budúcnosti môže podnik použiť referenčnú mriežku na presné umiestnenie výrobných zariadení, dopravníkov, dopravných systémov atď., ktoré boli vytvorené v 3D modeli. Pri umiestňovaní referenčných bodov je dôležité rozmiestniť tieto body tak, aby ich nebolo dostatočné množstvo (minimálne tri) potrebné na presné umiestnenie skenera v priestore. Z jednej snímacej pozície je dôležité vidieť aspoň štyri referenčné body, ktorých vzdialenosť je od skenera menšia ako pätnásť metrov. Referenčné body závisia od veľkosti haly a stupňa detailnosti modelu.
3. Krok 3 predstavuje laserové skenovanie - začiatok súradnicového systému je v strede skenovacieho zrkadla v zariadení. Softvér dokáže automaticky prepočítať transformačnú maticu tak, že všetky referenčné body majú absolútny súradnicový systém. Jadrom celého systému je zabudovaný operačný systém, ktorý zabezpečuje zber, ukladanie všetkých dát, skenovanie a jednoduchý prenos dát na externý počítač. Táto technológia umožňuje efektívne, rýchle a presné skenovanie aj celej výrobnéj haly. Skenovanie nie je len o čiernobielej fotografii ale aj o farebnom znázornení skutočne nameraných priestorových bodov - skenov. [7]
4. Krok 4 predstavuje registráciu a spojenie skenov - každý skenovací bod má 5 hodnôt: odraz, X, Y, Z a vzdialenosť od skenera. Po naskenovaní je dôležité skeny prepojiť. Tento proces vytvára panoramatický obraz a každý bod zobrazuje jednu súradnicu. Pre prepojenie skenov, pre ich prehľad a navigáciu v skenovanej hale, na meranie vzdialenosti a rozmerov objektov a pre export bodov do CAD systému slúži *FARO Scene* Software pre skenery od *FARO*. *FARO Scene* je grafické znázornenie vizuálneho vnímania, ktoré sa používa ako základ pre porovnanie

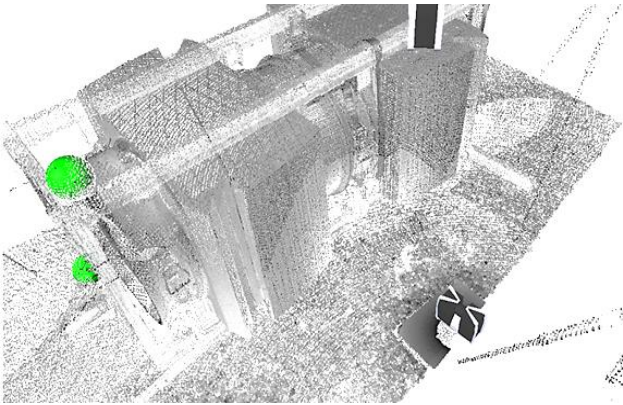
referenčných bodov, voči ktorým možno hodnotiť iné objekty. Cieľom registrácie je umiestnenie jednotlivých skenov do vopred určeného súradnicového systému, ako aj ich prepojenie a vloženie do pevného jediného súradnicového systému. Správne zaregistrovaný (evidencia skenov spočíva v ich prepojení) sken je jednotne umiestnený na úrovni osi „z“ s ostatnými skenmi a so správnou väzbou na ďalšie skeny.

5. Krok 5 predstavuje export dát z grafickej prezentácie do CAD systému - zvyčajne sa dáta exportujú do CAD systému: *AutoCad*, *MicroStation*, *Intergraph*, *CATIA* atď. Pomocou 3D skenov sa vytvorí nové médium, ktoré predstavuje skutočný odraz reality. Toto médium je prekreslené do výkresu CAD, ktorý predstavuje realitu. Táto kresba je rozdelená do vrstiev podľa charakteru kresleného objektu a je kótovateľná. Na skrátenie času modelovania sa používajú rôzne knižnice parametrických objektov ako *TriCAD*. Táto knižnica pozostáva z veľkého katalógu 3D objektov, ako sú potrubia, ventilačné systémy, elektrické rozvody, rôzne oceľové konštrukcie, dopravníky, rôzne dopravné systémy atď.

Tento postup 3D laserového skenovania je používaný pri práci so skenermi značky *FARO Focus*.

4 NAVRHNUTÝ PROCES REVERZNÉHO INŽINIERSTVA S VYUŽITÍM 3D LASEROVÉHO SKENOVANIA

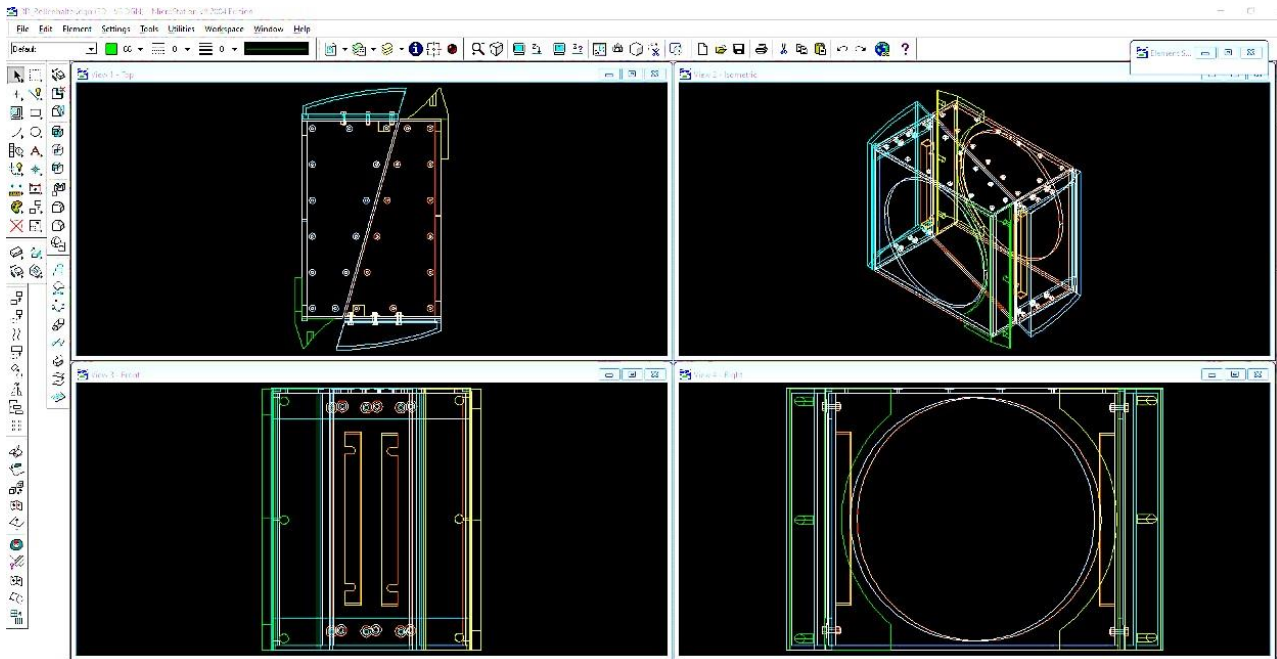
Proces reverzného inžinierstva začína výberom reálneho objektu, pre ktorý je potrebné vypracovať technickú dokumentáciu. Objektom môže byť komponent, zostava, stroj alebo budova, vetranie, potrubný systém a pod. Pre potreby výskumu bola zvolená zostava, ktorá pozostáva zo šiestich komponentov. Táto zostava slúži ako medzikus pre potrubný systém v priemyselnom závode. Prvým krokom je demontáž zostavy z celého systému a uloženie zostavy v priestore, kde sa bude vykonávať 3D laserové skenovanie. Nasleduje vytvorenie referenčnej mriežky okolo zostavy. Referenčná mriežka pozostáva z usporiadania referenčných bodov. V tomto prípade ide o referenčné telesá - gule. Z každej pozície skenera má guľa rovnaký tvar, čo z nej robí ideálne referenčné teleso. Po vytvorení referenčnej siete, čiže po umiestnení referenčných telies, nasleduje 3D laserové skenovanie. Pozície skenera sa vyberajú podľa potreby zamerania objektu a podľa pravidiel referenčnej siete. Po naskenovaní a prenose údajov do softvéru *FARO Scene* sa skeny zaregistrujú.



Obr. 1. 3D mračno bodov zobrazené v softvéri FARO Scene

V tomto prostredí je možné presúvať celé mračno a kontrolovať model zo všetkých strán. Tieto odchýlky vieme zamerať aj pomocou sady meracích nástrojov v softvéri.

Ak model prejde kontrolou, konečným výstupom a posledným krokom procesu reverzného inžinierstva je výkresová dokumentácia. Výkresová dokumentácia, samozrejme ako súčasť technickej dokumentácie, sa používa v 2D. Tento 2D výkres je možné vytvoriť v *MicroStation V8* jednoducho exportovaním viditeľných a skrytých hrán v každom zobrazení, ktoré tvorca potrebuje na vytvorenie 2D výkresu. Výkres je vytvorený vo formáte *HLN*, čo je

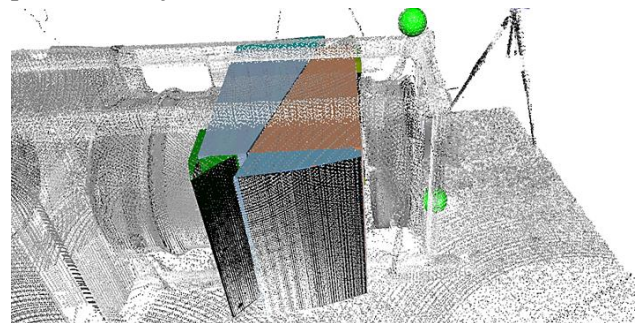


Obr. 2. 3D model zostavy v prostredí softvéru MicroStation V8

Po celkovej registrácii sa vytvorí 3D mračno bodov reálneho objektu. Ďalším krokom je vytvorenie 3D modelu v softvérovom prostredí *MicroStation V8*. Mračno bodov sa exportuje zo softvéru *FARO scene* do grafického softvéru. V grafickom softvéri sa vytvára 3D model podľa skutočného objektu, v presnej mierke a v skutočnej polohe vzhľadom k nulovému bodu. Tento 3D model je merateľný a rozmerový a možno ho vidieť na obrázku 3 v prostredí *MicroStation V8* [9-11]. Tento grafický softvér ponúka modelovanie vo všetkých šiestich pohľadoch na teleso. Používajú sa predovšetkým štyri, zhora, spredu, sprava a izometrické.

Pred dokončením procesu reverzného inžinierstva musíme nepochybne skontrolovať presnosť údajov. Do softvéru *FARO Scene* je možné exportovať vytvorený 3D model vo formáte *VRML*. Exportovaný model je možné umiestniť do mračna bodov a vizuálne skontrolovať na odchýlky a nepresnosti, ktoré vznikajú medzi rozmermi skutočného objektu a modelu. Pri tvorbe technickej dokumentácie by odchýlka nemala presiahnuť 1 mm.

2D formát výkresu, ale iný softvér ho nedokáže efektívne spracovať, čo znamená, že po vytvorení 2D výkresu je potrebné ho exportovať do formátu *DGN*, aby mohol flexibilne pracovať pre ďalšie použitie ako je stavba.



Obr. 3. Zobrazenie 3D modelu v mračne bodov v prostredí softvéru FARO Scene

Alebo samotná výroba nového kusu podľa tejto technickej dokumentácie. Tento výkres predstavuje diel v presnej mierke a je plne rozmerový pre potreby presných rozmerov vybraného objektu.

ZÁVER

Navrhovaný postup sa líši od štandardne používaného postupu pre reverzné inžinierstvo na Slovensku. Na porovnanie štandardného postupu 3D laserového skenovania využívaného konkurenčnou spoločnosťou a konkurenčne schopného postupu reverzného inžinierstva, bola zostavená tab. 1.

Tab. 1. Porovnanie štandardného a navrhovaného postupu reverzného inžinierstva

Parameter procesu	Všeobecne používaný postup	Navrhovaný postup
Využitie 3D laserového skenovania	Áno	Áno
Značka používaných skenerov	Leica Camera AG	FARO Focus Laser Scanners
Cena skenerov	Vyššia ako prijateľná	Prijateľná
Dostupnosť skenerov na Slovensku	Vysoká	Vysoká
Presnosť skenovania	Dobrá	Veľmi dobrá
Softvér na prácu s mračnom bodov	Leica Cyclone	FARO Scene
Kompatibilita softvérov na prácu s mračnom s grafickými softvérmi	Stredná	Vysoká
Cena softvérov na prácu s mračnom	Vysoká	Vysoká, až stredná
Používaný grafický softvér	AutoCAD	MicroStation V8
Ovládateľnosť softvéru pri tvorbe 3D modelov	Zložitá	Stredná
Kompatibilita grafických softvérov s inými grafickými softvérmi	Veľmi slabá	Vysoká
Ukladanie modelov na štandardné formáty	Slabé	Vysoké
Vytvorenie 2D výkresu z 3D modelu	Áno	Áno

Navrhovaný postup s využitím hardvéru a softvéru od spoločnosti FARO Focus a grafického softvéru MicroStation V8 od spoločnosti Bentley prináša možnosť lepšieho a presnejšieho zamerania objektov, vysokú kompatibilitu používaných softvérov s možnosťou rýchleho presunu dát a

exportovanie model do všetkých štandardne používaných formátov pre použitie modelov v grafických, vizualizačných a simulačných softvérov. Taktiež poskytuje presnú kontrolu rozmerov modelu s porovnaním skutočného stavu, ktorý je zobrazený v mračne bodov.

PodĎakovanie

Táto práca bola podporená Vedeckou grantovou agentúrou – projekt VEGA 1/0248/21."

Táto práca bola podporená Vedeckou grantovou agentúrou – projekt VEGA 1/0524/22.

LITERATÚRA

[1] GREGOR, M. - MEDVECKÝ, Š. - ŠTEFÁNIK, A. (2017): 3D digitalizácia a modelovanie veľkých objektov. In: ProIN. ISSN 1339-2271.

[2] SLICK, J. (2020): *What Is 3D Modeling?* [online]. [cit. 2022-09-18]. Dostupné z: <https://www.lifewire.com/what-is-3d-modeling-2164>

Siemens. 2021. 3D modeling: [online]. [cit. 2022-09-18]. Dostupné z: <https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/>

[3] FURDYGIEL, P. - PLINTA, D. (2020): *Production process improvement system*. Wydawnictwo Naukowe Akademii Techniczno-Humanistycznej w Bielsku-Białej. Bielsko-Biala.

[4] iQservices, s.r.o. (2021): *Reverzný Inžiniering* [online]. [cit. 2022-09-18]. Dostupné z: <http://www.iqservices.eu/sk/sluzby/reverzny-inziniering.html>

[5] FUSKO, M. - GABAJOVÁ, G. - FURMANNOVÁ, B. (2020): *Digitalizácia v továrni*. Žilinská univerzita v Žiline, Žilina.

[6] CEIT, a.s. 2021. *3D skenovanie, digitalizácia, reverzné inžinierstvo a metrológia* [online]. [cit. 2021-10-18]. Dostupné z: <https://www.assecocoit.com/sk/inzinierske-sluzby/reverzne-inzinierstvo/>

[7] BUSINESS AND DRIVE spol. s r.o. (2017): *Reverzné inžinierstvo* [online]. [cit. 2022-09-18]. Dostupné z: <https://www.businessanddrive.sk/strojarska-vyroba/reverzne-inzinierstvo/>

[8] BERLIN, R. (2022): *Accurate robot and workcell simulation based on 3D laser scanning*. Proceedings of the 333rd ISR (International Symposium on Robotics) October 7 – 11, [online]. In: <https://research.chalmers.se/en/publication/100318>. 25.101.2021

our-story/glossary/3d-modeling/17977

[9] SÝKORA P. (2001): *MicroStation V8*, podrobná príručka. ISBN 80-7226-540-7.

[10] ANTONIUK, I. - SVITEK, R. - KRAJČOVIČ, M. - FURMANNOVÁ, B. (2021): *Methodology of*

design and optimization of internal logistics in the concept of Industry 4.0. In: 14th International scientific conference on sustainable, modern and safe transport (Transcom 2021). Virtual conference 26 May – 28 May, Slovakia. Transportation Research Procedia, 55, 503-509.

[11] MATYS, M. - KRAJČOVIČ, M. - GABAJOVÁ, G. - FURMANNNOVÁ, B. -

BURGANOVÁ, N. (2020): *Methodology of reating a virtual environment using the unity 3D game engine.* In: Zborník TIABP, Trendy a inovatívne prístupy v podnikových procesoch „2020“, roč. 23, Proceedings of the XXIII. International Scientific Conference, The area of the Herlany historical spa October 12th – 13th, Košice.

Nákladné prívesy za traktor - špeciálne verzie a zvláštna výbava

Ján Dižo, doc. Ing., PhD.*

Katedra dopravnej a manipulačnej techniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.
E-mail: jan.dizo@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2560

Miroslav Blatnický, doc. Ing., PhD.

Katedra dopravnej a manipulačnej techniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.
E-mail: miroslav.blatnický@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2659

Vadym Ishchuk, Ing.

Katedra dopravnej a manipulačnej techniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.
E-mail: vadym.ishchuk@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2563

Denis Molnár, Ing.

Katedra dopravnej a manipulačnej techniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.
E-mail: denis.molnar@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2659

Freight tractor trailers - particular versions and special equipment

Abstract: Agricultural and forest tractors are used for many types of activities on a field or in a forest. However, these machines are practically useless without additional equipment. This additional equipment is mainly freight trailers. There are many types of trailers. The main types of freight tractor trailers are presented in the previous article. This work presents other information about tractor trailers. There are mainly article particular version of freight tractor trailer for transport of feed and other commodities. Except for transportation functionality, these trailer are equipped with devices for manipulation of agricultural commodities, such as grain, corn and other.

ÚVOD

Nákladné prívesy za traktor sú dôležitým dopravným a prepravným prostriedkom, ktorý sa využíva na prepravu nákladu rôzneho druhu v poľnohospodárstve, ale aj v lesníctve. Tieto prívesy existujú v základnom prevedení alebo bývajú vybavené doplňujúcim zariadením pre nakládku a vykládku tovaru. Sú to špeciálne zariadenia, ktoré sa montujú na prívesy a ktoré uľahčujú prácu s materiálom. Ďalej, prívesy sú vybavené zariadeniami, ktoré zlepšujú jazdné vlastnosti prívesov, uľahčujú manévrovanie v stiesnených priestoroch a zabezpečujú spoľahlivosť používania a prevádzky prívesov.

1 ŠPECIÁLNE NÁKLADNÉ PRÍVESY ZA TRAKTOR

Do tejto kategórie spadajú prívesy a návěsy, ktorých konštrukcia je špeciálne navrhnutá a upravená na

plnenie daných účelov. Súčasným a veľmi rozšíreným predstaviteľom tejto kategórie sú prívesy a návěsy s výmenným systémom nadstavieb (obr. 1). Hlavnou časťou týchto prípojných vozidiel je univerzálny funkčný podvozok, ktorý je vybavený mechanizmom na upevnenie príslušnej nadstavby, ako je rozmetadlo organických hnojív, cisterna, postrekovač, korba a pod. Tieto nadstavby je možné kedykoľvek pripojiť a následne odpojiť. Na zabezpečenie stálej výšky pri pripojení, resp. odpojení slúžia oporné nohy.

Pri tejto kategórii je dôležité spomenúť aj ďalší zo spôsobov vykladania prepravovaného materiálu, ktorým je systém posuvu reťazového dopravníka, kde dochádza k vykladaniu daného materiálu pomocou dvoch reťazí, ktoré sú pospájané priečnikmi náležitého tvaru.

Ďalším veľmi rozšíreným spôsobom vykladania materiálu je vytlačanie celého objemu korby

pomocou hydraulicky ovládaného predného čela (predná bočnica) prívesu. Tu dochádza k pohybu predného čela smerom dozadu, pokiaľ nie je ložná plocha úplne vyprázdnená. Pohyb predného čela je možné taktiež kedykoľvek zastaviť a opäť uviesť do pohybu. Vďaka týmto spôsobom je možné použiť ich aj na vykladanie materiálu v menších priestoroch s obmedzenou výškou, kde nie je možné využiť štandardný systém sklápania.



Obr. 1. Výmenný systém nadstavieb Fliegl [1]

Medzi ďalšie systémy vyprázdňovania, resp. prekladania materiálu patrí taktiež veľmi rozšírený systém so závitkovým dopravníkom (obr. 2). Hlavnou časťou tohto systému je závitovka, ktorá je poháňaná kĺbovým hriadeľom z hnacieho vozidla alebo prostredníctvom hydromotora. Materiál je tak potláčaný otáčaním závitovky v rúre príslušného priemeru až k výsypke, kde materiál vypadáva. Tento systém býva zvyčajne vybavený hydraulickou klapkou a snímačom, ktorý chráni závitovku pred preplnením pri rozbehu [2].



Obr. 2. Príves vybavený zariadením na prekladanie obilia a kukurice [2]

Závitkový dopravník býva zvyčajne montovaný v prednej alebo zadnej časti prípojného vozidla. V špeciálnych prípadoch môže byť namontovaný aj na bočnú časť (obr. 3), čo však nie je odporúčané v rámci prevádzky na pozemných komunikáciách kvôli nebezpečným častiam presahujúcim obrys

vozidla a taktiež v rámci zväčšenia šírky vozidla, ktorá musí byť v zmysle vyhlášky dodržaná.



Obr. 3. Príves spoločnosti BBS vybavený bočným dopravníkom na prekladanie krmných zmesí [3]

2 ZVLÁŠTNÁ VÝBAVA NÁKLADNÝCH PRÍVEŠOV ZA TRAKTOR

Do kategórie zvláštnej výbavy traktorových prípojných vozidiel zaraďujeme predovšetkým prvky, komponenty a doplnky, ktorých aplikácia na daný model prívesu, resp. návěsu má za následok zvýšenie efektivity, zlepšenie vlastností, a taktiež poskytuje určitý komfort pri obsluhu prípojného vozidla. Treba však poznamenať, že tieto prvky je možné aplikovať len na určité modely prípojných vozidiel a to v rámci príplatkovej výbavy [2].

2.1 Hydraulické a pneumatické odpruženie náprav

Tieto typy odpruženie náprav dokážu veľmi jemne kopírovať terén, čím poskytujú pлавnú jazdu (obr. 4).



Obr. 4. Pneumatické vypruženie nápravy prívesu za traktor [2]

Umožňujú nastavenie požadovanej výšky prípojného vozidla a taktiež udržanie konštantnej výšky aj pri plnom naložení. V prípade pneumatického odpruženia je veľkou výhodou nízka hmotnosť a

funkcia vyprázdňovania vzduchových vankúšov na zadnej náprave pri sklápaní korby dozadu, ktorá poskytuje vozidlu väčšiu stabilitu (obr. 5) [2].



Obr. 5. Pneumatické vypruženie nápravy prívesu za traktor [2]

2.2 Nútené riadenie náprav

Ide o systém, kde sú náboje náprav osadené ramenami s otočnými čapmi, ktoré ústia do hydraulického valca, odkiaľ je tlaková sila prostredníctvom vysokotlakových hadíc prenášaná na dvojicu piestov inak nazývaných aj ovládacie tyče (obr. 6).



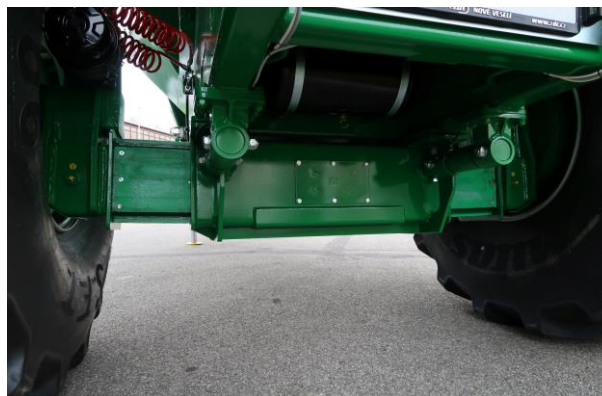
Obr. 6. Ovládacie tyče pre nútené riadenie nápravy prívesu za traktor [2]

Tieto ovládacie tyče majú taktiež guľové zakončenia, ktoré sa pripoja na špeciálny traktorový adaptér. Tento adaptér slúži výlučne na funkciu núteného riadenia. Tento systém umožňuje prípojnému vozidlu kopírovať stopu traktora a taktiež podstatne znižuje opotrebenie pneumatík [2].

2.3 Hydraulické rozšírenie nápravy

Ide o špeciálny typ nápravy (obr. 7), ktorá umožňuje rozšírenie základného rozchodu kolies zhruba o 500 mm, čím poskytuje zvýšenú stabilitu na svahu. Rozšírenie nápravy je vzhľadom na celkovú dovolenú šírku vozidla prípustné len na prevádzku mimo cestných komunikácií. Trup nápravy tvorí hrubostenný uzavretý profil, v ktorom sú osadené

dva vnútorné profily. Tieto profily sú navonok vytlačané hydraulickým piestom. Takýto typ nápravy sa zvyčajne používa u cisterien alebo prívesov na prekladanie obilia [2].



Obr. 7. Hydraulické odpruženie prívesu [2]

2.4 Výškovo nastaviteľné a odpružené spájacie zariadenie

Tento druh spájacieho zariadenia v podobe ťažnej hlavy (obr. 8) je uložený na hrubostennom uzavretom profile, ktorý je svojou zadnou časťou pripojený k dvojici hydraulických piestov (obr. 9). Tieto piesty zabezpečujú nastavenie požadovanej výšky spájacieho zariadenia a taktiež značne napomáhajú vo funkcii tlmenia, resp. odpruženia [2].



Obr. 8. Ťažná hlava prívesu



Obr. 9. Hydraulické odpruženie prívesu

ZÁVER

Ústrednou myšlienkou príspevku je doplnenie informácií týkajúcich sa nákladných prívesov za traktor. Je pokračovaním predchádzajúcej práce

zameranej na základné rozdelenie prívosov, ich koncepciu a konštrukčné riešenie. Súčasnú technickú riešenia prívosov obsahujú také konštrukčné prvky, ktoré uľahčujú prácu obsluhu pri nakladaní a vykladaní nákladu - najmä voľne loženého tovaru, ako sú krmné zmesi, štiepka a iné. Ďalej zvláštna výbava prívosov hlavne zlepšuje jazdné vlastnosti prívosov, či už pri jazde v teréne, ale aj pri jazde po spevnených komunikáciách. Takýmito prvkami sú najmä systémy vyprúženia zahŕňajúce hydraulické a pneumatické komponenty. Manévrovanie v stiesnených priestoroch, ale aj na poliach, kde je potrebné zabezpečiť obratnosť súpravy traktora a prívosu, uľahčuje zariadenie na nútené riadenie kolies prívosu, ktoré znižuje polomer otáčania súpravy. Dá sa predpokladať, že súčasné trendy v oblasti dopravnej a manipulačnej techniky používanej v agro-sektore sa už bez moderných prvkov zabezpečujúcich aktívnu bezpečnosť a vysoké pohodlie jazdy, nezaobíde.

POĎAKOVANIE

Tento výskum podporila Kultúrna a vzdelávacia grantová agentúra MŠ SR v projekte č. KEGA 023ŽU-4/2020: „Vývoj pokročilých virtuálnych modelov na štúdium a skúmanie prevádzkových charakteristík dopravných prostriedkov.“

Tento výskum podporila Kultúrna a vzdelávacia grantová agentúra MŠ SR v projekte č. KEGA 036ŽU-4/2021: „Implementácia moderných metód počítačovej a experimentálnej analýzy vlastností

komponentov vozidiel do vzdelávania konštruktérov dopravných prostriedkov budúcnosti.“

LITERATÚRA

- [1] AGROMEPA s.r.o. (2018): *Traktorové prívesy FLIEGL*. [Online]. 2018 [cit. 2018-10-25]. Dostupné na internete: <http://agromepa.sk/web/category/fliegl/sklapace>.
- [2] ZDT Nové Veselí, spol. s.r.o. (2018): *Traktorové prívesy a návěsy*. [Online]. 2018 [cit. 2018-10-25]. Dostupné na internete: <http://www.zdt.cz/cz/vyroby/>.
- [3] STROJTECHNIKA Vráble s.r.o. (2018): *Závitovkové dopravníky*. [Online]. 2018 [cit. 2018-10-30]. Dostupné na internete: <http://www.strojtechnika.sk/ponuka-produktov/zavitovkove-dopravniky/s-hydraulickym-pohonom/>.
- [4] MAJDAN, R. - TKÁČ, Z. - KOSIBA, J. - ABRAHÁM, R. - TULÍK, J. (2016): *Teória a konštrukcia traktorov*. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, 2016. ISBN 978-80-552-1580-8.
- [5] WTC - Písečná s.r.o. (2018): *Traktorové prívesy*. [Online]. 2018 [cit. 2019-10-25]. Dostupné na internete: <http://www.wtc-pisecna.eu/traktorove-valniky-plt-5>.

Knowledge, knowledge management and innovations

Ivan Litvaj, Ing., PhD.*

Department of Power Electrical Systems, Faculty of Electrical Engineering and Information Technology,
University of Žilina,
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, Slovak Republic.
E-mail: ivan.litvaj@uniza.sk, Tel.: +421 915 761 406

Abstract: The article focuses on a brief description and importance of knowledge management for the company and also describes the relationship of knowledge management to innovation. At present, innovation is important for companies, crucial for their competitiveness. The innovative activity of a company depends on the knowledge that the company has at its disposal.

INTRODUCTION

We can declare that change, changes are a characteristic feature of today's world. Of course, changes are also present in business in the global market, the changes are also reflected by management. We identify change with the idea of progress and development. From a corporate - operational and managerial point of view, change and innovation mean the application of new ways to make products and manage a business, by innovation we mean product innovation, new processes, new methods, software, procedures, styles and management systems, in short change and innovation in the wider meaning of the word.

Research and innovation (*R&I*) plays an essential role in triggering smart and sustainable growth and job creation. By producing new knowledge, research is central to developing new and innovative products, processes and services, which enable higher productivity, industrial competitiveness, and ultimately prosperity [1].

1 KNOWLEDGE MANAGEMENT, MANAGING KNOWLEDGE FOR INNOVATION

Knowledge management has recently emerged as a new discipline in its own right and, given its newness, is probably still developing its theoretical home [2].

Practical implications - knowledge management is embraced in many organizations and requires a business case to justify expenditure on programs to implement knowledge management behaviours and practices or hardware and software solutions.

Many companies face the challenge of lack of knowledge where they are current knowledge is not at a sufficient level. There is such a gap visible when the company is trying to present a new product or

new process [3]. In this paper, I focus on the importance of knowledge management for improving innovation and performance.

2 WHY IS KNOWLEDGE MANAGEMENT IMPORTANT?

Why Is Knowledge Management So Important?

Accumulating, storing and effectively sharing knowledge allows you to create a culture that can significantly improve efficiency and employee happiness. But ineffective knowledge management impacts the financial front and employee satisfaction levels.

1.1 The cost of ineffective knowledge management

- *Fortune* 500 companies lose at least \$31.5 billion a year by failing to share knowledge, according to *International Data Corp.* [5],
- in the *Critical Knowledge Transfer* book, a survey highlighted that 53% of respondents claimed the knowledge-related costs of losing key employees could reach almost \$300,000. In another estimate from the same source, 11 % believed the costs associated with losing knowledge through employees leaving could be close to \$1,000,000, while others said the cost was 'priceless' [6],
- research also shows that 63 % of employees say they spend too much time getting a resolution, and this further impacts the business in its: overall employee satisfaction, business continuity and innovation.

This failure to document and store knowledge results in wasted time, lost productivity, repeated mistakes and employee dissatisfaction. In comparison, however, effective knowledge management has quantifiable benefits [5].



Fig. 1. Knowledge management. Organization, creating, sharing and innovation concept [4]

Knowledge management is considered very important today, it is considered a driving force that affects the achievement of competitive advantage in the market. The current state of the developed world economies is characterized by an innovative way of operating, which is based on fundamental changes in companies, we call such companies of the future. I wrote about the changes and innovations above in the article. The companies of the future use and sell their knowledge and innovations in the market. Such progressive companies have a sufficient degree of innovation activity. The company's innovation capacity and activity is based on consistent and efficient work with knowledge and system knowledge management. In this way, we create the competitiveness of the company, which is based on efficient and effective ways of creating and using business knowledge.

3 INNOVATION AND THE FUTURE OF JOBS

The *Merriam-Webster* dictionary simply refers to innovation as being “the introduction of something new”. This isn’t the same as simply inventing something new, such as a product, as it also needs to be launched and introduced to the world. “Innovation management” thus refers to the handling of all the activities needed to “introduce something new”, which in practice means things like coming up with ideas, developing, prioritizing and implementing them, as well as putting them into practice, for example by launching new products, or by introducing new internal processes [7].

Technological advancement and increased productivity mean major changes for careers today as well. The world economy could more than double in size by 2050 due to continued technology-driven product improvements. According to the new *World Economic Forum* report, nearly 133 million new jobs may be created by 2022 while 75 million jobs are displaced by AI, automation and robotics.

Manual, low-skilled jobs and middle-income roles such as accountants, lawyers and insurance clerks are the ones that will be affected the most over the next decade. The biggest issue here isn't necessarily that these jobs would disappear completely but the fact that polarization of the labour force becomes more significant. New skill sets are required in both old and new occupations. How and where people work will also continue to change. There will be more

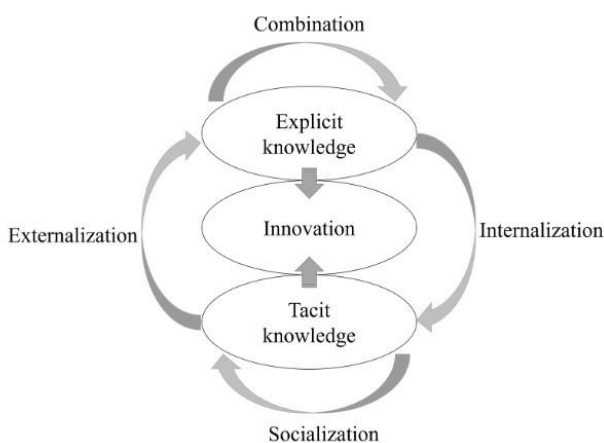


Fig. 2. The knowledge innovation transfer process. [6]

demand for experts, whereas "regular workers" are at risk of having to settle for low-income positions [9].

