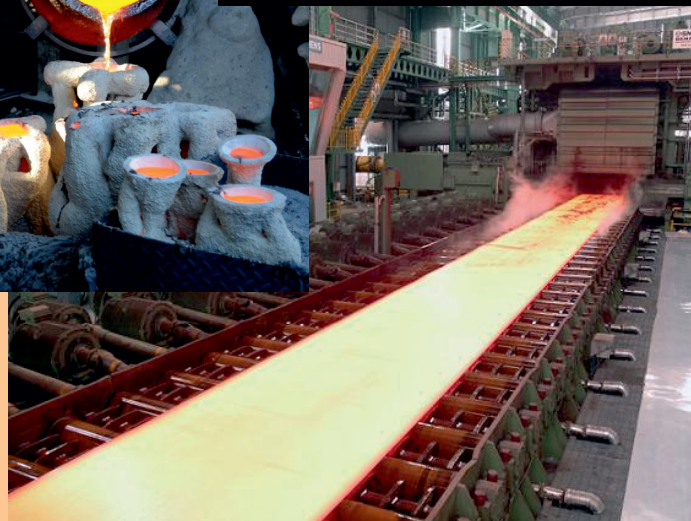
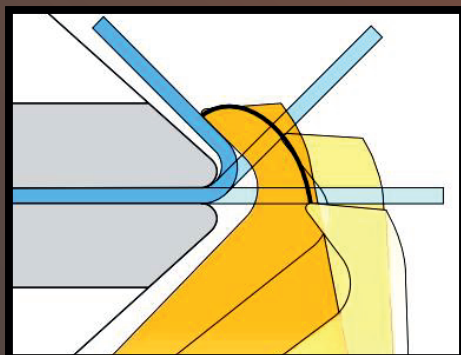
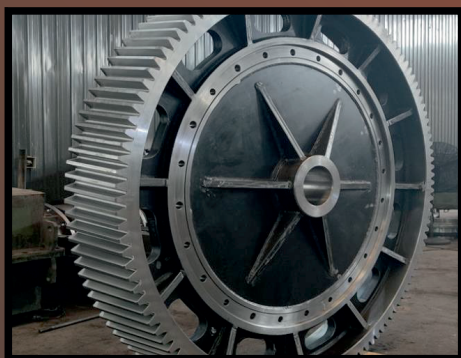
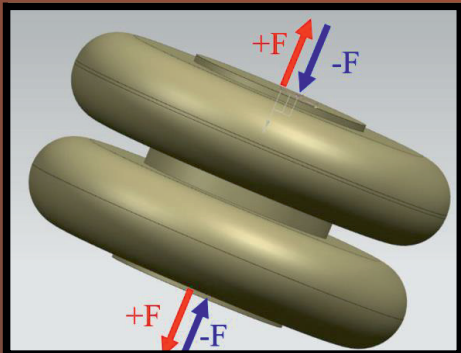
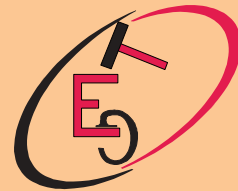




ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE
Strojnícka
fakulta

TECHNOLÓG



TECHNOLÓG

Vychádza spravidla dvakrát ročne. Publikuje vedecké, výskumné, odborné, teoretické práce, návody, štúdie, recenzie, informácie o spracovaní technických materiálov. Zameriava sa na uverejňovanie príspevkov a prác 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, EV 10/22/EPP

ISSN 1337-8996, Online ISSN 2730-0501

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)

doc. Ing. Silvia MALÁKOVÁ, PhD. (SK)

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

Ing. Vladimíra BIŇASOVÁ, PhD. (SK)

doc. Ing. Jozef BÍLIK, PhD. (SK)

doc. Dr. - Inž. Janusz MUSIAL (PL)

Dipl. Ing. Eva REGER (D)

doc. Ing. Ludmila 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)

prof. Ing. Alyona LOVSKA, Dr.Sc. Tech. (UA)

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)

OBSAH

ZOZNAM RECENZENTOV	5
EDITORIÁL	6
ŠTEFAN BANIČ	7
PARNÝ STROJ A SLOVENSKO	9
DOBÝVANIE HORNÍN PUŠNÝM PRACHOM NA SLOVENSKU	12
MATERIÁLY PRÁŠKOVEJ METALURGIE <i>Elena Kantoríková</i>	16
VPLYV STRIEDAVÉHO NAMÁHANIA NA ZMENU TEPLoty VZDUCHU V PRUŽNOM PNEUMATICKOM ELEMENTE <i>Jozef Krajňák, Silvia Maláková, Daniela Kepeň Harachová,</i>	20
VYLADENIE MECHANICKEJ SÚSTAVY POHONU PIESTOVÉHO KOMPRESORA Z HĽADISKA VEĽKOSTI TORZNÉHO KMITANIA <i>Matej Urbanský, Peter Kaššay</i>	26
HODNOTENIE ZMENY MIKROGEOMETRIE KOVOVÉHO POVRCHU VZĽADOM NA APLIKAČNÚ DOBU FOSFÁTOVANIA <i>Dagmar Draganovská, Anna Guzanová, Gabriela Ižaríková</i>	30
NÁVRH KOLAJOVÉHO ADAPTÉRA TYPU GUMA-KOLAJNICA PRE ĽAHKÉ NÁKLADNÉ VOZIDLO <i>Ján Dižo, Jakub Fiačan, Miroslav Blatnický, Alyona Lovska, Vadym Ishchuk</i>	35
KONŠTRUKCIA PRUŽNÉHO KOLESA HARMONICKÉHO PREVODU <i>Daniela Kepeň Harachová, Jozef Krajňák, Silvia Maláková</i>	42
MATERIÁLY S VYSOKOU TEPLOTOU TAVENIA VYUŽÍVANÉ V PRÁŠKOVEJ METALURGII <i>Elena Kantoríková</i>	47
VPLYV TVARU TELESA NA DEFORMÁCIU ČELNÉHO OZUBENIA <i>Silvia Maláková, Daniela Kepeň Harachová, Jozef Krajňák</i>	53
APLIKÁCIA SOLENOIDU PRI MAGNETICKOM TVÁRNENÍ <i>Ján Moravec</i>	57
PNEUMATICKÉ PRUŽNÉ HRIADEĽOVÉ SPOJKY V POHONCH MECHANICKÝCH SÚSTAV <i>Peter Kaššay, Matej Urbanský</i>	60
APLIKÁCIA NEDEŠTRUKTÍVNYCH METÓD KONTROLY NA ZVAROVÉ SPOJE VYROBENÉ Z PLASTU <i>Radoslav Koňár, Lucia Grünermelová</i>	64
MOŽNOSTI VYUŽITIA TECHNOLOGIE TERMÁLNEHO VRTANIA NA ÚČELY SPÁJANIA TENKOSTENNÝCH NEROVNAKÝCH MATERIÁLOV V AUTOMOBILOVOM PRIEMYSLE <i>Anna Guzanová, Nikita Veligotskyi, Dagmar Draganovská</i>	69

IDENTIFIKÁCIA ELASTICKO-PLASTICKEJ DEFORMÁCIE PRE RÔZNE STUPNE DEFORMÁCIE PRI TVÁRNEŇI PLECHU OTOČNÝM OHÝBANÍM	76
<i>Borislav Melo</i>	
A MODERN APPROACH TO ERGONOMICS: THE STUDY OF WORK AND NON-WORK ACTIVITIES OF EMPLOYEES	82
<i>Ján Zuzik, Vladimíra Biňasová, Beáta Furmannová</i>	
MAGNETIC FORMING WITH HEAT IN A MAGNETIC FIELD	86
<i>Ján Moravec</i>	
WORKSHOP PRODUCTION MANAGEMENT METHODS	91
<i>Ján Zuzik, Vladimíra Biňasová, Martin Gašo, Beáta Furmannová, Marta Kasajová</i>	
NEKROLÓGY	95

ZOZNAM RECENZENTOV PRÍSPEVKOV

Ing. Zdena BOHUŠOVÁ, PhD.
doc. Ing. Jozef BÍLIK, PhD.
doc. Ing. Mária ČILLIKOVÁ, PhD.
Ing. Marek DRLIČIAK, PhD.
doc. Ing. Michal HOLUBČÍK, PhD.
prof. Ing. Lubomír HUJO, PhD.
Ing. Katarína KADUCHOVÁ, PhD.
Ing. Jaroslav KAŠPÁREK, Ph.D.
doc. Ing. Petr KAWULOK, Ph.D.
Ing. Jozef KUBA, PhD.
prof. Ing. Aleš SLÍVA, Ph.D.
Ing. Helena SMATANOVÁ, PhD.
Ing. Roman STROKA, PhD.
doc. Ing. Vojtech ŠIMÁK, PhD.

Príspevky boli recenzované dvomi nezávislými recenzentami, ktorí nie sú autormi ani spoluautormi príspevkov, nie sú z rovnakého pracoviska ako ktorýkoľvek z autorov, tak isto nie sú členmi redakčnej rady a ani redakcie časopisu.

The articles were reviewed by two independent reviewers who are not authors or co-authors of the articles, are not from the same workplace as any of the authors and are also not members of the editorial board of the journal.

Die Arbeiten wurden von zwei unabhängigen Gutachtern geprüft, die weder Autoren noch Mitautoren der Arbeiten sind, nicht aus demselben Fachbereich wie die Autoren stammen und keine Mitglieder der Redaktion oder des Redaktionsausschusses der Zeitschrift sind.



EDITORIÁL

Motto: “*Tak, ako z nesprávnej teórie sa nemôže zrodiť správna prax, zo správnej teórie nikdy nevyplynie nesprávna prax.*”

Samuel Mikovíni

Vážení autori, čitatelia a priaznivci, tento rok začal *Technológ* cestu do štvrtej päťročnice. Časopis má za sebou úspešnú cestu, o čom sa dá jednoducho presvedčiť hoci letným zalistovaním v hocktorom z desiatok čísel *Technológa*. Aj tento rok má redakcia zámer pokračovať aj v publikovaní príspevkov z histórie vývoja technológií a tiež sa bude pokračovať v uverejňovaní medailónov významných osobností vedy a techniky. Z toho dôvodu je zaradený nasledujúci prehľad týchto príspevkov. Verím, že to prinesie vylepšenie publikácie pre široké spektrum záujemcov a čitateľov. Budeme sa snažiť prinášať informácie o dôležitých odborných publikáciách svetových vedcov. Publikované vedecké príspevky sú tak ako doteraz, podrobené odbornej kontrole a recenzované anonymne dvomi z uvedených recenzentov v každom konkrétnom čísle časopisu.

Všetkým prajem veľa zdravia a úspechov v tomto roku, ktorý je pre vedecký časopis *Technológ* už šestnástym rokom.

Ján Moravec

šéfredaktor a editor

Publikované medailóny významných vedcov a osobností vedy a techniky v časopise *Technológ* od roku 2012 sú uvedené v nasledujúcom prehľade:

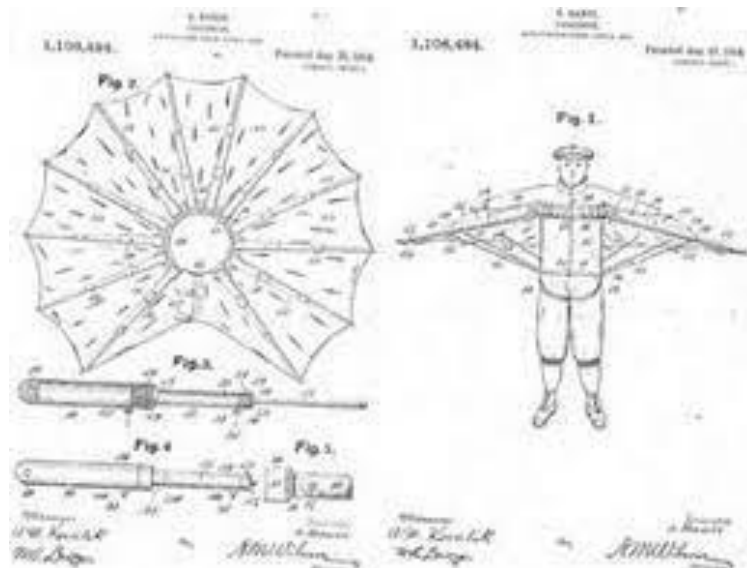
<i>Aurel Stodola</i>	2/2012
<i>Ivan Branislav Zoch</i>	3/2013
<i>Johann von Kempelen</i>	2/2014
<i>Juraj Ernest Multz de Walda</i>	3/2015
<i>Jozef Maximilián Petzval</i>	3/2016
<i>James Nasmyth</i>	1/2017
<i>Dionýz Ilkovič</i>	2/2018
<i>Jozef Karol Hell</i>	3/2020
<i>Jur Hronec</i>	2/2021
<i>Dionýz Štúr</i>	2/2022
<i>Maximilián Hell</i>	3/2022
<i>Leonardo da Vinci</i>	4/2022
<i>Georgius Agricola</i>	1/2023
<i>Johanes Kepler</i>	2/2023
<i>Ján Harmatta</i>	2/2023
<i>Michelangelo Buonarotti</i>	3/2023



Štefan BANIČ (*23. november 1870, *Neštich* –
†2. január 1941, *Neštich*)

Štefan Banič bol slovenský vynálezca. Jeho otec bol *František Banič* a matka *Anna* rod. *Ščibrániová*. Po skončení ľudovej školy pracoval na statku grófa *Pálffyho*. Pre svoje názory na maďarizáciu a *Apponyiho zákony*¹ bol z práce vyhodnený a následne odišiel v roku 1907 za prácou do *USA*. Usadil sa v meste *Greenville, Mercer County, Pensylvánia*. Zaujímal sa o letectvo.

V roku 1910 bol svedkom leteckého nešťastia, v roku 1913 zostrojil prvý použiteľný padák na princípe dáždника, ktorý sa otváral sústavou niekoľkých pružín. Padák mal vyriešený problém tzv. plávania vo vzduchu a upevňoval sa pomocou popruhov na telo letca v hrudnej časti pod ramenami. Princípom bola teleskopická konštrukcia dáždnikového typu, ktorá niesla tkanivové krytie. Dňa 3. júna 1914 *Štefan Banič* osobne vyskúšal padák pred zástupcami *Patentového úradu letectva USA*, zoskočil vo *Washington* zo strechy 15-poschodovej budovy. Potom nasledovali ďalšie zoskoky aj z lietadla. 25. augusta 1914 vydal *Americký patentový úrad vo Washington* patent na *Baničov padák* pod číslom 1 108 484.



Konštrukčná dokumentácia *Banič*ovho padáka z patentového spisu 1 108 484

Patentový spis obsahuje podrobný opis konštrukcie nového padáka, funkcie jednotlivých častí, presné technické nákresy. Titulná strana hovorí aj o tom, že sa *Baničovi* a jeho dedičom priznáva oprávnenie na patentovanie vynálezu na obdobie 17 rokov. Osobitné právo vyrábať, používať a predávať uvedený vynález prislúchalo len v *USA*. Originál patentu sa dnes nachádza v múzeu v *Smoleniciach*.

Patentový spis obsahuje presný opis konštrukcie a jej nákresovú dokumentáciu. Americká armáda ho odkúpila, ale do výstroje zavedený nebol. Banič sa stal čestným členom *The American Society for Promotion of Aviation* a bol aj v *Slovenskej lige v Amerike*.

Zostrojenie prvého použiteľného padáka Baničovi neprinieslo bohatstvo ani slávu. V roku 1920 sa vrátil do rodnej obce, kde žil v ústraní ako murársky majster a venoval sa ovocinárstvu. Spoluobjavil jaskyňu *Driny*² pri *Smoleniciach* a ložisko *barytu*.³

Prvý zoskok Banič absolvoval najprv z výškovej budovy vo *Washington*e. Neskôr padák úspešne vyskúšal aj zoskokom z lietadla z výšky 600 metrov. Po týchto skúškach prihlásil svoj vynález na americkom patentovom úrade, ktorý mu dňa 25. augusta 1914 vydal patent č. 1 108 484.