4 FOUR TYPES OF INNOVATION AND THE PROBLEMS

4.1 Sustaining innovation

Most innovation happens here, because most of the time we are seeking to get better at what we're already doing. We want to improve existing capabilities in existing markets, and we have a pretty clear idea of what problems need to be solved and what skill domains are required to solve them.

For these types of problems, conventional strategies like strategic roadmapping, traditional *R&D* labs, and using acquisitions to bring new resources and skill sets into the organization are usually effective. Design thinking methods, such as those championed by David Kelley, founder of the design firm *IDEO* and *Stanford's d.school*, can also be enormously helpful if both the problem and the skills needed to solve it are well understood.

4.2 Breakthrough innovation

Sometimes, as was the case with the example of detecting pollutants underwater, we run into a well-defined problem that's just devilishly hard to solve. In cases like these, we need to explore unconventional skill domains, such as adding a marine biologist to a team of chip designers. Open innovation strategies can be highly effective in this regard, because they help to expose the problem to diverse skill domains.

As *Thomas Kuhn* explained in *The Structure of Scientific Revolutions*, we advance in specific fields by creating paradigms, which sometimes can make it very difficult to solve a problem within the domain in which it arose - but the problem may be resolved fairly easily within the paradigm of an adjacent domain.

4.3 Disruptive innovation

When *HBS* professor *Clayton Christensen* introduced the concept of disruptive innovation in his book *The Innovator's Dilemma*, it was a revelation. In his study of why good firms fail, he found that what is normally considered best practice - listening to customers, investing in continuous improvement, and focusing on the bottom line - can be lethal in some situations.

In a nutshell, what he discovered is that when the basis of competition changes, because of technological shifts or other changes in the marketplace, companies can find themselves getting better and better at things people want less and less.

When that happens, innovating your products won't help - you have to innovate your business model.

More recently, *Steve Blank* has developed lean startup methods and *Alex Osterwalder* has created tools like the business model canvas and value proposition canvas. These are all essential assets for anyone who finds themselves in the situation *Christensen* described, and they are proving to be effective in a wide variety of contexts.

4.4 Basic research

Pathbreaking innovations never arrive fully formed. They always begin with the discovery of some new phenomenon. No one could guess how *Einstein's* discoveries would shape the world, or that Alan Turing's universal computer would someday become a real thing. As *Neil deGrasse Tyson* said when asked about the impact of a major discovery, "I don't know, but we'll probably tax it." To his point, *Einstein's* discoveries now play essential roles in technologies ranging from nuclear energy to computer technologies and *GPS* satellites.

Some large enterprises, like *IBM* and *Procter & Gamble*, have the resources to invest in labs to pursue basic research. Others, like *Experian's DataLabs*, encourage researchers and engineers to go to conferences and hold internal seminars on what they learn. *Google* invites about 30 top researchers to spend a sabbatical year at the company and funds 250 academic projects annually [10].

CONCLUSION

The paper aimed was to point out the limited space on knowledge, knowledge management and also to point out the impact and effectiveness of the implementation of knowledge management on the innovation capacity of companies. Knowledge management is considered to be very important nowadays to innovation. We understand knowledge management as a driving force that influences and conditions the achievement of competitiveness in the market. The advanced world economies are characterized by an efficient innovative way of operating, the companies of the future use and sell their knowledge and innovations in the market. Therefore, I can say that the innovative capacity and activity of the company is based on effective work with knowledge management in the company.

REFERENCES

[1] EUROPEAN SEMESTER THEMATIC FACTSHEET RESEARCH AND INNOVATION (2022). Available on: https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/file_import/european-semester_thematic-factsheet_research-innovation_en.pdf.

- [2] DARROCH, J. (2022): *Knowledge management, innovation and firm performance*. Available on: https://www.researchgate.net/profile/JennyDarroch/publication/220363143_Knowledge_management_innovation_and_firm_performance/links/55761f8308ae7521586c2bfb/Knowledge-management-innovation-and-firm-performance.pdf.
- [3] HVIZDOVÁ, E. - MIKLOŠÍK, A. (2020): *Manažment znalostí a tvorba inovací - emi. knowledge management and development of innovation*. Journal. <http://emijournal.cz › uploads › 2020/08 › MAN>.
- [4] KNOWLEDGE MANAGEMENT. ORGANIZATION, CREATING, SHARING AND INNOVATION CONCEPT (2022). Available on: <https://www.dreamstime.com/knowledge-management-organization-creating-sharing-innovation-concept-chart-keywords-icons-white-background-image213933467>.
- [5] WHAT IS KNOWLEDGE MANAGEMENT AND WHY IS IT SO IMPORTANT? Available on: <https://www.starmind.ai/resources/what-is-knowledge-management-and-why-is-it-so-important>.
- [6] CHOI, B. - LEE, H. (2002): *Knowledge management strategy and its link to knowledge creation process*. *Expert System with Applications*, 23 (3), 173-187.
- [7] NIEMINEN, J. (2018): *Innovation Management - The Ultimate Guide*. Available on: <https://www.viima.com/blog/innovation-management/>
- [8] *Innovation and the future of jobs*. *World Economic Forum - The Future of Jobs Report* (2018).
- [9] KYLLIÄINEN, J. (2019): *The Importance of Innovation - What Does it Mean for Businesses and our Society?* Available on: <https://www.viima.com/blog/importance-of-innovation>.
- [10] SATELL, G. (2017): *The 4 Types of Innovation and the Problems They Solve*. Available on: <https://hbr.org/2017/06/the-4-types-of-innovation-and-the-problems-they-solve>.

Návrh modelu parného rušňa

Vadym Ishchuk, Ing.*

Katedra dopravnej a manipulačnej techniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.
E-mail: vadym.ishchuk@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2563

Ján Dižo, doc. Ing., PhD.

Katedra dopravnej a manipulačnej techniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.
E-mail: jan.dizo@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2560

Miroslav Blatnický, doc. Ing., PhD.

Katedra dopravnej a manipulačnej techniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.
E-mail: miroslav.blatnický@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2659

Denis Molnár, Ing.

Katedra dopravnej a manipulačnej techniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.
E-mail: denis.molnar@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2659

Design of a steam locomotive

Abstract: The article is focused on theoretical background, which relates with conceptual layout and engineering design of steam locomotive. A steam locomotive is a steam-powered locomotive in which steam engines are used as the engine and steam is the energy source. This article has described the design of the main parts of a steam locomotive, such as a steam boiler, a steam engine and a locomotive underframe. The article also presents the design of a steam locomotive model in the *CATIA V5* software for a better familiarization of this problematics.

ÚVOD

Parný rušeň je rušeň s parným pohonom, pri ktorom sa ako motor používajú parné stroje a zdrojom energie je para. Parné rušne boli prvými vozidlami pohybujúcimi sa po koľajniciach, samotný názov „lokomotíva“ sa objavil oveľa neskôr a bolo to vďaka nim. Parná lokomotíva je jedným z jedinečných technických prostriedkov vytvorených človekom a úlohu parnej lokomotívy v histórii je ťažké preceňovať. Vďaka tomu sa objavila železničná doprava a práve parné lokomotívy vykonávali prevažnú časť prepravy v 19. a prvej polovici 20. storočia a zohrávali obrovskú úlohu pri zvyšovaní hospodárstva mnohých krajín. Od druhej polovice 20. storočia bola však parná lokomotíva nútená vzdať sa moderným lokomotívam - dieselovým a elektrickým ale napriek tomu stále fungujú, vedú vlaky a v mnohých krajinách naďalej pracujú na tratiach.

1 KONŠTRUKCIA PARNÉHO RUŠŇA

Parný rušeň je pomerne zložitý stroj, ktorý pozostáva z troch základných častí (hnací mechanizmus, kotol a pojazd) a ostatného pomocného príslušenstva a vybavenia.

1.1 Hnací mechanizmus parného rušňa

Hnací mechanizmus parného rušňa je jednou s najdôležitejších súčastí rušňa, ktorý slúži na jeho pohyb. Základne časti hnacieho mechanizmu (obr. 1):

- *parný stroj* – svojou konštrukciou určený na premenu tepelnej energie pary, ktorá je vygenerovaná v kotle na mechanickú prácu a je najkomplikovanejšou súčasťou parnej lokomotívy. Pozostáva z odliatkového oceľového valca, ktorý slúži na umiestnenie a vedenie obojstranného piesta. Na väčšine parných rušňoch sa používa jednoduchý dvojvalcový stroj,

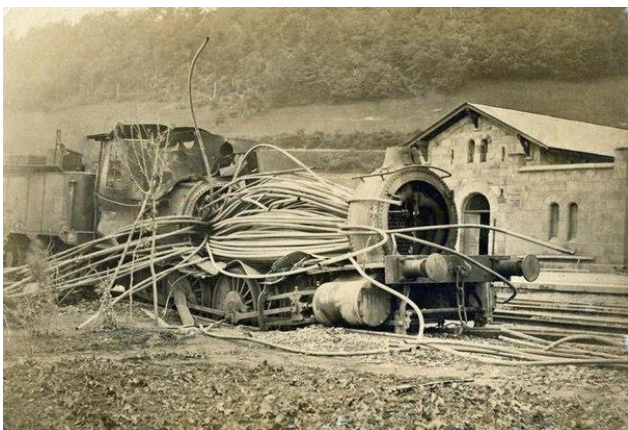
- *kľukový mechanizmus* – určený meniť priamočiary pohyb piesta na rotačný pohyb hnacích kolies. Pozostáva vlastne z kľuky, ojnice, spojnic a križiaku. Spojnice sú určené na prepojenie medzi sebou niekoľkých dvojkolesí za účelom zväčšiť počet hnacích kolies a tým pádom aj trakčnú silu. Križiak je kĺbové spojenie piestnej tyče a ojnice, uložené vo vedení s osou pohybu totožnou s osou pohybu piesta. Križiak sa v kľukovom mechanizme používa z dôvodu zachytenia normálových síl, čo spôsobuje vyššiu životnosť valca a piestovej skupiny a znižuje nároky na jej konštrukciu,
- *mechanizmus rozvádzania pary* – určený na širokú reguláciu činnosti parného stroja. Pozostáva z posúvaču, ktorý je umiestnený vo valci a slúži na rozvádzanie pary medzi priestormi valca a kulisového mechanizmu, ktorý umožňuje reverzibilitu stroja a zmenu v širokom rozsahu množstva pary tým pádom umožňuje širokú reguláciu rýchlosti rušňa [1].



Obr. 1. Hnací mechanizmus parného rušňa [2]

1.2 Parný kotol parného rušňa

Parný kotol je primárnym zdrojom energie, ktorý svojou konštrukciou určený na vygenerovanie pary, čo robí z neho hlavnú súčasť parného rušňa. Z tohto hľadiska sa na kotol kladie množstvo požiadaviek.



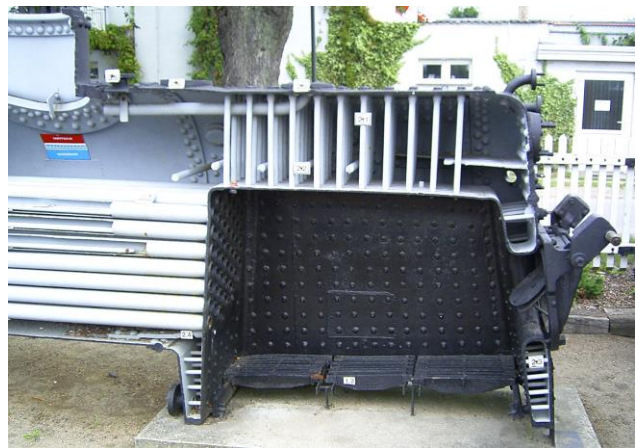
Obr. 2. Parný kotol po výbuchu [3]

Tieto požiadavky zahŕňajú predovšetkým spoľahlivosť (bezpečnosť) prevádzky kotla - to je spôsobené tým, že kotol pracuje pri vysokých teplotách a tlak pary môže dosiahnuť veľmi vysoké hodnoty (do 20 atmosfér a vyššie), čo premieňa kotol na potenciálnu bombu a akákoľvek konštrukčná

chyba môže viesť k výbuchu (obr. 2), čím sa zbaví lokomotíva zdroja energie.

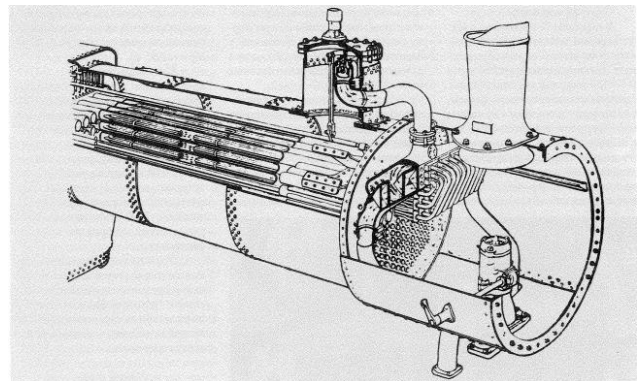
Kotol sa skladá s niekoľkých základných častí a to:

- *skriňová časť kotla* (obr. 3) sa skladá z dvoch základných častí a sú to pec, v ktorej horí oheň slúžiaci na vytvorenie pary a obloženie skriňového kotla. Pec je pripojená k spodnej časti obloženia pomocou oceľového rámu. Nestačí ale iba spojenie plechov peci a obloženie pomocou rámu. Para a voda v kotle sú pod vysokým tlakom, ktorý sa prenáša na steny pece. Tento tlak má tendenciu ohýbať ich veľmi veľkou silou. Na udržanie stien pri tomto tlaku je potrebné spojiť plechy obloženia a pece pomocou rozpierok a kotevných skrutiek,



Obr. 3. Skriňová časť kotla [4]

- *valcová časť kotla* (obr. 4) – určená na ohrev vody a vytvorenie pary pomocou veľkého množstva (až niekoľko stoviek kusov) cez ňu prechádzajúcich kotlových trubíc, vo vnútri ktorých prúdia horúce spaliny.



Obr. 4. Valcová časť kotla [5]

Valcová časť kotla pozostáva z troch prstencov. Kotlové prstence sú rôznych priemerov a pri vkladaní jedného prstenca do druhého vytvárajú prelatovaný zvarový resp. nitový spoj. Hore na valcovom kotle je umiestnený parojem, ktorý je určený na akumuláciu paru a taktiež jeho oddelenie od vodných kvapiek a vodného kameňa za účelom zabrániť rýchlemu

opotrebovaníu parného stroja. Vnútri parojemu sa nachádza regulátor, ktorý je ovládaný z kabíny rušňovodičom a určený, pri jeho otváraní, na smerovanie pary do parného stroja. Predná strana kotla sa nazýva dymnica. Produkty spaľovania prichádzajú z kotlových rúr do tejto časti kotla a nasledovne sú emitované komínom do atmosféry [5].

1.3 Pojazd

Hlavnou časťou pojazdu rušňa je rám a dvojkolesia s ložiskovými skriňami a vypružením. Na rám je umiestnený kotol so všetkými jeho časťami a k nemu sú pripojené valce a ostatné časti parného stroja. Dvojkolesia s ložiskovými puzdrami zabezpečujú bezpečný pohyb rušňa po železničnej koľaji, nielen na priamych úsekoch koľaji, ale aj pozdĺž oblúkov a výhybiek. Koľaj, po ktorej sa lokomotíva pohybuje, nepredstavuje ideálnu priamku, navyše samotná lokomotíva nie je úplne vyváženým strojom, pretože dva valce umiestnené na dvoch stranách rámu a ojnice spôsobujú dynamické namáhanie rušňa. Preto vypruženie je veľmi dôležité pre bezpečnú prevádzku rušňa. Pružinové odpruženie znižuje dynamický účinok parného rušňa na trať a naopak účinok trate na rušeň.

2 NÁVRH MODELU PARNÉHO RUŠŇA

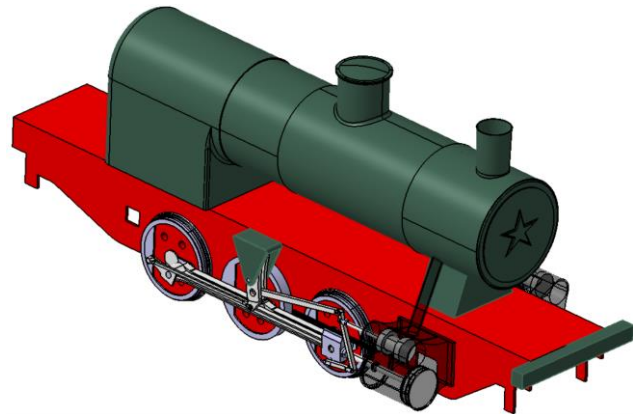
Ako prototyp pre návrh modelu bol použitý rušeň radu 9P (obr. 5). Je to tendrový rušeň s tromi spriahnutými nápravami, vyrábaný v Sovietskom zväze v rokoch 1935 až 1957 [6]. Parné lokomotívy rady 9P sa používali pri posunovacích operáciách sovietskych železníc, na prenosových a krátkych tratiach, ale aj v mnohých priemyselných podnikoch, kde sa nevyžaduje vysoká rýchlosť a výkon, ale zároveň je potrebné pohybovať sa s časťmi zastávkami a po oblúkoch s malým polomerom [7].



Obr. 5. Parný rušeň radu 9P [7]

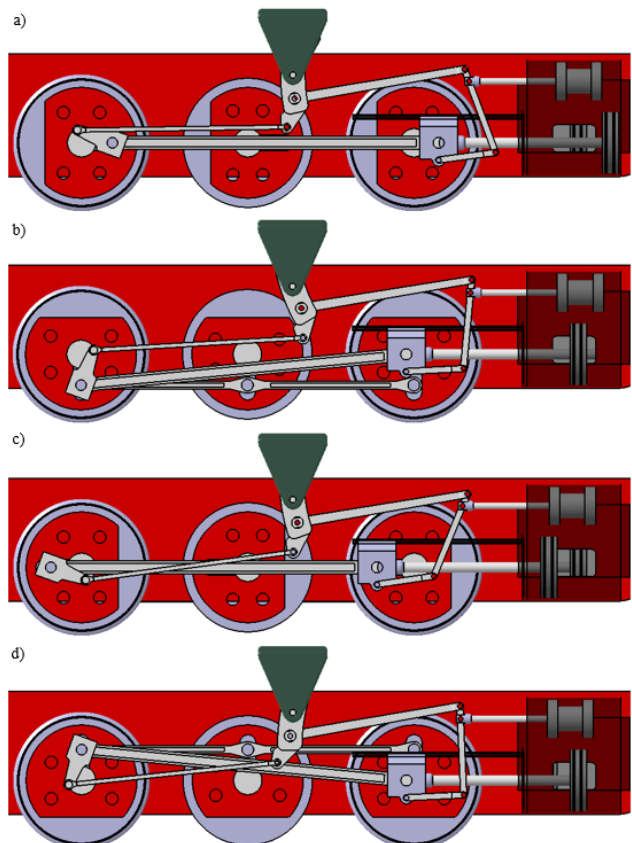
3D model rušňa (obr. 5) je vytvorený v prostredí softvéru CATIA V5 a je vyrobený podľa výkresov a rozmerov skutočnej parnej lokomotívy radu 9P. Namodelovane hlavné časti parného rušňa: rám a

dvojkolesia, hnací mechanizmus a parný stroj s animáciou pohybu, skriňový a valcový kotol.



Obr. 6. CAD model parného rušňa radu 9P

Model hnacieho mechanizmu pozostáva z parného stroja, ojnice a kľuky, pák a ťahadiel pomocou ktorých je ovládaný mechanizmus rozvádzania pary. Model funguje ako reálny hnací mechanizmus a umožňuje meniť posuvný pohyb piestu na rotačný pohyb kolies, regulovať činnosť parného stroja a reverzáciu rušňa. Polohu hnacieho mechanizmu pri rôznych uhloch natečenia kolies je možné vidieť na obr. 7

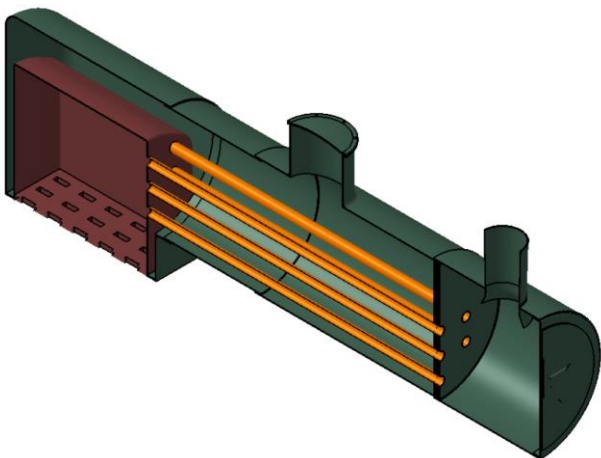


Obr. 7. Polohy natočenia hnacieho mechanizmu: a) natočenie 0° , b) natočenie 90° , c) natočenie 180° , d) natočenie 270°

Keď piest pohybujúci sa pod tlakom pary dosiahne svoju dolnú alebo hornú úvrať, os ojnice sa bude zhodovať s osou kľuky na kolese. Táto poloha mechanizmu ojnice sa nazýva mŕtvy bod. Koleso sa

za jednu otáčku dostane do mŕtveho bodu dvakrát (predný a zadný mŕtvy bod) (obr. 7a, c). Ak je mechanizmus ojnice zastaveného parného motora v mŕtvom bode, potom bez ohľadu na to, koľko pary vpustíme do jedného alebo druhého priestoru valca, stroj sa nepohne. Para privádzaná do valca bude namáhať ojnici a kľuku na ťah (tlak), ale nebude schopná otáčať kolesá, pretože nie je možné vytvoriť krútiaci moment. Parné stroje umiestnené na oboch stranách lokomotívy, nie sú zbavené tejto nevýhody. Aby sa parný rušeň mohol pohnúť z miesta v akejkoľvek polohe mechanizmu ojnice, kľuky obidvoch strojov musia byť umiestnené kolmo navzájom medzi sebou. V tomto prípade, ak je mŕtva poloha, napríklad pri pravom stroji, krútiaci moment je vytvorený ľavým strojom, ktorého kľuka má zvislú polohu.

Nasledovne je spravený model parného kotla (obr. 8). Za účelom znázornenia vnútornej konštrukcie kotla je zhotovený rez. Model pozostáva zo skriňovej (pec, obloha, rošt) a valcovej časti s dymnicou a kotlovými trubicami.



Obr. 8. CAD model parného kotla v reze

ZÁVER

Cieľom príspevku bolo predstaviť úvod do problematiky parných rušňov, ktoré zabezpečovali prevažnú časť prepravy nákladov a osôb v 19. a prvej polovici 20. storočia. Boli popísané základné informácie o konštrukcii a princípe činnosti daného typu rušňa. V ďalších príspevkoch budú prezentované nasledujúce kroky potrebné pre správny riešenie tejto problematiky a to výpočet

pevnosti parného kotla, výpočty potrebné na zistenie výkonu modelu v prípade jeho miniaturizácie a dimenzovanie jeho základných komponentov.

POĎAKOVANIE

Tento výskum podporila Kultúrna a vzdelávacia grantová agentúra MŠ SR v projekte č. KEGA 023ŽU-4/2020: „Vývoj pokročilých virtuálnych modelov na štúdium a skúmanie prevádzkových charakteristik dopravných prostriedkov.“

Tento výskum podporila Kultúrna a vzdelávacia grantová agentúra MŠ SR v projekte č. KEGA 036ŽU-4/2021: „Implementácia moderných metód počítačovej a experimentálnej analýzy vlastností komponentov vozidiel do vzdelávania konštruktérov dopravných prostriedkov budúcnosti.“

LITERATÚRA

- [1] STRUZHENTSOV I. M. (1935): *Parné stroje parných rušňov*. Moskva: Tansheldorizdat, 1935.
- [2] ScaleTrainsClub (2009): Parný rušeň radu 9P. [Online]. 2011 [cit. 2022-09-13]. Dostupné na internete: <https://scaletrainsclub.com/board/viewtopic.php?p=69695&sid=36aa4ec8be1cbf77ef9ec7fa4a2ba23e#p69695>.
- [3] INFOGLAZ (2013): *Výbuch parného kotla*. [Online]. 2015 [cit. 2022-09-12]. Dostupné na internete: <http://www.http://infoglaz.ru/?p=84816>.
- [4] WIKIMEDIA. (2001): *Dampfkessel Feuerbüchse*. [Online]. 2006 [cit. 2022-09-12]. Dostupné na internete: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Dampfkes sel_Feuerb%C3%BChse.jpg.
- [5] SYROMIATNIKOV S. P. (1937): *Ústrojenstvo a princíp činnosti parných rušňov a technológia ich opravy*. Moskva: Tansheldorizdat, 1937.
- [6] KIDALINSKII L. P. - KUZIN I. E. (1955): *Parný rušeň radu 9P. Návod pre použitie*. Moskva: Mashgiz, 1955.
- [7] National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” (1998): *Posunovací tendrový rušeň radu 9P*. [Online]. 2021 [cit. 2022-09-13]. Dostupné na internete: <https://kpi.ua/ru/9p>.

Integrovaný systém pre redukciu emisií spalovacích motorov

Pavol Tarbajovský, Ing.

Katedra konštrukčného a dopravného inžinierstva, Strojnícka fakulta,
Technická univerzita v Košiciach,
Letná 9, 042 00 Košice.
E-mail: tarbajovsky.pavol77@gmail.com, Tel.: + 421 55 602 2355

Michal Puškár, doc. Ing., PhD.*

Katedra konštrukčného a dopravného inžinierstva, Strojnícka fakulta,
Technická univerzita v Košiciach,
Letná 9, 042 00 Košice.
E-mail: michal.puskar@tuke.sk, Tel.: + 421 55 602 2360

Integrated system for emissions reduction of combustion engines

Abstract: The emission standards of automobiles are becoming more and more strict, resulting in the creation of new technologies to reduce toxic substances contained in exhaust gases while maintaining the highest possible engine performance. One solution is the cylinder deactivation. This technology shuts down combustion on the required cylinders under suitable conditions, which reduces the emissions that the internal combustion engine produces during its operation. Another technology used for a long time in the automotive industry is the catalytic converter. The catalyst is one of the most important components of the exhaust system, as it removes toxic substances from the exhaust gases and ensures that the car meets emission standards. By combining these two technologies, it is possible to maintain maximum engine performance and emission values that comply with emission standards.

ÚVOD

Jedným zo spôsobov, akým výrobcovia znižujú spotrebu paliva, je zmenšenie objemov motorov, ktoré vyrábajú a ponúkajú v produkčných automobiloch. Objem valca je však možné zmenšiť len do určitej miery a to tak, aby sa zachovala termodynamicky ideálna objemová kapacita 400 až 500 cm³ na valec. V praxi preto znižovanie často vedie k zníženiu počtu valcov [1,2].

„Dočasný downsizing“ vo forme deaktivácie valcov ponúka atraktívny kompromis, pretože umožňuje motoru posunúť svoj prevádzkový režim tak, aby dosiahol špecifické hodnoty spotreby, pre ktoré je dimenzovaný, najmä pri nízkych zaťaženiach a prevádzkových otáčkach. Užívateľ má zároveň stále k dispozícii dostatočný výkon motora, ktorý zabezpečuje rovnakú úroveň dynamiky jazdy a komfort s ohľadom na akustiku a vibračné charakteristiky.

Technológiu deaktivácie valcov je možné integrovať do už existujúcich koncepcií motorov, čo umožní zníženie nákladov na výskum a vývoj.

Katalyzátor ako časť výfukového systému je v súčasných automobiloch nevyhnutou súčasťou, vďaka ktorej sa znižujú emisie vyprodukované vnútorným spaľovaním prebiehajúcim v spaľovacom motore.

3D návrh výfukového systému, špeciálne navrhnutého pre technológiu deaktivácie valcov, ktorý utilizuje klapkový systém obchádzania primárneho katalyzátora po zohriati motora na prevádzkovú teplotu je jedným z možných riešení, ktoré môže byť použité v moderných automobiloch. Návrh je priblížený v texte článku.

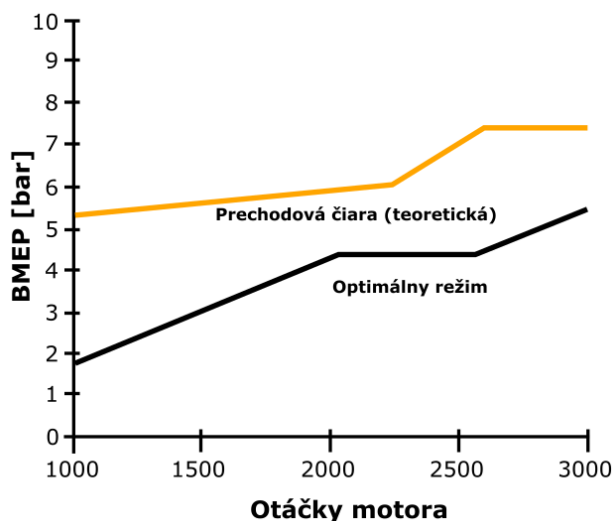
1 TECHNOLÓGIA DEAKTIVÁCIE VALCOV

Najdôslednejšou formou deaktivácie valcov je nielen prerušenie vstrekovania a zapalovania pre príslušné valce, ale aj zastavenie všetkých pohyblivých častí (vrátane piestov). To zase využíva celý dostupný termodynamický potenciál a výrazne znižuje trenie, ktoré vzniká vo vnútri motora [3]. Je samozrejmé, že treba robiť kompromisy, pokiaľ ide o poradie zapalovania a dynamické vyváženie. Čo je však oveľa dôležitejšie, sú náklady potrebné na oddelenie motora do oblasti, ktorá pokračuje v chode, zatiaľ čo druhá oblasť je aktivovaná a deaktivovaná podľa potreby. Ani spojovacie mechanizmy na kľukovom hriadeli a vačkovom hriadeli nie je možné odôvodniť analýzou nákladov a výnosov, a preto implementácia systému v súčasnosti nie je jednoduchá [4]. Takmer všetky v súčasnosti používané systémy deaktivácie valcov prerušujú vstrekovanie a zapalovanie, ako aj sekvencie ovládania ventilov pre valce, ktoré sa majú

deaktivovať. Dnešné aplikácie siahajú od motorov so 4 až 12 valcami. Uskutočnené analýzy však ukazujú, že dočasná deaktivácia jedného z valcov v trojvalcovom motore môže tiež znížiť spotrebu. Aby sa zabezpečilo, že motor naďalej beží dostatočne hladko, deaktivujú sa iba niektoré valce podľa poradia zapalovania.

Ak existuje špecifická požiadavka na výkon, valce, ktoré sú stále v prevádzke po deaktivácii valca, musia vytvárať vyšší stredný tlak. Toto posunutie záťažového bodu vedie k zníženiu strát motora a v konečnom dôsledku pomáha šetriť palivo. Deaktivácia ventilov tiež znižuje straty trením v hlave valcov, čo ďalej minimalizuje spotrebu [5,6].

Potenciál zníženia spotreby, keď je motor prevádzkovaný na dva valce namiesto štyroch, je možné zobrazit' graficky na obrázku č.1. Čierna čiara znázorňuje stredné tlaky, pri ktorých motor pracujúci v dvojvalcovom režime môže dosiahnuť svoj optimálny bod spaľovania (poloha kľukového hriadeľa 8° po hornej úvrati.).



Obr. 1. Porovnanie chodu motora v režime štyroch valcov a dvoch valcov

Keď sa v dvojvalcovom režime zavedú vyššie stredné tlaky, sekvencia zapalovania sa musí spomaliť, aby sa zabránilo klepaniu. Výsledkom je, že spaľovanie už nedosahuje svoju špičkovú účinnosť a spotrebúva sa ďalšie palivo. Otvorenie škrtiacej klapky tomu ešte viac bráni a má pozitívny vplyv na spotrebu vo valcoch s vyšším stredným tlakom. Žltá čiara predstavuje teoretickú prepínavu alebo prechodovú čiaru, pretože prevádzka motora nad týmito hodnotami v dvojvalcovom režime vedie k ďalšej spotrebe paliva.

2 KATALYZÁTOR

V obale tejto výfukovej súčasti sa nachádza komora nazývaná katalyzátor ktorá slúži na zmenu škodlivých zlúčenín z emisií motora na bezpečné plyny, ako je napríklad para. Funkcia spočíva v tom, že rozdeľuje

nebezpečné molekuly v plynch, ktoré produkuje spaľovací motor, skôr ako sa dostanú do ovzdušia.

Katalyzátor (obr.2) je umiestnený na spodnej strane vozidla. Vychádzajú z nej dve rúry. Konvertor využíva tieto dve rúrky a katalyzátor počas procesu zabezpečenia vypúšťania plynov.

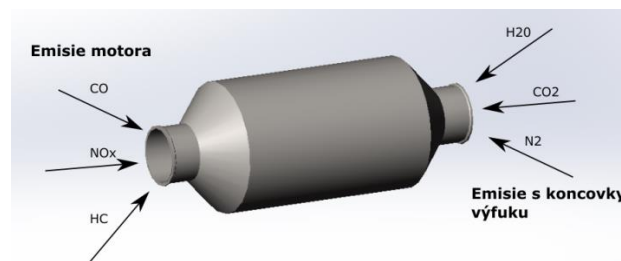
Plyny sa privádzajú zo vstupného potrubia pripojeného k motoru vozidla. Tie sú fúkané cez katalyzátor, čo spôsobuje chemickú reakciu, ktorá rozkladá znečisťujúce látky. Menej škodlivé plyny prechádzajú cez druhé potrubie alebo výstup, ktorý je pripojený k výfuku automobilu.

Katalyzátor vo vnútri katalytického konvertora je typicky vyrobený z platiny alebo podobného kovu, ako je ródium alebo paládium. Plyny prúdia cez keramickú voštinovú štruktúru umiestnenú v obale. Vnútoraná štruktúra je lemovaná kovmi, ktoré majú špecifické úlohy a zohrávajú úlohu pri znižovaní emisií. Existujú dva hlavné typy katalyzátorov, ktoré môžu byť v aute:

Redukčný katalyzátor: Pomáhajú znižovať znečistenie oxidmi dusíka odstránením kyslíka. Oxidy dusíka sa rozkladajú na plynný dusík a kyslík, ktoré sú samy osebe neškodné.

Oxidačné katalyzátory: Používajú sa na zmenu oxidu uhoľnatého na oxid uhličitý prostredníctvom opačného procesu pridávania kyslíka.

V blízkosti katalyzátora sa nachádza aj kyslíkový senzor, ktorý informuje elektronickú riadiacu jednotku o tom, koľko kyslíka sa nachádza vo výfukových plynch. To pomáha vytvorit' efektívnejší pomer vzduch/palivo, čo umožňuje motoru dodávať katalyzátoru dostatok kyslíka na dokončenie oxidačného procesu.



Obr. 2. Katalyzátor

Ďalším delením typu katalyzátorov je dvojcestný a trojcestný:

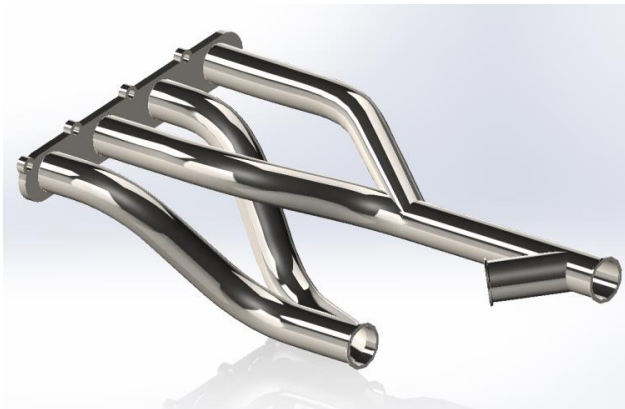
Dvojcestný: Dvojcestný katalyzátor obsahuje iba oxidačné katalyzátory, ktoré pomáhajú meniť oxid uhoľnatý na oxid uhličitý. Uhoľvodíky (čo je nespálené a čiastočne spálené palivo) sa menia na oxid uhličitý a vodu.

Trojcestný: Funguje rovnako ako dvojcestný konvertor s pridaním redukčného katalyzátora. Používa sa na zmenu oxidov dusíka na plynný dusík a kyslík.

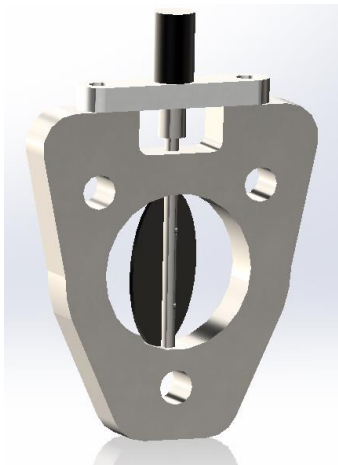
Diesellové motory využívajú dvojcestné katalyzátory a katalyzátory sú tiež špeciálne navrhnuté pre prácu s naftovými výfukovými plynmi. Katalyzátory týchto typov motorov sa zameriavajú na častice známe ako rozpustné organické frakcie. Tie vznikajú z viazaných uhlíkovodíkov a menia sa na sadze.

2.1 Konštrukčný návrh výfukového systému deaktivácie valcov a katalyzátora

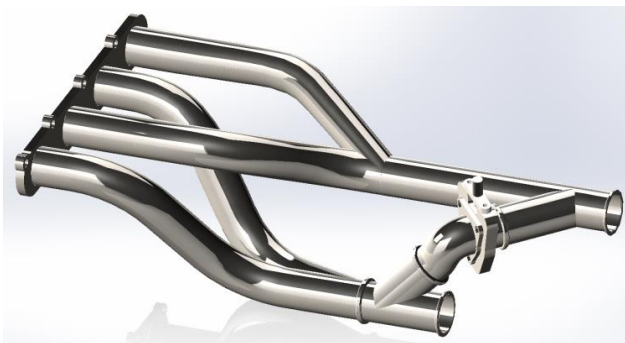
Návrh výfukového systému špeciálne upraveného pre toto konkrétne použitie vychádza zo systémov, ktoré je možné nájsť v už vyrábaných automobiloch. Cieľom výfukového systému je zvýšenie výkonu motora pričom sa zachovávajú požadované emisné normy.



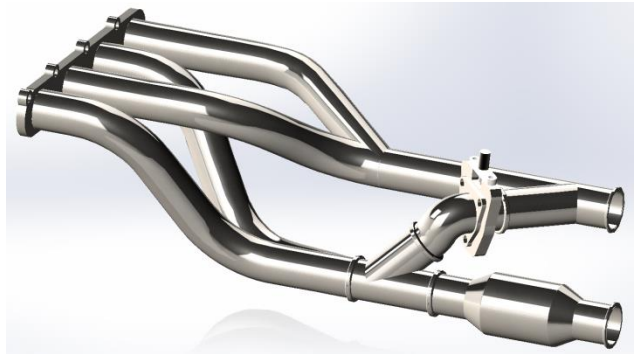
Obr. 3. Návrh výfukových zvodov



Obr. 4. Výfuková klapka



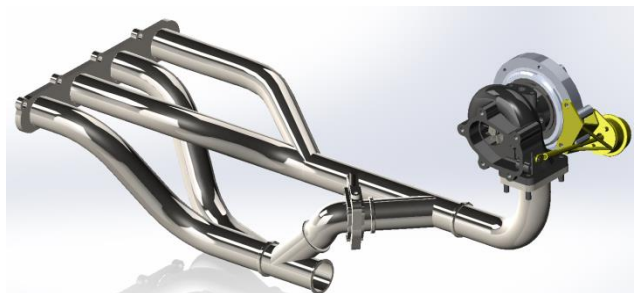
Obr. 5. Výfukové zvody s klapkou



Obr. 6. Výfukový systém s primárnym katalyzátorom



Obr. 7. Výfukový systém s primárnym a hlavným katalyzátorom



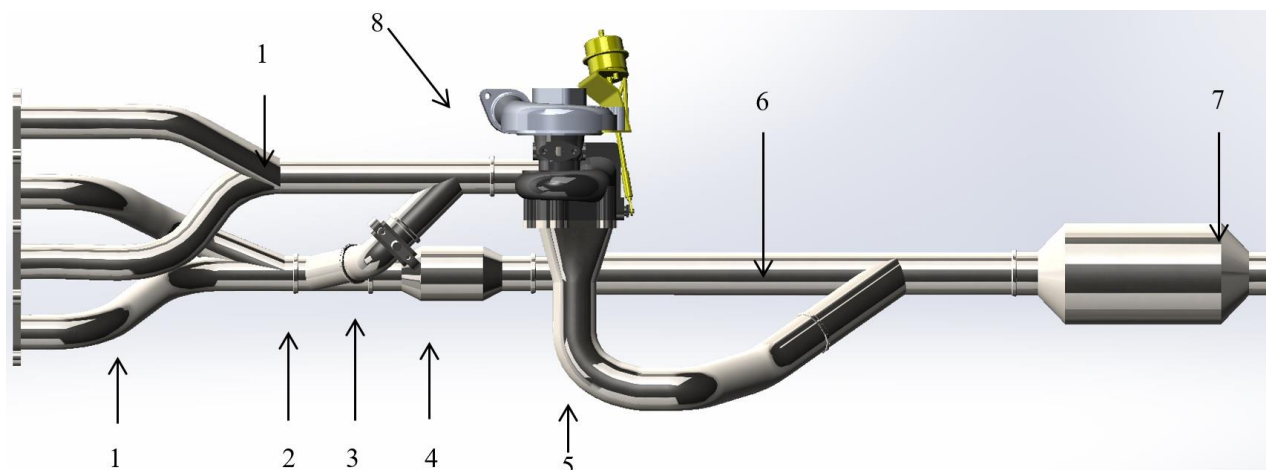
Obr. 8. Výfukový systém s turbodúchadlom



Obr. 9. Celkový návrh výfukového potrubia



Obr. 10. Celkový návrh výfukového potrubia



Obr. 11. Celkový návrh výfukového systému s popisom: 1 - výfukové zvody, 2 - výfuková spojka, 3 - výfuková klapka s výfukovými rúrami, 4 - primárny katalyzátor, 5 - zvod z turbodúchadla, 6 - výfuková rúra s výfukovou spojkou, 7 - hlavný katalyzátor, 8 - turbodúchadlo

Celkový návrh je založený na prevádzke motora s deaktiváciou valcov, pričom valce 1 a 3 operujú nepretržite po štarte motora s možnosťou prepínania motora (prechod výfukových plynov cez turbodúchadlo) a valce 2 a 4 pracujú ak je potrebný vyšší výkon (stály prechod výfukových plynov cez turbodúchadlo) ako napríklad pri predchádzaní alebo pri jazde do kopca.

Navrhnutý výfukový systém pozostáva z viacerých prvkov. Ako prvé boli navrhnuté výfukové zvody, ktoré spájajú valce s opačnými pracovnými cyklami, inak by činnosť motora nebola možná, respektíve výrazne sťažená.

Obrázok 3 zobrazuje navrhnuté výfukové zvody pre motor, ktorého 1 a 3 valec fungujú v opačných cykloch spaľovania ako aj valce 2 a 4.

Návrh zahŕňa klapkový systém, ktorého funkcia spočíva v odklonení výfukových plynov z potrubia vedúceho k turbodúchadlu počas doby kým motor nenadobudne prevádzkovú teplotu spolu so sekundárnym katalyzátorom.

Výfuková klapka, ktorá slúži na smerovanie výfukových plynov je zobrazená na obrázku č.4. Táto klapka slúži na rozdeľovanie výfukových plynov medzi dvoma potrubiami výfukového systému, pričom jedno potrubie vedie výfukové plyny cez turbodúchadlo do sekundárneho katalyzátora a druhé ho obchádza a vedie cez primárny katalyzátor do sekundárneho katalyzátora. Výfukové zvody spolu s výfukovou klapkou sú zobrazené na obr. 5.

Výfukové potrubie valcov 1 a 3 môže viesť výfukové plyny cez otvorenú klapku do turbodúchadla alebo pri zatvorenej klapke cez primárny katalyzátor ako bolo spomínané vyššie v článku. Pri teplote motora inej ako prevádzková je výfuková klapka zatvorená z dôvodu vyšších emisií, ktoré sú motorom produkované pri jeho operácii a z toho dôvodu prúdia plyny cez primárny katalyzátor, kde sa čiastočne

zbavujú toxických látok. Primárny katalyzátor je spolu s potrubím zobrazený na obr. 6.

Výfukové plyny, čiastočne zbavené toxických látok, prúdia do hlavného katalyzátora, ktorý nahrievajú, čím zvyšujú jeho účinnosť, a následne zbavené toxických látok postupujú do zvyšných častí výfukového systému. Funkcia plynov nahrievať hlavný katalyzátor je veľmi dôležitá, keďže pri aktivácii zvyšných valcov toxické plyny prúdia priamo cez turbodúchadlo, pričom sa nezbavia nechcených látok, ktoré však musia byť odstránené kvôli emisným normám. Hlavný katalyzátor zohriaty na operačnú teplotu následne zbavuje výfukové plyny toxických látok prúdiacich z turbodúchadla, ale aj z primárneho katalyzátora (obr. 7).

Valce 2 a 4 sa spájajú do druhého potrubia, ktoré usmerňuje prúdenie výfukových plynov do turbodúchadla, ktoré zvyšuje výkon motora stláčaním nasávaného vzduchu. Výfukové potrubie valcov 2 a 4 je zobrazené na obrázku č. 8.

Výfukové plyny sa z turbodúchadla spájajú s aj plynmi z primárneho katalyzátora a následne prúdia do hlavného katalyzátora, kde sa zbavujú toxických látok.

Obrázky 9, 10 a 11 znázorňujú celkový návrh klapkového výfukového systému pre spaľovací motor s deaktiváciou valcov.

ZÁVER

Cieľom tohto článku bol návrh výfukového systému pre aplikáciu v motore so systémom deaktivácie valcov. Technické riešenie bolo založené na informáciách a poznatkoch z reálnych automobilov dostupných na automobilov trhu.

Návrh spočíval z vytvorenia dôležitých komponentov výfukového systému, ktoré sú podstatné na správne odvádzanie výfukových plynov a odstraňovanie toxických látok týchto plynov.

Vytvorený výfukový systém bol navrhnutý pre optimalizáciu výkonu vozidla v podmienkach, kedy je potrebný maximálny výkon motora a v podmienkach kedy postačuje minimálny výkon s dôrazom na zachovanie emisných štandardov, ktoré sú vyžadované jednotlivými štátmi.

Ďalším skúmaním a simuláciami v simulačných 3D programoch je možné optimalizovať tvar a odstrániť chyby, ktoré sa v tomto návrhu môžu nachádzať.

Pod'akovanie

Táto práca bola podporená Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-19-0328.

Príspevok vznikol s podporou projektov: VEGA 1/0318/21 „Výskum a vývoj inovácií pre efektívnejšie využitie obnoviteľných zdrojov energie a znižovanie uhlíkovej stopy vozidiel.“ a KEGA 006TUKE-4/2020 „Implementácia poznatkov z výskumu zameraného na redukciiu emisií motorových vozidiel do edukačného procesu.“

LITERATÚRA

[1] LI, Y. - JIA, M. - CHANG, Y. - FAN, W. - XIE, M. - WANG, T. (2015): *Evaluation of the necessity of*

exhaust gas recirculation employment for a methanol/diesel reactivity controlled compression ignition engine operated at medium loads. In: Energy Conversion and Management, Vol. 101, s. 40-51.

[2] VEDHARAJ, S. - VALLINAYAGAM, R. - YANG, W. - CHOU, S. - CHUA, K. - LEE, P. (2013): *Experimental investigation of kapok (Ceiba pentandra) oil biodiesel as an alternate fuel for diesel engine.* In: Energy Conversion and Management, Vol. 75, s. 773-779.

[3] YANG, B. - WANG, L. - NING, L. - ZENG, K. (2016): *Effects of pilot injection timing on the combustion noise and particle emissions of a diesel/natural gas dual-fuel engine at low load.* In: Applied Thermal Engineering, Vol. 102, s. 822-828.

[4] LAMAS, M. - RODRIGUEZ, C. (2019): *NO_x Reduction in Diesel-Hydrogen Engines Using Different Strategies of Ammonia Injection.* In: Energies, Vol. 12, no. 7, s. 1255.

[6] WU, Y. - REITZ, R. (2015): *Effects of Exhaust Gas Recirculation and Boost Pressure on Reactivity Controlled Compression Ignition Engine at High Load Operating Conditions.* In: Journal of Energy Resources Technology, Vol. 137, no. 3.

Technical preparation of production

Marta Kasajová, Ing., PhD.

Katedra priemyselného inžinierstva, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina, Slovak Republic.
E-mail: marta.kasajova@fstroj.uniza.sk, Tel.: +421 41 513 2707

Peter Bubeník, doc. Ing., PhD.

Katedra priemyselného inžinierstva, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina, Slovak Republic.
E-mail: peter.bubenik@fstroj.uniza.sk, Tel.: +421 41 513 2719

Miroslav Rakyta, doc. Ing., PhD.

Katedra priemyselného inžinierstva, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina, Slovak Republic.
E-mail: miroslav.rakyta@fstroj.uniza.sk, Tel.: +421 41 513 2737

Vladimíra Biňasová, Ing., PhD., DiS.*

Katedra priemyselného inžinierstva, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina, Slovak Republic.
E-mail: vladimira.binasova@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2727

Katarína Štaffenová, Ing.

Katedra priemyselného inžinierstva, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina, Slovak Republic.
E-mail: katarina.staffenova@fstroj.uniza.sk, Tel.: +421 41 513 2740

Technical preparation of production

Abstract: This article focuses on the technical preparation of production, its main parts: preparation of production design, technological preparation of production, production project preparation and implementation. The article describes the development direction of technical preparation of production, *SYSKLASS* as an information system of the new generation. This system aims to preserve and promote the development of technical documentation.

INTRODUCTION

The growth rate of industrial production and the level of efficiency is determined primarily in product development. Objectives in the development of new products and technological processes, the rational course of preparation of production and labor force quick results in the production and marketing of products always determined by the requirements of the overall intensification of production processes. This means that on the one hand, it is necessary to reduce production and consumption on the other hand increase the efficiency of human labor at all stages of the reproductive process in compliance with the objective trend of higher product quality and performance.

2 TECHNICAL PREPARATION OF PRODUCTION

Summary of technical, technological, organizational and technical-economic activities necessary for the timely initiation and completion of production, its good organization and high technical level with favorable economic results form the technical preparation of production. We may conclude that it is a set of activities based with customer requirements, coordination processes to process design, technology and design and documentation of material and technical equipment of the production process for the implementation of production tasks (Fig. 1).

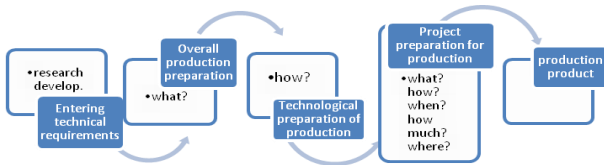


Fig. 1. Model TPP

2.1 Overall production preparation

Overall production preparation [1-3] implements the creation of design documentation within the prescribed deadlines in accordance with production plans. It is actually a series of works aimed at the construction of new or upgrading existing products with respect to functional excellence, commitment in patent, design simplicity and operational efficiency.

2.2 Technological preparation of production

Technological preparation of production technology [4-6] ensures complete documentation and means of technological equipment. The flexibility of the organizational structure of technological preparation of production (*TgPP*) allows a rapid transition to address new challenges and rationalization of processing information. *TgPP* is therefore a set of activities aimed at the production of documentation and processing documents for material equipment and tools preparations (Fig. 2).

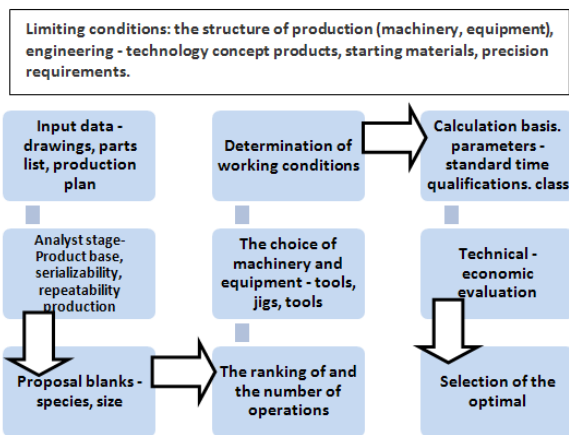


Fig. 2. Framework scheme TgPP

2.3 Project preparation for production

The project activity is aggregated set of information in the form of classical technical documentation, and recently the numerical entries stored inside information systems. The aim of the processing of information is the suggestion of production activities to ensure that all work associated with converting materials and semi-finished products to finished product. Design of optimal production process and the algorithms for the substance needs to take account of the production process and:

1. Identify the source, volume, quality and method of processing input information.

2. Describe the activities determined in the design of the production process, that is to define input and output variables, functional links subsystems and their structure.
3. Formulate criteria for optimal production process.
4. Project activities under way in the design of technological information processing can be divided into three stages:
 - a) study-analysis - projects focusing on assembly, recording and analysis of input,
 - b) design - at this stage of the study process information-analytical phase by the same algorithm. Under the algorithm means a logical sequence of operations set of instructions, rules, under which the work piece assigned variants of operations, processes and solutions,
 - c) optimization - the result of the design phase is a set of variants to choose from which is the most convenient.

2.4 Material production preparation

Material management company ensures acquisition of material inputs for business activity, thus:

- ensure work equipment,
- addresses the material and technical support for the production (*MTS*) and material handling.

2.5 Implementation

The process of realizing the objectives of the business entity goes through phases: research and development, production preparation, actual production and subsequent assembly, which in engineering includes all activities which combine all manufacturing finished parts in a fixed order to make the product so that it has all the required behavior.

The production phase is decisive contribution to the success of enterprise and becomes a strategic weapon in the hands of corporate management. The success of the production process decides rational way of organizing its management

3 TRENDS TPP

The answer to the efforts to achieve maximum productivity, maximum utilization of available resources, efficient use of production processes with view to saving material, energy and labor in the process of finalizing the products are new insights into the development and direction of *TPP*:

- preferred method of team work organization and *TPP*,
- use many methods and techniques from the field of systems engineering (project management, value engineering, simulation), quality assurance (*FMEA*, *QFD*,

- strong computer support - Systems CAD, CAE, CAPP, simulation capabilities, which are used block technology,
- group technology is a method of classifying the parts into groups, and components within a group produced in a similar way, that is technologically similar operations and a similar sequence of operations. This method is based concept of product development, and the actual production, at which the individual items are made up from the similarity of certain selected technology of characteristics in each group. Production of parts is often carried out by already drawn up and validated technological processes. This fact is used in computer systems to support the creation of technological processes (Technology Group based CAPP system), which represents **SYSKLASS**[®] (Fig. 3) as a comprehensive system for the technical preparation of production.

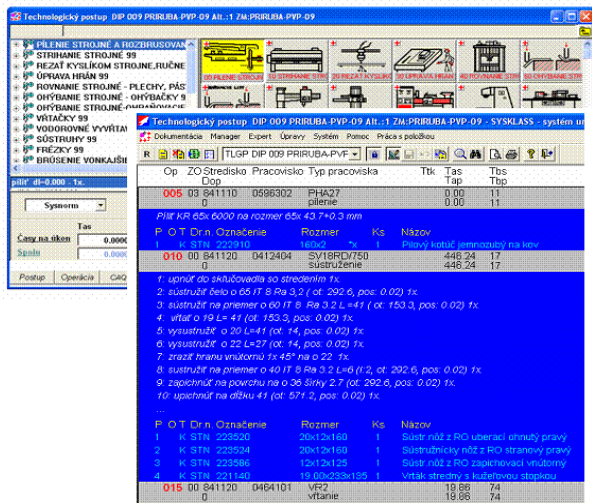


Fig. 3. SW Sysklass

SYSKLASS[®] system is used for automated documentation creation of technical preparation of production and concept of CAD/CAM (Fig. 3) integrates performance systems efficient management of business know-how. TPV processing large information systems seems to be insufficient for demanding profession technologists and engineers and their requirements for specialized information system. system solution is **SYSKLASS**[®]. **SYSKLASS**[®] system [7-8] ensures high comfort radically improve the profitability of new products and production contracts and increase the flexibility and speed of implementation. The biggest advantage of **SYSKLASS**[®] is a high comfort, productivity and profit, which **SYSKLASS**[®] brings users. This allows the original security method selected business activities, from marketing analysis, through the optimization of design and technological preparation of production, automated production of material and performance standards, bills of materials, production

technologies, tools, change management, operational capacity calculations, creating material and performance standards, to strong management support at all levels with the information and evaluation system.

System at each level offers next convenient type or in the form of a unified solution of:

- design drawings,
- determination work piece blank,
- production technology (Fig. 4),
- documentation of plant and tools.

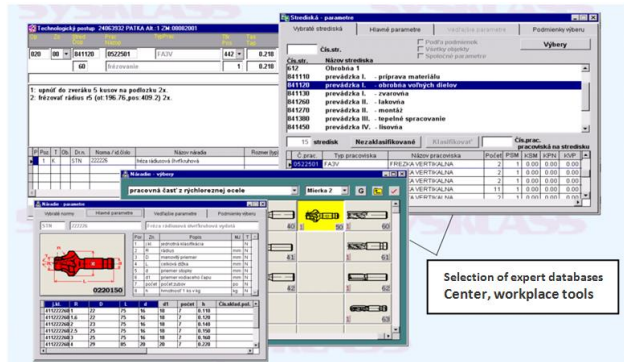


Fig. 4. Determination of production technology

The most important aim of the system is **SYSKLASS**[®] management and the creation of technical documentation, which is the basis for planning and record production. The main part of the technical documentation includes:

- design documentation - items, parts lists, drawings and other documents (regulations, standards, etc.),
- technological documentation - technological processes, operations, equipment requirements, location, people, tools, standards and time consumption of materials and other supporting documentation (regulations, protocols, quality, etc..).

Modules for processing technical documents are suitable for processing technical documents from simple types to precise and detailed production of high-tech products. Provide opportunities for rapid creation of documents defined and allow the administration in one place so that it is currently available and usable for modern production planning and scheduling. One of its benefits is that it allows variability to provide sufficient opportunities for production planning under the current terms of business, which in today's dynamically changing environment is one of the preconditions for its smooth functioning.

Acknowledgment

This work was supported by the Scientific Grant Agency - project VEGA 1/0248/21."

This work was supported by the Scientific Grant Agency - project VEGA 1/0524/22.

LITERATÚRA

- [1] GREGOR, M. - MEDVECKÝ, Š. - ŠTEFÁNIK, A. (2017): *3D digitalizácia a modelovanie veľkých objektov*. In: ProIN. ISSN 1339-2271.
- [2] FUSKO, M. - GABAJOVÁ, G. - FURMANNOVÁ, B. (2020): *Digitalizácia v továrni*. Žilinská univerzita v Žiline, Žilina.
- [3] ANTONIUK, I. - SVITEK, R. - KRAJČOVIČ, M. - FURMANNOVÁ, B. (2021): *Methodology of design and optimization of internal logistics in the concept of Industry 4.0*. In: 14th International scientific conference on sustainable, modern and safe transport (Transcom), Virtual conference 26th May-28th May, Slovakia, Transportation Research Procedia, 55, 503-509.
- [4] MATYS, M. - KRAJČOVIČ, M. - GABAJOVÁ, G. - FURMANNOVÁ, B. - BURGANOVA, N. (2020): *Methodology of creating a virtual environment using the unity 3D game engine*. In: Zborník TIABP, Trendy a inovatívne prístupy v podnikových procesoch, roč. 23, Proceedings of the XXIII. International Scientific Conference, The area of the Herlany historical spa October 12th-13th, Košice.
- [5] SLAMKOVÁ, E. - STACH, F. (1987): *Designing manufacturing processes (user training)*. Alfa, Bratislava.
- [6] BUBENIK, P. et al. (2022): *Impact of Strategy Change on Business Process Management*. In: Sustainability, 14.17: 11112.
- [7] MICIETA, B., et al. (2021): *Innovative System for Scheduling Production Using a Combination of Parametric Simulation Models*. In: Sustainability 13.17, 9518.
- [8] BUČKOVÁ, M. - GAŠO, M. - PEKARČÍKOVÁ, M. (2020): *Reverse logistic*. In: InvEnt: Industrial Engineering – Invention for enterprise [electronic] : proceedings. – 1. vyd. – Bielsko-Biała: Wydawnictwo Akademii Techniczno-Humanistycznej. ISBN 978-83-66249-48-6, s. 36-39, [online]. Spôsob prístupu: <https://www.priemyselneinzierstvo.sk/wpcontent/uploads/2020/10/InvEnt-2020-Proceedings-web.pdf>.

О выборе мощности двигателя автомобиля на этапе проектирования

Михаил Абович Подригало, д.т.н., проф.

Кафедра технологии машиностроения и ремонта машин, Автомобильный факультет, Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, ул. Ярослава Мудрого 25, 610 02 Харьков, Украина.
E-mail: pmikhab@gmail.com, Тел.: +38 050 301 1658

Александр Петрович Кравченко, д.т.н., проф.

Кафедра автомобилей и транспортных технологий, Факультет компьютерно-интегрированных технологий, мехатроники и робототехники, Государственный университет «Житомирская политехника», ул. Чудновская 103, 100 05 Житомир, Украина.
E-mail: avtoap@ukr.net, Тел.: +38 050 91 38 228

Юрай Герлици, к.т.н., проф.

Кафедра транспорта и подъёмно-транспортных машин, Машиностроительный факультет, Жилинский университет в Жилине, ул. Универзитна 8215/1, 010 26 Жилина, Словацкая республика.
E-mail: juraj.gerlici@fstroj.uniza.sk, Тел.: +421 41 513 2550

Виталий Сергеевич Шеин, к.т.н., доц.

Кафедра технологии машиностроения и ремонта машин, Автомобильный факультет, Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, ул. Ярослава Мудрого 25, 610 02 Харьков, Украина.
E-mail: sheinvitalis@gmail.com, Тел.: +38 095 187 1223

Александр Сергеевич Ткаченко

Кафедра технологии машиностроения и ремонта машин, Автомобильный факультет, Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, ул. Ярослава Мудрого 25, 610 02 Харьков, Украина.
E-mail: coloneltos@gmail.com, Тел.: +38 067 575 5549

Екатерина Александровна Кравченко, к.т.н., доц.*

Кафедра транспорта и подъёмно-транспортных машин, Машиностроительный факультет, Жилинский университет в Жилине, ул. Универзитна 8215/1, 010 26 Жилина, Словацкая республика.
E-mail: kkatherina@ukr.net, Тел.: +421 41 513 2660

On the choice of car engine power at the design stage

Abstract: Taking into account the latest achievements in assessing the aerodynamic resistance to vehicle movement, a new method and methodology for choosing the maximum effective engine power at the design stage are proposed. It has been established that when driving a car with a full weight at maximum speed, a significantly lower value of the specified power is required than previously thought. The results obtained make it possible to ensure the implementation of the required accelerations in urban traffic and reduce the maximum effective power by 23% to 50%.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из направлений уменьшения расхода топлива является рациональное снижение максимальной мощности двигателя на этапе проектирования автомобиля.

Поскольку энергоэффективность автомобилей определяется их аэродинамическими

характеристиками, то совершенствование и уточнение расчёта последних, должно сопровождаться изменением методов и методик выбора мощности двигателя на этапе проектирования.

С использованием усовершенствованных аэродинамических характеристик, предложен

новый метод расчёта максимальной мощности двигателя на этапе проектирования автомобиля. Использование предлагаемого метода позволяет снизить на 20 ÷ 50 % мощность двигателя, а, следовательно, и расход топлива.

1 АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ДОСТИЖЕНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Традиционная методика выбора мощности двигателя основана на определении сопротивления движению автомобиля на максимальной скорости и требуемых затрат мощности на разгон автомобиля с места до скорости $V_a = 100$ км/ч при заданном времени разгона t_p [1, 2].

При расчёте по максимальной скорости $V_{a\max}$: максимальная мощность двигателя определяется по формуле:

$$N_{e\max} = \frac{N_{fv} + N_{W\max}}{\lambda_{Nv} \cdot \eta_{mp}^{MCH}} = \frac{f_v \cdot m_{II} V_{a\max} + \frac{C_x}{2} \rho F V_{a\max}^3}{\lambda_{Nv} \cdot \eta_{mp}^{MCH}}, \quad (1)$$

где N_{fv} – мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления качению колёс на максимальной скорости $V_{a\max}$:

$$N_{fv} = f_v \cdot m_{II} \cdot g \cdot V_{a\max}, \quad (2)$$

где f_v – коэффициент сопротивления качению колёс при максимальной скорости $V_{a\max}$;

m_{II} – полная масса автомобиля, кг,

g – ускорение свободного падения, $g = 9,81$ м/с²,

$N_{W\max}$ – мощность, затрачиваемая на преодоление аэродинамического сопротивления при максимальной скорости автомобиля, кВт:

$$N_{W\max} = \frac{C_x}{2} \rho \cdot F \cdot V_{a\max}^3, \quad (3)$$

где C_x – коэффициент лобового аэродинамического сопротивления автомобиля,

ρ – плотность воздуха; при нормальных условиях, $\rho = 1,225$ кг/м³,

F – лобовая площадь (мидель) автомобиля, м²,

η_{mp}^{MCH} – мгновенный КПД трансмиссии,

λ_{Nv} – отношение угловой скорости вала двигателя λ_{ev} при максимальной скорости $V_{a\max}$ - автомобиля к угловой скорости коленчатого вала при максимальной мощности $N_{e\max}$.

Для расчёта силы аэродинамического сопротивления используется традиционно формула [3, 4]:

$$P_w = \frac{C_x}{2} \rho \cdot F \cdot V_a^2, \quad (4)$$

где V_a – скорость движения автомобиля, м/с.

Указанная формула была предложена на заре автомобилестроения [5]. Авторы рекомендовали коэффициент C_x принимать для расчёта в зависимости от величины текущей скорости V_a . Однако, впоследствии, про эту рекомендацию забыли, принимая $C_x = const$ во всём диапазоне скоростей движения автомобилей. Последнее обстоятельство повлекло за собой определение более высокого (по сравнению с действительным) значения расчётной силы аэродинамического сопротивления на максимальных скоростях и заниженного значения – на малых. В работе [6] по результатам экспериментальных исследований, определено, что коэффициент лобового аэродинамического сопротивления зависит от скорости автомобиля по гиперболическому закону

$$C_x = \frac{A_w}{V_a^n}, \quad (5)$$

где A_w – коэффициент регрессии, соответствующий значению коэффициента C_x лобового аэродинамического сопротивления при $V_a = 1$ м/с,

n – показатель степени.

Коэффициент регрессии A_w имеет размерность [(с/м)ⁿ]. Уравнение (1) с учётом зависимости (5) примет вид:

$$P_w = \frac{A_w}{2} V_a^{2-n}. \quad (6)$$

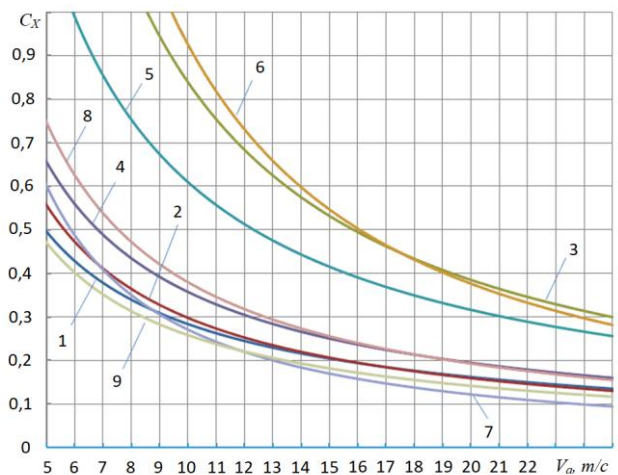


Рис. 1. Зависимость $C_x(V_a)$ для легковых автомобилей [7]: 1 – *Daewoo Lanos*; 2 – *Toyota Corolla E110*; 3 – *VAZ-2115*; 4 – *VAZ-2110*; 5 – *VAZ-2121*; 6 – *VAZ-2111*; 7 – *VAZ-21103 «Славута»*; 8 – *VAZ-2170 «Приора»*; 9 – *VAZ-2109*

На Рис. 1 приведены зависимости (5) для девяти легковых автомобилей, построенные по результатам исследований, представленным в работах [6, 7]. Из графиков видно, что значения

параметров A_w и n (см. Табл. 1 [7]) оказывают существенное влияние на характер протекания зависимостей $C_x(V_a)$. Для рассматриваемых автомобилей [7] параметр A_w изменяется в пределах от 1,822 до 11,41, а показатель степени n – в пределах от 0,808 до 1,299.