Prvá veta Baničovho osvedčenia na americkej patentovej listine znie: "Nech je známe, že ja Stephan Banič, pôvodom z rakúsko-uhorského cisárstva, usadený v Greenville, okres Mercer, štát Pennsylvánia, vynášiel som isté nové účelné zlepšenie padákov, o čom podávam v nasledujúcom podrobné vysvetlenie."



DOPLNKY

¹*Apponyiho (školské) zákony/Aponiho (školské) zákony* alebo (najmä v *Maďarsku* a najmä pre článok 27) *Lex Apponyi* sú články 26 a 27 uhorského zákonníka z roku 1907 (*CORPUS IURIS* 1907: XXVI.tc. a 1907: XXVII.tc.; panovník oba podpísal 2. júna 1907). Sú pomenované podľa ministra školstva *Alberta Apponyiho*, ktorý ich vypracoval a predložil uhorskému snemu na schválenie. Článok 26 sa týkal štátnych ľudových škôl, článok 27 obecných a cirkevných ľudových škôl. Hlavným cieľom zákona bola intenzifikácia rečovej aj duchovnej *maďarizácie* *nemaďarských* žiakov, zabezpečenie pôsobenia učiteľov v duchu *veľkomadžarskej* štátnej idey ich hmotnou stimuláciou a tvrdými kárnymi opatreniami. Na *Slovensku* sa v dôsledku zákona na tzv. *maďarsko-slovenských* školách mala *slovenčine* venovať jedna hodina týždenne, inak mala byť vyučovacím jazykom *maďarčina*. Zároveň počet *maďarsko-slovenských* ľudových škôl na *Slovensku* klesal na úkor *maďarských* škôl: zo 437 tzv. *maďarsko-slovenských* škôl v roku 1907 na 276 tzv. *maďarsko-slovenských* škôl v roku 1918.

²Jaskyňa *Driny* je kvapľová jaskyňa v *Malých Karpatoch*. Nachádza sa asi 2 km na juhozápad od *Smoleníc* v *Smolenickom krase*. Územie bolo vyhlásené v roku 1968 a novelizované v roku 1996 s rozlohou ochranného pásma 11,7 ha.

Objavili ju v roku 1929 *I. Vajsábel* a *J. Banič*. Neboli však prví, ktorí sa pokúšali dostať do jaskyne. Už v roku 1866 v *rakúsko-pruskej* vojne tu táborili *pruskí* vojaci. No o naozajstné „prieskumné“ cesty v *Smolenickom krase* sa pokúšali až od roku 1920 bratia *Vajsablovci*, *Valovci* a *Štefan Banič* so synom *Janom*. Pokusy boli korunované úspechom až v roku 1929, keď sa *I. Vajsablovci* a *J. Baničovi* podarilo po viacerých pokusoch preniknúť do podzemia závrťovým komínom.

O päť rokov neskôr, v roku 1934, sprístupnili prvých 175 m. Z celkovej dĺžky 636 m je dnes pre verejnosť sprístupnený 550 m dlhý okruh. Vchod do jaskyne je vo výške 399 m n. m. v západnom svahu vrchu *Driny* (434 m), ktorý je tvorený pomerne čistými *jurskými* vápencami.

Driny sú puklinovou jaskyňou, ktorú vymodelovali zrážkové vody, ktoré prenikali do podzemia systémom puklín, takže chodby sú pomerne úzke. Podzemné priestory nie sú rozsiahle, ale majú veľmi peknú sintrovú výzdobu. Steny sú bohato pokryté sintrom v teplých žltých, červenohnedých a žltohnedých farbách. K najzaujímavejším priestorom patrí *Sieň spolupracovníkov* a *Sieň Slovenskej speleologickej spoločnosti*.

³*Barit* (v staršej literatúre aj *t'áživec*) je minerál kryštalizujúci v *rombickej sústave*, chemicky *síran bárnatý* - *BaSO₄*. *Barit* vytvára tabuľkovité a prizmatické kryštály, ktoré bývajú niekedy pomerne veľké. Býva bezfarebný, žltkastý, hnedý, červenkastý, modravý aj zelenkastý. Vryp má biely. Je to priehľadný až priesvitný minerál so skleným, masným alebo perleťovým leskom.

Parný stroj a Slovensko

Ján Moravec

2. časť

Uhorské bane

Píše sa rok 1714. Cisár Karol VI odmenil štipendiom vynikajúceho študenta architektúry *Josepha Emanuela Fischera*, syna slávneho *viedenského* cisárskeho architekta a staviteľa. Mladý študent odchádza na študijnú cestu po *Európe*. Dostal sa aj nakoniec do *Londýna*. Tam sa dozvedá o novom technickom zázraku, o ohňovom stroji, čerpadle, ktoré poháňa para. Bola to vtedy technická novinka, akú si možno teraz vieme len ťažko predstaviť. Ved' stroj, ktorý pracoval bez dovedy známej hnacej sily, čiže ľudskej, konskej, či vodnej, bolo v tej dobe niečo nepredstaviteľné.

V tom čase *Dvorskej komore vo Viedni*, robia čoraz viac starosti zlatonosné bane na strednom *Slovensku*. Pravdepodobne od *J. E. Fischera* alebo možno od významného učenca *G. W. Leibniza* sa úradníci *Dvorskej komory* dozvedajú o čerpaní vody z baní v *Anglicku* pomocou atmosférických parných strojov, ktoré priťahujú zvedavcov z celého sveta. *Viedenská* dvorská komora preto poverila mladého študenta, aby sa s *Ohňovými strojmi* oboznámil v *Anglicku* do takej miery, že by ich dokázal aj sám stavať.

Úspešnosť tejto, možno povedať dokonalej technickej špionáže, ktorú vykonal *J. E. Fischer* v *Anglicku*, spočíva nielen v tom, že priniesol domov nielen plány *Ohňového stroja*, ale aj konštruktéra *I. Pottera*.

I. Potter prišiel do *Viedne* spolu s *J. E. Fischerom* pravdepodobne v júni 1720. Mal vtedy 30 rokov.

Príčinou *Potterovej* cesty na stredné *Slovensko* boli ťažkosti s čerpaním vody z baní v *Banskej Štiavnici*, predovšetkým v závode *Horná štôlna Biber*. *Potterovi* sa zdali *novobanské* bane vhodnejšie na stavbu stroja, pretože sa tam nachádza všetko, čo na stavbu a chod stroja potrebuje.

Potter po návrate do *Viedne* predložil návrh postaviť stroj v *Novej Bani*. Dá sa o tom usudzovať z listu *banskoštiavnických* úradníkov radcovi *von Peyerovi* zo 6. októbra 1720. Písali v ňom, že sa nechcú miešať do plánovanej výstavby stroja v *Novej Bani* a dúfajú, že potrebné financie nebude musieť poskytnúť *banskoštiavnická* komora. Od obliadky miesta po podpísanie kontraktu s *Dvorskou komorou* trval približne rok. *Potter* zostal do podpisu už vo *Viedni* a pripravoval projekty s *Fischerom*. Ten *Pottera* zoznámil s ďalšími schopnými konštruktérmi, s ktorými vytvorili spoločnosť "*Assoziiertem Companie*". Títo štyria tvorili akúsi spoločnosť, ktorá vystupovala ako právnická osoba.

Kontrakt na postavenie parného stroja v *Novej Bani*, uzavrela dvorská komora vo *Viedni* s *Isaacom Potterom* 21. augusta 1721. *Dvorská komora* súhlasila s financovaním stavby stroja. Stroj mal byť taký výkonný, že za 24 hodín vyčerpá 42 000 vedier vody (1 vedro = cca 50 litrov vody). *Potter* sa zaviazal zaučiť do obsluhy stroja inžiniera alebo iného mechanika, ktorého mu erár prideli, a to tak, aby dokázal bez pomoci *Pottera* vyčerpať buď jedným alebo viacerými strojmi, ktoré by sa prípadne postavili za 24 hodín, 42 000 vedier vody, a to z akejkoľvek hĺbky, nech by dosahovala 300 alebo aj viac siah. Na stavbu stroja komora vyčlenila 6000 *florénov*^{*}, s možnosťou vyčerpať pár sto zlatých viac alebo menej. Komora sa zaviazala dodať všetok materiál, ako aj pracovné sily. Stroj sa mal postaviť za 6 až 8 mesiacov. Počas stavby stroja mal *Potter* dostávať denne 8 *florénov*. Po dokončení stavby sa mala uskutočniť skúška, ktorá mala trvať celý mesiac, aby sa overila jeho sila a výkonnosť. Po skúške sa malo ponechať na rozhodnutí cisára, čo sa stane so strojom. Ak by stroj nechcel používať *banský erár*, mal sa dať do vlastníctva *Potterovi* ako odmena za jeho námahu. Ak by sa stroj pri skúške osvedčil, mohol by *Potter* dostať na stavbu takýchto strojov privilégium 20 rokov. *Potterovi* sa malo hneď vyplatiť 300 *florénov*, a to 50 ako náklady na cestu do *Novej Bane* a 250 ako záloha na plat, ktorý bude dostávať počas stavby stroja. Konkrétne pomoc mala *Potterovi* poskytnúť aj *štiavnická banská komora*. Mala zaobstaráť všetok potrebný materiál, poskytnúť ľudí a rôzne pomocné práce. Peniaze na stavbu stroja mal poslať *Solný úrad v Tokaji* a *Ružomberku*.

Administrátor *Aigner* prisľúbil *Potterovi*, že pošle z *Banskej Bystrice* do *Novej Bane* odborníka na prácu s meďou, aby mu *Potter* mohol zadať pokyny na vyhotovenie potrebných súčiastok. *Potter* však v *Novej Bani* márne čakal na mediara, preto sa do *Banskej Bystrice* vybral so svojím tlmočníkom *P. Sabathelym*. V medenom hámri dal vyhotoviť veľký medený kotol, ktorý potreboval na vyrábanie pary, čo stálo 1883

florénov. S tamojším zvonolejárom *J. F. Klugom* dohodol *Potter* vyhotovenie valca parného stroja a iných potrebných súčiastok.

Konečne bol začiatkom septembra 1722 v takom stave, že sa na ňom mohla uskutočniť aspoň predbežná skúška. Skúška trvala osem dní, stroj sa za ten čas pokazil trikrát. Každá oprava trvala dlhší čas. Raz sa musel odstrániť aj vrchnák z kotla, ktorý bol prispájkovaný. Vyslani účastníci aj napriek tomu navrhli začať s hlavnou skúškou.

Dňa 11. novembra si prezreli najprv stroj na povrchu, potom sfárali do podzemia, kde boli tri piestové čerpadlá. Jedným čerpadlom sa vytiahlo na jeden zdvih 43 litrov vody. Zo všetkých troch sa naraz vytiahlo 2,5 vedra vody. Stroj za minútu uskutočnil 12 až 13 zdvihov, teda za 24 hodín vyčerpá 43 200 vedier vody. Hlavná skúška s „*anglickým strojom*“ ako v tej dobe stroj nazývali, sa konala od 11. januára do 6. februára 1723. Zo správy, ktorú o skúške podali obaja vyslaní úradníci, je zreteľné, že veľká poruchovosť stroja trvala naďalej. Za prvé tri týždne sa stroj pokazil alebo ho museli pre rôzne príčiny zastaviť asi dvadsaťkrát. Iba posledný týždeň pracoval stroj pomerne spoľahlivo, pokazil sa iba raz.

Veľkú poruchovosť stroja spôsoboval aj nekvalitný materiál, ktorý sa použil na súčiastky. Kontrolní úradníci poukazovali na nekvalitné železo, v skutočnosti krehkú liatinu, ktorá pochádzala z *Hronca*, no lámali sa aj medené súčiastky.

V tomto čase pracovalo pri prevádzke stroja 14 zamestnancov. Stroj sa snažili udržať v 24 hodinovej prevádzke. Pri takomto zaťažení stroja erár čoskoro zistil, že jednak prevádzka stroja je veľmi nákladná a veľké zaťažovanie stroja viedlo vždy k nadmernej poruchovosti.

Vysokú poruchovosť stroja by sa dala zhrnúť do niekoľkých bodov:

- 1) *Konštrukčné chyby. Nedokonalá technológia, ktorá bola prakticky v začiatkoch.*
- 2) *Problémy pri zadávaní požiadaviek. Remeselníci pred tým nikdy nič také nevideli a nevyrábali, preto ani sami dobre nevedeli, čo majú zhotovovať.*
- 3) *Nekvalitné materiály. V správach sa poukazuje hlavne na vysokú lámavosť železných súčiastok vyrobených v Hronci, ale ako píšú, lámali sa aj medené súčiastky.*
- 4) *Francúzsky učenec Ch. Montesquieu navštívil Novú Baňu a napísal: „Veľké problémy na stroji spôsobujú tí, čo prenajímajú kone ku gáplom, ako aj tí, čo zabezpečujú krmivo či materiál na údržbu. Títo všetci jednotlivci chránia svoje záujmy a boja sa, že ich stroj pripraví o živobytie.“ Potter bol teda prinútený dať svoj stroj strážiť, za čo mestu dlhoval neskôr peniaze.*

Prvé správy o parnom stroji v *Novej Bani* vyšli v niekoľkých dobových časopisoch, z nich najobsiahlejší opis stroja napísal v roku 1725 *G.M. Kortum* a bol publikovaný v časopise *Sammlung von Natur und Medizin*. Tiež sa uvádza, že stroj poháňal tri piestové čerpadlá. Za minútu stroj dosiahol priemerne 13 zdvihov, a tak za 24 hodín dokázal vyčerpať až 45 000 vedier, t. j. 2300 m³ vody. Čerpadlo poháňané vodným kolesom za 24 hodín vyčerpalo len 2 880 vedier vody. Výkon novobanskej „ohňovej mašiny“ sa rovnal výkonu štyroch gápl'ov, ktoré poháňalo dovedna 64 koní.

Na schôdzi radcov dvorskej komory 18. júna 1723 sa *Potterove* žiadosti prerokovali a prijali sa uznesenia:

- 1) *Isaacovi Potterovi a jeho spoločníkom sa povoľuje prepožičať novobanské bane.*
- 2) *Dostanú k dispozícii tamojšie okolité lesy.*
- 3) *Ohňový stroj sa im zapožičiava na 5 rokov do bezplatného používania. Sú však povinný starať sa o stroj, udržiavať ho v dobrom stave a to na vlastné náklady.*
- 4) *Bane sa oslobodzujú na 5 rokov od akýchkoľvek poplatkov, no striebro a zlato sú povinní zamieňať v kremnickej mincovni. Povolilo sa však vyplácať za tieto kovy vyššiu cenu ako bola limitovaná.*

Isaac Potter dosiahol v podstate všetko, o čo žiadal, aj keď s menšími výhodami. Zaiste mali na to vplyv aj jeho priaznivci a záujemcovia o účasť na tomto podniku. Najväčšie zásluhy na tomto možno úspechu sa pripisujú *Josefovi Emanuelovi Fischerovi*, ktorý ako vyštudovaný architekt a stavebný inžinier sa v decembri 1722 stáva dvorným architektom. V roku 1725 prebral po svojom otcovi miesto a stáva sa prvým dvorským architektom.

Skúška kujnosti rudy 19. novembra 1728 zo šachty *Althandel* dopadla nepriaznivo. Komisia odborníkov dňa 19. júla prehliadla šachtu a jej príľahlé štôlna a rozhodla sa zanechať hlboké dobývanie. Stroje vytiahli na povrch a „ohňový stroj“ dňa 23. júla ráno o 8. hodine definitívne zastavili. Dôvody na takéto

rozhodnutie vyplývali najmä zo straty 8 887 zl. 48 gr., ktorú spoločnosť vyprodukovala od 3. apríla 1728 do 6. augusta 1729.

Viedeň odporučila brať do úvahy *Potterov* stroj, a to najmä preto, že v okolí *Banskej Štiavnice* bol veľký nedostatok dreva a pri neďalekej obci *Ilija* sa našlo uhlie, takže by nebol problém ani s palivom.

Uhlie bolo však nekvalitné a pri horení vydávalo málo tepla. *Potter*, ktorý sa v *banskoštiavnickej* hute pri pokusoch zúčastňoval, predpokladal, že *Ilijské* uhlie bude v hĺbke kvalitnejšie. Ani ďalší pokus, pri ktorom zmiešali minerálne uhlie s dreveným, sa nepodarilo.