Однако, следует не забывать, что значение максимальной эффективной мощности двигателя определяет также показатели динамичности автомобиля, характеризующиеся максимальными ускорениями при движении в условиях напряженного городского транспортного потока.

Табл. 1. Значения параметров A_w и n для легковых автомобилей [7]

Модель автомобиля	A_w	Показатель степени n	$F, \text{ м}^2$
ВАЗ-2170	3,60484	0,977252	1,929
ВАЗ-2110	2,697116	0,877632	1,931
ВАЗ-2111	11,41	1,298592	1,962
ВАЗ-2115	8,000009	1,124172	1,874
ВАЗ-2121	5,401333	0,947272	2,204
ЗАЗ-1103	3,837434	1,151153	1,753
Toyota Corolla	2,385834	0,903548	1,953
Daewoo Lanos	1,822555	0,808	1,922
ВАЗ-2107	1,897	0,866	1,885

Табл. 2. Параметры усеченного нормального распределения величины ускорения автомобиля [6]

Модель автомобиля	Критерий Пирсона	Среднее квадратичное отклонение	Математическое ожидание	Закон распределения ускорений автомобиля
ВАЗ-2105	16,9	0,7	0,23	$f(\dot{V}_a) = 50,5 \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot 0,7} \cdot e^{-\frac{(x-0,23)^2}{20,7^2}}$
ВАЗ-2108	26,5	0,61	0,41	$f(\dot{V}_a) = 49,5 \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot 0,61} \cdot e^{-\frac{(x-0,41)^2}{20,61^2}}$
ЗАЗ-1103	23,3	0,57	0,58	$f(\dot{V}_a) = 60 \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot 0,57} \cdot e^{-\frac{(x-0,58)^2}{20,57^2}}$
ВАЗ-2121	47,6	0,6	0,42	$f(\dot{V}_a) = 49,5 \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot 0,6} \cdot e^{-\frac{(x-0,42)^2}{20,6^2}}$
Москвич-412	12,7	0,61	0,6	$f(\dot{V}_a) = 65,3 \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot 0,61} \cdot e^{-\frac{(x-0,6)^2}{20,61^2}}$
Mitsubishi Lancer 10	11,9	0,56	0,18	$f(\dot{V}_a) = 48,5 \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot 0,56} \cdot e^{-\frac{(x-0,18)^2}{20,56^2}}$

В работе [8] показано, что значения параметров A_w и n оказывают существенное влияние на приспособленность легковых автомобилей по аэродинамическим характеристикам к повышению мощности двигателя при модернизации.

Очевидно, что уменьшение (по сравнению с используемым расчётным) значения коэффициента C_x на максимальной скорости должно повлечь за собой уменьшение расчётного значения мощности аэродинамического сопротивления на указанной скорости. А это, в соответствии с выражением (1) – уменьшение расчётного значения максимальной эффективной мощности двигателя.

В работах [8, 9] проведено исследование динамики легковых автомобилей в различных условиях движения. Определено [6, 8, 9], что распределение линейных ускорений \dot{V}_a и удельных мощностей $V_a \cdot \dot{V}_a$, затрачиваемых на разгон автомобиля в городских условиях, подчиняются усеченному нормальному закону. В таблице 2 приведены параметры нормального распределения линейных ускорений автомобилей \dot{V}_a , полученных в работах [6, 8, 9].

Анализ параметров усеченного нормального распределения величины линейных ускорений шести моделей легковых автомобилей (Табл. 2, Рис. 2) показал [6, 10], что указанные параметры незначительно отличаются друг от друга. Это

Табл. 3. Расчёт требуемой максимальной эффективной мощности двигателя по условию движения автомобилей с максимальной скоростью

Модель автомобиля	$N_{e\max}$ [кВт]	$V_{a\max}$ [км/ч]	$m\pi$ [кг]	$N'_{e\max}$ [кВт]
Daewoo Lanos	63,000	172	1595	20,097
Toyota Corolla	80,882	195	1625	24,036
ВАЗ-2110	69,118	185	1525	26,645
ВАЗ-2115	58,823	165	1450	23,431
ВАЗ-2121	53,700	132	1550	23,151
ЗАЗ-1103 «Славута»	43,000	147	1190	7,659
ВАЗ-2111	66,176	175	1530	19,845
ВАЗ-2170 «Приора»	72,059	183	1578	23,505
ВАЗ-2107	71,000	145	1430	11,387

* – при расчётах по формуле (9) принято: $\eta_{гп}^{мгн} = \eta_{к}^{мгн} = \lambda_{Nv} = 0,8$.

Табл. 4. Расчёт параметров $N'_{e\max}$, $N''_{e\max}$ для рассматриваемых моделей легковых автомобилей

Модель автомобиля	$N_{e\max}$ [кВт]	$N'_{e\max}$ [кВт]	$N''_{e\max}$ [кВт]	$N'''_{e\max}$ [кВт]	$(N_{e\max})_p$ [кВт]	$\frac{'''N_e}{N_e}$ [%]
Daewoo Lanos	63,000	20,097	18,372	40,752	40,752	35,3
Toyota Corolla	80,882	24,036	18,721	41,522	41,522	48,7
ВАЗ-2110	69,118	26,645	17,923	39,321	39,321	43,1
ВАЗ-2115	58,823	23,431	17,885	38,230	38,230	35,0
ВАЗ-2121	53,700	23,151	19,637	41,385	41,385	22,9
ЗАЗ-1103	43,000	7,659	13,714	30,411	30,411	29,3
ВАЗ-2111	66,176	19,845	18,657	40,036	40,036	39,5
ВАЗ-2170	72,059	23,505	18,518	40,659	40,659	43,6
ВАЗ-2107	71,000	11,387	16,488	36,623	36,623	48,4

позволило [6, 10] предложить усечённый нормальный закон распределения с усредненными параметрами, имеющий вид:

$$f(x) = \frac{55}{\sqrt{2\pi} \cdot 0,618} \cdot \exp\left[-\frac{(x-0,448)^2}{2 \cdot 0,618^2}\right]. \quad (7)$$

В работах [6, 10] также определено, что удельная мощность $V_a \cdot \dot{V}_a$, затрачиваемая на разгон автомобиля, также подчиняется усредненному усеченному нормальному закону распределения

$$f[\dot{V}_a \cdot V_a] = \frac{490}{\sqrt{2\pi} \cdot 8,98} \exp\left[-\frac{(\dot{V}_a \cdot V_a - 6,84)^2}{2 \cdot 8,98^2}\right]. \quad (8)$$

В работах [6, 10] предлагается осуществлять выбор максимальной эффективной мощности двигателя при проектировании автомобилей по двум следующим условиям:

- по возможности реализации заданной максимальной конструктивной скорости при установившемся движении автомобиля,

- по возможности реализации максимальных линейных ускорений при движении автомобиля в городском транспортном потоке.

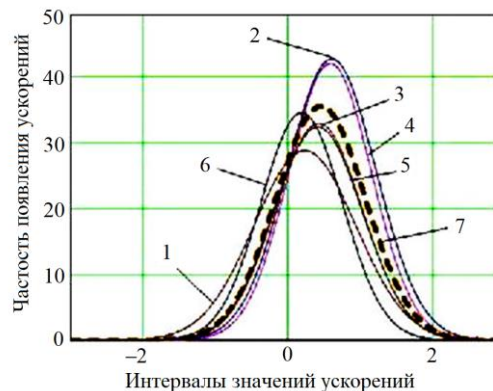


Рис. 2. Законы нормального распределения ускорений автомобилей при движении в городском режиме: 1 – ВАЗ-2105; 2 – «Москвич-412»; 3 – ВАЗ-2121; 4 – ЗАЗ-1103; 5 – ВАЗ-2108; 6 – Mitsubishi Lancer 10; 7 – универсальный (усредненный) закон распределения

Таким образом, возникла необходимость разработки метода и методики рационального

выбора максимальной эффективной мощности двигателя на этапе проектирования автомобиля с учётом уточнённого определения аэродинамического сопротивления.

2 ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью исследования является повышение энергоэффективности автомобилей совершенствованием на этапе проектирования метода выбора максимальной эффективной мощности двигателя.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- разработать метод и методику рационального выбора максимальной эффективной мощности двигателя на этапе проектирования автомобилей,
- уточнить методику оценки энергоэффективности автомобилей на основе усовершенствованной модели аэродинамического сопротивления движению.

3 МЕТОД РАЦИОНАЛЬНОГО ВЫБОРА МАКСИМАЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОЙ МОЩНОСТИ ДВИГАТЕЛЯ

Авторы исследования [11] предложили учитывать потери энергии на преодоление сопротивление качению колёс, как внутренние потери в механизме ходовой части автомобиля. Такое предложение было обосновано тем, что дорога является одним из звеньев четырёхзвенного механизма.

В этом случае, выражение для определения требуемой максимальной эффективной мощностью двигателя при уточнённом расчёте силы аэродинамического сопротивления примет вид:

$$N_{e \max} = \frac{A_w}{2} \rho \cdot F \cdot V_{a \max}^{3-n} / (\eta_{mp}^{мгн} \cdot \eta_k^{мгн} \cdot \lambda_{Nv}), \quad (9)$$

где $\eta_{mp}^{мгн}$ – мгновенный КПД колёсного движителя; в данном случае:

$$\eta_k^{мгн} = 1 - N'_{fv} / N'_{k \max}, \quad (10)$$

где $N'_{k \max}$ – максимальная мощность двигателя, приведенная к ведущим колёсам (максимальная мощность на колёсах):

$$N'_{k \max} = N'_{e \max} \cdot \eta_{mp}^{мгн}. \quad (11)$$

В таблице 3 предоставлены результаты расчёта требуемой максимальной эффективной мощности двигателя, рассчитанной по

предлагаемой формуле (9) для девяти моделей автомобилей из Таблицы 1.

Анализ результатов, представленных в Таблице 3, показывает, что для движения рассмотренных автомобилей с максимальной скоростью реализуемая эффективная мощность двигателя намного меньше, чем максимальная эффективная мощность установленного двигателя. Отсюда напрашивается вывод о том, что максимальная скорость автомобиля определяется не его равновесным состоянием на этой скорости, а максимальной угловой скоростью коленчатого вала двигателя. После установки на легковые автомобили ограничителей максимальной угловой скорости коленчатого вала на это вообще никто не обращает внимание. В работе [7] впервые было обращено внимание на это обстоятельство. Определено, что при уменьшении передаточного числа трансмиссии на высшей передаче автомобиль ЗАЗ-1103 «Славута» может разогнаться до скорости, превышающей $V_{a \max} = 300$ км/ч. Очевидно, что запас мощности двигателя необходим для обеспечения требуемой динамики автомобилей в наиболее напряженном режиме движения в городском транспортном потоке. Для этого случая предложено осуществлять выбор максимальной эффективной мощности двигателя для указанного наиболее напряженного режима движения. Уравнение мощностного баланса автомобиля в этом случае будет иметь вид:

$$N_{e \max}^* = \frac{A_w}{2} \rho \cdot F \cdot V_{ap}^{3-n} + m_{п} (V_a \dot{V}_a)_p / (\eta_{mp}^{мгн} \cdot \eta_k^{мгн} \cdot \lambda_{Np}), \quad (12)$$

где V_{ap} – расчётная скорость движения автомобиля в городских условиях, км/ч;

$(V_a \dot{V}_a)_p$ – расчётное значение удельной мощности, затрачиваемой на разгон автомобиля в городских условиях;

λ_{Np} – отношение эффективной мощности двигателя, затрачиваемой на движение в городских условиях к максимальной эффективной мощности.

В работах [6, 9, 10] определено, что средняя скорость движения легковых автомобилей в городе составляет $52,4 \div 57,3$ км/ч. Поэтому для дальнейших расчётов принимаем $V_{ap} = 54,85$ км/ч ≈ 55 км/ч. В качестве расчётного значения удельной мощности, затрачиваемой на разгон, примем математическое ожидание, определенное при построении закона распределения (8). Эта величина составляет $(V_a \dot{V}_a)_p = 6,84$ м²/с³. Среднее квадратическое отклонение указанной величины составляет $\sigma_{VaVa} = 8,98$ м²/с³.

С учётом возможности реализации максимальной удельной мощности на разгон выражение (12) преобразуется к следующему виду:

$$N_{e\max}^* = \frac{A_w}{2} \rho \cdot F \cdot V_{ap}^{3-n} + \frac{m_{\Pi} \left[(V_a \dot{V}_a)_p + \sigma_{V_a \dot{V}_a} \right]}{(\eta_{mp}^{MCH} \cdot \eta_{\kappa}^{MCH} \cdot \lambda_{Np})}. \quad (13)$$

Результаты расчёта $N_{e\max}^*$, $N_{e\max}^*$ представлены в табл. 4. При расчётах было принято $\lambda_{Np} = 1$. Анализ результатов расчёта требуемой максимальной эффективной мощности двигателя, приведенных в табл. 4, позволяет заключить следующее:

- требуемая расчётная максимальная эффективная мощность двигателя $N_{e\max}^*$, определённая по условию обеспечения движения автомобиля с максимальной скоростью $V_{a\max}$, обеспечивает возможность реализации удельной мощности $(V_a \dot{V}_a)_p$ на разгон только для семи моделей автомобилей из девяти рассматриваемых; исключение составляют автомобили ЗАЗ-1103 «Славута» и ВАЗ-2107, у которых $N_{e\max}^* > N_{e\max}^*$,
- требуемая расчётная максимальная эффективная мощность двигателя $N_{e\max}^*$, определённая из условия реализации удельной мощности на разгон, равной $(V_a \dot{V}_a)_p + \sigma_{V_a \dot{V}_a} = 6,84 + 8,98 = 15,82 \text{ м}^2/\text{с}^3$, больше, чем $N_{e\max}^*$ и $N_{e\max}^*$, но меньше, чем эффективная мощность установленных на автомобилях двигателей,
- это уменьшение составляет (по данным таблицы 4) от 22,9 % до 48,7 %,
- при использовании гибридной электромеханической силовой установки расчётная максимальная эффективная мощность теплового двигателя может быть принята равной $N_{e\max}^*$, но тогда при движении автомобиля на малых скоростях в городских условиях и при разгоне необходимо включить в работу электродвигатели.

4 УТОЧНЕНИЕ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОМОБИЛЕЙ С УЧЁТОМ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОЙ МОДЕЛИ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЮ

Энергоэффективность и энергонагруженность автомобилей определяется их аэродинамическими характеристиками [12, 13]. В

работах [7, 14] предложен показатель – энергоэффективность, представляющий собой отношение кинетической энергии автомобиля с полной массой и на максимальной скорости движения к максимальной эффективной мощности двигателя

$$\mathcal{E}_w = \frac{m_{\Pi} V_{a\max}^2}{2 N_{e\max}}. \quad (14)$$

Для оценки влияния аэродинамических характеристик на энергоэффективность автомобиля необходимо ввести связь между максимальной эффективной мощностью двигателя и мощностью, затрачиваемой на преодоление сил аэродинамического сопротивления на максимальной скорости. Принимая что $N_{e\max} = N_{e\max}^*$, получим после подстановки (9) в (14):

$$\mathcal{E}_w = \frac{m_{\Pi}}{A_w F \rho} \cdot V_{a\max}^{n-1} \cdot \eta_{mp}^{MCH} \cdot \eta_{\kappa}^{MCH} \cdot \lambda_{Nv}. \quad (15)$$

Анализ выражения (15) показывает, что с увеличением параметров m_{Π} / A_w , η_{mp}^{MCH} , η_{κ}^{MCH} , λ_{Nv} происходит увеличение показателя \mathcal{E}_w энергоэффективности. Интересным является свойство зависимости (15), при котором $n > 1$. В этом случае с ростом $V_{a\max}$ происходит увеличение \mathcal{E}_w . Если же $n < 1$, то с увеличением $V_{a\max}$ происходит уменьшение показателя \mathcal{E}_w энергоэффективности. Из таблицы 1 видно, что с ростом максимальной скорости движения энергоэффективность автомобилей ВАЗ-2111, ВАЗ-2115 и ЗАЗ-1103 «Славута» будет увеличиваться, а остальных представленных машин – уменьшаться.

ВЫВОДЫ

1. В результате проведенного исследования предложен новый метод и методика выбора на стадии проектирования максимальной эффективной мощности двигателя, учитывающая последние достижения в оценке аэродинамического сопротивления движению автомобиля.
2. Использование двух подходов к определению требуемой максимальной мощности двигателя позволило определить, что при движении автомобиля с полной массой на максимальной скорости требуется значительно меньшая величина указанной мощности, чем считалось ранее. Например, для движения в указанном режиме автомобилю Toyota Corrola E110 требуется всего 20 кВт, а не 80 кВт.
3. Запас мощности двигателя необходим для движения автомобилей в напряженном

городском режиме при частых разгонах и торможениях. Использование статистических данных о режимах движения легковых автомобилей в городских условиях позволило получить методику расчёта требуемой эффективной мощности двигателя. Полученные результаты позволяют обеспечить реализацию требуемых ускорений в городском транспортном потоке и снизить максимальную эффективную мощность на 23% ÷ 50%.

4. Усовершенствованный показатель позволяет оценить влияние аэродинамических характеристик на уровень энергоэффективности автомобиля.

POĎAKOVANIE

Tento výskum podporila Kultúrna a vzdelávacia grantová agentúra MŠ SR v projekte č. KEGA 023ŽU-4/2020: „Vývoj pokročilých virtuálnych modelov na štúdium a skúmanie prevádzkových charakteristík dopravných prostriedkov.“

Tento výskum podporila Kultúrna a vzdelávacia grantová agentúra MŠ SR v projekte č. KEGA 036ŽU-4/2021: „Implementácia moderných metód počítačovej a experimentálnej analýzy vlastností komponentov vozidiel do vzdelávania konštruktérov dopravných prostriedkov budúcnosti.“

СПИСОК ЛІТЕРАТУРЫ

- [1] ОСТРОВЦЕВ, А.Н. (1968): *Основы проектирования автомобилей*. Москва: Машиностроение, 204 с.
- [2] РОДИОНОВ, В.Ф. - ФИТТЕРМАН, Б.М. (1980): *Проектирование легковых автомобилей*. Москва: Машиностроение, 479 с.
- [3] ФАЛЬКЕВИЧ, Б.С. (1963): *Теория автомобилей*. Москва: Машгиз, 240 с.
- [4] САХНО, В.П. - КОСТЕНКО, А.П. - ЗАГОРОДНОВ, М.І. та ін. (2014): *Експлуатаційні властивості автотранспортних засобів*. В 3 ч. Ч. 1. Динамічність та паливна економічність автотранспортних засобів: [навчальний посібник]. Донецьк: Вид-во «Ноулідж» (донецьке відділення), 444 с.
- [5] БАХ, А.Н. - БЕРНШТЕЙН-КОГАН, С.В. -

ВЕЙС, А.Л. И др. (1927): *Техническая энциклопедия* Москва: Типография Мосполиграф. Т. 1., 858 с.

[6] АРТЁМОВ, Н.П. - ЛЕБЕДЕВ, А.Т. – ПОДРИГАЛО, М.А. и др. (2012): *Метод парциальных ускорений и его приложения в динамике мобильных машин*. Под ред. М.А. Подригало. Харків: Міськдрук, 220 с.

[7] ТАРАСОВ, Ю.В. (2021): *Наукові основи забезпечення технічного рівня автотранспортних засобів при проектуванні та модернізації*: автореф. дис. д-ра. техн. наук: спец. 05.22.02. Харків, 40 с.

[8] ПОДРИГАЛО, М.А. - АБРАМОВ, Д.В. - ДУБІНІН, Є.О. - ШЕЇН, В.С. - ТАРАСОВ Ю.В. (2021): *Оцінка пристосованості легкових автомобілів за аеродинамічними характеристиками до підвищення потужності двигунів при модернізації*. Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів, 24, с. 8-16.

[9] АБРАМОВ, Д.В. - ПОДРИГАЛО, Н.М. - ПОДРИГАЛО, М.А. - ПОЛЯНСЬКИЙ, О.С. - ФАЙСТ В.Л. (2014): *Динамічні властивості і стабільність функціонування автотранспортних засобів*; за ред. М.А. Подригало, О.С. Полянського. Харків: ХНАДУ, 204 с.

[10] ФАЙСТ, В.Л. (2012): *Удосконалення вимог до динамічних властивостей легкових автомобілів*: автореф. дис. анд. техн. наук: спец. 05.22.20. Харків, 20 с.

[11] ABDULGAZIS, A. - PODRIGALO, M. (2020): *A new approach to assessment of vehicles traction dynamics*. Conf. Series: Materials Science and Engineering. YCMТМЕ 2020. P. 1-7.

[12] ГАЩУК, П.Н. (1992): *Энергетическая эффективность автомобиля*. Львов: СВИТ, 208 с.

[13] МАЦКЕРЛЕ, Ю. (1987): *Современный экономичный автомобиль*; пер. с чешского В.Б. Иванова. Москва: Машиностроение, 320 с.

[14] МАЗІН, О.С. (2020): *Підвищення енергоефективності автомобілів при маневруванні зниженням непродуктивних витрат енергії*: автореф. дис. канд. техн. наук: спец. 05.22.20. Харків, 20 с.

Vplyv tepelného spracovania na nástrojové ocele

Elena Kantoríková, Ing., PhD.

Katedra technologického inžinierstva, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.

E-mail: elena.kantorikova@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2763

Influence of heat treatment on tool steels

Abstract: To obtain the desired properties of steels, their chemical composition alone is not enough. An irreplaceable role is also played by subsequent processing, be it thermal, chemical, or combined chemical-thermal or thermomechanical processing. If the setting is processed correctly, the desired properties will be achieved and the service life of the steel will increase. The work describes methods of technology of heat treatment of tool steels. The importance of knowing these facts serves for the correct use of heat treatment and the reduction of necessary finishing operations.

ÚVOD

História produkcie ocele, ako jedného zo základných stavebných materiálov modernej spoločnosti, sa prvýkrát začala písať v dobe železnej, čiže pred približne 3200 rokmi. Napriek svojej dlhej histórii jej význam neklesá ani dnes. Naopak, napredujúce výskumy a vývoj nových generácií ocelových materiálov zdôrazňujú jej dôležitosť. Vďaka svojim vlastnostiam našla oceľ široké uplatnenie v najrôznejších aplikáciách. Od výroby jednoduchých produktov dennej potreby, cez karosérie automobilov a konštrukcie budov, až po leteckú a kozmickú techniku. Každá takáto oblasť aplikácie si vyžaduje špecifické materiály s potrebnými vlastnosťami. Toto, rovnako ako aj neustále sa zväčšujúce portfólio nových typov ocelí, viedlo ku kategorizovaniu ocelí do skupín. Kritérium delenia môže byť napríklad chemické zloženie, účel použitia, spôsob spracovania a iné. Na získanie požadovaných vlastností ocelí nestačí len ich chemické zloženie. Nenahraditeľnú úlohu zohráva aj následné spracovanie, či už tepelné, chemické, kombinácia chemicko-tepelného alebo termo-mechanického spracovania. Správnym nastavením spracovania sa dosiahnu požadované vlastnosti a zvýši sa aj životnosť ocele. Tepelné spracovanie má ale aj svoje nevýhody. Dôležitosť poznania týchto zmien slúži pre správne aplikovanie tepelného spracovania a zníženie potrebných dokončovacích operácií [1, 2].

Na ocele triedy 19, označované aj ako nástrojové ocele, sú to materiály vysokej akosti a vyrábajú sa oblúkovým alebo indukčným tavením. Kladú sa na nich vysoké požiadavky, ako sú tvrdosť, odolnosť proti popúšťaniu, húževnatosť, odolnosť voči opotrebeniu, reznosť, prekaliteľnosť a stálosť rozmerov. Aby bolo možné dosiahnuť tieto

vlastnosti, je potrebný vysoký obsah uhlíka. Všetky tieto vlastnosti je potrebné nakombinovať podľa konkrétnych požiadaviek, ktoré budú kladené na materiál. Zvyčajne ich je možné dosiahnuť jedným až dvoma hlavnými prísadovými prvkami. Týmito prvkami sú mangán, kremík, chróm, nikel, molybdén, volfrám, vanád a kobalt. S rastúcou hodnotou uhlíka stúpa tvrdosť ocele ale zároveň klesá húževnatosť. Ďalšie legujúce prvky zmiernujú negatívne vlastnosti hlavných legujúcich prvkov a ostatné vlastnosti. Dosiahnutie prevádzkových vlastností sa dosahuje aj vďaka vysokému obsahu karbidov, ktorý sa dosahuje práve karbidotvornými legujúcimi prvkami. Dôležitá je aj voľba tepelného spracovania. Životnosť nástrojov výrazne ovplyvňuje aj povrchové úpravy [3].

1 UHLÍKOVÉ OCELE

Nástrojové ocele uhlíkové majú obsah uhlíka od 0,25 % do 0,6 %. Tento obsah postačuje na dosiahnutie požadovanej tvrdosti. Obsah fosforu a síry sa drží pod úrovňou 0,06 %. Kalením získavajú tvrdosť len na povrchu do maximálnej hĺbky 2 mm až 3 mm a jadro zostáva nezakalené. Táto vlastnosť je pri niektorých aplikáciách žiadaná, nakoľko nezakalené jadro je húževnaté a dobre odoláva nárazom. Tieto ocele sa využívajú na výrobu menej namáhaných nástrojov. Pracovná teplota týchto nástrojov nie je vyššia ako 200 °C, pretože väčšina ocelí tejto kategórie stráca nad 150 °C tvrdosť. Požívajú sa na výrobu rezných nástrojov a ručného náradia [4].

2 ZLIATINOVÉ OCELE

Zliatinová skupina ocelí, označovaná aj ako nízkolegovaná, lepšie odoláva vyšším mechanickým

namáhaniam ako predošlá skupina. Hlavnými legujúcimi prvkami sú karbidotvorné prvky chróm a volfrám s obsahom 1 % až 2 %, pretože práve karbidy zvyšujú reznosť nástroja. Podľa konkrétnych požiadaviek sú ďalšími legujúcimi prvkami mangán, kremík, nikel a malé množstvá vanádu. Ich množstvo sa pohybuje v rozmedzí 3 % až 5 %. Pokiaľ ide o nástroje určené na tvárnenie za studena, strihanie a obrábanie, sa oceľ vysokoleguje až 12 % chrómu a 2 % kobaltu. Táto skupina sa vyznačuje vysokou odolnosťou voči opotrebeniu a tvrdosťou. Používa sa na výrobu nástrojov pracujúcich za studena aj za tepla [5, 6].

3 RÝCHLOREZNÉ OCELE

Rychlorezné ocele tejto triedy získali pomenovanie podľa ich aplikácie na nástroje, ktoré pracujú pri vysokých rýchlostiach. Ich štruktúra je martenzitická. Charakterizuje ich mimoriadne vysoká stabilita vlastností do teplôt 650 °C. Táto stabilita je získaná vďaka vysokému obsahu prísad nad 10 %. Obsah uhlíka je 0,7 % až 0,9 %. V rozmedzí 10 % až 18 % sa pohybuje obsah hlavnej prísady, ktorou je volfrám. Ďalšími prvkami sú chróm ktorého obsah sa pohybuje okolo 4 %, vďaka čomu je oceľ odolnejšia voči oxidácii aj pri vyšších teplotách, a 1 % až 4 % vanádu. Vanád výraznou mierou ovplyvňuje tvorbu stabilných karbidov. Vyšší podiel vanádu si však vyžaduje zvýšenie obsahu uhlíka, aby sa zabránilo strate húževnatosti. Pre náročnejšie aplikácie je u niektorých ocelí časť volfrámu nahradená molybdénom do obsahu 5 %, prípadne 3 % až 10 % kobaltu. Dôležité je držať obsah mangánu a fosforu na minimálnych úrovniach, pretože tieto prvky výrazne zvyšujú krehkosť ocelí a spôsobujú praskanie počas kalenia. Ako tepelné spracovanie sa používa žihanie na teplote 800 °C až 840 °C. Kalí sa na veľmi vysokých teplotách 1260 °C až 1300 °C a výdrž na týchto teplotách sa pohybuje na úrovni 100 s. Vysoká teplota je potrebná z hľadiska dosiahnutia požadovaného chemického zloženia austenitu, ktoré sa dosahuje rozpustením potrebnej koncentrácie legujúcich prvkov a uhlíka. Nevýhodou je rast zrna. Ohrev je stupňovitý a pomalý, aby sa dosiahlo vyrovnanie teplôt v celom priereze. Kvôli vysokému obsahu uhlíka a legujúcich prvkov, majú zlú tepelnú vodivosť, preto sa vďaka stupňovému ohrevu tvoria menšie napätia medzi povrchom a jadrom. Po kalení nasleduje popúšťanie na teplotu 560 °C až 580 °C a opakuje sa 2-krát alebo 3-krát. Po kalení sa získa matrica pozostávajúca z legovaného martenzitu a veľkého množstva zvyškového austenitu. Táto štruktúra nemá vysokú tvrdosť, preto nasleduje vysoké popúšťanie, počas ktorého sa legujúce prvky a uhlík vylučujú z austenitu. Takto ochudobnený austenit je menej stabilný a nasledovným ochladením

z popúšťacej teploty sa ľahko rozpadá na martenzit. Zvyškový austenit je legovaný a preto je veľmi stály a pre jeho rozpad je nutné viacnásobné popúšťanie. Pokiaľ ide o výrobu veľmi presných nástrojov meradiel sa zvyškový austenit znižuje zmrazovaním [7].

4 MARAGING OCELE

Trieda ocelí 19 sa rozšírila o novú skupinu špeciálnych ocelí na nástroje. Ide o superpevné ocele so zvýšenou húževnatosťou u nás označované ako maraging. Termín maraging pochádza z anglických slov martensite aging, čo označuje transformovanie štruktúry na martenzit a následné vytvrdzovanie. Do tejto skupiny sa ocele zaraďujú podľa mechanizmu spevňovania a nie podľa chemického zloženia. Maragingová oceľ obsahuje extrémne nízke hodnoty uhlíka do maximálnej koncentrácie 0,03 %. Túto hodnotu je potrebné udržať z dôvodu, aby sa zabránilo tvorbe karbidov titánu, pretože tieto karbidy pri vysokých koncentráciách výrazne znižujú rázovú pevnosť, húževnatosť a ťažnosť. Zato obsahuje vysoké koncentrácie niklu (17 % ÷ 19 %). Medzi ďalšie legujúce prvky patria: kobalt (8 % ÷ 12 %), molybdén (3 % ÷ 5 %), titán (0,2 % ÷ 1,8 %) a hliník (0,1 % ÷ 0,15 %). Vysoký obsah kobaltu okrem vplyvu na vlastnosti ocele výrazne vpláva aj na jej cenu, ktorá je značne vyššia oproti iným typom ocelí. Maragingová oceľ sa vyrába zahriatím austenitickej štruktúry na teplotu 850 °C a následného pomalého ochladzovania. Pomalým ochladzovaním nevzniká v štruktúre perlit ani ferit, ako u bežných ocelí, ale vplyvom vysokého obsahu niklu sa tvorí martenzitická štruktúra. Táto martenzitická štruktúra je však v porovnaní s martenzitom vytvoreným kalením pri uhlíkových oceliach mäkkšia. Pri týchto oceliach sa to ale berie ako výhoda z dôvodu zachovania vysokej ťažnosti a húževnatosti bez potreby popúšťania. Následne táto oceľ prechádza štádiom spracovania, zvané precipitačné vytvrdzovanie - starnutie. Táto časť spracovania prebieha pri teplote 480 °C ÷ 500 °C, trvá niekoľko hodín a jej cieľom je vytvorenie jemných tvrdých čiastočiek prísad. Vďaka nízkej teplote vytvrdzovania nedochádza vplyvom tepelnej rozťažnosti k veľkým objemovým zmenám [7, 8].

5 TERMOMECHANICKY SPRACOVANÉ OCELE

Ide o skupinu ocelí, ktoré dosahujú pevnosť 2500 MPa až 3000 MPa. Špecifické prípady môžu dosahovať až 3500 MPa. Zároveň si ponechávajú prijateľnú plasticitu a húževnatosť. Tieto vlastnosti získavajú termomechanickým spracovaním. Toto spracovanie sa zakladá na kombinácii deformačného spevnenia prostredníctvom plastickej deformácie a tepelného spracovania. Aj keď toto spracovanie je

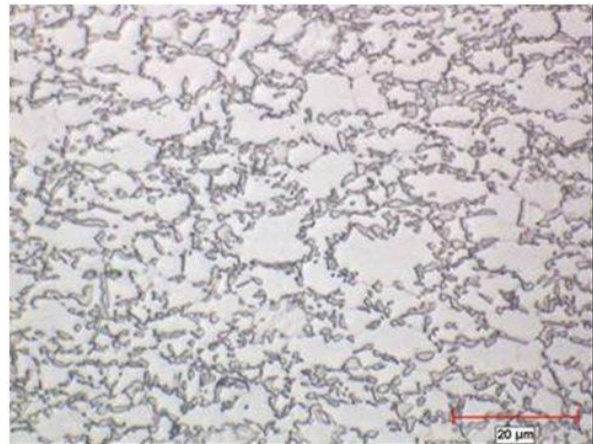
možné aplikovať na široký výber ocelí, najväčší efekt dosahuje pri nízko až stredne legovaných oceliach s obsahom uhlíka 0,4 % až 0,6 %. Výrobky z takto spracovanej ocele pokrývajú širokú škálu aplikácií. Využívajú sa pri stavbe plynovodov a prepravných potrubí, pri stavbách výškových budov a mostov, lodí, karosérií automobilov a železničných tratí. Termomechanické spracovanie, označujúce sa skratkou *TMS* alebo po anglicky *TMP* resp. *TMCP*, je cieľavedomé a riadené kombinovanie tepelného spracovania a tvárnenia. Cieľom je získanie jemnozrnej matrice, ktorá zaručuje zvýšenie pevnosti a lepšiu húževnatosť [9, 10].

V praxi sa najčastejšie aplikuje postup s deformáciou pred transformáciou. Pri vysokoteplotnom tvárnení, sa oceľ intenzívne tvárni v oblasti stabilného austenitu. Stupeň tvárnenia býva vysoký a pohybuje sa od 40 % do 90 %. Pri tejto deformácii prebieha v zrnách zotavenie a rekryštalizácia. Po vzniku rekryštalizovaných zŕn nasleduje zakalenie, dôsledkom čoho vznikne v štruktúre veľmi jemný martenzit, ktorý sa ešte ďalej popustí. Vysokoteplotným termomechanickým spracovaním sa dosahujú pevnosti 2500 MPa. Nízokoteplotné termomechanické spracovanie je častejšie ako vysokoteplotné aj z dôvodu prijateľnejších nákladov. Deformácia o minimálnej hodnote 50 % a viac, prebieha pri teplotách v rozmedzí 500 °C ÷ 600 °C a následné popúšťanie sa vykonáva pri teplote 200 °C. Nerekryštalizované zrná austenitu obsahujú veľké množstvá mriežkových porúch, ktoré napomáhajú vzniku jemného martenzitu. Nízokoteplotné termomechanické spracovanie umožňuje produkciu ocelí s pevnosťou 3000 MPa. Spojením vysokoteplotného a nízokoteplotného spracovania získame kombinované termomechanické spracovanie, kedy sa austenit najskôr deformuje pri teplote tesne nad A_{c3} a potom sa ochladí a deformuje pri teplotách v oblasti metastabilného austenitu a nakoniec sa zakalí na martenzit. Postup, kedy sa oceľ najskôr deformuje za tepla alebo studena a následne sa žiha pri teplote 300 °C, potom sa rýchlo austenitizuje a zakalí, sa nazýva ako predbežné spracovanie. Deformácia v priebehu transformácie sa vykonáva v oblasti perlitickej a bainitickej premeny, ktorá nasleduje po rýchlom ochladení z austenitizačnej teploty. V týchto oblastiach sa oceľ intenzívne tvárni a následne sa nechá chladnúť na vzduchu alebo sa zakalí na zmes spodného bainitu a martenzitu. Deformovanie v perlitickej oblasti výrazne pevnosť nezvyšuje, zato nastáva badateľné zvýšenie húževnatosti. Deformovanie v bainitickej oblasti zase na úkor húževnatosti a obrobitel'nosti zvyšuje pevnosť. Deformácia po transformácii sa aplikuje medzi prvým a druhým popúšťaním, vtedy ide o deformačné popúšťanie. Druhá možnosť je deformovanie priamo počas popúšťania pri teplotách

150 °C ÷ 200 °C, vtedy ide o dynamické deformačné starnutie martenzitu. Pri miernom poklese ťažnosti sa dosahuje výrazné zvýšenie medze klzu [11].

6 OCELE TRIP

Matrica *TRIP* ocelí, (z angl. *Transformation Induced Plasticity Steels*) sa skladá z feritu a obsahuje aj zvyškový austenit, ďalej obsahuje zrná bainitu (25 % ÷ 40 %) a pri niektorých typoch ocelí je aj martenzit. Obsah uhlíka je 0,20 % ÷ 0,25 % a jeho množstvo je potrebné ako z hľadiska zvárateľnosti, tak aj aby teplota M_s bola posunutá pod izbovú teplotu. Pevnosť ocele sa zvyšuje transformáciou zvyškového austenitu na martenzit s doskovou morfológiou, ktorá sa uskutočňuje počas deformácie. Táto deformačná transformácia je podstatou *TRIP* ocelí. Podmienkou je podiel zvyškového austenitu v štruktúre 5 % ÷ 15 %. Správne množstvo austenitu v štruktúre sa dosahuje pomocou uhlíka a kremíka (max. 0,3 %). Inak sú ocele *TRIP* legované len málo, a to prvkami: hliník, mangán, chróm, molybdén, niób a titán. Ocele dosahujú pevnosť 500 MPa ÷ 1050 MPa a ich výhoda spočíva v ich schopnosti predĺženia. Ťažnosť dosahuje 20 % ÷ 80 %. Zlepšená tvárnosť je dosahovaná vďaka odolnosti voči stenčeniu počas procesu tvarovania. Proces výroby *TRIP* ocelí pozostáva z rozpúšťacieho žihania pri teplote 1120 °C, po ktorom je vďaka chemickému zloženiu teplota M_s pod 0 °C. Následne sa oceľ intenzívne tvárni pri teplote nad M_d .



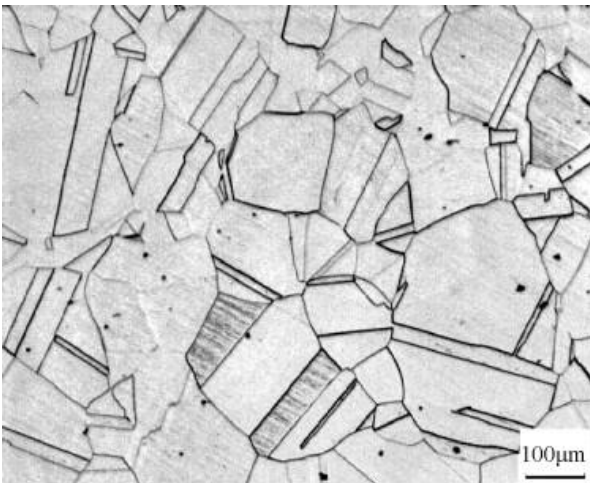
Obr. 1. Mikroštruktúra *TRIP*

Podľa druhu ocele sa táto teplota pohybuje okolo 100 °C. Stupeň pretvárania dosahuje hodnoty 80 %. Tvárnenie spôsobí zvýšenie teploty M_d približne o 100 °C a o rovnakú hodnotu nastane zníženie teploty M_s . Tieto ocele našli uplatnenie najmä v automobilovom priemysle [12, 13].

7 OCELE TWIP

Táto skupina ocelí patrí k novým perspektívnym typom. Ide o ultrapevné vysoko legované mangánové ocele. Označenie majú z angl. *Twinning*

Induced Plasticity Steel. Hodnoty R_e dosahujú 280 MPa ÷ 1350 MPa a R_m 580 MPa ÷ 1470 MPa. Hodnoty ťažnosti sú v rozpätí od 15 % do 95 %. Týmito hodnotami ťažnosti sa TWIP ocele dajú prirovnať k oceliam hlbokoťažným, avšak majú niekoľkonásobne vyššie hodnoty pevnosti. Svoje vlastnosti dosahujú vďaka austenitickej štruktúre, ktorá sa netransformuje na martenzit ani pri vyšších deformáciách. Namiesto toho dochádza v štruktúre pri deformáciách k dvojčateniu, a to za každých teplôt a v celom objeme. Najlepší výsledok dvojčatenia je možné sledovať pri obsahu mangánu nad 20 %. Pokiaľ je obsah mangánu pod 15 % dochádza k TRIP efektu. Ocele sú ďalej legované hliníkom, ktorý potlačuje transformáciu austenitu na martenzit, a kremíkom na zlepšenie pevnosti. Významné zastúpenie našla v automobilovom priemysle pri stavbe rámov aj vďaka schopnosti absorbovať energiu pri náraze, jednoduchosti lisovania a znížení celkovej hmotnosti vozidla. Ďalej sa uplatňuje pri stavbe lodí a transportných potrubí [13, 14].



Obr. 2. Mikroštruktúra TWIP

Tab. 1. Mechanické vlastnosti vybraných vysokopevných ocelí

Označenie ocele	R_e [MPa]	R_m [MPa]	A [%]	Charakteristika
18Ni200 grade	1450	1460	15	maraging
18Ni350 grade	2470	2500	8	maraging
40Cr5MoV	2600	2800	9	TMS
STN 41 4260	200	2120	9	TMS
HCT690T	400-520	690	23	TRIP
HCT780T	450-570	780	21	TRIP
Fe-0.7C-15Mn	630-652	999-1035	56-59	TWIP
Fe-0.5C-18Mn	457-480	944-960	64-68	TWIP

POĎAKOVANIE

Táto práca bola podporená projektom KEGA 022ŽU-4/2021 Vedeckou grantovou agentúrou Ministerstva školstva Slovenskej republiky.

LITERATÚRA

- [1] BALLA, J. (2007): *Náuka o materiáloch*. Nitra: SPU, s. 163. ISBN 978-80-8069-837-9.
- [2] BOKŮVKA, O. et al. (2014): *Materiály I*. Žilina: EDIS, s. 86. ISBN 978-80-554-0858-3
- [3] COOMAN, B. C. (2016): *Automotive Steel*. [Online], 02.12., [cit. 2022-04-19].
- [4] CORROSIONPEDIA (2019): *Maraging Steel*. [Online]. 14.02., [cit. 2022-04-12]. Dostupné na internete: <https://www.corrosionpedia.com/definition/1564/maraging-steel>.
- [5] FREMUNT, P. - KREJČÍ, J. - PODRÁBSKÝ, T. (1994): *Nástrojové oceli*. Brno: Dům techniky.
- [6] GÁBRIŠOVÁ, Z. - BRUSILOVÁ, A. (2019): *Tepelné spracovanie*. Bratislava: SPEKTRUM STU, s. 134. ISBN 978-80-227-4894-0.
- [7] GIRMAN, V. - HRABČÁKOVÁ, V. (2012): *Kovové materiály automobilových konštrukcií - II Karoséria a karosárenské plechy*. [Online]. 02.08., [cit. 2022-04-18].
- [8] HRIVŇÁK, I. (1996): *Výber materiálov a nové materiálové technológie*. Košice: Elfa, 1996. s. 177. ISBN 80-88786-39-8.
- [9] CHAJRAVARTHI, K. V. A. et al. (2017): *Microstructure, properties and hot workability of M300 grade maraging steel*. [Online]. 01.09., [cit. 2022-04-20].
- [10] MILITZER, M. (2014): *Thermomechanical Processed Steel*. [Online]. 16.04., [cit. 2022-04-18]: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780080965321001151?via%3Dihub>.
- [11] NOBUHIRO, T. (2021): *Advanced Thermomechanical Processing of Steels*. [Online]. 01.09., [cit. 2022-04-17].
- [12] ÖZBEK, Y. Y. - IPEK, A. (2016): *The Surface Properties of 1.2842 Steel After Heat*. [Online]. Sakarya university, [cit. 2022-04-22]: <https://www.flogen.org/pdf/immc2016.pdf>.
- [13] PULC, V. - HRNČIARR, V. - GONDÁR, E. (2008): *Náuka o materiáli*. Bratislava: STU, s. 333. ISBN 978-80-227-2847-8.
- [14] SKOČOVSKÝ, P. (1998): *Materiály a technológie 2*. Banská Bystrica: TRIAN s.r.o. ISBN 80-8055-139-1.

Skúsenosti pri ultrazvukovom skúšaní zvarov v praxi

Radoslav Koňár, Ing., PhD.*

Katedra technologického inžinierstva, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.

E-mail: radoslav.konar@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2799

Experience in ultrasonic testing of welds in practice

Abstract: Ultrasonic testing is a common part of non-destructive inspection in weld manufacturing. We often encounter complications during the exam that can affect its outcome in practice. The article deals with experiences in non-destructive testing of welded joints by ultrasound in practice. It is focused on surface preparation before testing, geometry of the weld joint, ultrasonic probes and inspection recommendations. Procedures for testing welds using the classic conventional technique are also described, as well as the procedures used for inspection using the *Phased Array (PA)* technique.

ÚVOD

Ultrazvuková kontrola využíva pri skúšaní zvarov a materiálov šírenie sa mechanických kmitov s frekvenciou nad 20 kHz v aspoň čiastočne elastickom prostredí. Pre identifikáciu necelistvostí sa využíva odraz ultrazvuku na rozhraní materiál/necelistvosť. Z pohľadu praktickosti ide o veľmi rýchlu a operatívnu kontrolu, ktorú je možné prispôsobiť rôznym podmienkam a geometrii skúšanej súčasti. Ultrazvuková kontrola má však aj určité obmedzenia spojené hlavne s akustickými vlastnosťami materiálu, ale aj s prípadmi popísanými nižšie, ktoré vznikajú pri príprave a výrobe zvarov.

V súčasnosti sú pre objemovú kontrolu zvarov a materiálov používané najmä tri spôsoby ultrazvukovej kontroly, a to:

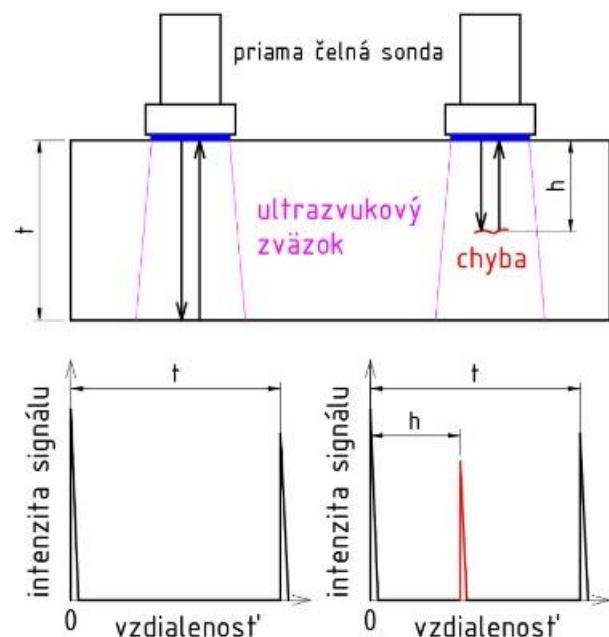
- konvenčná ultrazvuková odrazová metóda (kontrola zvarov a materiálov, meranie hrúbok),
- metóda phased array (kontrola zvarov a materiálov, meranie hrúbok),
- metóda *TOFD* (kontrola zvarov, v praxi menej používaná).

1 KONVENČNÁ ULTRAZVUKOVÁ ODRAZOVÁ METÓDA

O konvenčnej ultrazvukovej kontrole hovoríme v prípade, ak sa pre skúšanie odrazovou metódou využíva jedna sonda s jedným, alebo dvomi meničmi (obr. 1). Pre kontrolu zvarov uhlovými sondami sa využíva jednomeničová sonda a pre meranie hrúbok sa využívajú tzv. dvojité sondy, prípadne aj priame čelné jednomeničové sondy [1, 4].

Kontrola tupých zvarov konštrukcií ultrazvukom je vykonávaná najčastejšie uhlovými jednomeničovými sondami. Kontrola kútových zvarov s

technologickým neprievarom konvenčným spôsobom skúšania je pomerne zložitá, dokonca v niektorých prípadoch nie je možná, preto sa kútové zvary ultrazvukom vo väčšine prípadov nekontrolujú [2].



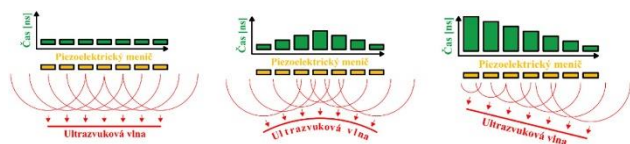
Obr. 1. Princíp odrazovej ultrazvukovej metódy [1]

2 ULTRAZVUKOVÁ ODRAZOVÁ TECHNIKA „PHASED ARRAY“

Ultrazvuková defektoskopia phased array (*PA*) sa líši od konvenčnej defektoskopie tým, že ultrazvuková sonda má viacero piezoelektrických meničov (elementov), ktoré sú schopné pracovať nezávisle od seba. To znamená, že každý element sondy môže nezávisle od ostatných prijímať aj vysielať ultrazvukový impulz. Toto usporiadanie a riadenie jednotlivých elementov samostatne umožňuje elektronicky vychýľovať a fokusovať ultrazvukový

zvázok. Ultrazvuková sonda *PA* je prijímačom a zároveň aj vysielačom ultrazvukových vln, ide teda o impulznú odrazovú ultrazvukovú metódu. Súčasné ultrazvukové sondy *PA* sa môžu skladať až z 256 takýchto elementov. Usporiadanie elementov môže byť rôzne, ale čím je zložitejšie, tým je sondu náročnejšie vyrobiť a cena ultrazvukovej sondy rastie [2, 3, 5].

Princíp riadenia ultrazvukového zväzku pri technike *PA* je budenie jednotlivých elementov sondy v nami definovanej časovej postupnosti na základe nadefinovaných softvérových algoritmov. Pomocou takéhoto typu budenia (napájania elementov eklektickým impulzom) dostávame sondu s variabilným lomom ultrazvukového zväzku v materiáli (obr. 2) [1, 5].



Obr. 2. Princíp budenia elementov sondy s časovým oneskorením [1]

3 PROBLÉMY PRI ULTRAZVUKOVOM SKÚŠANÍ ZVAROV V PRAXI

Teoretické princípy ultrazvukového skúšania sú jasne definované, no v praxi sa často stretávame s určitými obmedzeniami, s ktorými je pri skúšaní potrebné uvažovať. Dôvodom zohľadnenia obmedzení pri reálnej kontrole s teoretickými základmi je zabezpečenie vyhovujúcej citlivosti a spoľahlivosti kontroly.

Tento príspevok popisuje vybrané obmedzenia a problémy pri reálnej kontrole, ktorým by sa dalo predísť dôslednejšou prípravou a samotným zvaraním, ako aj väčšou znalosťou konštruktérov a technológov o obmedzeniach jednotlivých nedeštruktívnych metód používaných pre kontrolu zvarov. Častými problémami pri skúšaní sú najmä:

1. Nesprávne poradie vykonávania jednotlivých *NDT* kontrol - skúšanie zvarov objemovými nedeštruktívnymi metódami pred vykonaním povrchových metód (vizuálna kontrola (*VT*), kapilárna kontrola (*PT*), magnetická kontrola (*MT*)).
2. Nedostatočná príprava a zabezpečenie kvality povrchu zvaru a jeho okolia pred skúškou v dostatočnej šírke.
3. Skúšaná hrúbka a geometria spoja.

4 NESPRÁVNE PORADIE VYKONÁVANIA JEDNOTLIVÝCH *NDT* KONTROL

V praxi sa vyskytujú prípady, že je požiadavka kontrolovať ultrazvukom zvar, ktorý už na prvý

pohľad *NDT* kontrolóra nevyhovuje vizuálnej kontrole podľa predpísaného stupňa kvality. Často krát ide o chyby, ktoré spôsobujú zníženie pevnosti zvaru, a teda nie sú len kozmetickými chybami (rozstrek, troska a pod.). Najčastejšie chyby zvarov, s ktorými sa *NDT* kontrolór stretáva pred ultrazvukovou kontrolou sú (číslo chyby je uvedené v súlade s *STN EN ISO 5817*):

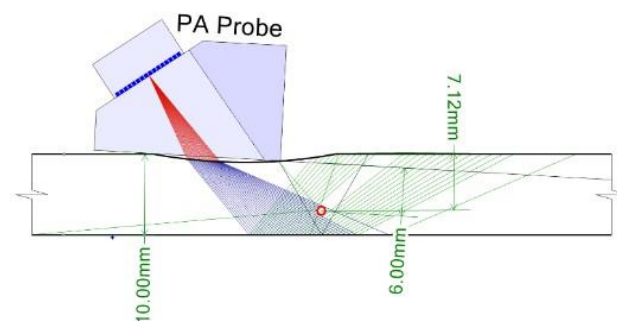
- 511 - prehĺbený povrch zvaru,
- 509 - preliačený zvar,
- 502 - nadmerne prevýšený zvar,
- 504 - pretečený koreň (5041, 5042),
- 5213 - nedostatočná hrúbka krčka zvaru (pri zvaroch s plným prievarom),
- 507 - lineárne presadenie (5071, 5072) [7, 8].

Spomínané chyby sa na zvare vyskytujú pred ultrazvukovou kontrolou najmä v prípadoch absencie dôslednej *VT* kontroly, prípadne jej nevykonanie certifikovaným *NDT* pracovníkom pred *UT* skúškou. Poverený *NDT* pracovník častokrát ponechá „predbežnú“ kontrolu na samotnom zvaračovi, ktorý však vždy nie je schopný bez znalosti noriem pre *VT* posúdiť prípustnosť jednotlivých chýb pre daný stupeň kvality zvaru.

V prípade ak zvar nevyhovuje *NDT* povrchovým kontrolám (*VT*, *PT*, *MT*) nie je možné zvar podrobiť ultrazvukovému skúšaní príp. skúške prežiarení. Nepripustné chyby musia byť odstránené a zvar musí pred *UT* kontrolou vyhovovať predpísaným povrchovým skúškam.

Občas dochádza k snahe rýchlo opraviť neprípustné chyby zvaru (č. 511, č. 501 a pod.) pred *UT* skúškou pomocou brúsenia uhlovou brúskou, čo spôsobí vznik ešte závažnejšej chyby, prípadne väčšiu prácnosť pri následnej opravě zvaru.

Schéma prípadu nesprávnej opravy chyby č. 511 pred *UT* kontrolou brúsením je na obr. 3.

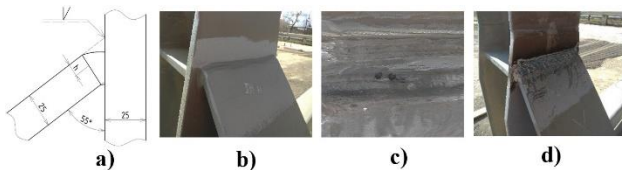


Obr. 3. „Oprava chyby“ č. 511 brúsením

Na obr. 3 vidíme nesprávny prístup k oprave chyby č. 511 - prehĺbený povrch zvaru brúsením, kedy došlo k vytvoreniu plynulého prechodu medzi prehĺbeným povrchom a základným materiálom. Takýmto postupom sa však vytvoril nerovný povrch (chyba č. 606 - podbrúsenie, ktorá však nemá definovaný

medzný rozmer, ale charakter je rovnaký ako pri chybe č. 511 - prehĺbený povrch zvaru) spôsobujúci naklonenie sondy voči povrchu základného materiálu čo spôsobí nepresnosť pri určovaní polohy chyby. Navyiac dochádza k strate plošného kontaktu s povrchom materiálu, a pri príliš veľkej medzere (max. 0,5 mm podľa *STN EN ISO 17640*) čím môže dôjsť k deformácii ultrazvukového zväzku.

Chyba č. 511 - prehĺbený povrch zvaru sa často vyskytuje aj na tupých zvaroch uhlových spojov. Príklad takéhoto spoja je na obr. 4. Zvar na obr. 4 mal byť podrobený kompletnej *NDT* kontrole v poradí *VT*, *PT* a *UT*. Prvým problémom bol nanosený náter na povrchu zvaru už pred *NDT* kontrolou, ktorý *NDT* kontrolu znemožňoval. Ďalším problémom je chyba spoja č. 511 - prehĺbený povrch zvaru, ktorý je viditeľný už na prvý pohľad (obr. 4b).



Obr. 4. Príklad chyby a opravy tupého zvaru na uhlovom BW spoji: a) schéma zvaru, b) chybný zvar č. 511, c) identifikovaná chyba vo zvaru č. 4021 po brúsení, d) opravený zvar

Kontrola zvaru prebiehala nasledovne. Po očistení zvaru bola vykonaná *VT* kontrola, ktorou bola identifikovaná a odmeraná chyba č. 511 ($h = 8$ mm). Chybu č. 511 bolo potrebné opraviť a to dozváraním zvaru. Aby sa predišlo zbytočnej práci pri prípadnej oprave chyby identifikovanej *UT* kontrolou po dovarení zvaru, tak ešte pred opravou chyby č. 511 dovarením bola vykonaná *PT* a *UT*. *UT* kontrola identifikovala chybu v koreni zvaru v mieste nad stojinou. Nakoľko zo spodnej strany nebolo možné koreň zvaru opraviť (prizváraná výstuha - stojina), bol zvar vyrezaný a po predohreve opäť zozváraný. Zvar bol opäť podrobený všetkým *NDT* skúškam, ktorým už vyhovelo.

5 KVALITA POVRCHU ZVARU A OKOLIA PRED *UT* SKÚŠKOU

Úpravu povrchu pred jednotlivými *NDT* skúškami predpisujú príslušné normy. Pre skúšku ultrazvukom je to norma *STN EN ISO 17640*.

Čistota, kvalita a šírka povrchu pred skúškou ultrazvukom je veľmi dôležitá. Priamo vplyva na citlivosť a presnosť stanovenia polohy chyby pri skúške. Na skúšanom povrchu sa nesmú nachádzať nečistoty ako rozstrek, opal, okuje, drsný povrch po brúsení, stopy po úderoch, povrch musí byť očistený najlepšie do kovového lesku. Prítomnosť nečistôt mechanicky poškodzuje kontaktnú plochu sondy a bráni dosiahnuť dostatočný kontakt so skúšaným

povrchom. Príliš hrubá vrstva náteru tiež nie je prípustná pretože znižuje citlivosť skúšky [9, 10].

Pri čistení povrchu pre *UT* kontrolu je dôležitá šírka očistenej zóny. Šírka čistenia od okraja zvaru je závislá na hrúbke a tiež na uhle lomu ultrazvukového zväzku v skúšanom materiáli. Zóna kontroly pri konvenčnej sonde *b* je odvodená od hodnoty celého kroku sondy *p*. Podľa normy *STN EN ISO 17640* je to 1,25-násobok celého kroku sondy *p*. Táto šírka zabezpečí, aby bol zvar odskúšaný priamym aj odrazeným lúčom uhlovej sondy [9, 10].

V prípade techniky *PA* je táto vzdialenosť podstatne užšia pretože sa skúša najčastejšie sektorovým *S*-skenom ($40^\circ \div 70^\circ$) v jednej, prípadne v dvoch vzdialenosti sondy od zvaru tak, aby bol preskúšaný celý objem zvaru.

V každom prípade je však šírka čistenia pre *UT* širšia ako pri čistení pre povrchové metódy skúšania. Na tento fakt je vhodné myslieť už pri čistení povrchu pre *VT*, *PT* a *MT* kontrolu.

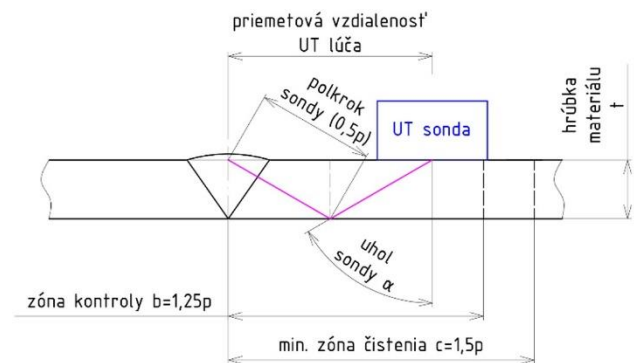
Šírka čistenia pre *UT* sa dá vypočítať podľa jednoduchého vzťahu (obr. 5):

$$p = 2 \cdot \frac{t}{\cos \alpha} \quad (1)$$

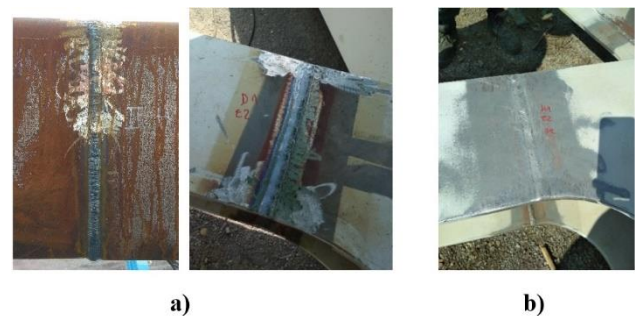
$$c = 1,5 \cdot p = 3 \cdot \frac{t}{\cos \alpha}$$

Napríklad pre $t = 20$ mm a $\alpha = 60^\circ$:

$$c = 3 \cdot \frac{20}{\cos 60^\circ} = 120 \text{ mm} \quad (1)$$



Obr. 5. Minimálna šírka zóny čistenia *c* pre *UT* kontrolu

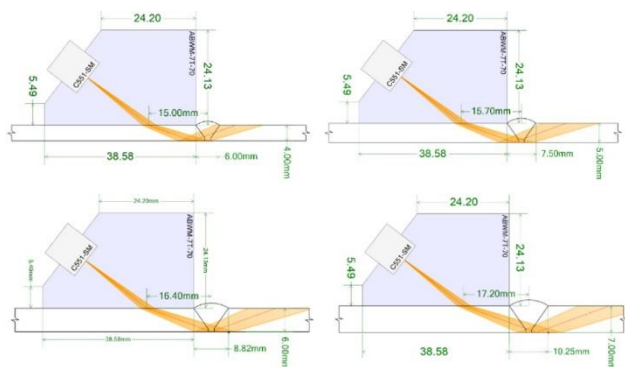


Obr. 6. Príprava povrchu zvaru pred *NDT* skúškou: a) nedostatočne očistený zvar, b) dostatočne očistený zvar do požadovanej kvality a šírky

Tupé zvary je najvhodnejšie skúšať z oboch strán zvaru z oboch jeho povrchov, čo nie je vždy možné z dôvodu prístupnosti oboch povrchov. Ak sú prístupné oba povrchy je potrebné očistiť okolie zvaru z oboch povrchov a tiež z oboch strán zvaru. Pre zabezpečenie optimálnej drsnosti povrchu je vhodným riešením brúsenie lamelovým kotúčom zrnitosti min. P80. Príklady správnej a nesprávnej prípravy povrchu sú na obr. 6.

6 HRÚBKA SKÚŠANÉHO MATERIÁLU

Jedným z hlavných obmedzení pri skúšaní ultrazvukom je skúšaná hrúbka. Norma *STN EN ISO 11666* pre bežné skúšanie požaduje minimálnu hrúbku základného materiálu 8 mm. Súvisí to so zabezpečením prezvučania celého objemu zvaru, kedy pri zvaroch s nižšou hrúbkou základného materiálu nie je možné kontrolovať koreň zvaru priamym lúčom, z dôvodu prevýšenia zvaru, ktoré odtlačí čelo sondy ďalej od osi zvaru. Ak je to možné, je vhodné prevýšenie povrchu aj koreňa zvaru pri tenších materiáloch obrúsiť do úrovne základného materiálu a pri kontrole sondou posúvať aj ponad zvar.



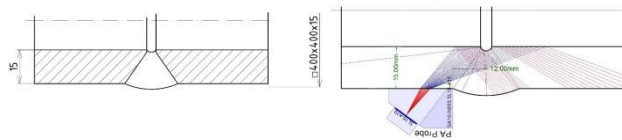
Obr. 7. Simulácia šírenia ultrazvuku pre bežnú uhlovú sondu (sonda MWB 70-4) s uhlom lomu UT v materiáli 70° [1]

Pri skúšaní menších hrúbok (pod 8 mm) je vhodné použiť špeciálny prístup, kedy je možné použiť miniatúrne sondy s bodom výstupu bližšie k čelu sondy. Tento postup je však potrebné overiť minimálne na schéme šírenia UT v materiáli, vhodnejšie na reálnej vzorke s umelým defektom [8, 9].

Problémom pri kontrole uzavretých profilov a rúr je aj skutočná hrúbka zvaraného materiálu. Stáva sa, že hrúbka uvedená na výkresovej dokumentácii nezodpovedá reálnej hrúbke. Rozdiel v hrúbke spôsobuje problémy najmä pri kontrole uhlovými sondami, kedy sa informácie o chybe identifikovanej odrazeným lúčom prepočítavajú v prístroji práve cez nastavenú hrúbku materiálu. Pri kontrole uzavretých profilov a rúr je vhodné ešte pred samotnou UT skúškou odmerať hrúbku materiálu dvojito, prípadne jednonemíčovou sondou.

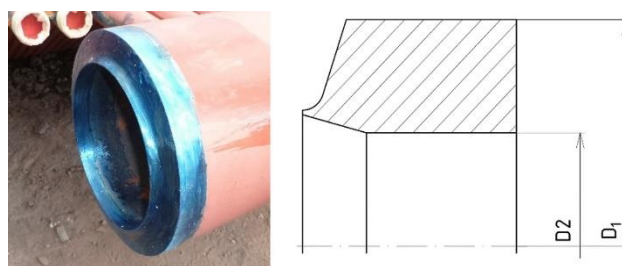
7 GEOMETRIA SPOJA

Z pohľadu geometrie zvarového spoja nastáva problém hlavne z dôvodu naklonenia sondy voči zvaru, čím dochádza k skresleniu informácií o polohe chyby. Často sa stretávame s týmto problémom pri zváraní dvoch rôznych hrúbok materiálu na tupo. V praxi je možné sa stretnúť z rôznymi úpravami geometrie pri takýchto spojoch. Veľakrát ide aj o technologicky nesprávne riešenia spoja (obr. 8).



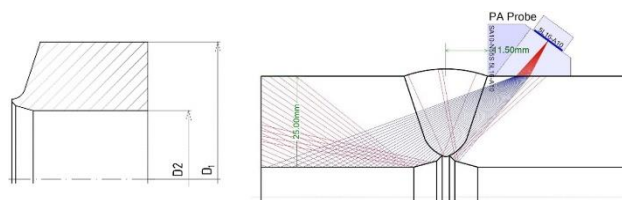
Obr. 8. Geometria dvoch rôznych hrúbok základného materiálu zvaraného na tupo: a) neprávne riešenie, b), c) technologicky správne, d) najvhodnejšie pre UT skúšanie

V prípade, že takto upravený povrch je prístupný a NDT kontrolór vie o zmene geometrie v blízkosti zvaru, tak to vie zohľadniť pri kontrole. Iné je to v prípade uzavretých profilov a rúr, kde sa môžu vyskytnúť tvarové echá od vnútorného skosenia (tzv. kalibrovane rúry a profily), o ktorom NDT pracovník nevie (obr. 9).