O *Pottera* ako vynikajúceho odborníka mal stále záujem komorský gróf *Ján Andrej Wenzel von Sternbach*, lebo chcel, aby podobné ohňové stroje staval aj na *Vindšachte* (*Štiavnické Bane*).

Isaac Potter teda v roku 1730 odišiel z *Novej Bane* do *Banskej Štiavnice*, kde sa intenzívne zaoberal pokusmi vykurovať pece na tavbu rudy, minerálnym uhlím. Pokusy sa robili v hute v *Banskej Štiavnici*, ale aj na „ohňovom stroji“ v *Novej Bani*. *Potter* na ňom skúšal, za aký čas dokáže uhlie privezené z rôznych nálezísk uviesť stroj do činnosti.

Čerpanie vody v *banskoštiavnických* baniach bolo stále takým páčivým problémom, že nútilo komorských úradníkov hľadať nové možnosti. Para bola stále neznáma sila, ktorú nepoznali, nevedeli s ňou kalkulovať a prepočítať jej výkon. Neboli si istí, či dvakrát väčší stroj podá aj dvakrát väčší výkon. *Isaac Potter* stále tvrdil, že postaví výkonnejší stroj.

Na šachte *Magdaléna* sa začali stavať ďalšie dva stroje. *Potter* bol zároveň riaditeľom aj prvých dvoch strojov postavených na šachte *Jozef*. V decembri 1734 však začal *Potter* chorľavieť. Hlavný komorný gróf *Ján Nepomuk Mitrovský* poveril pomocníka pri stavbe strojov, erárneho úradníka *Františka Feltonera* a *Jána Adama Artnera*, aby na všetko dozerali. *Potter* cítil aj sám, že sa jeho stav zhoršuje. Zašiel preto 1. februára 1735 na *Banský súd* do *Banskej Štiavnice*, vzal so sebou aj svojho pomocníka *Feltonera* a tam napísal testament. Dňa 18. februára 1735 napoludnie *Potter* zomrel ako 45-ročný na *Vindšachte*, kde býval.

Banský súd považoval testament za právoplatný a urobil opatrenia na jeho vykonanie. Oznámil teda jeho obsah aj *Potterovej* matke, ktorá žila v *Anglicku*, prostredníctvom *anglického* veľvyslanca vo *Viedni*. Do *Európy* prišiel brat *Abrahám*, ktorého matka splnomocnila prevzatím dedičstva. Na prelome rokov 1736-1737 sa vodohospodárska situácia v *Banskej Štiavnici* a jej okolí značne zlepšila postavením nových záchytných jarkov a budovaním *tajchov*, čím sa éra *Newcomenových* parných strojov u nás skončila. Viac sa na *Slovensku* nestavali. Vystriedali ich *Hellove* vodostĺpcové čerpadlá, ktoré pracovali s nižšími nákladmi a boli omnoho účinnejšie. „Ohňové stroje“ však určite prispeli v nemalej miere k rozvoju baníctva, predovšetkým v *Banskej Štiavnici* a jej okolí.

Isaac Potter spoločne s *J. E. Fischerom* priniesli na jar v roku 1720 okrem plánov „ohňového stroja“ aj významný okamih dejín. Postavením prvého parného stroja obaja odštartovali vedecko-technickú revolúciu nielen u nás na *Slovensku*, ale aj na *Európskom* kontinente. Postavením *Newcomenovho* parného stroja sa mesto *Nová Baňa* významne zapísalo do svetových dejín techniky.

Pozn. *Zlatý florén* bol dukát s hmotnosťou 3,5580 g a vysokým obsahom čistého zlata 3,520 g, iný zdroj: hmotnosť 3,5480 g a podiel zlata 3,520 g. Na averze bola *florentská* ľalia a na reverze postava *Jána Krstiteľa*. Po zmene (na oboch stranách mince) sa *florén* začal nazývať dukát, rovnajúci sa 84, resp. 90 *denárov*. Po roku 476 ríše *rímsky denár* prešiel do hospodárskej sústavy nových *západoeurópskych* ríš, aj do *stredoeurópskej* finančnej sústavy a stal sa základom všeobecného pojmu skoro v celej *Európe*. Názov *denár* je odvodený z *lat. denarius*, *dena* = desať, ktorý sa delil na 10 medených *asov*. Z pojmu *denarius* je odvodené aj (*anglické*) slovo *penny* (značka *d*).



Model *Potterovho* parného stroja

Dobývanie hornín pušným prachom na Slovensku

Ján Moravec

V *Biberovej* štôlni najväčšej *štiavnickej* bani, po prvý raz na svete použil na trhanie horniny pušný prach 8. februára 1627 priamo v bani majster *Gašpar Weindl*. Predložený príspevok je spomienkou na túto udalosť, aby sa nezabudlo, že *Slovensko* bolo oddávna pokrokovou krajinou v oblasti techniky.

Pokrok v rozpojovaní hornín

Presne pred 397 rokmi bol v *Hornej Bieber (Bíber)* štôlni na bývalom *Piargu* (dnešné *Štiavnické Bane*) prvýkrát použitý na odstrel horniny pušný prach. *Podľa dostupných prameňov to bolo na prekope Daniel.*"

Čierny pušný prach je najstaršou známou výbušninou na svete. Vynašli ho v období siedmeho až deviateho storočia v Číne. Typické zloženie čierneho strelného prachu je: 75 % KNO_3 , 10 % síry a 15 % dreveného uhlia. Najskôr sa využíval na pohon rakiet, náplň granátov a dokonca aj bambusovej pušky. V 13. storočí prenikol pušný prach do Európy. Už v 14. storočí tu existovala prosperujúca výroba strelných zbraní. Vo veľkom ich začali používať v 15. storočí *husiti*. *Husitská* terminológia raných strelných zbraní tak prenikla do mnohých svetových jazykov (*husitská* píšťala). Dnes je už takmer zabudnutý výraz *arkebúza* (ľahší variant *muškety*) vzniknutý prešmyčkami z *českej hákovnice*. Stále je však živý výraz *pištol'* (angl. *pistol*), ktorý vznikol z *českého* slova *píšťala* (najľahší variant ručných strelných zbraní), alebo *anglické howitzer* (nem. *Haublitz*) z pôvodnej *českej húfnice*.

Pokusný odstrel uskutočnil *nemecký* vojak pôvodom z *Tyrolska Gašpar Weindl*. Tento pokus, v ktorom má *Banská Štiavnica* svetové prvenstvo, priniesol zefektívnenie ťažkej baníckej práce.

Od uvedeného dátumu sa odvíja používanie pušného prachu v samotnej *Banskej Štiavnici*, ale aj jeho rozšírenie do celého baníckeho sveta. Niektoré názory síce hovoria, že v zahraničí to bolo aj skôr, no na to neexistujú písomné dôkazy. Svetové prvenstvo *Banskej Štiavnice* v tejto oblasti naopak dokazuje listina vydaná 16. februára 1627 banským súdom, ktorá popisuje pokus použitia strelného prachu.

Jej originál je dodnes uschovaný v bývalom *Štátnom ústrednom banskom archíve*. Kópiu vzácnej listiny možno vidieť aj v expozícii „*Baníctvo na Slovensku - Sieň komorských grófov*“ v *banskoštiavnickom Kammerhofe*. Okrem nej sa tu nachádzajú aj ďalšie zbierkové predmety, ktoré úzko súvisia s použitím čierneho prachu ako napríklad vrtáky, medené ihly či nádoba na jeho krátkodobé uskladnenie.

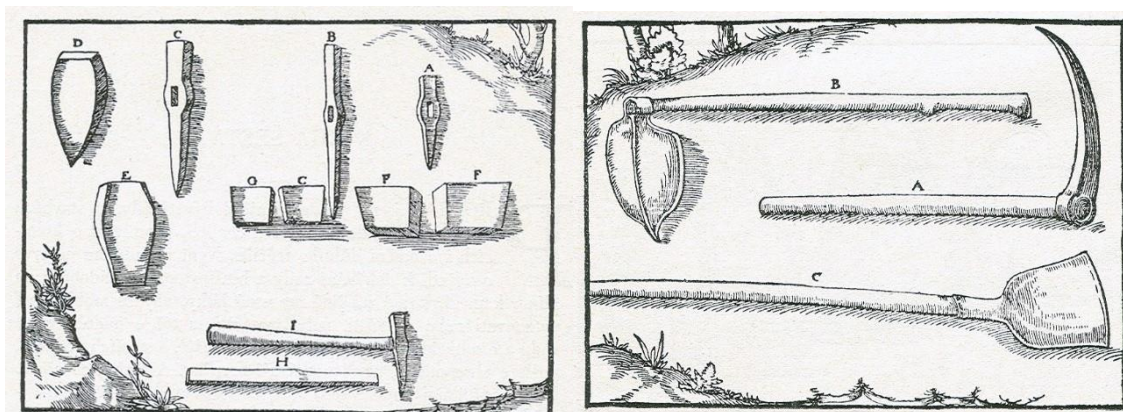
Použitie strelného prachu v baníctve znamenalo doslova revolúciu. Keďže základnou činnosťou baníkov je rozpojovanie horniny, tak práve začatím využívania čierneho strelného prachu na odstrel sa o niekoľko stoviek percent zvýšila produktivita práce.

Ako centrálny sklad pušného prachu slúžila budova s názvom *Pracháreň* nachádzajúca sa v skanzene *SBM*, ktorá je dnes národnou kultúrnou pamiatkou. Vybudovaná bola v 70. rokoch 18. storočia, pre bezpečnosť bola postavená na odľahlom mieste. Na budove bol v roku 1781 umiestnený jeden z prvých bleskozvodov vo vtedajšom *Uhorsku*.

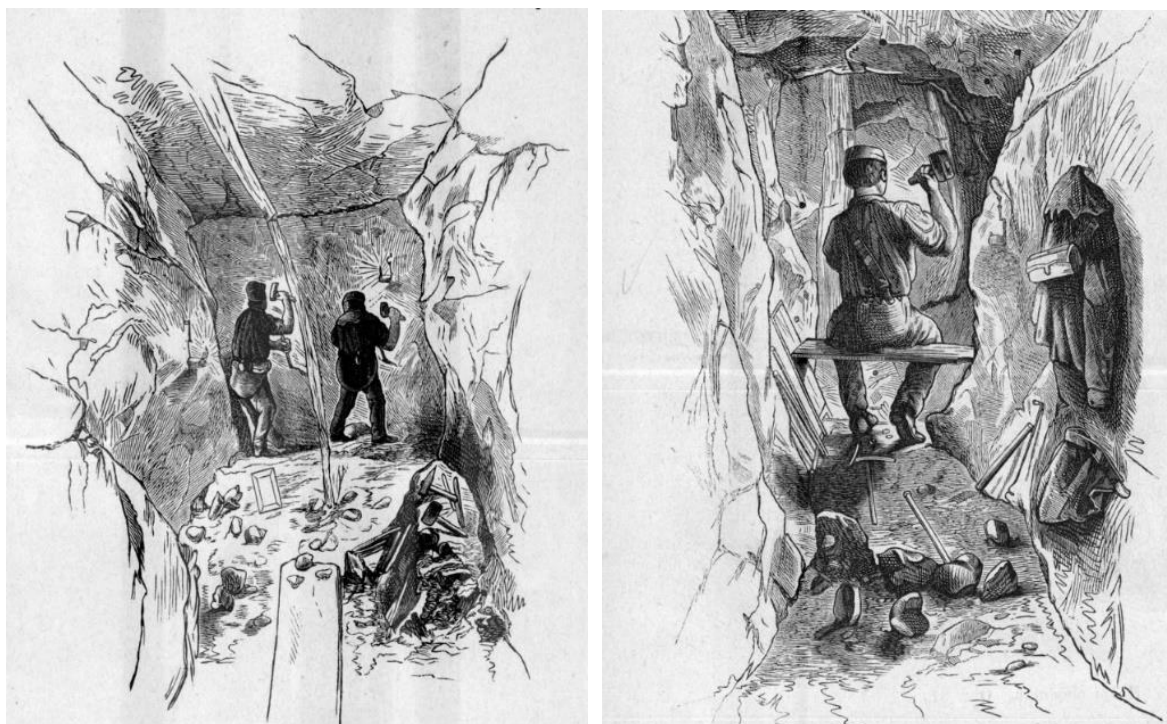
Tých skladov však bolo viac. Jeden bol na *Novom zámku* v suterénnych priestoroch, keďže ale pušný prach ako výbušnina ohrozoval mesto, tak neskôr boli všetky sklady dislokované na odľahlé miesta.

Ručné dobývanie

Ručné dobývanie bolo jediným spôsobom baníckej práce našich predkov. Najjednoduchším spôsobom ručného dobývania je práca s čakanom, motykou (hrabačkou) a lopatou, ktorý mal upotrebenie v sypkých a drobných horninách. Je dlhodobou používaným spôsobom ručného rozpojovania, ktoré pozvoľna zaniklo až po prvom použití strelného prachu v baniach. Želiezko je 15 cm až 20 cm dlhé, má štvorcový prierez; zhotovené je z ocele, na jednom konci je zahrotené a je nasadené na násade (porisku). Kladivo (mlatok) je zo železa, má tvar mierne zakrivený podľa polomeru asi 50 cm a je pevne nasadený na porisku spravidla z jaseňového alebo hrabového dreva. Mlatkom, držanom v pravej ruke, sa tlčie na želiezko, držané za násadu v ľavej ruke a vysekávajú sa do horniny ryhy, čím vzniknú vyvýšeniny, ktoré sa osekávajú. Vyobrazené želiezko s kladivom v skríženej polohe predstavuje oddávna znak baníctva.



Obr. 1. Banícke náradie podľa G. Agricola (*De re metallica libri XII*, 1556): A - železko, B - zasekávač, C - žumpové železko, D - skalný klin, E - klin, F - hrubý klin, G - plechový klin, H - drevená rukoväť, I - železko s rukoväťou



Obr. 2. Rozpojovanie pomocou železka a kladiva (*Návšteva bání, Praha, 1873*)

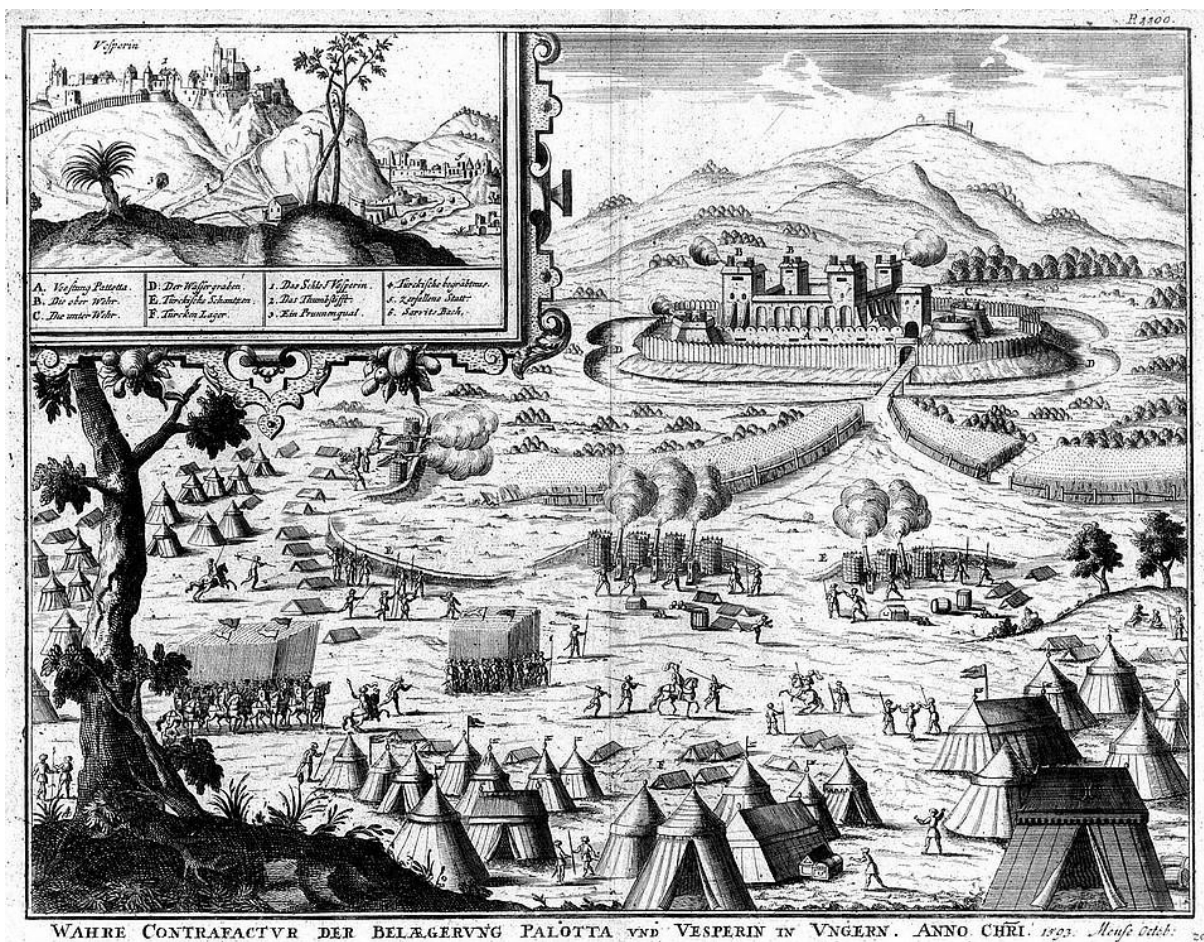
Rozpojovanie pomocou železka a kladiva, ako prácný a namáhavý, napriek tomu veľmi dlho používaný, pracovný postup, umožňoval dosahovať postup pri razení banských chodieb iba 8 – 10 m ročne. Keďže od úspechu rozpájania závisel výkon baníka, v priebehu času bola tomto problému venovaná neustála pozornosť s cieľom uľahčiť celý postup. Úsilie v tomto smere bolo dlhé desiatky rokov neúspešné, a tak až do 17. storočia sa hornina rozpájala ručne. Historickým medzníkom bol až spomínaný rok 1627, kedy sa v baniach prvý raz použil na rozpojovanie horniny strelný prach.