Obr. 9. Skosenie na vnútornom priemere na rúre

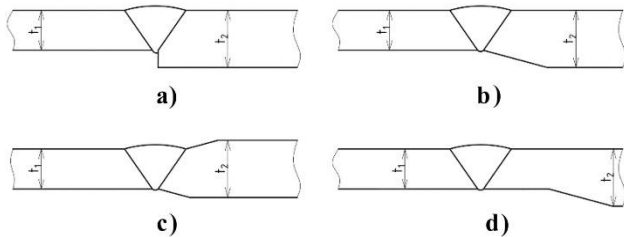
Najzložitejší prípad nastane, ak je na uzavretom profile vytvorené dvojité skosenie ako na obr. 10. Zrazenie hrany blízko koreňa spôsobí problémy pri UT kontrole pretože zrazenie sa bude javiť ako neprevarený koreň zvaru, pričom pôjde o tvarové echo.



Obr. 10. Dvojité skosenie hrany v oblasti koreňa zvaru

Špecifický prípad môže nastať aj v prípade, ak sa vo zvare nachádza chyba č. 515 - prehĺbený koreň, ktorá je ako krátka chyba prípustná aj pre stupeň B podľa *STN EN ISO 5817*. Problém je, keď sa táto chyba nachádza v uzavretom profile, kde ju nie je možné vizuálne vidieť (obr. 11). S touto chybou sa často stretávame pri polohe zvarovania PE - nad hlavou v kombinácii s príliš veľkou koreňovou medzerou, kde gravitácia ťahá roztavený kov smerom nadol.

Pri skúške ultrazvukom sa táto chyba javí ako chyba č. 4021 - neprevarený koreň, čo je už neprípustnou chybou. V tomto prípade sa treba pri určovaní typu chyby riadiť najmä výškou echa, ktorá dosahuje podstatne nižšiu úroveň ako pri neprevarenom koreni, prípadne kontrolu doplniť o skúšku prežiarením.



Obr. 11. Chyba č. 515 - prehĺbený koreň pri zvaraní v polohe PE

ZÁVER

Skúšanie ultrazvukom je veľmi operatívna objemová kontrola, ktorú možno prispôbiť rôznym geometrickým konfiguráciám. Často sa však pri skúšaní v praxi NDT pracovníci stretávajú s problémami, ktoré vznikli operatívnym riešením konkrétneho spoja pri príprave a realizácii zvarania, a na ktoré NDT pracovníci nie sú upozornení. Druhým prípadom sú indikácie pripomínajúce indikácie od chýb, ale v skutočnosti sú iba tvarovým echom. V prípade nejasností pri kontrole je vhodné konzultovať vzniknutú nezrovnalosť s technológom, prípadne samotným zvaračom, alebo kontrolu vykonať aj doplnkovou metódou najčastejšie skúškou prežiarením.

LITERATÚRA

[1] MORAVEC, J a kol. (2020): *Technológia I*. EDIS - Žilina. ISBN 978-80-554-1731-8.

[2] MIČIAN, M. - PATEK, M. - SLÁDEK, A. (2014): *Concept of Repairing Branch Pipes on High-pressure Pipelines by Using split Sleeve*. In: *Manufacturing technology*, Vol. 14, No. 3, pp. 60-66. ISSN 1212-2489.

[3] HELLIER, CH. (2003): *Handbook of Nondestructive Evaluation*. McGraw-Hill Inc. ISBN 0-07-139947-X.

[4] KOPEC, B. a kol. (2008): *Nedestruktívni skúšeni materiálov a konštrukci*. CERM - Brno. ISBN 978-80-7204-591-4.

[5] LEŽDÍK, V. - KOŇÁR, R. - KOREŇOVÁ, N. (2020): *Opravy plynovodných potrubí vykonávané technológiou zvarania*. IkaV spol. s.r.o. Žilina. ISBN 978-80969599-3-8.

[6] LEŽDÍK, V. - MIČIAN, M. - PATEK, M. (2020): *Schvaľovanie postupov zvarania kovových materiálov a plastov*. IkaV spol. s.r.o. Žilina. ISBN 978-80-969599-2-1.

[7] STN EN ISO 5817 (2014): *Zváranie. Zvarové spoje ocelí, niklu, titánu a ich zliatin zhotovené tavným zvaraním (okrem lúčového zvarania). Stupne kvality*.

[8] STN EN ISO 6520-1 (2007): *Zváranie a príbuzné procesy. Zatriedenie chýb zvarových spojov kovových materiálov. Časť 1: Tavné zváranie*.

[9] STN EN ISO 11 666 (2018): *Nedeštruktívne skúšanie zvarov. Skúšanie zvarových spojov ultrazvukom. Úrovne prípustnosti*.

[10] STN EN ISO 17 640 (2018): *Nedeštruktívne skúšanie zvarov. Skúšanie zvarových spojov ultrazvukom*.

Hodnotenie tepelného zaťaženia vysokotlakovej formy pomocou numerickej simulácie

Marek Matejka, Ing., PhD.*

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

Radka Podprocká, Ing., PhD.

Rosenberg-Slovakia s.r.o.,
Kováčska 38, 044 25 Medzev.
E-mail: podprockaradka@gmail.com, Tel.: 055/79 68 312

Evaluation of the heat load of a high-pressure mold using numerical simulation

Abstract: High-pressure casting is a fast, reliable and economically efficient production process for the production of metal parts in large series. The resulting quality of the casting depends on several factors, one of which is maintaining the correct temperature load and temperature distribution in the volume of the mold, which is closely related to the correct settings of the cooling and tempering system of the mold. The importance of mold temperature regulation is closely related to the quality of the resulting casting, but also to the life of the high-pressure mold. The experimental part of the contribution focuses on one of the steps of mold implementation in the manufacturing industry, namely to cycle the mold using *ProCast* simulation software and evaluate the distribution of temperature fields during the first ten casting cycles and the effectiveness of the mold cooling system.

ÚVOD

Vysokotlakové odlievanie je metóda výroby odliatkov z neželezných zliatin vhodná na výrobu rozmerovo aj hmotnostne menších, tenkostenných, konštrukčne zložitých dielov s presnými rozmermi a vysokou kvalitou povrchu. To všetko pri krátkych výrobných cykloch a vysokej produktivite výroby, vďaka čomu je táto metóda často využívaná v širokej priemyselnej praxi, predovšetkým v automobilovom priemysle [1].

Výsledná kvalita vysokotlakových odliatkov je ovplyvnená celým radom faktorov, ako napr. kvalitou taveniny, technologickými parametrami, konštrukciou tlakovej odlievacej formy (návrhom vtokového, odvzdušňovacieho a temperačného systému), ale aj spôsobom ošetrenia jej líca deliacim prostriedkom [2].

Pri odlievacom cykle je nevyhnutné udržiavať teplotu formy na správnej hodnote, táto hodnota sa však líšia, podľa odlievaného materiálu. Pri tlakovom liatí hliníka sa pohybuje okolo $140\text{ }^{\circ}\text{C} \div 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ pred nanesením separátora na báze vody. Ide o strednú hodnotu, pretože teplota formy v jednotlivých miestach kolíše. Pokiaľ nie je forma dostatočne predhriata a povrch formy je oproti teplote odlievaného kovu výrazne nižšia, dochádza k významným tepelným šokom v materiáli formy, vzniku povrchových trhlin a tým súvisiacemu skráteniu životnosti. Ďalším negatívnym dôsledkom

je znížená kvalita odliatku, ktorá sa prejavuje veľkým vnútorným pnutím, prípadne povrchovými trhlinami a rozmerovou nestabilitou odliatku. Naopak, pokiaľ je teplota formy príliš vysoká, môže dochádzať pri odlievaní vysokotavitelných zliatin na vyžihanie materiálu formy a na zníženie jeho tvrdosti [3, 4].

Pri veľkých formách dochádza k rozmerovej nestabilite. S týmto súvisia aj poruchy pohyblivých častí, ako napríklad zadieranie vyhadzovačov, pohyblivých jadier a pod. Zvýšená teplota formy je príčinou nalepovania hliníka pri odlievaní hliníkových zliatin, čo znehodnocuje kvalitu povrchu formy aj odliatku a robí ťažšie jeho vyberanie z formy. Pre zachovanie správnej teploty formy je dôležité zachovanie odlievacieho rytmu, tzn. pohľad a pracovný čas jednotlivých fáz odlievacieho cyklu. V prípade narušenia odlievacieho rytmu dochádza k nerovnomernému privádzaniu, alebo odvádzaniu tepla, čo priamo ovplyvňuje životnosť formy, odlievacieho stroja, kvalitu odliatku a produktivitu [5, 6].

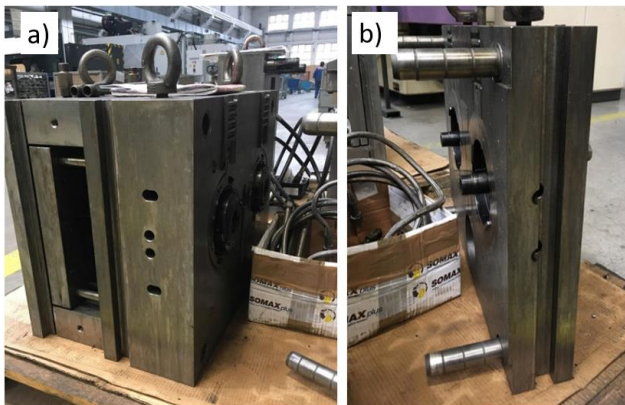
Ako bolo uvedené, drvivá väčšina tlakových odlievacích foriem využíva vnútorné, podpovrchové chladenie. To je štandardne realizované pomocou vrtaných kanálov a ďalších vložených elementov, v ktorých prúdi chladiace médium, ktoré môže byť voda alebo olej. Podľa teploty prúdiaceho média v okruhu môže kanál fungovať ako temperácia formy,

či chladienie. Táto teplota býva bežne nastaviteľná. Obzvlášť dôležité je pred rozbehom sériovej prevádzky naterperovanie formy na pracovnú teplotu, inak dochádza k skracovaniu jej životnosti, popr. môže dôjsť aj k poškodeniu vyžadujúcemu časovo a finančne nákladnú opravu. Počet chladiacich okruhov, ich rozmiestnenie a veľkosť je dimenzovaná podľa tepelnej bilancie tak, aby odvod tepla bol čo najintenzívnejšie a teplotné pole formy bolo čo najrovnomernejšie [7, 8].

1 METODIKA EXPERIMENTU

1.1 Vysokotlaková forma

Na experimentálne účely bola použitá vysokotlaková forma pre odliatok *Statorbuchse D 106 / 70*. Odliatok je odlietaný v dvoj dutinovej forme. Obr. 1 zobrazuje reálne používanú formu firmy Rosenberg-Slovakia. Vysokotlaková forma na odlietanie odliatku je pozostáva z pohyblivej (obr. 1a) a pevnej časti (obr. 1b).

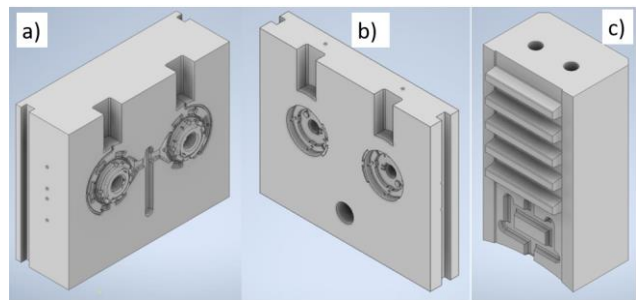


Obr. 1. Reálna vysokotlaková forma: a) pohyblivá časť, b) pevná časť

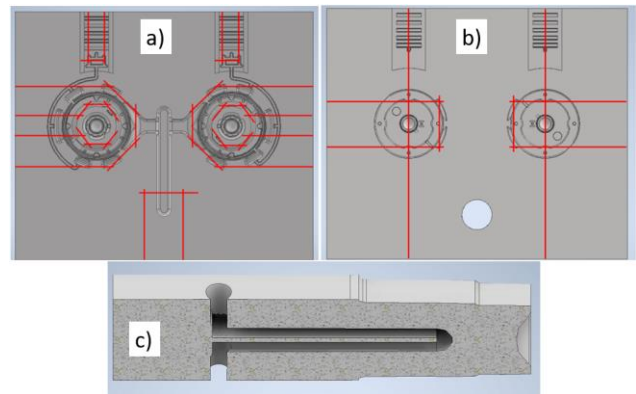
Na základe reálnej vysokotlakovej formy bol namodelovaný jej 3D model. Účelom 3D modelu vysokotlakovej formy bolo jeho následné použitie v simulačnom softvéri *ProCast* a tak 3D model predstavoval zjednodušenú verziu (zámerné boli odstránené prvky ako vyhadzovače, vodiace dosky alebo vložková a rámová časť formy boli vytvorené ako jeden model v zostave). Zostava vysokotlakovej formy sa skladala z pohyblivej (obr. 2a) a pevnej časti (obr. 2b), vložiek pre vlnovec (obr. 2c) a štyroch jadier (po dve v pohyblivej a pevnej časti formy).

Do časti pohyblivej a pevnej formy bolo vymodelované chladienie formy. Chladienie formy sa skladá z kanálikov uložených v oblasti dutiny formy (vložkovej časti formy), jadrách, napojenia tablety do vtokovej sústavy a vo vložkách pre vlnovec v pohyblivej časti. Schematické zobrazenie vedenia chladiacej sústavy v je na obr. 3a, b, červenou farbou. V oboch typoch jadier (pre pevnú aj pohyblivú časť) bolo použité chladienie

prostredníctvom sond s priechkou. Na obr. 3c vidíme rez jadrom a chladienie prostredníctvom sond s priechkou v pevnej časti



Obr. 2. Modely častí formy: a) pohyblivá časť, b) pevná časť, c) vložka vlnovca



Obr. 3. Chladiaci systém: a) pohyblivá časť, b) pevná časť, c) rez jadrom

1.2 Príprava simulácie cyklovania tlakovej formy

Tabuľka 1 uvádza parametre pre nastavenie cyklovania formy resp. výrobného cyklu pre výpočet nehomogénneho rozloženia teplôt vo forme.

Tab. 1. Zmeny rýchlosti pri procese odlietania

Liaci stroj	CLH 400.02P
Materiál odliatku	AlSi9Cu3(Fe)
Materiál formy	Oceľ H13
Teplota kovu	710 °C
Počiatková teplota pevnej časti	150 °C
Počiatková teplota pohyb. časti	180 °C
Priemer plniacej komory	60 mm
Aktívna dĺžka komory	470 mm
Doba lisovania	5 s
Doba tuhnutia odliatku	17 s
Metóda plnenia formy	Vysokotlakové odlietanie
Stop kritérium pre simuláciu cyklovania	Koniec 10 cyklu

Tab. 2. Parametre cyklovania v sekundách [s]

Verzia cyklovania	I.	II.
Počet cyklov	10	10
Otvorenie formy	22	22
Vyhodenie odliatku	27	27
Štart postreku formy	31	31
Koniec postreku formy	43	37
Štart ofuku formy	47	41
Koniec ofuku formy	60	48
Zatvorenie formy	63	51
Doba cyklu	67	55

V rámci simulačného výpočtu budú hodnotené dve verzie cyklovania vysokotlakovej formy:

Verzia I: pri zapnutom chladiacom systéme na teplotu 180 °C (štandardné podmienky),

Verzia II: pri skrátení času postreku a ofuku formy o polovicu (6 s).

Tabuľka 2 uvádza parametre cyklovania pre obe verzie cyklovania.

2 VYHODNOTENIE CYKLOVANIA VYSOKOTLAKOVEJ FORMY

Vysokotlaková forma bola v rámci simulačného programu vystavená výpočtu cyklovania. Analýza cyklovania resp. teplotného zaťaženia formy bola vypočítaná na základe zvolených vstupných parametrov uvedených v tab.1 a tab.2. Pri nastavovaní počiatkových podmienok bol nastavený celkový počet cyklov na desať.

2.1 Hodnotenie rozloženia teplôt pri počiatkových podmienkach

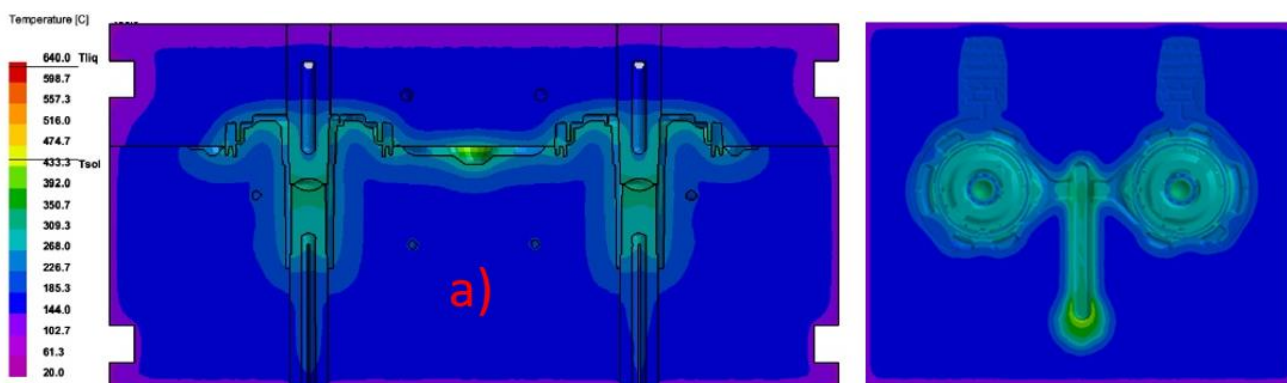
Na obr. 4a je zobrazené rozloženie teplôt v reze formy vo fáze otvorenia formy 22 sekundy prvého pracovného cyklu. Možno pozorovať, že vo väčšine objemu formy sa drží prednastavená teplota všetkých častí formy na úrovni 180 °C (modrá farba).

Okrajové časti formy sú ochladzované vplyvom teploty okolia. Do otváracjej fázy je podľa očakávania najviac ovplyvnená časť napojenia tablety s vtokovou sústavou, v tomto mieste sa dosiahla teplota úroveň 430 °C (žltá farba). Rovnako možno pozorovať, že oblasť jadier, ktorá je v priamom styku s taveninou dosahuje teplotu okolo 310 °C.

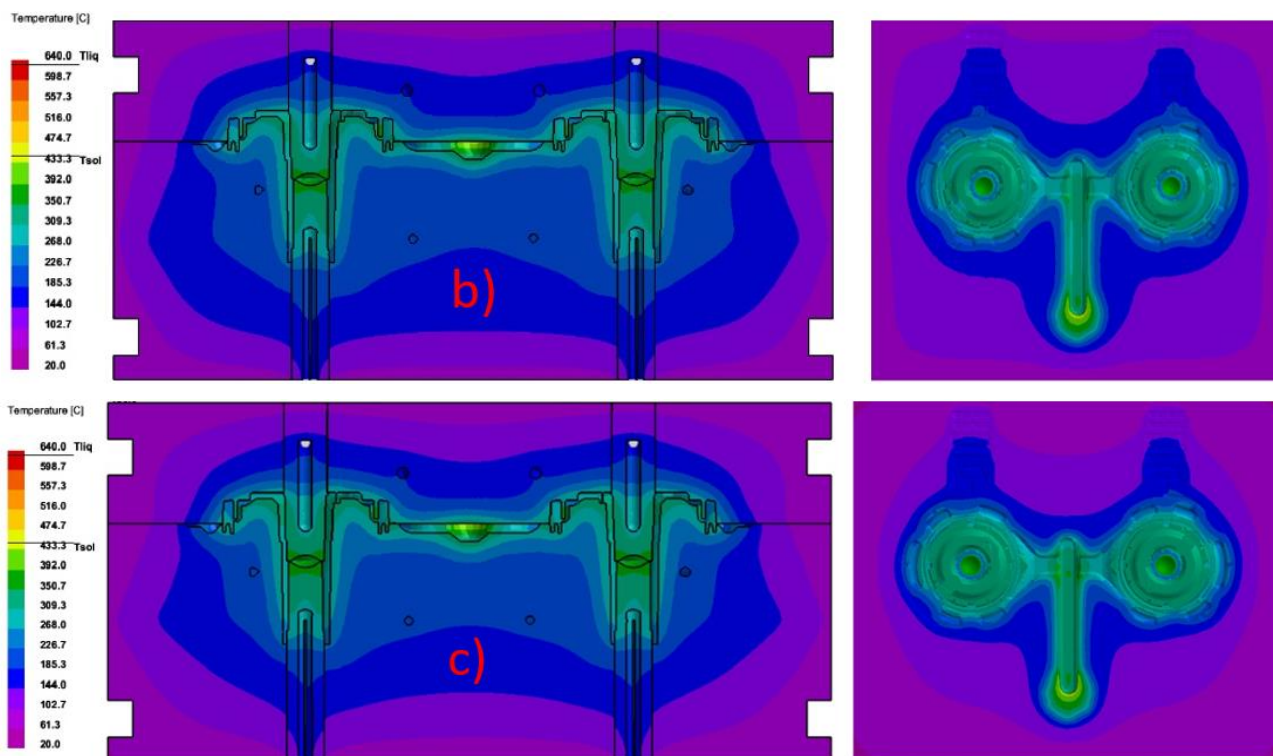
Zmena rozloženia teplôt vo fáze otvárania formy piateho cyklu je zobrazená na obr. 5b. Jednoznačný rozdiel nastal v schladení objemu formy smerom od vonkajšej časti do vnútra formy na teploty v rozmedzí 20 °C až 60 °C. V reze formy možno vidieť jednoznačný vplyv chladiacej sústavy, ktorá udržiava prednastavenú teplotu 180 °C v okolí chladiacich kanálikov. Vnútorňa dutina formy a jej plochy pri porovnaní s prvým cyklom sa významne nezmenila, pozorované sú zmeny v náraste teploty v oblasti jadier (ktoré sa teda začínajú prehrievať ako prvé) a zvýšenie teploty podpovrchových častí dutiny formy (teplota na úrovni 260 °C až 290 °C).

Na obr.5c je zobrazené rozloženie teplôt v reze formy vo fáze otvorenia formy 23 sekundy desiateho pracovného cyklu. Rozdiel evidujeme v schladení okolia odliatku smerom od vonkajšej časti do vnútra formy na teploty v rozmedzí 20 °C až 100 °C. Bližšie k odliatku teplota stúpa na približne 100 °C ÷ 140 °C. Vnútorňa dutina formy a jej plochy pri porovnaní s prvým cyklom sa významne nezmenila. Rozloženie teplôt v oblasti tablety sa mierne zväčšilo a teplota na čelách jadier (ako najviac exponovaná časť formy) dosahuje 350 °C.

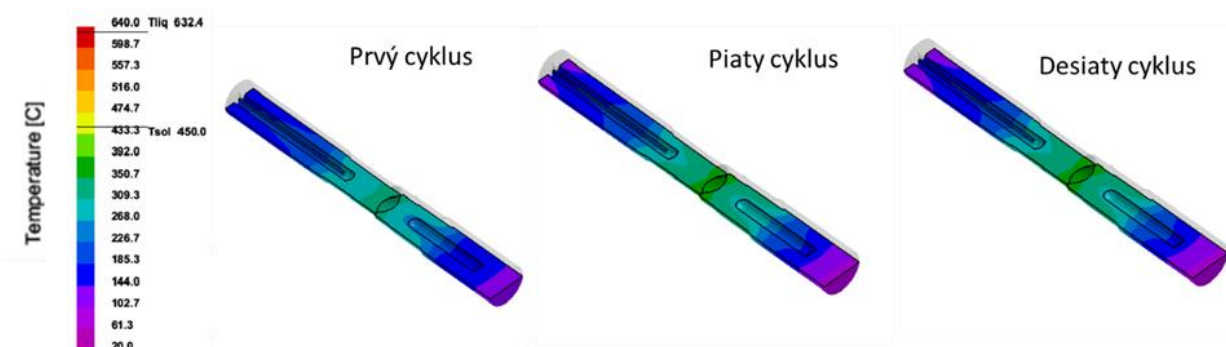
V prvom cykle možno pozorovať že, jadro má najvyššiu teplotu (320 °C) v mieste, v ktorom je v priamom kontakte s tekutým kovom (približne v strede - oblasť tzv. šošovky). Okrajové teploty sú v rozmedzí 100 °C ÷ 160 °C. Rozloženie teplôt v piatom cykle sa najvýraznejšie zmenilo v mieste styku s taveninou (povrch jadra) a teplota v mieste šošovky sa prihriala na približne 350 °C skoro na celom obvode opisovaného miesta. Kraje jadra začí-



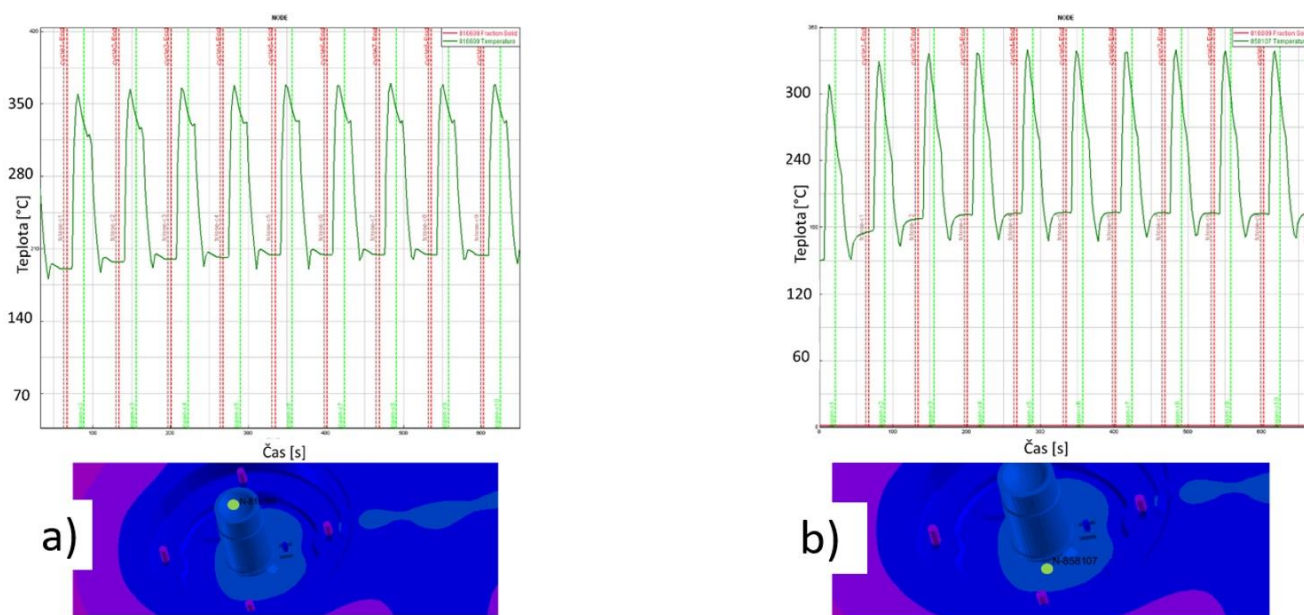
Obr. 4. Rozloženie teplôt pri fáze otvorenia formy: a) prvý cyklus



Obr. 5. Rozloženie teplôt pri fáze otvorenia formy a) prvý cyklus, b) piaty cyklus, c) desiaty cyklus



Obr. 6. Rozloženie teplôt v jadrách pri fáze otvorenia formy



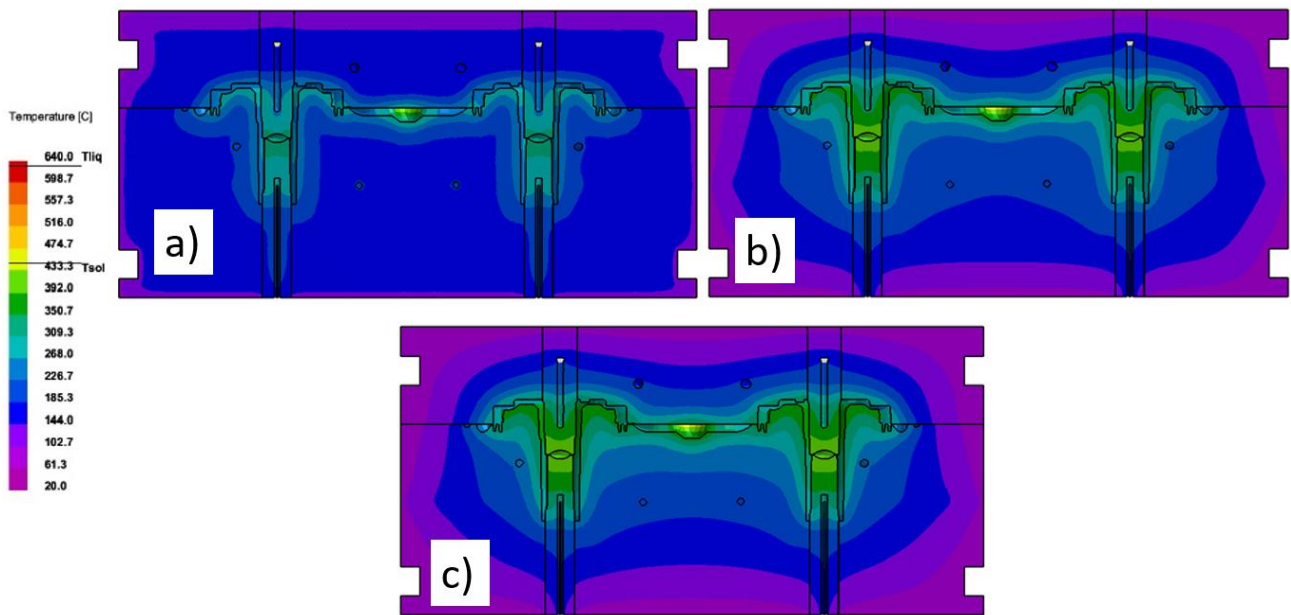
Obr. 7 Graf priebehu teploty v závislosti od času a) čelo jadra, b) plocha dutiny formy

najú chladnúť vplyvom vonkajšej teploty. Desiaty cyklus sa od piateho veľmi nelíši, jadro je v strede prehriate na teplotu 350 °C, ďalej od stredu potom teplota klesá na 230 °C ÷ 250 °C. Okraje jadra sa držia na teplote v rozmedzí 60 °C ÷ 120 °C.

Na obr. 7 je graf závislosti teploty na čase znázorňujúci zmenu teploty vybraných bodov na forme počas 10 cyklov. Body boli umiestnené na čele jadra a ploche dutiny formy. Z priebehu je očividné, že k ustáleniu tepelnej bilancie dochádza na čele jadra od 5. cyklu s maximálnou teplotou 360 °C, a na ploche dutiny formy na už po 4 cykle s maximálnou teplotou 330 °C.

problém na exponovaných častiach ako sú jadrách a na časti napojenia tablety s vtokovou sústavou, ktoré sa začínajú značne prehrievať (teplota cca 350 °C ÷ 430 °C). Vnútna dutina formy a jej plochy dosahujú teploty 250 °C až 320 °C, ktoré zasahujú hlboko do vnútorného objemu formy.

Čelo jadra („šošovka“ elipsa v strede) pri zapnutom chladni resp. štandardných podmienkach dosahuje teplotu na úrovni 290°C až 310 °C (obr. 8a). Pri skrátrenom ofuku a postreku dosahuje čelo jadra teplotu až na úrovni 400 °C (obr. 8b). Jadro je najviac exponované miesto v dutie, je veľmi zle ak sa prehrieva, čo môže viesť k nalepovaniu hliníka

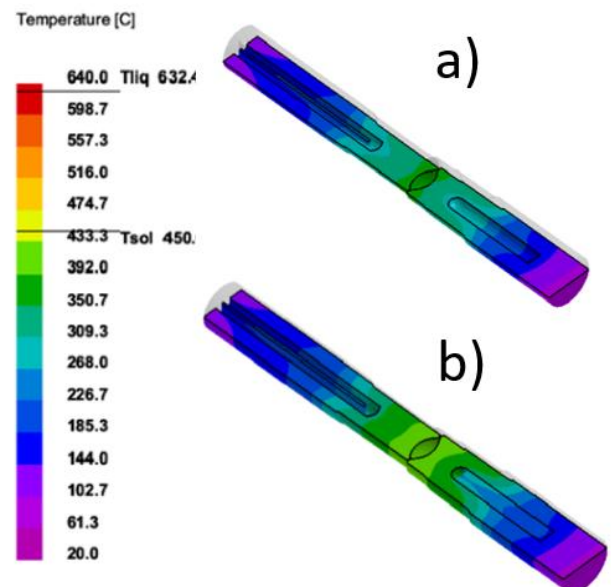


Obr. 8. Rozloženie teplôt pri fáze otvorenia formy pri skrátrenom čase postreku a ofuku formy: a) prvý cyklus, b) piaty cyklus, c) desiaty cyklus

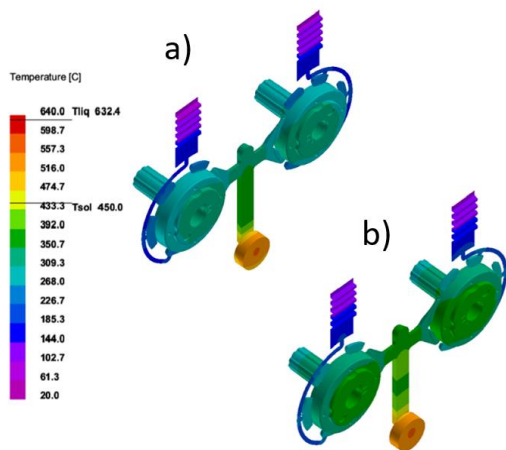
2.2 Hodnotenie rozloženia teplôt pri skrátení času postreku a ofuku formy

Na obr. 8a môžeme vidieť rozloženie teplôt vo forme vo fáze prvého pracovného cyklu, kde najvyššiu teplotu dosahuje vtoková sústava spolu s časťou napojenia tablety, v tomto mieste sa dosiahla teplota úroveň 430 °C (žltá farba).

Vo väčšine objemu formy sa drží prednastavená teplota všetkých časti formy na úrovni 180 °C (modrá farba). Časti na okraji formy sú ochladzované vplyvom teploty okolia. Rovnako vidieť, že jadrá v oboch formách, ktoré sú v priamom styku s taveninou dosahujú teplotu okolo 310 °C. Pri pohľade na obr. 7b je viditeľný vplyv skrátrenia postreku a ofuku, kde dochádza k podstatnému prehrievaniu povrchový a podpovrchových vrstiev v deliacej rovine dutiny formy. Na obr. 8c je zobrazené rozloženie teplôt v reze formy vo fáze otvorenia formy desiateho pracovného cyklu, kde možno vidieť zásadný



Obr. 9. Rozloženie teplôt v jadrách pri fáze otvorenia formy v rámci desiateho cyklu: a) pri zapnutom chladiacom systéme, b) pri skrátrenom čase postreku a ofuku formy



Obr. 10. Rozloženie teplôt v odliatkoch vo fáze vyberania odliatkov z formy v rámci desiateho cyklu: a) pri zapnutom chladiacom systéme, b) pri skrátení času postreku a ofuku formy

na steny jadra, čo vedie k nekvalitnému povrchu ďalších odliatkov alebo k obtiažnému vyberaniu odliatku z formy respektíve k jeho zaseknutiu.

Odliatok s chladením (obr. 10a) má jasne lepšie rozloženie teplôt. Najviac teplom ovplyvnená oblasť je oblasť tablety (560 °C - chyba model piestu, ktorý schladzuje tabletu) a vtoková sústava v rozmedzí (360 °C ÷ 430 °C).

Samotný odliatok potom dosahuje teploty v rozmedzí 270 °C ÷ 320 °C. Ľadvinky, ktoré sa nachádzajú po obvode odliatku dosahujú teplotu 230 °C. Pri odliatku s polovičným ofukom a postrekom (obr. 10b) sa oblasť tablety a vtokovej sústavy značne prehrieva. Obdobne môžeme vidieť prehrievajúce sa jadrá s teplotou okolo 310 °C. Ľadvinky sú taktiež mierne prehriate, s teplotou 280 °C.

ZÁVER

Uvedený príspevok sa zameriava na jeden z krokov implementácie formy do výrobného priemyslu. Cieľom bolo namodelovanie 3D modelu zlievarenskej vysokotlakovej formy na základe reálneho odliatku a formy. Následne pomocou simulačného softvéru *ProCast* nacyklovať formu a vyhodnotiť rozloženie teplotných polí v priebehu prvých desiatich odlievacích cyklov a účinnosť chladiaceho systému formy pre využitie v praxi.

Pri hodnotení rozloženia teplôt pri počiatkových podmienkach bolo možné pozorovať že, ako prvé sa začala prehrievať oblasť tablety spolu s vtokovou sústavou. Rovnako trpia aj jadrá a preto je veľmi dôležité ich chladiť. Ako bolo vidieť z grafu závislosti teploty na čase znázorňujúci zmenu teploty vybraných bodov na forme počas 10 cyklov. Z priebehu je očividné, že k ustáleniu tepelnej bilancie dochádza na čele jadra od 5. cyklu s maximálnou teplotou 360 °C, a na ploche dutiny formy už po 4 cykly s maximálnou teplotou 330 °C.

Pri forme so skráteným postrekom sa nepriaznivo prehrieva nie len objem formy ale najmä vložkované časti, vtoková sústava, jadrá, ktoré sú v priamom kontakte s taveninou ale aj ľadvinky spolu s odliatkom. Prehrievanie exponovaných miest, radikálne znižuje životnosť najdôležitejších častí formy. Prehrievanie vedie ku vzniku chýb na odliatkoch a zvyšujúcej sa počtu tzv. zmätkovitosti a tým pokles efektivity výroby.

Výsledky jasne poukazujú na vysokú dôležitosť správneho nastavenia procesných podmienok, ktoré sú posledným dôležitým krokom pri implementácii vysokotlakovej formy do výrobného procesu. Správnosť nastavenia a vyladenia procesných podmienok je v kompromise s efektivitou výroby a životnosťou vysokotlakovej formy.

Pod'akovanie

Článok bol vytvorený v rámci projektu grantovej agentúry VEGA: 1/0160/22. Autori týmto ďakujú agentúre za podporu

LITERATÚRA

- [1] MARATHE, S. - QUADROS, C. (2020): *Thermal Factor of Aluminium High pressure Die Casting Container (Mould) to achieve Six Sigma Quality of Castings*: International Journal of Engineering Research & Technology, pp. 159-168.
- [2] HAJKOWSKI, J. - POPIELARSKI, P. - SIKI, R. (2018): *Prediction of HPDC Casting Properties Made of AlSi9Cu3 Alloy*. *Advances in Manufacturing: Lecture Notes in Mechanical Engineering*, Springer, pp. 621-631.
- [3] MAJERNÍK, J. - GERKOVÁ, J. (2014): *Vplyv konštrukcie vtokového systému na kvalitu odliatkov*. Posterus, 5 s. ISSN 1338-0087.
- [4] RAGAN, E. a kol. (2007): *Liatie kovov pod tlakom*. Vydavateľstvo Michala Vaška, Prešov, 2007. 392 s.
- [5] BATYSHEV, K. A. et al. (2020): *Effect of high pressure processing in the formation of castings of aluminum alloys*: Journal of Physics: Conference Series, 49 (5), pp. 9.
- [6] KARBAN, R. (2000): *The Effects of Intensification Pressure, Gate Velocity, and Intermediate Shot Velocity on the Internal Quality of Aluminum Die Castings*: USA: Purdue University, West Lafayette, pp. 104.
- [8] ADAMANE, A. R. - FIORESE, E. - TIMELLI, G. - BONOLLO, F. - ARNBERG, L. (2015): *Influence of Injection Parameters on the Porosity and Tensile Properties of High-Pressure Die Cast Al-Si Alloys: A Review*. International Journal of Metalcasting, 9, s. 43-53.

Rzeczy kilka o transporcie kolejowym ładunków w Japonii

Mariusz Kostrzewski, dr hab. inż., prof. uczelni*

Zakład Budowy i Eksploatacji Środków Transportu, Wydział Transportu,
Politechnika Warszawska,
ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa, Polska.
E-mail: mariusz.kostrzewski@pw.edu.pl, Tel.: + 48 22 234 73 37

Wojciech Jerzy Nowak, Mgr.

Katedra Orientalistyki, Instytut Literaturoznawstwa, Wydział Humanistyczny,
Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu,
ul. Bojarskiego 1, 87-100 Toruń, Polska.
E-mail: wojciechnowak@umk.pl, Tel.: + 48 56 611 36 90

Ján Dižo, doc. Ing., PhD.

Katedra dopravnej a manipulačnej techniky, Strojnícka Fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, Slovenská republika.
E-mail: jan.dizo@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2560

Miroslav Blatnický, doc. Ing., PhD.

Katedra dopravnej a manipulačnej techniky, Strojnícka Fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, Slovenská republika.
E-mail: miroslav.blatnický@fstroj.uniza.sk, Tel.: +421 41 513 2659

A few things about rail freight transport in Japan

Abstract: The topic of rail freight transport in *Japan* is rarely considered in academic studies and publications. Due to the rate of progress in terms of applied solutions, transport safety and many other aspects of passenger transport in *Japan*, it has attracted more interest among researchers, due to the *Shinkansen* system and the newly developer and breath-taking *Chūō Shinkansen* line (an example of an unconventional railway using magnetic levitation technology). However, freight transport is also of interest and therefore, the authors have decided to outline some basic, yet interesting, information related to this area of transport.

WSTĘP

Japońskie Koleje Państwowe (ang. *Japanese National Railways*) zostały sprywatyzowane w 1987 roku. Jak stwierdził autor [1], w czasie okresu działalności tego państwowego przewoźnika realizowane procesy transportowe kumulowały znaczne długi, zwłaszcza w obszarze eksploatacji ładunków, przy czym warto mieć świadomość, że koleje w *Japonii* były i są zdominowane przez przewozy pasażerskie. Obecnie, grupa japońskich krajowych przewoźników kolejowych składa się z sześciu spółek pasażerskich, siódma zaś zajmuje się operacjami i transportem ładunkowym. Pasażerskie spółki kolejowe są poddane regionalizacji i obsługują wyłącznie pociągi pasażerskie. Te spółki to; *Hokkaidō Railway Company* (*JR Hokkaido*), *East Japan Railway Company* (*JR East*), *West Japan Railway Company* (*JR West*), *Central Japan Railway Company* (*JR*

Tōkai), *Shikoku Railway Company* (*JR Shikoku*), *Kyūshū Railway Company* (*JR Kyūshū*) i dodatkowo *Shinkansen Holding Corporation* dla kolei dużych prędkości [2, 3]. Warto w tym miejscu wspomnieć, że grupa japońskich krajowych przewoźników kolejowych obejmuje również firmy: *Railway Communication Company*, *Rail Information Systems Company*, *Railway Technical Research Institute* oraz *Japanese National Railways Settlement Corporation* [2, 3]. Każda z ww. spółek transportowych dysponuje własną infrastrukturą i zapleczem operacyjnym, w przeciwieństwie do *Japan Freight Railway Company* (*JR Freight*), czyli firmy obsługującej transport ładunków. Według [1], *JR Freight* tworzy strukturę rozdzieloną pionowo (struktura pionowa to struktura, w przypadku której hierarchia oparta na piramidalnie ukształtowanym przekazywaniu odpowiedzialności), natomiast

wszystkie spółki pasażerskie *JR* tworzą strukturę zintegrowaną pionowo.

1 UWARUNKOWANIA TRANSPORTU KOLEJOWEGO ŁADUNKOWEGO W JAPONII

JR Freight na czas każdorazowego przejazdu pociągu podnajmuje infrastrukturę liniową od przewoźników pasażerskich [1], co uzależnia transport ładunków od okien czasowych pomiędzy przejazdami realizowanymi celem przewozów pasażerskich. *JR Freight* nie posiada własnych torów; ma jednak do dyspozycji własne terminale lądowe, stacje obsługi ładunków, place składowe i urządzenia dla obsługi pociągów towarowych. *JR Freight*, podobnie jak wiele innych firm w Japonii (np. *Shizutetsu*, *Suzujo* - przykładowe firmy są wymienione w efekcie dyskusji z dr. *Koichim Shintanim* na ten temat, przeprowadzonej podczas wizyty studyjnej w Japonii, związanej z realizacją grantu naukowego przez pierwszego autora artykułu [4]) prowadzi kilka różnych rodzajów działalności, tj. usługi frachtowe, magazynowanie, prowadzenie parkingu, reklama, usługi agencji ubezpieczeniowych i innych ubezpieczeń majątkowych, usługi związane z pojazdami, ogólnie pojęta inżynieria lądowa i projektowanie budowlane, realizacja i zarządzanie projektami, przypadkowe i powiązane operacje biznesowe [5]. Dodatkowo warto zauważyć, że Ustawa o biznesie kolejowym w Japonii przewiduje trzy różne klasy biznesu kolejowego w Japonii [1, 6]. Klasa 1 ustanowiona jest dla przedsiębiorstw świadczących kolejowe usługi pasażerskie i/lub towarowe przy jednoczesnym posiadaniu infrastruktury kolejowej. Klasa 2 ustanowiona została dla przedsiębiorstw świadczących kolejowe usługi pasażerskie lub towarowe z wykorzystaniem infrastruktury kolejowej będącej własnością innej organizacji. I klasa 3 dotyczy przedsiębiorstw, które posiadają infrastrukturę tylko po to, aby wynająć ją przedsiębiorstwu klasy 2. Przykładem klasy 2 jest *JR Freight* [1].

Wybrane kluczowe wskaźniki japońskiego rynku kolejowego są następujące. *Japoński* rozstaw torów kolejowych wynosi 1067 mm. Długość eksploatacji torów kolejowych w 2014 roku wynosiła 8 166,8 km [7] i nieznacznie zmniejszyła się do 7 959 km w 2018 roku (na podstawie [2, 3] zaadaptowanego z [8]). W 2018 roku wg [2, 3] w Japonii kursowało 426 pociągów towarowych dziennie realizujących pracę przewozową na poziomie około 189 000 pociągokilometrów/dobę (w 2015 roku było to około 200 000 pociągokilometrów/dobę wg [7]), o łącznej wielkości przewozów: 42 628 000 ton (43 816 000 ton w 2014 r. [9]) i wydajności 21 400 000 tonokilometrów/rok (20 700 000 000

tonokilometrów/rok w 2015 r.). W 2014 r. tylko 5% (ok. 10 000 000 000 tonokilometrów) udziału w przewozach ładunków było obsługiwane przez transport kolejowy (w ostatnich latach nastąpił więc ponad dwukrotny wzrost), podczas gdy 50% (215 000 000 000 tonokilometrów) było obsługiwane przez transport drogowy, a 45% (około 180 000 000 000 tonokilometrów) przez morską żeglugę krajową [7]. Nieznacznie zmieniło się to od 2008 roku, kiedy 4% ładunków było obsługiwanych przez kolejową gałąź transportu, a 58,7% przez drogową gałąź transportu [10].

Transport kolejowy ładunków w Japonii w 2015 roku obsługiwany był przez 243 stacje, w tym 116 stacji do obsługi kontenerów [7]. Tabor kolejowy w 2015 roku składał się z 617 lokomotyw (2018: 574 lokomotyw [5]) oraz 7 551 wagonów towarowych, w tym 42 wagony towarowe *EMU* tj. elektrycznych zespołów trakcyjnych (2018: taka sama liczba [5]). Liczba kontenerów będących w posiadaniu *JR Freight* wyniosła 66 900 kontenerów (2018: 67 369 kontenerów *JR* i 17 851 kontenerów prywatnych; [5]).

Jak wspomina autor [7], maksymalna długość pociągu w Japonii wynosi 540 m (co równa się 26 wagonom towarowym i lokomotywie). Potwierdza to obserwacja badawcza pociągów towarowych przez pierwszego autora artykułu, który zastosował metodykę obserwacji nieuczestniczącej łącznie z filmowaniem i liczeniem wagonów in-situ podczas swojego długookresowego pobytu w Japonii w latach 2019-2020. Wybrane przykłady są następujące:

- 23 stycznia 2020 r., po godzinie 15:30 w relacji *Tokio - Shizuoka* (w miejscowości *Shizuoka*), przejechał pociąg, który składał się z 22 towarowych wagonów intermodalnych z kontenerami i 3 wagonów cystern,
- 25 stycznia 2020 r., po godzinie 10:00 w relacji *Tokio - Shizuoka* (w miejscowości *Shizuoka*), przejechał pociąg składający się z 19 towarowych wagonów intermodalnych do przewozu kontenerów i 1 wagonu cysterny oraz 2 próżnych wagonów,
- 26 stycznia 2020 r., godz. 19:26 w relacji *Shizuoka - Tokio* (w miejscowości *Mishima*), przejechał pociąg składający się z 20 wagonów towarowych intermodalnych do przewozu kontenerów i 6 wagonów próżnych,
- 8 lutego 2020 r., ok. 9:00 w relacji *Shizuoka - Tokio* (w miejscowości *Shizuoka*), przejechał pociąg składający się z 23 wagonów intermodalnych towarowych do przewozu kontenerów,
- 26 stycznia 2020 r., ok. godz. 20:00 w relacji *Shizuoka - Tokio* (w miejscowości *Shizuoka*),

przejechał pociąg składający się z 5 towarowych wagonów intermodalnych z kontenerami i 18 próżnych wagonów.

W japońskim systemie eksploatacji kolei, przewozy i operacje związane z kolejowymi środkami transportu realizowane są głównie w nocy [7]. Głównym powodem jest to, że w ciągu dnia priorytetem jest transport pasażerski. Ponadto, jak wspomniano wcześniej, kolejowi operatorzy towarowi nie posiadają własnej infrastruktury torowej - użyczana jest im od operatorów pasażerskich. Przykładowy rozkład jazdy linii *Tōkaidō*, podany w [7], przedstawiał, że od godziny 00:00 do 05:00 wszystkie pociągi przemieszczające się wzdłuż linii są pociągami towarowymi. Lokalne i regionalne pociągi pasażerskie nie są obsługiwane w tym oknie czasowym. Autor [7] wspominał, że częstotliwość kursowania pociągów towarowych między godzinami 01:30 a 02:30 realizowana jest w odstępach plasujących się na poziomie 5 minut. Regularne kursy dotyczą krótkiego pociągu towarowego o masie do 1 300 ton, który składa się z 26 wagonów. Obsługiwane są również pociągi specjalne, takie jak *Toyota Longpass Express* - pociąg towarowy w Japonii, który przewozi części samochodowe *Toyota*.

Ciążar ładunkowy pociągu towarowego wynosi na ogół około 650 ton dla najdłuższego 26-wagonowego pociągu. Odpowiada to równoważności 65 dziesięcotonowych ciężarówek [11]. Fuzja transportu drogowego (ciężarówki) i morskiego (statki) stała się bardziej wydajna w obsłudze ładunków i obecnie podmioty transportu kombinowanego przewożą większe ilości towarów na dłuższych dystansach ze szkodą dla kolejowych przewoźników ładunków [12].

2 PODSUMOWANIE

Wskaźniki przedstawione powyżej zostały odnalezione w publikacjach naukowych i broszurach handlowych przewoźników kolejowych. Autorzy są świadomi dezaktualizacji tych informacji na przestrzeni ostatnich lat. Niemniej jednak celowo przytoczono bieżący stan publikacyjny, aby podkreślić, że transport ładunków japońskiego systemu kolejowego jest rzadko rozpatrywany w opracowaniach naukowych. W przyszłych pracach badawczych planowane są długotrwałe kwerendy zmierzające do aktualizacji tych informacji do 2022 r. (a być może także na lata kolejne).

Podziękowania

Przedstawiony materiał został zainspirowany wizytą pierwszego autora w Tokai University, Shizuoka, Japonia (wydział goszczący: Department of Navigation and Ocean Engineering, School of Marine Science and Technology, professor

goszczący: Dr. Koichi Shintani, okres wizyty: pomiędzy grudniem 2019 r. a lutym 2020 r., tytuł grantu badawczego: "Maritime Economics and Logistics in the Era of Industry 4.0 and especially Logistics 4.0"), co było znamenitą okazją do poznania japońskiej kultury oraz zbadania kilku aspektów inżynierii i technologii.

BIBLIOGRAFIA

- [1] KUROSAKI, F. (2018): *A study of vertical separation in Japanese passenger railways*. Case Studies on Transport Policy, 6(3), pp. 391-399. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2017.09.004>.
- [2] KIM, C. J. - HUANG M. C. (2019): *The Privatization of Japan Railways and Japan Post: Why, How, and Now*. ADBI Working Paper 1039. Tokyo: Asian Development Bank Institute. 25 pages. <https://www.adb.org/publications/privatization-japan-railways-japan-post-why-how-and-now> oraz <https://www.adb.org/sites/default/files/publication/539746/adbi-wp1039.pdf>, dostęp on-line 25 września 2022 r.
- [3] KIM, C. J. - HUANG M. C. (2021). *The Privatization of Japan Railways and Japan Post: Why, How, and Now*. W: Taghizadeh-Hesary, F., Yoshino, N., Kim, C.J., Kim, K. (eds) *Reforming State-Owned Enterprises in Asia*. ADB Institute Series on Development Economics. Springer, Singapore, pp 133–155. ISBN 978-981-15-8574-6. https://doi.org/10.1007/978-981-15-8574-6_7
- [4] SHINTANI, K. (2022): *Department of Marine Science and Ocean Engineering School of Marine Science and Technology, Tokai University, Shimizu, Shizuoka. Prywatna rozmowa przeprowadzona podczas wizyty studyjnej w Japonii związanej z realizacją grantu naukowego przez pierwszego autora artykułu*.
- [5] JRFREIGHT (2020): *Corporate overview (in corporate data). Challenge and change*. <https://www.jrfreight.co.jp/en/corporate-overview>, dostęp on-line 25 września 2022 r.
- [6] RAILWAY BUSINESS ACT (1986). *Railway Business Act in Japan. (Act No. 92 of 1986)*. <https://www.japaneselawtranslation.go.jp/en/laws/view/3839/en>, dostęp on-line 25 września 2022 r.)
- [7] NISHIMURA, K. (2015): *Freight Rail Overview & Freight Management in JAPAN. Japan Freight Railway Company*. https://www.carecprogram.org/uploads/2015-RWG-Meeting-P15_-JR-Freight_KNishimura_EN.pdf, dostęp on-line 25 września 2022 r.
- [8] JAPAN TRANSPORT AND TOURISM RESEARCH INSTITUTE (JTTRI) (2019): *Railway 2019 from numerical perspectives*. Tokyo: JTTRI (w języku japońskim).

[9] CEIC (2020): *Japan Railway: Freight Tonnage Carried*. <https://www.ceicdata.com/en/japan/railway-statistics/railway-freight-tonnage-carried>, dostęp on-line 25 września 2022 r.

[10] JAPAN RAILWAY CONSTRUCTION, TRANSPORT AND TECHNOLOGY AGENCY (2008): *Prywatne archiwum autora*.

[11] CORPORATE SOCIAL RESPONSIBILITY (CSR) (2018): *JRFreight, CSR Report 2018*. https://www.jrfreight.co.jp/assets/files/csr_pdf_12.pdf, dostęp on-line 25 września 2022 r.

[12] IWASA, K. (2001): *Rail Freight in Japan—The Situation Today and Challenges for Tomorrow*. *Japan Railway & Transport Review* 26, pp. 8-17.

Precipitačné vytvrdzovanie Al-Si-Cu-Mg zliatin

Martina Sýkorová, Ing.*

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

Dana Bolibruchová, prof. Ing., PhD.

Katedra technologického inžinierstva, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.
E-mail: danka.bolibruchova@fstroj.uniza.sk, Tel.: +421 41 513 2772

Precipitation hardening of Al-Si-Cu-Mg alloys

Abstract: The aim of the present work is the study of heat treatment T6 of Al-Si-Cu-Mg casting alloys. Age-hardenable Al-Si-Cu-Mg alloys have attracted increasing attention in recent years, particularly as a result of the demand for lighter vehicles as part of the overall goal to improve fuel efficiency and to reduce vehicle emissions. The work focuses on the description of the individual stages of Al-Si-Cu-Mg precipitation hardening, which consists of solution treatment, quenching and ageing. In general, the presence of Cu or Mg is necessary for the precipitation hardening of Al-Si-Cu-Mg alloys. Cu and Mg form strengthening phases θ -Al₂Cu and β -Mg₂Si as a result of which a positive increase in strength properties of Al-Si alloys can be observed. Basic principles of, and microstructural changes occurring during these three stages, including are given in the following chapters.

ÚVOD

Mechanické vlastnosti Al-Si-Cu-Mg zliatin v liatom stave závisia od chemického zloženia, parametrov odlievania a technológie odlievania. Zlepšenie mechanických vlastností, zníženie vnútorných napätí alebo ovplyvnenie spôsobu rozloženia prvkov v štruktúre je možné dosiahnuť tepelným spracovaním. Režimy tepelného spracovania sa volia v závislosti od chemického zloženia zliatin, disperzity východiskovej štruktúry a požadovaných mechanických vlastností. Najčastejším spôsobom tepelného spracovania Al-Si-Cu-Mg zliatin odlievaných do pieskových a kovových foriem je tepelné spracovanie vytvrdzovaním. Vytvrdzovanie Al-Si-Cu-Mg zliatin pozostáva z troch základných krokov:

- rozpúšťacie žihanie - prebieha pri zvýšených teplotách a dochádza pri ňom k rozpusteniu intermetalických fáz bohatých na Cu a Mg s cieľom získať homogénny tuhý roztok α (Al) s vysokou koncentráciou prísadových prvkov,
- rýchle ochladzovanie - potláča precipitáciu intermetalickej fázy prísadového prvku po ochladení zliatin z rozpúšťacej teploty na teplotu okolia s cieľom získať presýtený tuhý roztok α (Al),
- starnutie - dochádza k precipitácii a spevneniu štruktúry pri teplote okolia (prirodzené starnutie) alebo pri zvýšenej teplote (umelé starnutie) [1, 2].

1 ROZPÚŠŤACIE ŽIHANIE

Rozpúšťacie žihanie prebieha pri vysokej teplote tesne pod eutektickou teplotou vybranej zliatin. Počas rozpúšťacieho žihania prebiehajú 3 základné procesy:

- rozpustenie intermetalických fáz obsahujúcich vytvrdzujúci prvok Cu a Mg vzniknutých počas kryštalizácie taveniny Al-Si-Cu-Mg,
- homogenizácia prísadových prvkov v tuhom roztoku,
- sféroidizácia častíc eutektického Si.

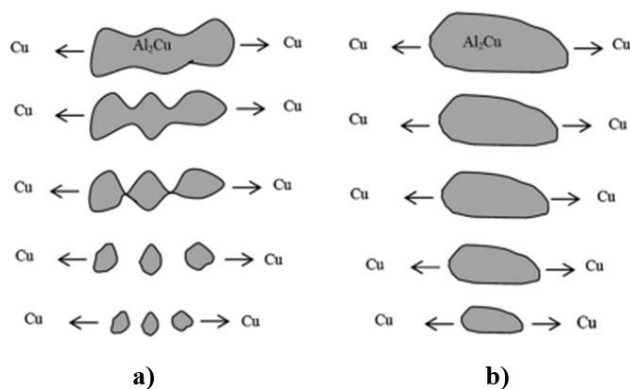
Rýchlosť prebiehajúcich procesov je závislá od teploty rozpúšťacieho žihania. So zvyšujúcou sa teplotou rozpúšťacieho žihania sa priebeh procesov zrýchľuje. So zvyšujúcou sa teplotou rozpúšťacieho žihania sa zvyšuje aj pevnosť zliatin po starnutí, v dôsledku zvýšenia maximálnej rozpustnosti prvkov v tuhom roztoku α (Al). Maximálna teplota rozpúšťacieho žihania Al-Si-Cu-Mg zliatin závisí od koncentrácie Cu a Mg a je limitovaná v dôsledku možného lokálneho natavenia fáz bohatých na Cu a Mg. Lokálne natavenia vytvrdzovacích fáz má negatívny účinok na mechanické vlastnosti zliatin [1, 2].

Intermetalické fázy θ -Al₂Cu a β -Mg₂Si sa vplyvom rozpúšťacieho žihania ľahko rozpúšťajú v matici α (Al) fázy. Intermetalické fázy typu Q-Al₅Cu₂Mg₈Si₆ a π -Al₈FeMg₃Si₆ sú naopak ťažko rozpustné. Železité fázy sú podobne ako fáza Q a π ťažko rozpustné,

pričom fáza $\alpha\text{-Al}_{15}(\text{Fe},\text{Mn}_3)\text{Si}_2$ nie je vplyvom rozpúšťacieho žihania vôbec ovplyvnená, zatiaľ čo fáza $\beta\text{-Al}_5\text{FeSi}$ sa vplyvom vysokej teploty dlhodobého rozpúšťacieho žihania fragmentuje na menšie častice a rozpúšťa sa [3].

Vysoká rýchlosť difúzie Mg v Al a vysoké teploty rozpúšťacieho žihania umožňujú ľahké rozpúšťanie fáz $\beta\text{-Mg}_2\text{Si}$. Dons skúmal rýchlosť rozpúšťacieho žihania zliatin A356 (SDAS 40 μm) a A357 (SDAS 55 μm) pri rozpúšťacej teplote 540 °C. Rozpustenie fázy $\beta\text{-Mg}_2\text{Si}$ v zliatine A356 bolo dokončené po 3 min. ÷ 4 min. a homogenizácia prebehla po 8 min. ÷ 15 min. V zliatine A357 prebehlo rozpustenie fázy $\beta\text{-Mg}_2\text{Si}$ a následná homogenizácia prísadového prvku v tuhom roztoku do 50 min. Dlhšia doba rozpúšťacieho žihania zliatiny A357 je spôsobená vyššou koncentráciou Mg a hrubšou mikroštruktúrou [4, 5].

Li študoval kryštalizáciu fázy $\theta\text{-Al}_2\text{Cu}$. V liatom stave sa fáza $\theta\text{-Al}_2\text{Cu}$ vylučuje v podobe kompaktných blokov Al_2Cu alebo ako ternárne eutektikum $\text{Al-Al}_2\text{Cu-Si}$. Ternárne eutektikum $\text{Al-Al}_2\text{Cu-Si}$ vplyvom rozpúšťacieho žihania fragmentuje na menšie častice, ktoré sa postupne sféroidizujú. Následne voľná Cu prechádza difúzne do okolitej matrice. Blokovaná fáza Al_2Cu sa rozpúšťa podstatne ťažšie ako ternárne eutektikum $\text{Al-Al}_2\text{Cu-Si}$. V dôsledku toho, že neprebíha fragmentácia, ale iba sféroidizácia a následná difúzia Cu , rozpúšťacie žihanie trvá podstatne dlhšie [6].



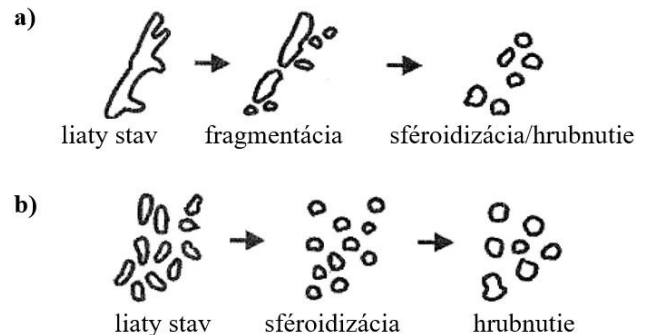
Obr. 1. Rozpúšťanie Al_2Cu fázy: a) ternárne eutektikum, b) bloky Al_2Cu [7]

Morfológia eutektického Si má významný vplyv na mechanické vlastnosti Al-Si zliatin. V nemodifikovaných zliatinách Al-Si sa eutektický Si vylučuje vo forme hrubých dosiek, ktoré pôsobia ako koncentrátoři napätia a majú negatívny vplyv na ťažnosť zliatiny.

Morfológiu eutektického Si možno modifikovať vplyvom tepelného spracovania alebo úpravou tekutého roztoku prostredníctvom modifikácie napr. Sr , alebo ich kombináciou. Počas rozpúšťacieho žihania dochádza k fragmentácii dosiek eutektického Si následne dochádza k sféroidizácii a hrubnutiu

častíc Si . Vplyvom modifikácie Sr dochádza k transformácii eutektického Si na energeticky výhodnejší tvar jemných zaoblených lamiel.

K fragmentácii a sféroidizácii vláknitej morfológie eutektického Si dochádza účinkom rozpúšťacieho žihania pomerne ľahko. V dôsledku čoho možno výrazne skrátiť dobu rozpúšťacieho žihania [1].



Obr. 2. Sféroidizácia eutektického Si : a) nemodifikovaný stav, b) modifikovaný stav [7]

1.1 Dvojstupňové rozpúšťacie žihanie

Hliníkové zliatiny legované Cu alebo kombináciou Cu a Mg nie je možné podrobiť rozpúšťaciemu žihaniu pri vysokých teplotách, ktoré možno použiť pri zliatinách Al-Si-Mg v dôsledku lokálneho natahovania Cu fáz. Nižšia teplota rozpúšťacieho žihania spôsobuje nižšiu koncentráciu prísadových prvkov a nedostačujúcu sféroidizáciu Si častíc.

Sokolowski preto skúmal vplyv dvojstupňového rozpúšťacieho žihania Al-Si-Cu-Mg zliatin. Zliatina bola v prvom kroku podrobená rozpúšťaciemu žihaniu 490 °C / 8 hod. s cieľom rozpustiť intermetalické fázy na báze Cu . Následne bola teplota rozpúšťacieho žihania zvýšená na 520 °C po dobu 2 hod., aby sa získala homogénna koncentrácia prísadového prvku v tuhom roztoku $\alpha(\text{Al})$. Sokolowski deklaroval pozitívne zvýšenie pevnosti a ťažnosti skúmanej Al-Si-Cu-Mg zliatiny. [8,9]

2 RÝCHLE OCHLADZOVANIE

Po rozpúšťacom žihaní nasleduje rýchle ochladzovanie zliatiny s cieľom potlačiť precipitáciu intermetalických fáz prísadových prvkov v dôsledku čoho vzniká presýtený tuhý roztok $\alpha(\text{Al})$.

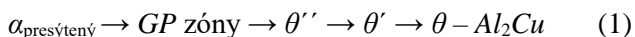
Pri dostatočnej rýchlosti ochladzovania získavame tuhý roztok s vysokým stupňom presýtenia a rovnako je zachovaný aj vysoký počet vakancií v mriežke, čím sa počas starnutia zvyšuje pohyblivosť prvkov v primárnej $\alpha\text{-Al}$ fáze.

Ak je ochladzovanie uskutočnené príliš pomaly dochádza ku heterogénnej precipitácii jednotlivých častíc po hraniciach zŕn alebo v miestach dislokácií. Tým dochádza k zníženiu stupňa presýtenia tuhého roztoku, čím dochádza k negatívne ovplyvneniu mechanických vlastností zliatiny Al-Si-Cu-Mg [1].

3 STARNUTIE

Precipitačné vytvrdzovanie je difúzny pochod, ktorý prebieha v štruktúre odliatku po rozpúšťacom žíhaní a rýchlom ochladzovaní. Pri starnutí dochádza k rozpadu presýteného tuhého roztoku $\alpha(Al)$. Procesy prebiehajúce pri starnutí možno rozdeliť do troch etáp. V prvej etape dochádza k vzniku *Guiner-Prestonových zón (GP)*. GP zóny sú význačné zvýšenou koncentráciou prísadového prvku v tuhom roztoku $\alpha(Al)$. Tieto zóny sú taktiež koherentné s tuhým roztokom, čo znamená, že sú kryštalicky prepojené s mriežkou tuhého roztoku $\alpha(Al)$. Prítomnosť GP zón vedie k vzniku mriežkových napätí, ktoré sú príčinou zvýšenej pevnosti a tvrdosti. V prvej etape starnutia možno dosiahnuť maximálny efekt vytvrdzenia *Al-Si-Cu-Mg* zliatiny. V druhej etape dochádza k postupnej strate koherencie za vzniku semikoherentného prechodového precipitátu, ktorý je len čiastočne kryštalograficky prepojený s pôvodným presýteným tuhým roztokom. Pri postupnej strate koherencie nedochádza k vzniku mriežkových napätí. Vytvrdzovanie je spôsobené len precipitačným spevnením zliatiny, ktorého efekt je nižší. V poslednej etape starnutia dochádza k úplnej strate koherencie za vzniku rovnovážneho precipitátu. Rovnovážny precipitát už nie je kryštalograficky viazaný na maticu tuhého roztoku $\alpha(Al)$, čím dochádza k znižovaniu pevnostných vlastností zliatiny. Tento jav, ktorý vzniká v dôsledku vysokej teploty alebo dlhej doby vytvrdzovania sa nazýva prestarnutie zliatiny [1, 10].