Využívanie účinkov strelného prachu

Zaujímavou skutočnosťou je, že čierny strelný prach (zmes liadku draselného, dreveného uhlia a síry), ako najstaršiu známu výbušninu na svete, vynášli už v 7. až 9. storočí v Číne a do Európy prenikol v 13. storočí. Od tej doby sa prednostne používal na vojenské účely, ale vyskytol sa aj prípad, keď jeho použitie malo súvis s baníctvom. Zo záverov bádateľskej činnosti odborníkov vyplýva, že pri dobýjaní hradu *Várpalotai vár* vo *Vesprémskej župe* v roku 1533 vojskami veliteľa menom *Jeremiáš Laski* boli povolani baníci z vtedajšieho *Nižného Medzeva*, ktorí banskou chodbou podrazili múry hradu a následne ich rozstrelili, takže útočníci ľahko vnikli do hradu a obrancov zajali. Vtedajší baníci teda použili strelné

práce už skoro o sto rokov skôr ako v *banskoštiavnických* baniach, i keď možno povedať, že aj na vojenský účel.

Využívanie účinkov strelného prachu bolo známe najmä v súvislosti s dobýjaním hradov, a tak nebolo zvláštnosťou, že na tento účel využívali baníkov. Z tohto pohľadu aj *Gašpar Weindl*, pôvodom z *Tyrolska*, ktorý v týchto baniach vykonal prvý odstrel, mohol predtým účinok strelného prachu spoznať práve v súvislosti s dobýjaním hradov.

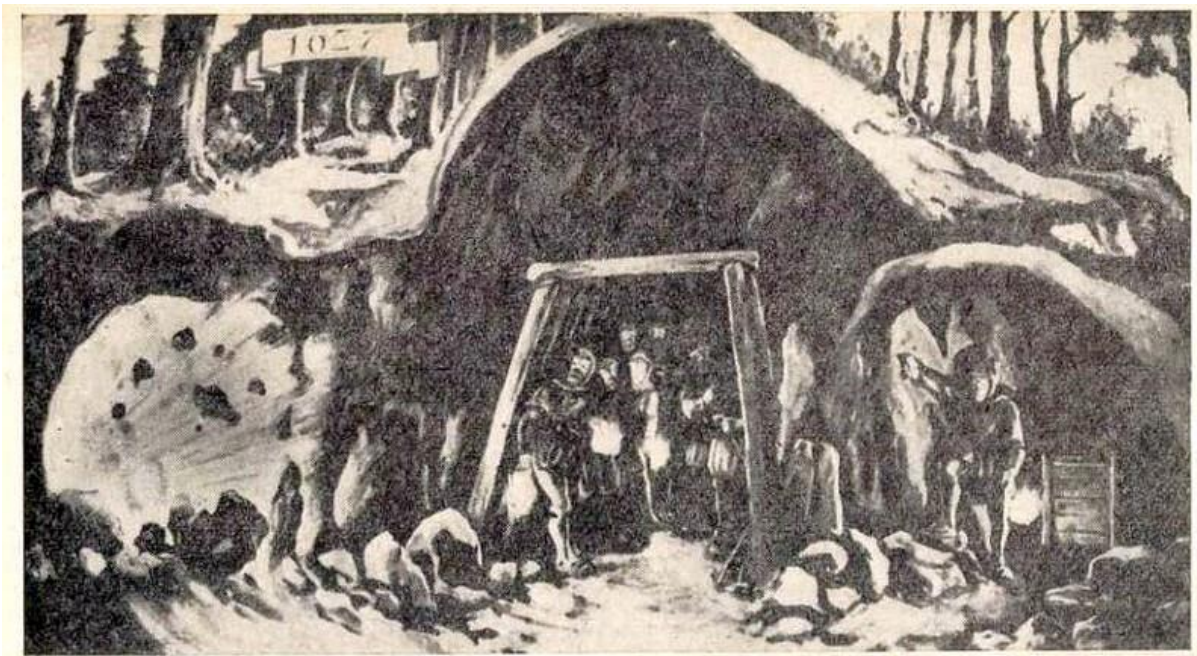


Obr. 3. Okolie hradu *Palotta* pri obliehaní pred použitím pušného prachu pri dobýjaní

Zo zápisnice *banskoštiavnického* banského súdu (ŠÚA - odd. bankých fondov 7. zväzok séria "Protocollum", s. 7-8, r. 1627) vyplýva, že v tento deň komisia pozostávajúca z prevádzkovateľov, úradníkov a zástupcov banského súdu, ktorými boli banký majster *Juraj Putschner*, banký prísahný *Gašpar Pictorius* a pisár banského súdu *Krištof Spilberger*, navštívila miesto odstreľu. Zo zápisu, ktorý dňa 16. februára 1627 menovaní podpísali, sa dá zistiť nasledujúce:

Po obhliadke miesta odstreľu v štôlni komisia konštatovala, že odstrel sa vydaril a že žiadna výdrevá chodby nebola poškodená. Dym sa po odstrele rozplynul za štvrt hodinu. Bolo však isté, že vykonávať odstrely odrazu na viacerých miestach sa neodporúča, keďže by sa tým obmedzovala práca baníkov. Komisia odporučila, že by bolo cieľavedomé, ak by sa odstrel vyskúšal aj v prekope *Daniel*, kde pre vysokú tvrdosť horniny museli prerušiť práce. Na otázku členov, či by *Gašpar Weindl* bol ochotný vykonať odstrel aj na dolnom obvaze prekopy *Daniel* odpovedal, že ak by mu prideliť 40 až 50 baníkov, zaučí ich na vykonávanie strelných prác a zaučí aj úspešnosť výsledku. Keďže prideliť baníkov nebolo v možnostiach komisie, členovia sa opýtali, či by mohol zabezpečiť 40 nových baníkov. Z jeho odpovede vyplynulo, že ak by dostal cisársky cestovný pas, zabezpečil by ich z *Tyrolska* a títo by boli schopní vykonávať práce na všetkých pracoviskách, teda aj v zväzniciach, štôlniach a šachtách. Rozšírenie používania strelného prachu však nebolo bez problémov, malo zástancov i odporcov, často tu úlohu zohrali aj vzájomné vzťahy. Jeho udomácnenie u nás si vyžiadalo okolo pol storočia. K jeho širšiemu používaniu dochádza v 18. storočí. V tejto súvislosti je potrebné poznamenať, že i keď

spomínaná zápisnica banského súdu z roku 1627 dôveryhodne preukazuje uvedenú skutočnosť, viacerí *nemeckí* autori bez uvedenia písomných archívnych dokumentov tvrdili, že prvý odstrel v baniach uskutočnil už v roku 1613 *Matiáš Weigel*, resp. *Weigold* v banskej chodbe vo *Freibergu*. Vyriešenie týchto odlišných názorov na dobu prvého použitia strelného prachu v baníctve, znamenala publikácia *Baltazára Röslera* („*Speculum metallurgiae politissimum oder Hell-polieter Berg-Bau-Spiegel*“) vydaná roku 1700 v *Drážďanoch*, ktorá jednoznačne uvádza, že použitie strelných prác v roku 1627 sa z *banskoštiavnických* baní rozšírilo do *Nemecka*.



Obr. 4. Fotoreprodukcia nástennej maľby znázorňujúcej prvý odstrel v *Hornej Biber štôlni* v roku 1627, *Ústredné banské múzeum v Soproni - Maďarsko*

Razenie banských diel pomocou strelných prác si ale vyžiadalo zmenu v tom, že sa rozšíril počet potrebných pracovných operácií. Prvou boli vrtné práce (vyvrtanie vrtnej diery a jej vyčistenie), potom nabíjanie vrtnej diery trhavinou spolu s prípravou roznetnej náložky, utesnenie náložky a nakoniec jej odpálenie.

LITERATÚRA

TIBENSKÝ, J. (1984): *Velká ozdoba Uhorska*, TATRAN Bratislava.

Materiály práškovej metalurgie

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

Powder metallurgy materials

Abstract: Powder metallurgy is used in all branches of industrial production. the main advantage of powder metallurgy is the saving of metals (materials) and energy. the main direction of development is expected mainly in the production of tool parts. the article describes the analysis of powders and the use of materials for powder metallurgy.

Keywords: powder metallurgy, materials, analysis.

ÚVOD

Prášková metalurgia (PM) je technický odbor zaoberajúci sa výrobou práškových kovov, chemických zlúčenín a zliatin, ktorý nasledujúcim spracovaním dáva požadovaný tvar a vlastnosti. Má širšie možnosti ako hutníctvo. Je schopná vyrobiť všetky zliatiny a kovy ako hutníctvo a navyše aj materiály, ktorých výroba nie je možná v hutníctve. Klasickým príkladom sú napr. disperzne spevnené materiály ako $Al - Al_2O_3$, pri ktorých je matrica spevnená disperznými časticami, ako sú napr. oxidy [1].

V technickej praxi sa môže o aplikácii PM hovoriť v dvoch prípadoch:

- ak materiál nie je možné vyrobiť iným spôsobom (disperzne spevnené materiály, spekané karbidy a pod.),
- ak výroba konštrukčných súčiastok je ekonomicky výhodnejšia (jedná sa o sériovú výrobu súčiastok, napr. v automobilovom priemysle, kde aplikáciou práškovej metalurgie sa dosahujú značné výhody, a to z hľadiska šetrenia materiálu a aj energie).

O PM sa dá hovoriť aj ako o bezodpadovej technológii. Na výrobu danej konštrukčnej súčiastky sa použije len toľko práškového kovu, koľko je potrebné [2].

Počiatky PM z historického hľadiska nie sú známe. Niekoľko tisícročí pred našim letopočtom boli vyrábané technológiou práškovej metalurgie zlaté predmety z vyryžovaných častíc kovového zlata. Tieto častice sa ďalším spracovaním – kovaním spojili a takto boli vyrobené rôzne úžitkové ako aj ozdobné zlaté predmety [3].

V roku 1826 P. G. Soboljevskij v Rusku prvý krát využil práškovú metalurgiu. Vtedajšími technickými prostriedkami nebolo možné dosiahnuť teplotu tavenia platiny - $1773,5 \pm 1$ °C. Používaná Achardova metóda s pridávaním arzenu k platine za účelom zníženia bodu tavenia platiny bola nevýhodná, nakoľko prudko jedovaté pary arzenu ohrozovali zdravie tavičov a zamorovali okolie. Soboljevskij našiel spôsob výroby práškovej platiny cestou kalcinácie chloridu amoniatoplaticitého [4]. Takto získanú práškovú platinu potom lisoval do tyčiek, spekal a za tepla koval. Takto získal platinu, ktorá bola schopná ďalšieho spracovania. Tento spôsob výroby práškovej platiny, umožnil vyrábať veľké množstvo čistej platiny. Táto výroba bola dôvodom aj k tomu, že v Rusku sa začali raziť platinové mince - ruble. Po zastavení razenia mincí v roku 1846 opäť PM stratila svoj technický význam [5].

Výroba vlákien do žiariviek, pôvodne zhotovovaných z ťažkotaviteľného osmia (teplota tavenia 3000 °C) neskôr z volfrámu (teplota tavenia 3410 ± 20 °C) cestou práškovej metalurgie predstavuje začiatok novodobej histórie práškovej metalurgie. Neskôr sa začali vyrábať spekané karbidy v priemyselnom meradle (1927) a začala priemyselná výroba pórovitých samomazacích ložísk zo zmesí práškového bronzu a grafitu (1924).

Dnes PM patrí medzi najprogressívnejšie technológie výroby konštrukčných súčiastok vzhľadom na svoje možnosti vysokého využitia materiálu, možnosti zníženia energetickej náročnosti ako i možnosti automatizácie výroby postupov.

1 PRÁŠKOVÉ KOVY

Štúdium vlastností kovových práškov je dôležité predovšetkým pre objasnenie základných pochodov práškovej metalurgie. Správanie práškov v priebehu jednotlivých procesov ich premeny na kompaktný materiál závisí od mnohých parametrov. Čím lepšie bude možné kontrolovať vlastnosti východiskového práškového materiálu, tým presnejšie bude možné zhotoviť konečný výrobok, s menšími toleranciami jeho vlastností. Vlastnosti kovových práškov, najmä veľkosť, tvar a rozloženie častíc, závisí od spôsobu ich výroby a úpravy. Pri charakterizácii práškov je nutné hodnotiť jednak vlastnosti individuálnych častíc (veľkosť, tvar, chemické zloženie, mikroštruktúra, hustota, mikrotvrdosť), ale aj ich kolektívne, objemové vlastnosti, ako je tekutosť, povrchové vlastnosti a i. Vlastnosti kovových práškov možno všeobecne rozdeliť na základné, technologické a združené vlastnosti. Do kategórie fyzikálnych vlastností patrí veľkosť zŕn, tvar zŕn, distribúcia veľkosti častíc (rozloženie zŕn), mikroštruktúra, mikrotvrdosť a pórovitosť častíc a merný povrch častíc. Základné vlastnosti patria medzi najdôležitejšie vlastnosti kovových práškov a preto musí byť čo najpresnejšie definované. Technologické vlastnosti práškových kovov sú sypná hustota, lisovateľnosť, tekutosť, sypný objem, objem po zhutňovaní, hmotnosť po zhutňovaní a krycia schopnosť prášku. Jedná sa o vlastnosti tvorené veľkým množstvom rôznych práškových častíc. Medzi základnými a technologickými vlastnosťami existujú viac alebo menej zreteľné vzťahy. V práškovej metalurgii sa prášky kategorizujú aj podľa združených vlastností ako sú elektrická vodivosť, magnetické vlastnosti, teplota topenia, tepelná vodivosť a štruktúra kryštálov.

2 FYZIKÁLNE VLASTNOSTI PRÁŠKOVÝCH KOVOV

Definícia pojmu "veľkosť častice" je pomerne náročná, pretože častice kovových práškov nie sú rovnako veľké a môžu mať komplikovaný tvar, ktorý sa zložito meria. Preto je zvyčajne potrebné zjednodušený predpoklad pre tvar, aby sa zredukoval počet rozmerových informácií na jediný parameter. Technicky pripravené kovové prášky sú v podstate zmesi častíc rôznej veľkosti. Rozloženie (distribúcia) veľkosti častíc sa v týchto zmesiach riadi určitými zákonitostami, ktoré sú dané typom prášku, jeho výrobou a úpravou. Veľkosť častíc závisí jednak od metódy merania a na tom, ktorý špecifický parameter sa meria, a jednak na tvare častíc. Preto analýza veľkosti častíc na rôznych zariadeniach nedáva zhodné výsledky veľkosti častíc v dôsledku

rozdielov meraných parametrov. Pre sférickú časticu je rozmer daný jediným parametrom - priemerom. Ak je tvar častíc komplexnejší je zrejme, že definovanie jediného parametra bude ťažké. Rozmedzie veľkosti častíc, používané v práškovej metalurgii (tab. 1).

Tab. 1. Rozdelenie častíc podľa veľkosti

Označenie	Veľkosť [μm]	Spôsob analýzy
Veľmi hrubé disperzné	> 500	Hrubá sitová analýza
Hrubé disperzné	$500 \div 50$	Jemná sitová analýza
Jemné disperzné	$50 \div 5$	Mikroskopia, sedimentácia
Veľmi jemné disperzné	$5 \div 0,2$	Mikroskopia, sedimentácia
Koloidné disperzné	$0,2 \div 0,02$	Elektrónová mikroskopia
Molekulárne disperzné	$< 0,02$	

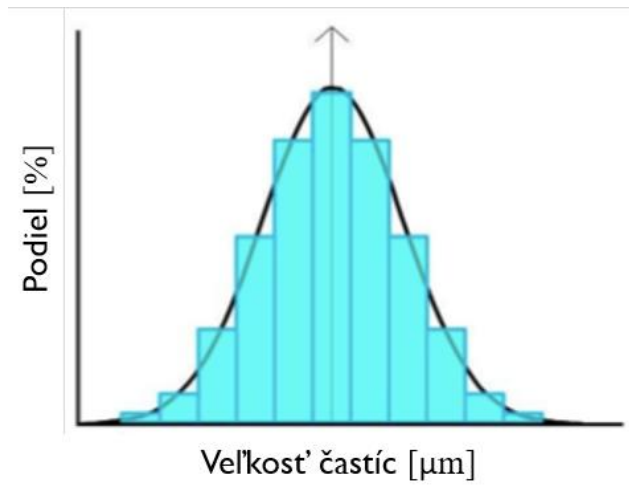
Tvar zŕn je závislý od druhu prášku a spôsobu jeho výroby. Častice sa nelíšia iba tvarom, ale veľakrát aj kvalitou povrchu. Niektoré častice môžu mať takmer hladký povrch, napr. častice pripravované granuláciou, atomizáciou taveniny, kondenzáciou alebo rozkladom karbonylu. Iné prášky môžu mať povrch značne členitý, napr. *Fe* prášok vytvorený redukciou. Stanovenie tvaru častíc je daný normou STN 42 0890-12 „Skúšanie kovových práškov. Stanovenie tvaru častíc.“

2.1 Distribúcia veľkosti častíc

Každý práškový materiál má rôzne veľké častice, ktorých veľkosť klesá spojito od maximálnej veľkosti až po určitú spodnú hranicu. Tento rozsah veľkostí sa z praktického hľadiska rozdeľuje na niekoľko tried, v ktorých sa nachádzajú častice s určitým rozdielom veľkostí.

Veľkostné charakteristiky možno prezentovať ako distribučné funkcie, ktoré udávajú množstevné podiel častíc, patriacich určitému k veľkosti parametra. Tieto množstevné podiely môžu byť vyjadrené buď ako kumulatívne alebo frekvenčný distribúcie. Frekvenčný distribúcie sa zobrazuje vo forme stĺpcového diagramu alebo ako kontinuálna derivácia kumulatívnej distribúcie. V prípade stĺpcového diagramu sa na os *x* nanášajú rozsahy veľkostí jednotlivých frakcií a na os *y* príslušný počet častíc, najčastejšie v % alebo hm.% (sieťová analýza). V mnohých prípadoch je výhodnejšie vynášať na os *y* celkový percentuálny obsah alebo hmotnosť všetkých častíc s daným a menším priemerom. Tým sa získa integrálne, alebo kumulatívne krivka rozloženia veľkosti častíc. Používajú sa rôzne typy

koordinačných systémov, napr. lineárne (obidve osi) a lineárno – logaritmické [6, 7].



Obr. 1. Stĺpcový diagram distribúcie veľkosti častíc

Distribúciu veľkosti častíc možno stanoviť rôznymi metódami podľa stupňa disperzity. Pre hrubé prášky s veľkosťou nad 50 µm sa v praxi používa sieťový rozbor, pre jemnozrnné prášky napr. mikroskopické meranie, sedimentácia, triedenie vzduchom, laserový analyzátor veľkosti častíc a i. Rozloženie prášku do jednotlivých tried a príprava definovaných zmesí častíc s určitou veľkosťou má v *PM* značný význam. Týmto spôsobom možno pripraviť zmesi hrubších a jemnejších častíc v takom pomere, že po miešaní a naplnení matrice lisu vznikne pomerne hutný výlisok, v ktorom budú dutiny medzi veľkými časticami vyplnené jemnozrnným podielom [8].

3 MATERIÁLY NA VÝROBKY PRÁŠKOVEJ METALURGIE

Klzné materiály - prítomnosť pórov zaplnené olejom, nízky koeficient trenia, vysoká odolnosť voči opotrebeniu. Pórovité ložiská, krúžky, puzdra z materiálov na báze *Fe*, *Cu*, *Al*. Využívajú sa pre rôzne trecie uhly v autách, lietadlách, a iných strojoch.

Frikčné materiály - platne z materiálov na báze *Fe* alebo *Cu*. Charakteristická je vysoká odolnosť voči opotrebeniu. Používajú sa pre brzdne uzly kolies automobilov, lietadiel.

Stlačiteľné materiály - ploché vložky, krúžky z materiálov na báze *Ni* a *Fe*. Charakteristický je nízky koeficient trenia. Využívajú sa pre tesnenia bandáže plynových turbín, motorov reaktívnych lietadiel.

Kontakty - materiály a výrobky pre elektrotechniku. Pseudozliatiny ťažkotaviteľných kovov ako *Ag-W*, *Cu-W*, *Mo-Ag*, *Mo-Cu*, *Ag-C*, *Cu-C* a pod. Využívajú sa v elektrických strojoch ako spínače a pod.

Magnety - výrobky z vysokočistého *Fe*, z jeho zliatin s *Ni* a *Co* (magneticky mäkké materiály), zliatiny *Fe*

s *Al*, *Si*, *Ni*, *Co*, *Cu* a iné. Využívajú sa v uzloch rôznych prístrojov.

Filtre - vysokopórovité materiály a výrobky z materiálov na báze *Fe*, *Ni*, *Ti*, *Cr*, *Al*, bronzov. Využívajú sa na čistenie plynov a kvapalín.

Vláknité pórovité výrobky - krúžky a puzdra vyrábané z kokových vlákien s pórovitosťou 70 ÷ 80 %. Využívajú sa pre antivibračné podložky.

Spekané karbidy - materiály na báze *WC*, *TiC*, *TaC*. Častice karbidov sú spojené *Co* alebo *Ni*. Využívajú sa pre rezné doštičky a nástroje pre obrábanie.

Superzliatiny - materiály na báze *Ni*, *Ti* a *Cr*. Lepšie úžitkové vlastnosti. Využívajú sa pre lopatky a disky reaktívnych motorov.

Disperzné spevnené materiály - materiály na báze *Al*, *Ti*, *Ni*, *Cu*, *Cr* a iných kovov disperzne spevnené časticami najmä oxidmi. Využívajú sa pre súčiastky na prácu pri vysokých teplotách.

Cermety - materiály na báze ťažkotaviteľných zlúčenín (karbidov, intermetalických zlúčenín) s vysokou žiarupevnosťou. Využívajú sa pre súčiastky na prácu za vysokých teplôt.

Materiály ťažkotaviteľných zlúčenín - výrobky rôznej formy, predovšetkým malých rozmerov z karbidov, boridov, silicidov, nitridov, a ich zliatin. Využívajú sa pre nukleárnu a kozmickú techniku.

Zliatiny ťažkotaviteľných kovov - zliatiny *W* a *Mo* s *Ni*, *Co*, *Fe* a inými kovmi s vysokými hodnotami hustoty a pevnostných vlastností. Využívajú sa pre vákuovú techniku, zliatiny s hustotou vyššou ako 13 000 kg·m⁻³.

Nástrojové ocele - zliatiny na báze *Fe*, využívané pre výrobu nástrojov.

Konštrukčné materiály - materiály prevažne na báze *Fe*, ale aj iných kovov. Využívajú sa pre súčiastky strojov a prístrojov [9-11].

4 KONŠTRUOVANIE SPEKANÝCH VÝROBKOV

Spekanie výlisok sa realizuje najčastejšie pri teplote 60 °C až 90 °C z teploty tavenia základného kovu. Spekaním sa dosiahne kompaktný tvar, zvyšuje sa pevnosť a znižuje pórovitosť súčiastok. Spekanie sa uskutočňuje v ochranných atmosférach alebo vo vákuu. Priebeh je riadený difúziou (s výnimkou spekaných karbidov a kovokeramických materiálov). Väčšinou prevláda povrchová difúzia alebo difúzia na hraniciach zŕn [12]. Spekané materiály sú charakteristické určitou pórovitosťou, heterogenitou a izotropnosťou. Pórovitosť súvisí s podstatou práškovej metalurgie (závisí od podmienok zhutňovania a spekania) a prejavuje sa aj na hustote výsledného materiálu. Heterogenita mikroštruktúry je vyvolaná predovšetkým chemickou heterogenitou, ktorá je výrazná najmä v spekaných materiáloch

vyrobených zo zmesí práškov rôzneho chemického zloženia. Vlastnosti spekaných materiálov spravidla nie sú výrazne smerovo závislé v porovnaní s plasticky deformovanými (valcovanými) materiálmi, ktoré majú rozdielne mechanické vlastnosti v pozdĺžnom a priečnom smere [13].

Výrobky *PM* sa uplatňujú vo všetkých odvetviach výroby. Dôvody pre uplatnenie *PM* možno rozdeliť do dvoch skupín: *PM* umožňuje výrobu nových typov materiálov, ktoré nejde vyrobiť klasickými technologickými postupmi (napr. spekané karbidy). *PM* je pre daný výrobok ekonomicky výhodná. Cenová efektívnosť je tým vyššia, čím má súčiastka menšiu hmotnosť a zložitejší tvar. Zároveň na cenu vplyva aj početnejšia vyrábaná séria a náročnosť použitej technológie [14-16].

Dodatočné spracovanie po spekaní sa realizuje iba v niektorých prípadoch s cieľom zabezpečiť:

- presnosť rozmerov (kalibrovanie),
- pevnosť (kovaním po spekaní sa v konštrukčných oceliach zníži pórovitosť),
- odolnosť proti opotrebeniu (tepelné alebo chemicko-tepelné spracovanie),
- koróziu odolnosť (konzervovanie, pokovovanie).

ZÁVER

Materiály *PM* patria stále medzi progresívne materiály, ktorých vývoj stále napreduje. Rovnako aj spôsoby a technológie výroby práškov. Analýza práškových kovov je súčasťou nie len vo firmách na ich výrobu, ale aj výskumnej činnosti vo vedeckých laboratóriách.

Pod'akovanie

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

LITERATÚRA

[1] SCHATT, W. - WIETERS, K. P. - KIEBACK, B. (2007): *Pulvermetallurgie, Technologien und Werkstoffe*. Düsseldorf: Springer-VDI-Verlag, 552 p., ISBN 978-3-540-23652-8.

[2] NEIKOV, O. D. - NABOYCHENKO, S. S. - MURASHOVA, I. V. - GOPIENKO (2009): *Handbook of Non-Ferrous Metal Powders - Technologies and Applications*, 1st ed., Philadelphia: Elsevier, 671 p., ISBN 978-1-85617-422-0.

[3] ASM Handbook (1998): Volume 7: *Powder Metal Technologies and Applications*. Ed. Peter W. Lee. 1st ed. Materials Park: ASM International, 1147 p., ISBN 978-0871703873.

[4] ANGELO, P. - SUBRAMANIAN, R. (2008): *Powder metallurgy: science, technology and applications*. 1st ed. Delhi: PHI Learning Pvt, 312 p., ISBN 978-8120-3328-12.

[5] LUKÁČ, I. (1990): *Prášková metalurgia*. Alfa, Vysoká škola technická v Košiciach, ISBN 80-05-00422-2

[6] *Histogram* [online]. [cit. 26.8.2013]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Histogramme_1oi_normale.svg>.

[7] THÜMMLER, F. - OBERACKER, R. (1993): *Introduction to powder metallurgy*. 1st ed. Cambridge: The University Press, 332 p., ISBN 0-901716-26-X.

[8] GERMAN, R. M. (1994): *Powder Metallurgy Science*. 2nd ed. Princeton: MPIF, 472 p., ISBN 1-878954-42-3.

[9] *Sieve analysis* [online]. [cit. 26.8.2013]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/Sieve_analysis>.

[10] MORAVEC, J. - KANTORIKOVÁ, E. - FABIAN, P. (2020): *Prášková metalurgia*. Žilina EDIS, ISBN 978-80-554-1692-2.

[11] *Sedimentation analysis* [online]. [cit. 26.8.2013]. Dostupné z: <http://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-540-68112-0_4.pdf>.

[12] SZABA, J. (2017): TU Košice, *Teplotná stabilita štruktúry práškových kompozitov na báze medi*, Dizertačná práca.

[13] MATTHEWS, F. L. - RAWLINGS, R. D. (1994): London, *Composite materials: engineering and science*, Chapman and Hall.

[14] HOSFORD, W. F. (2005): *Mechanical behavior of materials*. New York, USA: Cambridge University Press, s. 425., ISBN 0-521-84670-6.

[15] VELGOSOVÁ, O. - MIŠKUFOVÁ, A. - LAUBERTOVÁ, M. (2008): Košice, *príprava kompozitov na báze AL*, Acta Metallurgica Slovaca 14, p. 103-112.

[16] THÜMMLER, F. - OBERACKER, R. (1993): *Introduction to powder metallurgy*. 1st ed. Cambridge: The University Press, 332 p., ISBN 0-901716-26-X.

Vplyv striedavého namáhania na zmenu teploty vzduchu v pružnom pneumatickom elemente

Jozef Krajňák, Ing., PhD.*

Katedra konštrukčného a dopravného inžinierstva, Strojnícka fakulta,
Technická univerzita v Košiciach,
Letná 9, 042 00, Košice.
E-mail: jozef.krajnak@tuke.sk, Tel.: +421 55 602 2373

Silvia Maláková, doc. Ing., PhD.

Katedra konštrukčného a dopravného inžinierstva, Strojnícka fakulta,
Technická univerzita v Košiciach,
Letná 9, 042 00, Košice.
E-mail: silvia.malakova@tuke.sk, Tel.: +421 55 602 2372

Daniela Kepeň Harachová, Ing., PhD.

Katedra konštrukčného a dopravného inžinierstva, Strojnícka fakulta,
Technická univerzita v Košiciach,
Letná 9, 042 00, Košice.
E-mail: daniela.harachova@tuke.sk, Tel.: +421 55 602 2366

The effect of alternating stress on the change in air temperature in the flexible pneumatic element

Abstract: Rubber as a material is one of the frequently used materials in mechanical engineering. This article deals with rubber, or flexible pneumatic elements, the main part of which is rubber. We determine the effect of alternating stress on the temperature change in the flexible pneumatic element under this variable load. We describe a device that serves this purpose. This device was designed and manufactured in our department. We also determine the effect of the air pressure of the flexible element on the temperature of the air and the temperature of the flexible elements. We need to find out the magnitude of these temperatures so that we can determine whether these flexible elements can work without significant negative changes in physical properties.

Keywords: rubber, pneumatic element, temperature, measuring device, alternating stress, temperature sensor.

ÚVOD

V strojárstve sa okrem najčastejšie používaných kovových materiálov používajú nekovové materiály, z ktorých široké uplatnenie má guma. Guma sa v mnohých smeroch líši od klasických konštrukčných materiálov, tým, že má špecifické mechanické a chemické vlastnosti ktoré sa dajú aplikovať v strojárstve a hlavne v konštrukcii rôznych zariadení.