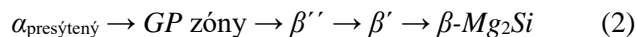
Zliatiny *Al-Si-Cu-Mg* nadobúdajú vplyvom precipitačného vytvrdzovania vyššiu pevnosť než ternárne systémy *Al-Si-Mg* a *Al-Si-Cu*. V precipitačne vytvrdzených zliatinách *Al-Si-Cu-Mg* sa najčastejšie vyskytujú precipitáty typu Al_2Cu , Mg_2Si , $Q-Al_5Cu_2Mg_8Si_6$ a $S-Al_2CuMg$. Precipitáciu fázy Al_2Cu možno popísať nasledovne:



Sekvencia začína zhlukovaním atómov Cu , ktoré vznikajú rozpadom presýteného tuhého roztoku $\alpha(Al)$. Zhluky atómov Cu vytvárajú pri izbovej teplote koherentné GP zóny vo forme diskov s priemerom 3 nm až 5 nm. Dlhou výdržou na izbovej teplote dochádza k zväčšovaniu veľkosti a podielu GP zón. Zvyšovaním teploty starnutia nad 100 °C dochádza k rozpúšťaniu GP zón a tvorbe precipitátov θ'' . Jemné precipitáty θ'' sa vylučujú rovnomerne a koherentne s maticou tuhého roztoku $\alpha(Al)$. Vysoký stupeň koherencie zapríčiňuje vznik napätých polí, ktoré spôsobujú zvýšenie maximálnej pevnosti zliatiny. V ďalšej etape starnutia dochádza k rozpúšťaniu θ'' a vzniku semikoherentného precipitátu θ' , ktorý nadobúda doskovitú morfológiu. V poslednej etape starnutia dochádza k vzniku rovnovážnych precipitátov θ -

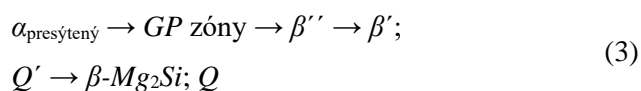
Al_2Cu , ktoré sú nekoherentné s maticou. Veľké rozmery a nerovnomerná distribúcia $\theta-Al_2Cu$ fázy spôsobuje značný pokles mechanických vlastností zliatin [11].

Precipitáciu fázy Mg_2Si možno popísať nasledovne:

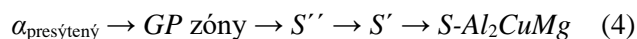


Proces precipitácie začína tvorbou sférických GP zón, ktoré sú obohatené o atómy Mg a Si . Rozpadom presýteného tuhého roztoku $\alpha(Al)$ dochádza prostredníctvom predlžovania GP zón k vzniku koherentného precipitátu β'' , ktorý má morfológiu jemných ihlíc. Následná sekvencia pokračuje rozpúšťaním precipitátu β'' za vzniku semikoherentného precipitátu β' . V poslednej fáze vzniká nekoherentný precipitát $\beta - Mg_2Si$. Pomer $Mg:Si$ rastie s postupujúcou sekvenciou zón $GP \rightarrow \beta'' \rightarrow \beta' \rightarrow \beta - Mg_2Si$. Si sa počas starnutia môže vyzrážať v matici $\alpha(Al)$ fázy, v prípade ak je po ochladení odliatku z teploty rozpúšťacieho žíhania v miernom nadbytku. Zhang uvádza, že veľký podiel Si vyzrážaného v matici je spotrebovaný na tvorbu koherentného precipitátu β'' , čím sa značne znižuje koncentráciu Si v matici $\alpha(Al)$ fázy. V tejto etape je pomer $Mg:Si$ nízky. Pomer $Mg:Si$ narastá v poslednej etape precipitačného vytvrdzovania kedy dochádza k vzniku rovnovážnych precipitátov $\beta - Mg_2Si$. Tvorbou $\beta - Mg_2Si$ dochádza k postupnému uvoľňovaniu Si do matrice $\alpha(Al)$ fázy, ktorý sa následne vylúči vo forme globulárnych častíc [12].

Precipitáciu fázy $Q-Al_5Cu_2Mg_8Si_6$ možno vyjadriť nasledovne:



Sekvencia začína podobne ako v predošlých prípadoch rozpadom presýteného tuhého roztoku $\alpha(Al)$, čím dochádza k vzniku koherentných precipitátov β'' . V tejto etape dochádza k rozpúšťaniu atómov Cu vo fáze β'' . V ďalšej fáze precipitácie dochádza k rozpúšťaniu fázy β'' a v závislosti od pomeru $Cu:Mg$ dochádza k vylučovaniu semikoherentných fáz β' a Q' . Následne vznikajú nekoherentné precipitáty $\beta - Mg_2Si$ a Q . Pre zliatiny s pomerom $Cu:Mg > 2,2$ dochádza k vylučovaniu fázy $S - Al_2CuMg$. Precipitáciu fázy S možno popísať analogicky ako v predošlých prípadoch [13, 14]:



ZÁVER

Al-Si-Cu-Mg zliatiny sú významné pre aplikácie používané v automobilovom a leteckom priemysle. Zliatiny na báze *Al-Si-Cu-Mg* disponujú výhodnou

kombináciou mechanických vlastností, ktoré úzko súvisia s prítomnosťou intermetalických fáz.

Mechanické vlastnosti *Al-Si-Cu-Mg* zliatin možno výrazne ovplyvniť vplyvom precipitačného vytvrdzovania, ktoré pozostáva z troch základných krokov: rozpúšťacie žihanie, rýchle ochladzovanie a starnutie. Podmienkou pre precipitačné vytvrdzovanie *Al-Si* zliatin je prítomnosť *Cu* alebo *Mg*, ktoré majú schopnosť vytvárať spevňujúce fázy Al_2Cu a Mg_2Si . Negatívne ovplyvnenie mechanických vlastností *Al-Si-Cu-Mg* zliatin je spôsobené prítomnosťou intermetalických fáz na báze *Fe*, ktoré sú ťažko rozpustné konvenčnými postupmi tepelného spracovania. Vplyvom tepelného spracovania *T6* dochádza taktiež k sféroidizácii eutektického *Si*.

Vlastnosti *Al-Si-Cu-Mg* zliatin možno v širokom rozsahu ovplyvňovať prostredníctvom precipitačného vytvrdzovania. Z tohto hľadiska je nevyhnutné na optimalizáciu vlastností *Al-Si-Cu-Mg* zliatin ovládať mechanizmus precipitačného vytvrdzovania.

Pod'akovanie

Článok bol vytvorený v rámci projektu grantovej spoločnosti VEGA 1/0160/22. Autori ďakujú agentúre za podporu.

LITERATÚRA

- [1] BOLIBRUCHOVÁ, D. - PASTIRČÁK, R. (2018): *Zlievarenská metalurgia nežeľzných kovov*. Žilina: EDIS – vydavateľské centrum ŽU, ISBN 978-80-554-1463-8.
- [2] SJÖLANDER, E. et al. (2010): *The Heat Treatment of Al-Si-Cu-Mg Casting Alloys*. Journal of Materials Processing Technology. Vol. 210, 1249-1259 p.
- [3] MOUSTAFA, M. A. et al. (2003): *Effect of solution heat treatment and additives on the microstructure Al-Si (A413.1) automotive alloys*. J. Mater. Sci., Vol. 38, 4507-4522 p.
- [4] DONS, A. L. et al. (2000): *Modelling the microstructure of heat treated AlSi foundry alloys*.

Aluminium. Vol. 76, 294-297 p.

- [5] ZHANG, D. L. et al. (2002): *Effect of a short solution treatment time on microstructure and mechanical properties of modified Al-7wt.%Si-0.3wt.%Mg alloy*. Journal of Light Metals. Vol. 2, 27-36 p.
- [6] LI, Z. et al. (2003): *Effect of alloying elements on the segregation and dissolution of CuAl₂ phase in Al-Si-Cu 319 alloys*. Journal of Materials Science, Vol. 38, 1203-1218 p.
- [7] HAN, Y. M. et al. (2008): *Effect of Solution Heat Treatment Type on the Dissolution of Copper Phases in Al-Si-Cu-Mg Type Alloys*. AFS TRANS. Vol. 116, 79-90 p.
- [8] SOKOLOWSKY, J. H. et al. (1995): *Removal of copper-phase segregation and the subsequent improvement in mechanical properties of cast 319 aluminum alloys by a two-stage solution treatment*. Journal of Materials Processing Technology. Vol. 53, 385-392 p.
- [9] CHUNGSEOK, K. et al. (2016): *Two-step solution heat treatment of AlSiCu alloy for improvement of mechanical properties*. Materials Science Forum, 246-250 p.
- [10] SKOČOVSKÝ, P. et al. (2015): *Náuka o materiáli*. Žilina: Edis, 349 p. ISBN 978-80-554-1071-5.
- [11] ABDELAZIZ, M. H. et al. (2021): *Strengthening precipitates and mechanical performance of Al-Si-Cu-Mg cast alloys containing transition elements*. Materials Science and Engineering. Vol. 820.
- [12] MOHAMED, F. et al. (2012): *A Review on the Heat Treatment of Al-Si-Cu/Mg Casting Alloys*. INTECH, 54-72 p.
- [13] BUHA, J. et al. (2006): *Microstructural Development and Mechanical Properties of Interrupted Aged Al-Mg-Si-Cu Alloy*. Metallurgical and Materials Transactions A. Vol. 37, 3119-3130 p.
- [14] KIM, D. et al. (2021): *Precipitation behaviour of Al-Si-Cu-Mg(-Fe) alloys by a deformation-semisolid extrusion process*. Elsevier, Vol.173.

Numerické simulácie vplyvu technologických faktorov na štruktúru vysokotlakových odliatkov

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 Brůna, 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

Marek Matejka, Ing., PhD.

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

Numerical simulation of the influence of technological factors on the structure of high-pressure die-casts

Abstract: Mechanical properties of high-pressure die casts are directly influenced by the microstructure of the casting. The aim of this paper was to evaluate the influence of the fast-shot speed on the structure of two geometric variants of casts made of *AlSi9Cu3(Fe)* alloy using numerical simulations. The simulations had shown the possibility of air entrapment in the filling chamber. Oxides, and consequently microporosity, were predicted, which lead to selecting critical points of casts for further observation and evaluation.

ÚVOD

Do procesu vysokotlakového odlievania vstupuje viacero technologických faktorov, ktoré zásadne vplyvajú na konečnú kvalitu odliatku. Súčasný výskum technológie sa zameriava na zlepšovanie kvality odliatkov a optimalizáciu týchto parametrov na zabezpečenie čo možno najlepších mechanických vlastností odliatku. Na tieto aspekty priamo vplyva mikroštruktúra odliatku.

Princíp technológie vysokotlakového liatia je nasledovný: piest sa v prvej fáze začne pomaly posúvať a uzavrie sa otvor pre plnenie komory. Pri druhej fáze sa rýchlosť piestu zrýchli a v konečnej fáze sa piest takmer nepohybuje a tavenina sa len dotláča na potrebný tlak - dotlak [1].

Pri podeutektických zliatinách hliníka vznikajú kryštalizačné zárodky heterogénnou nukleáciou tuhej fázy v tavenine. Zjemnenie štruktúry je následkom priamej závislosti medzi tlakom v tavenine a kritickou veľkosťou nukleovaného zárodka. Čím väčší tlak, resp. dotlak pôsobí na taveninu, tým je

kritická veľkosť kryštalizačných zárodokov menšia [2].

Výsledky štúdie nadeutektických a podeutektických zliatin potvrdzujú pri pôsobení vyššej experimentálnej hodnoty dotlaku (127 MPa) lepšie mechanické vlastnosti (*HV*, *R_e*, *A*) a nižšia hodnota dotlaku 87 MPa mala za následok najvyššie hodnoty pórovitosti [3].

Dôležitým technologickým faktorom vysokotlakového dolievania je aj rýchlosť plnenia dutiny formy. Ak je rýchlosť v záreze menšia ako optimálna, dochádza k nezabehnutiu formy, nedoliatiu odliatku, rozmerovým nepresnostiam alebo studeným spojom. Naopak pri rýchlosti vyššej ako optimálnej, prúd taveniny naráža na steny dutiny formy vysokou kinetickou energiou a odplavuje vytvorenú kôru do vnútra odliatku, zliatina sa nalepuje na stenu formy a dôsledkom je mapovitý povrch odliatku [4].

Predhrevom plniacej komory a formy pred začatím lejacieho procesu sa zamedzuje znižovaniu teploty odlievaného kovu a zabraňuje sa jeho predčasnej

kryštalizácii. Príliš vysoká teplota povrchu formy má za následok neprilnutie mazadla na povrch a s ním spojenú tvorbu pľuzgierov. Nízka teplota nezabezpečí odstránenie zvyškovej vlhkosti vo forme, ktorá je zdrojom vzduchových bublín [5].

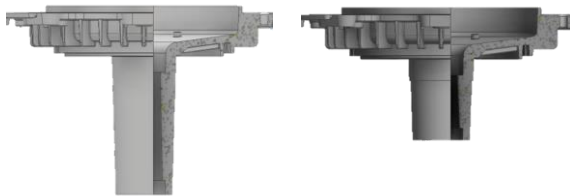
Vo výskumných experimentoch bývajú numerické simulácie v oblasti vysokotlakového odlievania využité na predikciu pórovitosti, na optimalizáciu vtokovej sústavy či simuláciu odlievania za použitia vákuu [6, 7].

1 METODIKA EXPERIMENTU

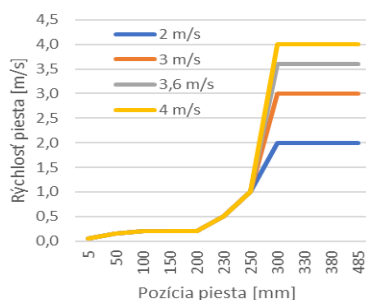
Úlohou experimentu bolo využitie numerických simulácií v technologickom procese vysokotlakového liatia na predikciu miest v odliatku so zníženou kvalitou a zmenu štruktúry odliatkov vplyvom zmeny rýchlosti pohybu piesta a geometrickou zmenou rozmerov odliatku. Vstupné podmienky simulácie boli zvolené na základe reálneho procesu odlievania daných odliatkov vo firme *Rosenberg Slovakia s.r.o., Medzev*. Chemické zloženie zliatiny *AlSi9Cu3(Fe)* je v tab. 1.

Tab. 1. Chemické zloženie zliatiny *AlSi9Cu3(Fe)*

Chemické zloženie [hm. %]						
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni
10,3	0,72	2,1	0,16	0,13	0,02	0,07



Obr. 1. Rozdiel dĺžky tuby odliatkov firmy *Rosenberg – SB 120 a SB 55*



Obr. 2. Závislosť rýchlosti piesta od jeho pozície

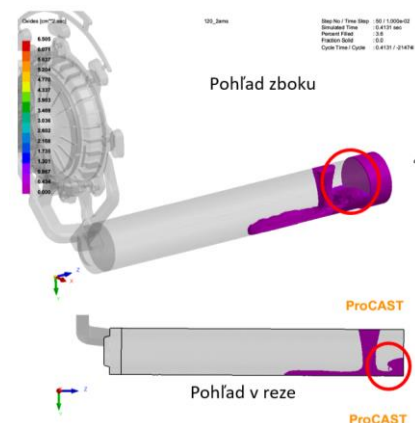
Porovnané tvary odliatku *Stratorbuchse GD 150* v dvoch variantoch dĺžky tubovej časti sú znázornené na obr. 1, ďalej označované *SB 120* a *SB 55*. Odlievanie oboch typov odliatkov bolo simulované v štyroch alternatívach, v ktorých sa menil parameter maximálnej rýchlosti lisovacieho

piestu v plniacej komore v_{max} . Obrázok 2 znázorňuje grafický priebeh rýchlosti piesta.

2 VÝSLEDKY A DISKUSIA

2.1 Liatie taveniny do plniacej komory

Pri simulácii liatia taveniny do plniacej komory bola zistená pravdepodobnosť prevalenia hladiny taveniny po jej náraze na hlavu lisovacieho piesta (obr. 3). Už v tomto kroku môže dôjsť k uzatvoreniu vzduchu či strhnutiu povrchových oxidov do objemu taveniny vo forme dvojvrstvovej oxidickej blany (bi-filmu). Vzhľadom na tvarovú podobnosť studených komôr oboch strojov možno povedať, že tento jav sa môže prejavovať v oboch odliatkoch, *SB 120* aj *SB 55*.

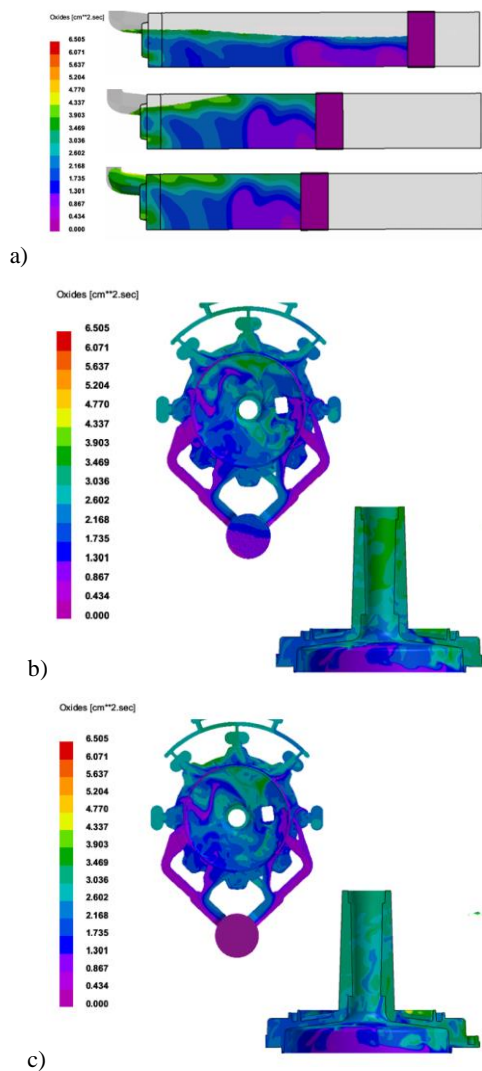


Obr. 3. Simulácia výskytu oxidov v komore pri liatí taveniny do plniacej komory

Okrem tohto bol predikovaný aj nasledovný mechanizmus tvorby oxidov: pred pohybom piesta, pri ustáľovaní hladiny, začína hladina taveniny pri kontakte s atmosférou prirodzene oxidovať. Riadenou rýchlosťou pohybu piesta v prvej fáze je hladina so vznikajúcimi oxidmi tlačaná dopredu a po úplnom vyplnení komory je kov hladiny taveniny v prednej časti piesta. Táto časť roztaveného kovu je ako prvá vstreknutá do dutiny formy.

Výsledky simulácie prítomnosti oxidov v odliatku po odliatí (obr. 4b, c) nasvedčujú tomuto mechanizmu - tablety, rozvážacie kanály a miesta odliatku, kde bol doplnený kov v posledných momentoch plnenia formy, vykazujú najnižšiu až nulovú prítomnosť oxidov (fialová farba), zhodne s objemom roztaveného kovu najbližšie k hlave piesta.

Najmenší výskyt oxidov vzhľadom na zmenu rýchlosti pohybu piesta v_{max} je badateľný v simuláciách s rýchlosťou $4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (obr. 4c). V klobúčkovej časti dominujú nízke hodnoty pravdepodobnosti výskytu oxidov a v tubovej časti prevažujú modré a bledozelené oblasti so strednými hodnotami výskytu oxidov. Najvyššie hodnoty prítomnosti oxidov možno pozorovať v tubovej aj klobúčkovej časti odliatku *SB 120* s $v_{max} = 2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (obr. 4b).

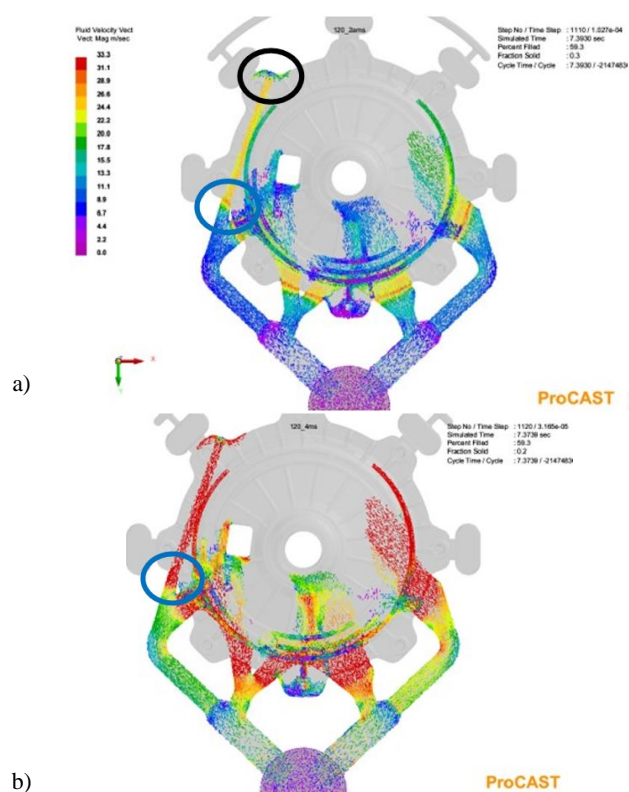


Obr. 4. Simulácia prítomnosti oxidov: a) v plniacej komore, b) v odliatku SB 120, 2 m·s⁻¹, c) SB 120, 4 m·s⁻¹

2.2 Rýchlosť prúdenia taveniny

Charakter pohybu taveniny v dutine formy závisí od vstupnej rýchlosti taveniny, pomeru plôch zárezu a odliatku, viskozity a povrchového napätia taveniny a vzájomného pôsobenia medzi taveninou a formou. Pri rýchlostiach do 0,3 m·s⁻¹ ide o plnenie laminárne, od 0,5 do 15 m·s⁻¹ ide o súvislé turbulentné prúdenie a pri vysokých rýchlostiach od 25 m·s⁻¹ ide o prúdenie disperzné [8]. Pri simulácii rýchlosti pohybu taveniny pri plnení formy odliatku SB 120 najnižšou rýchlosťou piesta 2 m·s⁻¹ (obr. 5a) možno pozorovať po zárezy najmä turbulentné prúdenie (do 15 m·s⁻¹) a v mieste zúženia prierezu v zárezoch najmä disperzné prúdenie. Pri rýchlosti pohybu piesta 4 m·s⁻¹ (obr. 5b) je rýchlosť taveniny dosahujúca disperzné prúdenie ešte pred zárezmi (červenou farbou). V oboch prípadoch je rýchlosť taveniny v dutine formy taká vysoká, že prúd taveniny zo zárezu vľavo naráža na stenu formy v hornej časti odliatku označený čiernou elipsou.

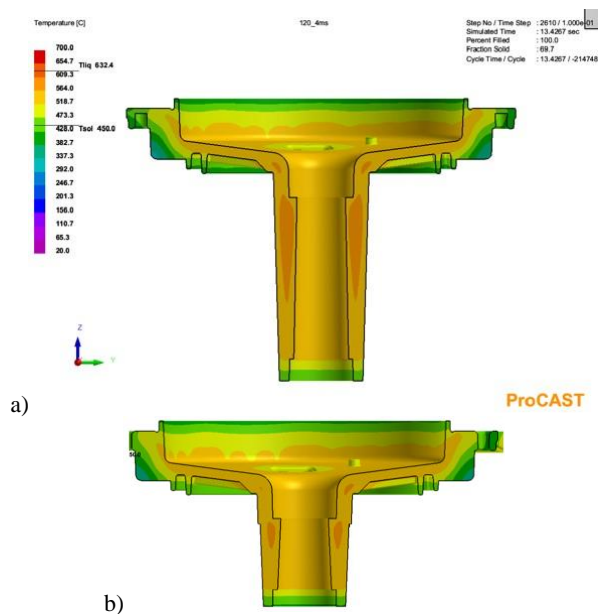
Analogický priebeh plnenia dutiny formy bolo možné pozorovať pri odliatku SB 55.



Obr. 5. Simulácia vektorov rýchlosti taveniny v dutine formy SB 120: a) 2 m·s⁻¹ b) 4 m·s⁻¹

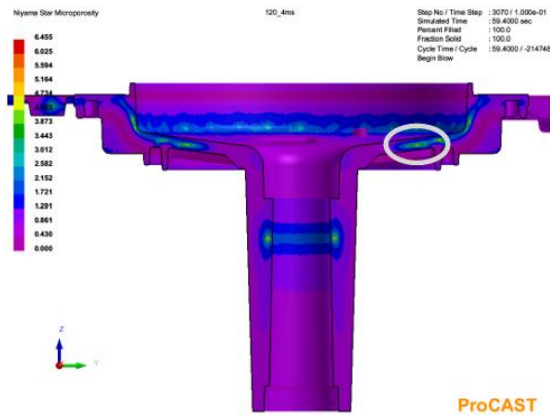
2.3 Priebeh tuhnutia taveniny a mikropórovitosť

Obrázok 6 zobrazuje výsledok simulácie rozloženia teploty odliatku v čase odlievania 13,43 s. Simulácie ukázali s nárastom dĺžky tuby zväčšenie oblasti tepelného uzla a následkom vyššiu pravdepodobnosť výskytu stiahnutiny. V najkratšom čase tuhnuté rohy tenkých rebier odliatku (modrou farbou).



Obr. 6. Tepelné uzly v odliatku: a) SB 120, b) SB 55

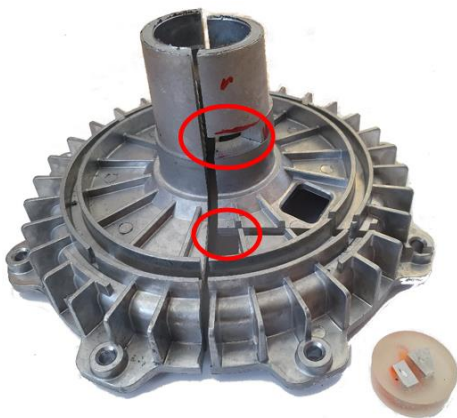
S tepelnými uzlami a rýchlosťou chladnutia korešponujú aj výsledky simulácie mikropórovitosti – v najhrubšom mieste tubovej časti odliatku predpokladaný najväčší výskyt mikropórov (obr. 7). Miesto s menším predpokladaným výskytom mikropórov je elipsou zvýraznená časť klobúka.



Obr. 7. Simulácia mikropórovitosti

2.4 Výber kritických miest určených na pozorovanie

Po analýze numerických simulácií boli odliate experimentálne odliatky v dvoch geometrických variantoch za použitia štyroch zvolených maximálnych rýchlostí pohybu piesta. Na základe simulácie priebehu tuhnutia taveniny a mikropórovitosti boli z každého odliatku zvolené dve miesta vhodné na pozorovanie - vzorka z tubovej časti vzhľadom na to, že ide o najvýraznejší tepelný uzol, a vzorku z tenkostennej časti klobúka z miesta s predpokladom výskytu mikropórovitosti (obr. 8).



Obr. 1 Kritické miesta odliatku určené na pozorovanie

ZÁVER

Cieľom predloženého príspevku bolo pomocou numerických simulácií zistiť vplyv zmeny maximálnej rýchlosti lisovacieho piesta na štruktúru odliatkov dvoch geometrických variantov a výsledky využiť na výber kritických miest určených na experimentálne pozorovanie a hodnotenie.

Výsledky numerických simulácií predikovali prevalenie hladiny taveniny pri nalievaní taveniny do plniacej komory, po náraze kovu na hlavu lisovacieho piesta. Pri tomto deji môže dôjsť k uzatvoreniu vzduchu a povrchových oxidov do objemu taveniny. Simulácia vektorov rýchlosti prúdenia kovu potvrdili disperzný režim plnenia formy, vďaka ktorému možno dosiahnuť homogénnu štruktúru odliatku. Simulácia priebehu teploty odhalila miesta, v ktorých sa vyskytujú tepelné uzly. Simulácia výskytu mikropórov predikovala ich výskyt práve v tepelných uzloch. Simulácie výskytu oxidov predpokladali výskyt oxidov v odliatku, v dôsledku samovoľnej oxidácie hladiny taveniny v plniacej komore. Objem hladiny taveniny je prvým objemom, ktorý je vlisovaný do dutiny formy. Najmenší výskyt oxidov bol pozorovaný vo výsledkoch simulácií, kde v_{max} bola $3,6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a $4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Z miest vybraných na základe numerických simulácií - z klobúka a tuby odliatku - boli z odliatkov extrahované vzorky určené na ďalšie skúmanie.

LITERATÚRA

- [1] RAGAN, E. et al. (2007): *Liatie kovov pod tlakom*. Prešov: s.n., ISBN 978-80-8073-979-9.
- [2] TALANDA, I. (2010): *Studium hlavních faktorů, které ovlivňují jakost u technologických procesu*. Brno: Vysoké učení technické, Závěrečná práce.
- [3] OUTMANI, I. - FOUILLAND-PAILLE, L.A. - ISSELIN, J. (2017): *Effect of Si, Cu and processing parameters on Al-Si-Cu HPDC castings*. s. 1.: Elsevier, 249, pp. 559-569.
- [4] GAŠPÁR, Š. (2013): *Technologické parametre v procese tlakového liatia a kvalitatívne vlastnosti hliníkových odliatkov*. Prešov: Technická univerzita v Košiciach, habilitačná práca.
- [5] ŠTIPL, P. (2014): *Technologie liti vysokotlakových odlitků a vlivy působící na jejich kvalitu*. Brno: Vysoké učení technické Brno, diplomová práce.
- [6] ADAMANE, A. R. et al. (2015): *Influence of Injection Parameters on the Porosity and Tensile Properties of High-Pressure Die Cast Al-Si Alloys: A Review*. International Journal of Metalcasting, Zv. 9, Issue 1.
- [7] KWON, H.-J. - KWON, H.-K. (2018): *Computer aided engineering (CAE) simulation for the design optimization of gate system on high pressure die casting (HPDC) process*. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Zv. 55, Part B.
- [8] RUŽBARSKÝ, J. (2019): *Al-Si Alloys Casts by Die Casting - A Case Study*. s.l. Springer, ISBN 978-3-030-25149-9.

RECENZIA

Kniha v červenom obale s názvom *Rovnice, symboly poznania*, by mala vari byť v knižnici každého technika a inžiniera. Text knihy je v češtine, ale pôvodný originál je v holandskom jazyku, kde názov knihy znie: *De natuurwet. Iconen van onze kennis*. Autorom je *Sander Bais*, holandský fyzik. Kniha vyšla už v roku 2009 v nakladateľstve *Dokořán, spol. s r. o. Praha*. Text je na 95 stranách a ISBN je 978-80-7363-228-1. Ide o populárno-vedeckú knihu, čo jej hodnotu nijako neznižuje, skôr vzbudzuje obdiv, ako brilantne sa autor vysporiadal s takouto náročnou témou. Je potrebné zdôrazniť, že kniha má obálku, čo je vcelku zaujímavé, keďže v dnešnej dobe sa od prebalov upúšťa. Prebal je využitý nielen ako dekorácia, ale sú na ňom vytlačené dôležité tabuľky; *Približné hodnoty niektorých univerzálnych prírodných konštánt, Premenné a funkcie, Súčiny násobenia a Diferenciálne operátory pôsobiace na funkcie a pole*.

Aby som sa vrátil k tomu, že kniha je populárno-vedecká musím podotknúť slovami autora: určite ste to už niekde počuli, aby mala populárna kniha komerčný úspech, nesmú v nej byť nijaké rovnice, najlepšia ani jedna. Vraj každá rovnica znižuje počet čitateľov na polovicu. V takomto žánre sú prsto a jednoducho rovnice tabu. Niektorí ľudia sú skutočne alergickí na rovnice, ale iným naopak vyhovujú. Pokúsiť sa zaobísť bez rovníc pri výklade prírody dáva asi rovnaký zmysel ako zakázať náčrty a fotografie pri výklade dejín umenia. V tejto knihe sa na takéto tabu neprihliada a rovnice sú postavené do stredu záujmu a pozornosti čitateľa.

Text knihy hovorí o fundamentálnych rovniciach vo fyzike, inšpirujúcich plodoch ľudskej túžby porozumieť svetu okolo seba. Rovnice majú tú výhodu, že sú najstručnejším a popritom úplne presným popisom ciest, ktorými sa príroda ubera, zapísaným jazykom matematiky. Z toho dôvodu nemôžu byť odvodené iba logickými úvahami, ale sú výsledkom kritického dialógu medzi pozorovaním prírody a tvorivým myslením mnohých hláv, často naozaj geniálnych. Táto kniha nemá za cieľ byť klasickou učebnicou matematiky ani fyziky. Kľúčové rovnice sú v nej uvádzané tak jednoducho a prsto, ako sa to len dá. Text sa nevenuje dostatočne ich empirickému overeniu, napriek tomu, že iba vďaka podrobnému a kritickému pozorovaniu vecí a javov v prírode boli tieto rovnice sformulované.

Uvedené sú rovnice: *Newtonove rovnice pohybové rovnice a zákon všeobecnej gravitácie, Lorenzova sila, Rovnica continuity, Maxwellove rovnice, Vlnová rovnica, Kortewegova-de Vriesova rovnica, Tri termodynamické zákony, Boltzmannova rovnica, Navier-Stokesove rovnice, Relativistická kinetika, Einsteinove rovnice, Schrödingerova rovnica, Diracova rovnica, Kvantová chromodynamika, Glashowov-Weibergerov-Salomov model, Superstruny*.

V úvode sú prebraté matematické nástroje a rovnice logistiky.

Autor sa snaží skôr sprostredkovať krásu a vzrušenie z toho, čo človeku tieto rovnice hovoria. Fyzici používajú matematiku ako svoj jazyk, čiže ako prostriedok opisu. Pre matematikov je ale matematika cieľom a predmetom štúdia sama osebe. Pre nás je jazykom prírody, ktorý bolo potrebné rozvíjať spolu s tým, ako fyzici odhaľovali ďalšie a ďalšie úrovně a hĺbky fyzického sveta okolo nás.

Ak by som mal hodnotiť, tak určite desať z desiatich. Vrelo odporúčam každému záujemcovi. Nakoniec iba upozornenie: nečítať ako beletriu!

JM