Guma ako materiál má široké uplatnenie v priemysle kvôli svojim špecifickým vlastnostiam a zvláštnym mechanickým vlastnostiam a nízkej hmotnosti [1]. Služi ako surovina pre rôzne priemyselné odvetvia vrátane automobilového priemyslu, stavebníctva, zdravotníctva a spotrebného tovaru, ako sú pneumatiky vozidiel, obuv, chirurgické rukavice a diely a komponenty poľnohospodárskych a priemyselných strojov. Takisto prírodné kaučukové plantáže prispievajú k trvalej udržateľnosti životného

prostredia, keďže kaučukovníky absorbujú oxid uhličitý z atmosféry, čím pomáhajú zmiernovať klimatické zmeny [2, 3]. Je však dobre známe, že prírodný kaučuk má nevýhody nízkej elasticity, nízkej pevnosti v ťahu a nízkej odolnosti proti oderu, čo predstavuje jeho limitné použitie.

Na našom pracovisku sa guma používa v pružných pneumatických elementoch. Tieto pružné elementy sú aplikované v pružných pneumatických hriadel'ových spojkách [4-10]. Pružné elementy sú naplnené vzduchom alebo iným plynným médiom a sú namáhané dynamickým namáhaním. Z dôvodu, že sú namáhané periodicky, dochádza k ohrievaniu vzduchu a ohrievaniu samotnej gummy [11].

Hodnoty získané pri statickom namáhaní sa používajú pre základnú klasifikáciu gumových materiálov. Pri statických skúškach má značný význam čas (hodnoty platia iba pre normalizovanú rýchlosť zaťažovania), tvar a rozmery skúšobného telesa a vplyv teploty (pri

teplotách pod $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ sa guma svojimi vlastnosťami blíži vlastnostiam kovov, pri teplotách okolo $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ sa mnohé vlastnosti gumených pásov v porovnaní s tými istými vlastnosťami pri normálnej prevádzkovej teplote okolo $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ silne zhoršujú.

Porucha prehriatia je jedným z významných problémov obmedzujúcich prevádzkovú schopnosť gumených pásov a súčiastok z gumených pásov pri vysokej rýchlosti a vysokom zaťažení [12]. V priemysle sa prírodný kaučuk široko používa pri výrobe matrice gumových pásov s vynikajúcimi komplexnými mechanickými vlastnosťami. Samotná guma však vykazuje viskoelasticitu, ktorá vedie k silnému hromadeniu tepla pri vysokej frekvencii a striedavom namáhaní s vysokou amplitúdou počas vysokej rýchlosti a záťaže. Pretože samotná guma spracováva zlú tepelnú vodivosť [13], teplo sa nemôže časom rozptýliť, čo má za následok prudké zvýšenie teploty vo vnútri gumenej dráhy. Okrem toho vysoká prevádzková teplota značne zhoršuje výkon a životnosť gumených pásov. Z toho dôvodu má príprava materiálov z prírodného kaučuku s vysokou tepelnou vodivosťou a nízkou tvorbou tepla veľký význam pre vývoj vysokorýchlostnej gumovej dráhy čo je technický problém, ktorý treba urýchlene vyriešiť. Keďže naše pružné elementy sa skladajú z kovu a gumených pásov a hlavné zaťaženie sa prenáša tlakom vzduchu je pre nás dôležité poznať ako sa táto guma respektíve vzduch bude zahrievať.

Cieľom tohto článku je zistiť vplyv striedavého namáhania na zmenu teploty vzduchu v dvojnóvcovom pružnom pneumatickom elemente pri takomto premenlivom zaťažení. Na našom pracovisku sme vyrobili zariadenie aby sa toto meranie mohlo vykonávať. Pružné elementy budeme dynamicky zaťažovať v závislosti od času a sledovať či teplota gumených pásov sa nezvýši na takú hodnotu kedy už stratí svoje vlastnosti. V prípade, že guma stratí svoje vlastnosti môže dôjsť k poškodeniu pneumatickej hriadeľovej spojky, takisto aj zariadenia v ktorom je táto spojka umiestnená. Tento fakt môže zapríčiniť riziko úrazu či prípadné poškodenie zariadenia a veľké finančné škody na zariadení [14, 15]. Rovnako môže dôjsť k odstaveniu zariadenia, čo v takisto môže spôsobiť veľké finančné straty pre danú firmu ktorá toto zariadenie používa.

1 MERACIE ZARIADENIE

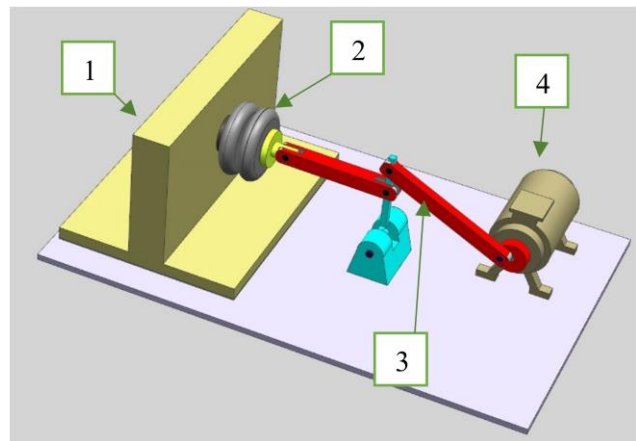
Meracie zariadenie ktoré bolo použité na snímanie teploty pri dynamickom namáhaní pružných elementov bolo vyvinuté na našom pracovisku. Navrhnuté bolo, aby čo najjednoduchšie splnilo svoj účel a zároveň, aby sa jednoducho a ekonomicky s minimálnymi nákladmi vyrobilo.

Skúšobné zariadenie na obr. 1 pozostáva z rámu (1), v ktorom je uložený pneumatický pružný člen (2), oscilačného mechanizmu (3), elektromotora (4) s

plynulou reguláciou frekvencie medzi 0 a 50 Hz. Použité sú digitálne multimetre *M-3870D METEX* s teplotnou sondou *ETP-003* a rozsahom merania $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $+250\text{ }^{\circ}\text{C}$. Teplotné sondy boli rozmiestnené na troch miestach, kde sa merala teplota. Boli namerané nasledujúce teploty:

- teplota vzduchu vo vnútri pružného člena T_{air} ,
- teplota vnútorného povrchu pružného prvku T_{in} ,
- teplota vonkajšieho povrchu pružného člena T_{out} .

Všetky tieto tri teploty boli sledované súčasne v závislosti od času. Samozrejme, že merania sa vykonávali až po ustálení teploty v laboratóriu. Skúšobné zariadenie bolo tepelne izolované. Na obr. 1 je znázornené schéma celého meracieho zariadenia ktoré bolo tepelne izolované od okolitého prostredia čo bolo veľmi dôležité pre presné merania. Počas experimentov sa udržiavala stabilná teplota v izolovanom objeme okolo testovacieho zariadenia.



Obr. 1. Schéma meracieho zariadenia: 1 - rám, 2 - pneumatický pružný člen, 3 - oscilačný mechanizmus, 4 - elektromotor

Teplota okolia (ktorá je rovnaká ako všetky teploty v celom systéme v čase $t = 0\text{ s}$) bola $T_0 = 22\text{ }^{\circ}\text{C}$. Interval odberu vzoriek, čiže odčitavania teploty bola 1 min. Teploty sa zaznamenávali v časoch $t = 1, 2, 3, 4, 5 \dots 30\text{ min}$ pri konštantnej frekvencii a amplitúde kmitov a meniacom sa tlaku vzduchu. Počas experimentov bol vplyv prostredia minimalizovaný použitím tepelnej izolácie a udržiavaním stabilných teplotných podmienok okolo testovacieho zariadenia. Maximálne rozlíšenie teplotných sond bolo $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Referenčná hodnota frekvencie v experimente bola $f = 13,5\text{ Hz}$. Tento prevádzkový stav predstavuje rezonančný stav (rezonančnú frekvenciu a amplitúdu) zariadenia, kde bol použitý pneumatický tuner.

Amplitúda lineárneho posunu na ohybnom prvku bola konštantná: $A = 4\text{ mm}$.

1.1 Pneumatické elementy

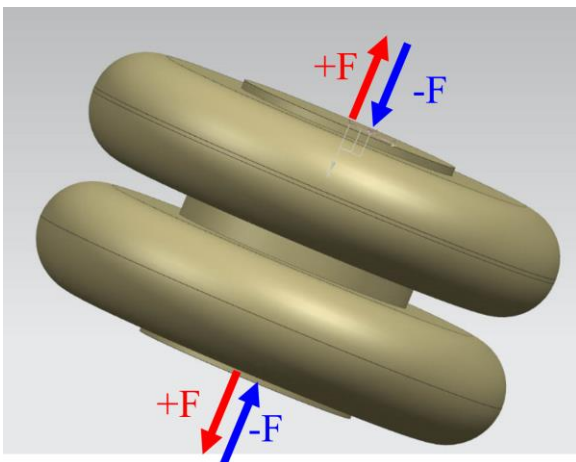
Pri meraní sme použili dvojnóvcové pružné elementy *PM 70* znázornené na obr. 2. Tieto pružné elementy používame v pružných pneumatických

hriadeľových spojkách. Priemer tohto pružného elementu je 70 mm a výška 90 mm.



Obr. 2. Dojvlnocový pružný pneumatiký element PM 70

Takýto dvojvlnocový pružný pneumatiký element bol zaťažovaný striedavým namáhaním v smere kladnej sily $+F$ (namáhanie na ťah) a v opačnom smere sily $-F$ (namáhanie na tlak). Smery týchto síl vidieť na schematickom znázornení elementu na obr. 3.



Obr. 3. Schéma pružného elementu so smerom zaťaženia

2 ANALÝZA VEDENIA TEPLA V PRUŽNOM ELEMENTE

Pružný element bol namáhaný dynamicky ako je to naznačené na obr. 3. V dôsledku stláčania a rozťahovania dochádza k nahrievaniu vzduchu a gummy. Zohrievanie sa gumovo-kordového materiálu pružného elementu pri jeho periodickom stláčaní má dva zdroje.

Prvým zdrojom je vzduch uzavretý v jeho vnútri. Ten sa pri periodickom stláčaní striedavo zohrieva a ochladzuje – tieto zmeny teploty potom vplývajú na materiál, v ktorom je vzduch uzavretý [8]. Je však dokázané, že s ohľadom na vysokú frekvenciu zmien

objemu ($200 \text{ min}^{-1} \div 600 \text{ min}^{-1}$) a malú tepelnú vodivosť však toto kolísanie teploty vzduchu ovplyvňuje iba tenkú povrchovú vrstvu (menej ako 0,1 mm) vnútornej časti materiálu. Napriek tomu je výmena tepla medzi vzduchom a materiálom dôležitá a nesmie sa zanedbať – pretože by nastala fyzikálne nezmyselná situácia, kedy by vnútri ohriateho gumovo-kordového materiálu bol uzavretý vzduch s pôvodnou (a nižšou) teplotou. Druhým tu prítomným procesom je ohrev gumového materiálu v dôsledku tepelných strát pri jeho periodických deformáciách. Pre úplnosť je potrebné dodať, že okrem ohrevu je prítomné odovzdávanie tepla vzduchu okolo pružného elementu. Vyrovnanie tepelnej bilancie všetkých zúčastnených procesov má za následok dosiahnutie rovnovážnej teploty v sústave.

Istú komplikáciu predstavuje nízka tepelná vodivosť gumového materiálu. Tá spôsobuje to, že vnútorný a vonkajší povrch pružného elementu majú rôznu teplotu (experimentálne merania to jasne ukazujú). Preto sa nedá v čase t predpokladať rovnaká hodnota teploty pre celý objem pružného elementu.

Množstvo tepla preneseného vedením je úmerné obsahu prierezu, cez ktorý teplo tečie. Keďže kordové vlákna votkané do gummy tvoria iba zanedbateľnú časť jej objemu, zrejme preto budú pre vedenie tepla nepodstatné.

Šírenie tepla v prostredí popisuje rovnica vedenia tepla (1) – parciálna diferenciálna rovnica, ktorá dáva do súvislosti okamžité rozdelenie teploty v objeme $T(x, y, z, t)$ a jeho časový vývoj (udáva teda hodnotu časovej derivácie teploty v každom bode objemu):

$$\lambda \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) = \rho c \frac{\partial T}{\partial t}, \quad (1)$$

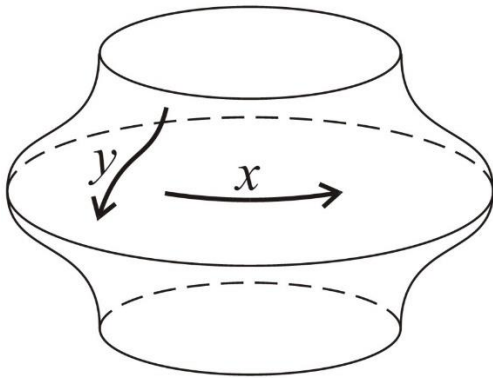
kde c je merná tepelná kapacita materiálu gummy [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$],

ρ hustota gummy [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$],

λ je koeficient vedenia tepla [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$].

Pri numerickom riešení sa bude v ďalšom skúmať vedenie tepla v pneumatiko-pružnom elemente ako jednorozmerný problém. Predpokladá sa, že teplo v jeho priereze prúdi iba v smere normály k povrchu. Okrem tohto sú však ešte dva iné smery, v ktorých by teplo mohlo prúdiť pozdĺž povrchu elementu v smere po obvodě (na obr. 4) a kolmo naň (na obr. 4 smer y). Smer x je vylúčený z dôvodu symetrie elementu – ktorý sa pozdĺž obvodu ohrieva všade rovnako, a tak nie je dôvod, aby v tomto smere vznikali nejaké teplotné rozdiely a tok tepla.

So smerom y je to zložitejšie. Ak sa teda uvažuje vznik tepla v objeme gummy, z teórie plynie, že množstvo vznikajúceho tepla závisí od veľkosti zmien deformácie pružného prostredia.



Obr. 4. Smery šírenia tepla na pružnom elemente

Pri pohľade na deformujúci sa element je jasné, že nie každá časť jeho povrchu sa pri deformácii namáha rovnako a preto sa budú jednotlivé časti rôzne zahrievať. Vo všetkých výpočtoch sa však uvádza pre teplotu povrchu jediné číslo. Z toho dôvodu treba myslieť na to, že skutočná hodnota bude oscilovať okolo neho a nebude rovnaká pre všetky časti elementu. Reálne sa rozdiely v mechanickom namáhaní jednotlivých častí pružného elementu zrejme nelíšia mnohonásobne. Navyše, vznik tepla pri namáhaní gumy nie je jediným faktorom, často má oveľa väčší vplyv napríklad vznik tepla pri turbulentnom prúdení vzduchu v hadiciach spájajúcich pružné elementy. Je možné konštatovať, že rozdiely teplôt na povrchu elementu by nemali byť príliš veľké a ich zanedbaním sa nedopúšťa zásadnej chyby.

2 VÝSLEDKY EXPERIMENTÁLNYCH MERANÍ

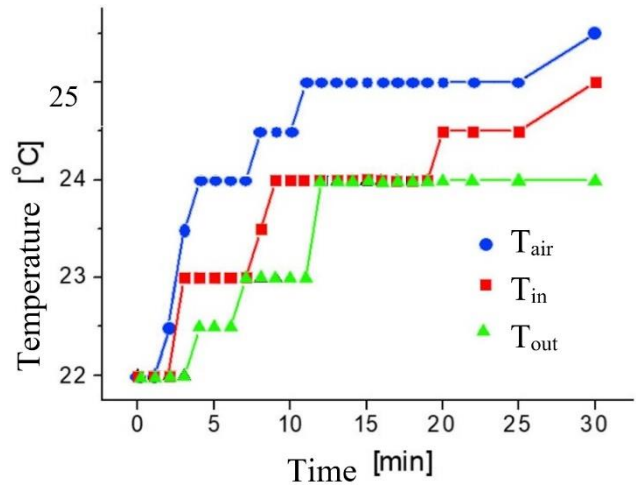
Skúšobné zariadenie znázornené na obr.1 bolo tepelne izolované, ako bolo už uvedené. Počas experimentov sa udržiavala stabilná teplota v izolovanom objeme okolo testovacieho zariadenia.

Teplota okolia (ktorá je rovnaká ako všetky teploty v celom systéme v čase $t = 0$ s) bola $T_0 = 22$ °C.

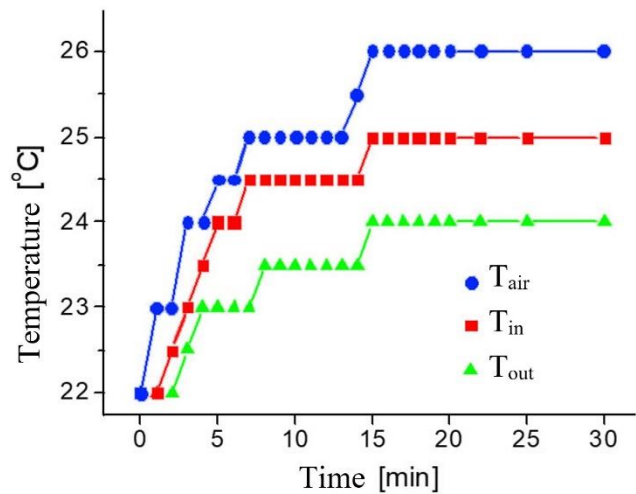
Teplota z multimetrov sa odčítavala raz za 1 min. Teploty sa zaznamenávali v časoch $t = 1, 2, 3, 4, 5 \dots 30$ min pri konštantnej frekvencii a amplitúde oscilácií a meniacom sa tlaku vzduchu. Počas experimentov bolo snahou zabezpečiť stabilné teplotné podmienky v okolí testovacieho zariadenia. Maximálne rozlíšenie teplotných sond bolo 0,5 °C.

Referenčná hodnota frekvencie v experimente bola $f = 13,5$ Hz a tá bola zabezpečená pri konštantných otáčkach elektromotora $n = 800$ min⁻¹. Tento prevádzkový stav predstavoval pre našu sústavu stav v blízkosti oblasti rezonancie.

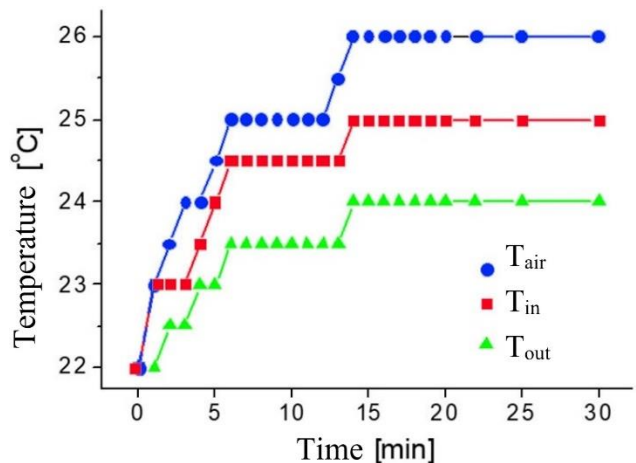
Merania sa vykonávali pri troch tlakoch. Zvolený bol jeden nízky tlak a dva vysoké tlaky, ktorých hodnoty boli $p = 200$ kPa, $P = 500$ kPa a $P = 600$ kPa. Priebiehy nameraných hodnôt sú zachytené na obr. 5, obr. 6 a obr. 7.



Obr. 5. Priebiehy teploty v závislosti od času pre tlak 200 kPa v pružnom elemente.



Obr. 6. Priebiehy teploty v závislosti od času pre tlak 500 kPa v pružnom elemente.



Obr. 7. Priebiehy teploty v závislosti od času pre tlak 600 kPa v pružnom elemente.

Tlak vzduchu vo vnútri pružného pneumatického elementu mal konštantnú hodnotu, ktorá bola kontrolovaná počas priebehu celého merania. Amplitúda lineárneho posunu na ohybnom prvku bola konštantná: $A = 4$ mm. Táto hodnota bola zabezpečená presne navrhnutým pákovým mechanizmom znázorneným na obr. 1, pozícia 3.

Výsledky meraní boli vynesené do grafu. Obrázky 5 až 7 zobrazujú vývoj teploty zaznamenaný všetkými tromi sondami pri frekvencii kmitov $f = 13,5$ Hz a pri rôznych hodnotách tlaku vzduchu vo vnútri pneumatického pružného člena.

Priebeh teplôt v závislosti od času pre tlak 200 kPa je na obr. 5. Vývoj teplôt pri nízkych tlakoch je veľmi podobný. Prvá teplotná rovnováha nastala po 12 minútach pre teplotu vzduchu T_{air} pri 25 °C. Teplota sa tu ustálila a už sa nezväčšovala. Následne sa teplota vonkajšieho povrchu T_{out} stabilizovala na 24 °C. Tretia meraná teplota vnútorného povrchu T_{in} sa stabilizovala po 6 min. na konečnej hodnote 25 °C.

Pri tlaku 500 kPa sú priebehy znázornené na obr. 6. Dochádza opäť k zmene teplotnej stabilizácie. Všetky tri namerané teploty sa ustálili súčasne, po 15 min. Maximálne teploty sú $T_{air} = 26$ °C, teplota vnútorného povrchu $T_{in} = 25$ °C a teplota vonkajšieho povrchu T_{out} sa ustálila na 24 °C.

Veľmi podobné výsledky nameraných teplôt v závislosti od času sa dosiahli aj pri ďalšom vysokom tlaku 600 kPa. Tieto priebehy pri tlaku 600 kPa vidieť na obr. 7. Všetky tri teploty sa ustálili skoro súčasne. Ich ustálenie nastalo po čase 13-15 min. Maximálne teploty vzduchu sú $T_{air} = 26$ °C pre vzduch vo vnútri, $T_{in} = 25$ °C pre vnútorný povrch a $T_{out} = 24$ °C pre vonkajší povrch. Pri porovnaní výsledkov z meraní prezentovaných na obr. 5–7 vidieť, že teplota vzduchu vo vnútri pružného člena T_{air} dosahovala maximálne hodnoty v rozmedzí 25 °C až 26 °C. Pri nízkych tlakoch 200 kPa dosiahla teplota vzduchu T_{air} maximálnu hodnotu 25,0 °C už po 10 minútach merania. Pri vyšších tlakoch (500 kPa ÷ 600 kPa) sa stabilná teplota 26 °C dosiahla až po 15 minútach merania. Zaujímavé je, že pri týchto vyšších tlakoch sa teplota v celom systéme súčasne stabilizovala. Naopak, najväčší rozdiel v nameraných časoch stabilizácie bol zaznamenaný pri nízkych tlakoch. Z týchto priebehov je viditeľné že sa nedosahujú extrémne veľké hodnoty teplôt a taktiež že tlak nemá až taký veľký vplyv na teplotu ako sa predpokladalo.

ZÁVER

Prezentovaný článok skúmal teplotu dvojnóvcového pružného pneumatického elementu pri dynamickom namáhaní. Po vykonaní meraní na skúšobnom zariadení, ktoré je v článku popísané, sa dá konštatovať ako sa mení teplota povrchu pružného elementu, teplota vnútra v pružnom elemente a teplota vzduchu vo vnútri pružného elementu. Pre meranie boli vybrané tlaky 200 kPa, 500 kPa, 600 kPa. Teplota sa pri meraní ustálila po čase 10 až 15 minút a potom sa už nemenila. Z nameraných hodnôt sa môže konštatovať že tlak nemá výrazný vplyv na zmenu teploty. Rozdiely teplôt pri nízkom a vysokom tlaku nie sú výrazné. Merania tiež ukazujú, že pri dynamickom namáhaní sa

pneumatický element ako aj vzduch zahrejú do maximálnej teploty 26 °C. Táto teplota nie je kritická pretože neohrozuje zdravie a takisto nemení vlastnosti gúmy ktoré by mohli spôsobiť poruchu či poškodenie. Dá sa teda konštatovať že pružné elementy zvládajú dynamické zaťaženia a nedochádza k výraznému nárastu teploty ktoré by bolo pre obsluhu nebezpečne. Je vhodné vyskúmať či na zmenu teploty nebude mať vplyv zmena frekvencie namáhania, čomu je zámer venovať sa v ďalšom výskume.

Pod'akovanie

Táto práca je súčasťou týchto projektov: KEGA 029TUKE-4/2021 - Implementácia moderných edukačných prístupov pri konštruovaní prevodových mechanizmov, KEGA 037TUKE-4/2024 - Vytvorenie interaktívneho nástroja pre zvýšenie zručností a kompetencií študentov v rámci výučby predmetov zameraných na tvorbu konštrukčnej dokumentácie, VEGA 1 /0346/24 - Vývoj inovatívnych systémov a prvkov pre redukciu torzných vibrácií v mechanických pohonoch.

LITERATÚRA

- [1] VASILEV, A. - LORENZ, T. - BREITKOPF, C. (2021): *Thermal Conductivities of Crosslinked Polyisoprene and Polybutadiene from Molecular Dynamics Simulations*. *Polymers*, 13, 315. <https://doi.org/10.3390/polym13030315>.
- [2] YAN, Z. - ZAOUI, A. - ZAÏRI, F. (2023): *Physical and mechanical properties of vulcanized and filled rubber at high strain rate*. *Chinese Journal of Physics* Vol. 86, December 2023, pp. 12-23. <https://doi.org/10.1016/j.cjph.2023.09.010>.
- [3] SATAKHUN, D. - CHAYAWAT, C. - SATHORNKICH, J. - PHATTARALERPHONG, J. - CHANTUMA, P. - THALER, P. - GAY, F. - NOUVELLON, Y. - KASEMSAP, P. (2019): *Carbon sequestration potential of rubber-tree plantation in Thailand*. *IOP Conference Series: Mater. Sci. Eng.*, 526.
- [4] HOMIŠIN, J. - KAŠŠAY, P. - PUŠKÁR, M. - GREGA, R. - KRAJŇÁK, J. - URBANSKÝ, M. - MORAVIČ, M. (2016): *Continuous tuning of ship propulsion system by means of pneumatic tuner of torsional oscillation*. *International Journal of Maritime Engineering: Transactions of The Royal Institution of Naval Architects*, Vol. 158, No. Part A3, pp. A231-A238, ISSN 1479-8751.
- [5] HOMIŠIN, J. (2007): *Pneumatic flexible shaft couplings*. *Transport Problems*. Vol. 2, No. 3, p. 63-72, ISSN 1896-0596.
- [6] KRAJŇÁK, J. - URBANSKÝ, M. - GURSKÝ, P. - BRESTOVIČ, T. (2011): *Analysis of impact of gasses on mechanical properties of flexible pneumatic*

- couplings*. Transactions of the Universities of Košice. No. 2, pp. 49-56, ISSN 1335-2334.
- [7] GURSKÝ, P. - GREGA, R. (2011): *Influence of flexible elements temperature on flexible couplings characteristics*. Transactions of the Universities of Kosice. No. 2, 2011, pp.61-66, ISSN 1335-2334.
- [8] KRAJŇÁK, J. - HOMIŠIN, J. - GREGA, R. - KAŠŠAY, P. - URBANSKÝ, M. (2021): *The failures of flexible couplings due to self-heating by torsional vibrations – validation on the heat generation in pneumatic flexible tuner of torsional vibrations*. Engineering Failure Analysis. Amsterdam (Nemecko): Elsevier No. 119, pp. 1-13, ISSN 1350-6307.
<https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2020.104977>
- [9] GREGA, R. (2014): *Examination of applicated pneumatic flexible coupling and its effect on magnitude of vibrations in drive of belt conveyer*. Zeszyty naukowe Politechniki Slaskiej. Vol. 85, No. 1925, p. 21-25, ISSN 0209-3324.
- [10] HOMIŠIN, J. - GREGA, R. - KOPAS, M. (2007): *New kinds of pneumatic flexible shaft couplings with low torsional rigidity*. Transactions of the Universities of Košice. No. 1, pp. 17-20, ISSN 1335-2334.
- [11] KAŠŠAY, P. - HOMIŠIN, J. - ČOPAN, P. - URBANSKÝ, M. (2014): *Verification of Torsional Oscillating Mechanical System Dynamic Calculation*. Results. Zeszyty naukowe Politechniki Śląskiej: seria: Transport. Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, 2014, Vol. 84, pp. 29-34, ISSN 0209-3324.
- [12] LIANG, K. - TU, Q.-Z. - SHEN, X.-M. - FANG, Z.-H. - YANG, X. - ZHANG, Y. - XIANG, H.-y. (2022): *An improved LuGre model for calculating static steering torque of rubber tracked chassis*. Other articles in Defence Technology, Vol.18, No. 5, May 2022, pp. 797-810,
<https://doi.org/10.1016/j.dt.2021.03.026>.
- [13] SETHULEKSHMI, A. S. - APPUKUTTAN, S. - KURUVILLA J. (2022): *A comprehensive review on the recent advancements in natural rubber nanocomposites*. International Journal of Biological Macromolecules, Vol. 194, pp. 819-842, ISSN 0141-8130,
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.11.134>.
- [14] MALÁKOVÁ, S. - PUŠKÁR, M. - FRANKOVSKÝ, P. - SIVÁK, S. - HARACHOVÁ, D. (2021): *Influence of the shape of gear wheel bodies in marine engines on the gearing deformation and meshing stiffness*. Journal of Marine Science and Engineering, Bazilej (Švajčiarsko), Multidisciplinary Digital Publishing Institute, Vol. 9, No. 10, pp. 1-22, ISSN 2077-1312.
<http://dx.doi.org/10.3390/jmse9101060>.
- [15] HARACHOVÁ, D. - MALÁKOVÁ, S. (2013): *Applying the modularity principle in design of drive systems in mechanotherapeutic devices*. Grant journal, Vol. 2, No. 2 , pp. 80-82, ISSN 1805-0638.

Vyladenie mechanickej sústavy pohonu piestového kompresora z hľadiska veľkosti torzného kmitania

Matej Urbanský, Ing., PhD.*

Katedra konštrukčného a dopravného inžinierstva, Strojnícka fakulta,
Technická univerzita v Košiciach,
Letná 1/9, 042 00, Košice-Sever.
E-mail: matej.urbansky@tuke.sk, Tel.: +421 55 602 2368

Peter Kaššay, doc. Ing., PhD.

Katedra konštrukčného a dopravného inžinierstva, Strojnícka fakulta,
Technická univerzita v Košiciach,
Letná 1/9, 042 00, Košice-Sever.
E-mail: peter.kassay@tuke.sk, Tel.: +421 55 602 2369

Optimum tuning of the mechanical system of piston compressor drive in terms of torsional vibration magnitude

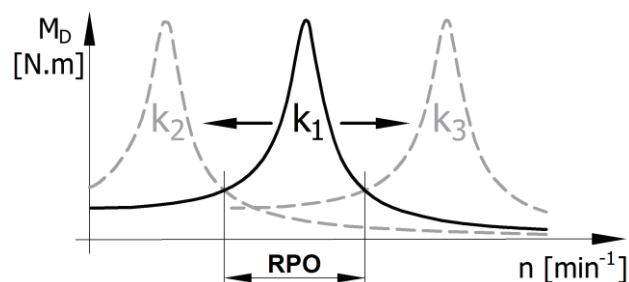
Abstract: One of possible ways to change the amount of compressed air delivered by a piston compressor is to change its operating speed. However, it can cause an improper tuning of the mechanical system of piston compressor drive in terms of torsional dynamics. In order to avoid excessive torsional vibration, a suitable pneumatic flexible shaft coupling can be used in the system. An optimum air pressure value in a pneumatic coupling was determined experimentally for three various operating modes of an experimental mechanical system of piston compressor drive.

Keywords: mechanical system, piston compressor, torsion oscillation, stiffness.

ÚVOD

Nadmerné torzné kmitanie mechanickej sústavy spôsobuje hluk a rôzne vážne poruchy, napr. [6, 7] ako sú lomy hriadeľov, zubov ozubených kolies a pätiiek strojov, otláčenia pier a žliabkov, poruchy pružných spojok a iné, preto sa ho snažíme znižovať. Hodnota torznej tuhosti pružnej hriadeľovej spojky aplikovanej v mechanickej sústave priamo ovplyvňuje vlastné frekvencie mechanickej sústavy. Vhodnou hodnotou torznej tuhosti k ($k_2 < k_1 < k_3$) (obr. 1) je možné vysunúť rezonancie od jednotlivých harmonických zložiek budenia torzného kmitania z rozsahu pracovných otáčok (RPO) sústavy a tým znížiť hodnotu dynamickej zložky M_D prenášaného záťažového krútiaceho momentu, napr. [1-4, 8]. Hovoríme teda, že vieme vyladiť mechanickej sústavy z hľadiska veľkosti torzného kmitania. Závislosť M_D od otáčok n mechanickej sústavy (obr. 1) je tzv. rezonančná krivka mechanickej sústavy. Otáčky mechanickej sústavy, pri ktorých sa vlastná a budiaca frekvencia zhodujú (vrchol rezonančnej krivky), sa nazývajú kritické otáčky.

Torzna tuhosť pneumatickej pružnej spojky, a teda aj vlastné frekvencie kmitania torzne kmitajúcej mechanickej sústavy sa dajú meniť nastavením tlaku vzduchu v jej pneumatických pružných elementoch. Pneumatické spojky nám umožňujú ladiť mechanickej sústavy aj počas jej prevádzky po zmene jej prevádzkového režimu, vtedy hovoríme o plynulom ladení mechanickej sústavy počas jej chodu. Ak je zámerom meniť torznú tuhosť pružnej hriadeľovej spojky s pružnými členmi vyrobenými z gumeny, plastu alebo ocele, musia sa pružné členy vymeniť, keď je mechanickej sústavy mimo prevádzky).



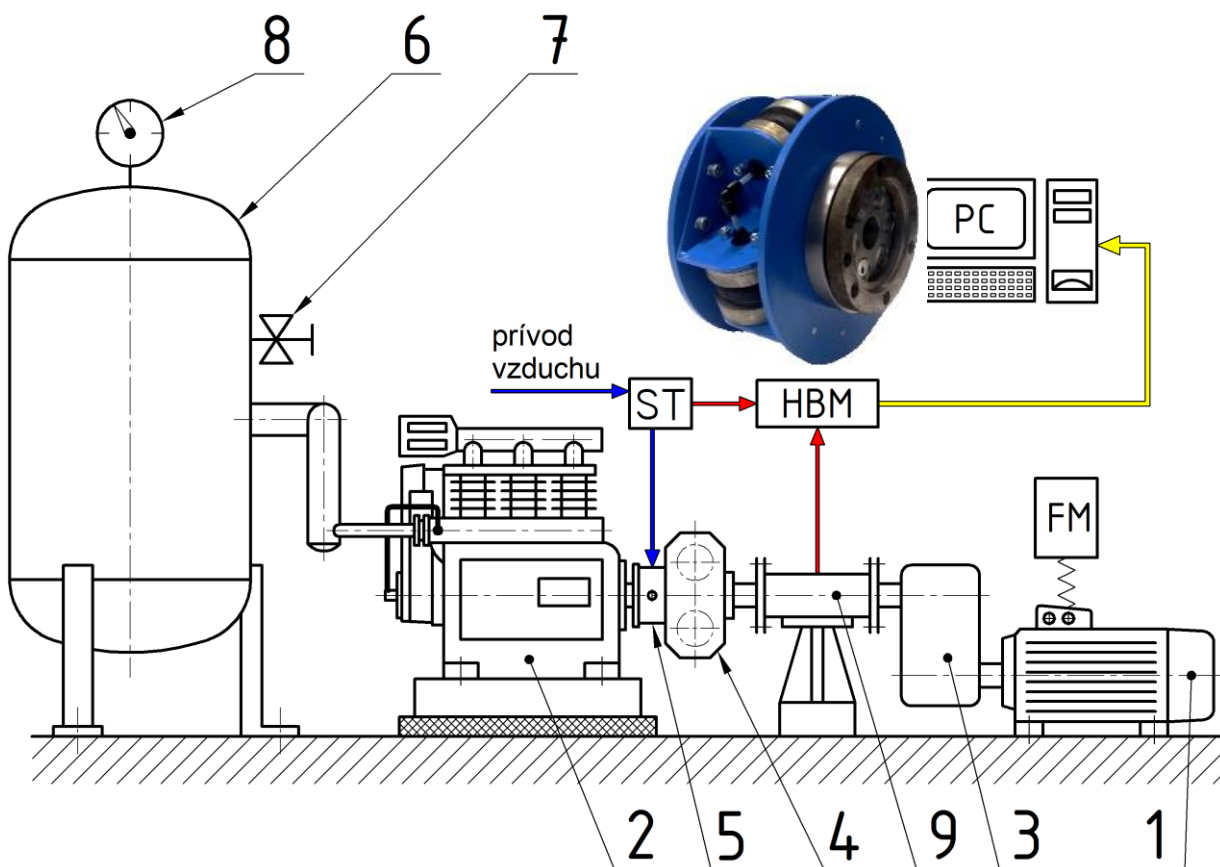
Obr. 1. Princíp ladenia mechanickej sústavy

Zmena pracovných otáčok piestového kompresora, napríklad pomocou frekvenčného meniča, je jedným z možných spôsobov, ako zmeniť ním dodávané množstvo stlačeného vzduchu. Môže však spôsobiť nesprávne vyladenie mechanickej sústavy z hľadiska torznej dynamiky. Aby sa predišlo nadmernému torznému kmitaniu, bola v experimentálnej mechanickej sústave pohonu piestového kompresora použitá pneumatická pružná hriadeľová spojka. Cieľom príspevku je experimentálne určiť optimálnu hodnotu tlaku vzduchu v tejto pneumatickej spojke pre tri rôzne prevádzkové režimy experimentálnej mechanickej sústavy dané rôznymi pracovnými otáčkami n sústavy.

1 POPIS A SCHÉMA EXPERIMENTÁLNEJ MECHANICKEJ SÚSTAVY

Na nasledujúcom obr.2 je znázornená schéma zariadenia, na ktorom bolo realizované meranie. Mechanická sústava pozostáva z 3-fázového asynchrónneho elektromotora (1) typu *Siemens 1LE10011DB234AF4-Z* (11 kW, 1470 min⁻¹), ktorého otáčky je možné plynule meniť pomocou frekvenčného meniča (FM). Elektromotor poháňa 3-valcový kompresor (2) typu *ORLIK 3JSK-75* cez prevodovku (3) s prevodovým pomerom 1:1 a pneumatickú spojku typu 4-1/70-T-C (4). Piestový

kompresor je budičom torzného kmitania v danej mechanickej sústave. Stlačený vzduch z kompresora prúdi do tlakovej nádoby (6) s objemom 300 l. Škrtiacim ventilom (7) je možné vypúšťať stlačený vzduch tak, aby sa v nej udržiaval konštantný pretlak, ktorého hodnotu je možné odčítať na manometri (8). Pomocou rotačného prívodu (5) sa realizuje plnenie kompresného priestoru rotujúcej pneumatickej spojky stlačeným vzduchom. Pre snímanie priebehu krútiaceho momentu v čase je použitý snímač krútiaceho momentu (9) typ 7934, výrobca *MOM Kalibergyár* s meracím rozsahom 0 až 500 Nm. Na meranie tlaku vzduchu v kompresnom priestore pneumatickej spojky bol použitý snímač tlaku (ST) typ *MBS 3000* s kovovou membránou, výrobca *Danfoss* s meracím rozsahom pretlaku 0 MPa ÷ 1 MPa). Signály z oboch snímačov sú zosilnené a spracované univerzálnou 8-kanálovou meracou aparátúrou *HBM MX840* a dáta sú následne odosielané do PC. Kombinovaná chyba merania snímača krútiaceho momentu (zahrňujúca nelinearitu, hysteréziu a reprodukovateľnosť) je 0,1 % z jeho meracieho rozsahu, t. j. 0,5 Nm. Kombinovaná chyba merania snímača tlaku (zahrňujúca nelinearitu, hysteréziu a reprodukovateľnosť) je 0,5 % z jeho meracieho rozsahu, t. j. 5 kPa.



Obr. 2. Experimentálna mechanická sústava pohonu piestového kompresora

2 PODMIENKY MERANIA

Prevádzkový režim mechanickej sústavy bol charakterizovaný konštantnou hodnotou pretlaku v tlakovej nádobe a konštantnými pracovnými otáčkami mechanickej sústavy.

Konštantná hodnota pretlaku v tlakovej nádobe počas meraní bola 500 kPa.

Konštantné pracovné otáčky mechanickej sústavy boli $n_{01} = 400 \text{ min}^{-1}$; $n_{02} = 700 \text{ min}^{-1}$ a $n_{03} = 1000 \text{ min}^{-1}$.

Hodnota pretlaku v kompresnom priestore pneumatickej spojky môže byť v rozsahu od $p_{ps} = 200 \text{ kPa}$ (minimálny pretlak na zabezpečenie požadovanej prenosovej schopnosti spojky v danej mechanickej sústave) do 800 kPa (maximálny dovolený pretlak predpísaný výrobcom pneumatických pružín [5]).

Boli namerané 3 rezonančné krivky mechanickej sústavy pri $p_{ps} = 200 \text{ kPa}$, $p_{ps} = 500 \text{ kPa}$ a $p_{ps} = 800 \text{ kPa}$ (obr. 3).

Pracovné otáčky mechanickej sústavy sa pohybovali v rozsahu $n_0 = 300$ až 1000 min^{-1} , s krokom 50 min^{-1} .

Kompresor pracoval bez poruchy; teda jeho valce pracovali rovnomerne. Pre trojvalcový kompresor je hlavnou harmonickou zložkou 3. harmonická zložka. Rezonančné špičky v zvolenom rozsahu prevádzkových otáčok vznikli pri zhode hlavnej – 3. harmonickú zložku budenia s 1. vlastnou frekvenciou mechanickej sústavy (overené frekvenčnou analýzou).

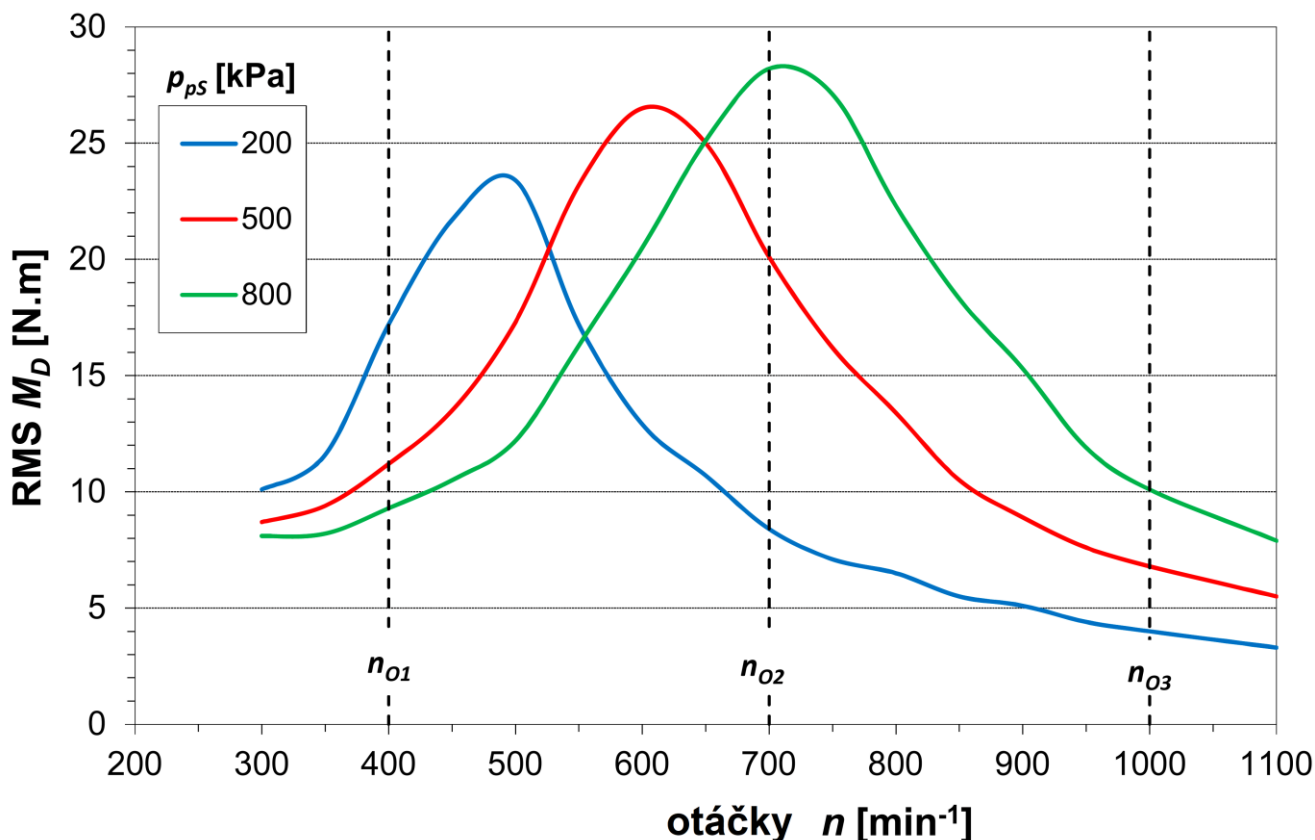
Na kvantifikáciu veľkosti torzného kmitania bola zvolená efektívna hodnota $RMS M_D$ dynamickej zložky M_D záťažového krútiaceho momentu. $RMS M_D$ bola vypočítaná podľa nasledujúcich rovníc:

$$RMS M_D = \sqrt{\frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N (M_{Di})^2}, \quad (1)$$

$$M_{Di} = M_i - \left(\frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N M_i \right), \quad (2)$$

kde N je počet vzoriek a M_i je i -tá vzorka časového záznamu záťažového krútiaceho momentu. Pre výpočet $RMS M_D$ podľa rovníc bola použitá metóda plávajúceho priemeru.

Vzorkovacia frekvencia merania signálu krútiaceho momentu bola 1200 Hz.



Obr. 3. Namerané rezonančné krivky mechanickej sústavy

3 VÝSLEDKY MERANIA

Na obr. 3 sú zobrazené namerané rezonančné krivky experimentálnej mechanickej sústavy pohonu piestového kompresora, ktoré boli namerané podľa vyššie uvedených podmienok.

Vidno, že najvhodnejšia hodnota pretlaku vzduchu v pneumatickej spojke je $p_{ps} = 800$ kPa pri $n_{O1} = 400$ min⁻¹; $p_{ps} = 200$ kPa pri $n_{O2} = 700$ min⁻¹ a $p_{ps} = 200$ kPa pri $n_{O3} = 1000$ min⁻¹.

Mechanická sústava pracuje v podrezonančnej oblasti pri $p_{ps} = 800$ kPa / $n_{O1} = 400$ min⁻¹ a v nadrezonančnej oblasti pri $p_{ps} = 200$ kPa / $n_{O2} = 700$ min⁻¹ a $n_{O3} = 1000$ min⁻¹.

ZÁVER

Použitím vhodnej pneumatickej pružnej hriadeľovej spojky v mechanickej sústave pohonu piestového kompresora je možné meniť pracovné otáčky piestového kompresora bez toho, aby dochádzalo k nadmernému torznému kmitaniu v sústave v dôsledku nesprávneho vyladenia mechanickej sústavy z hľadiska torznej dynamiky.

Pre konkrétny prevádzkový režim mechanickej sústavy je potrebné zvoliť a nastaviť najvhodnejšiu hodnotu pretlaku vzduchu v pneumatickej spojke p_{ps} .

Pod'akovanie

Príspevok bol vypracovaný v rámci riešenia grantových projektov:

KEGA 029TUKE-4/2021: Implementácia moderných edukačných prístupov pri konštruovaní prevodových mechanizmov.

KEGA 037TUKE-4/2024: Vytvorenie interaktívneho nástroja pre zvýšenie zručností a kompetencií študentov v rámci výučby predmetov zameraných na tvorbu konštrukčnej dokumentácie.

VEGA 1 /0346/24: Vývoj inovatívnych systémov a prvkov pre redukciu torzných vibrácií v mechanických pohonoch.

LITERATÚRA

[1] HOMIŠIN, J. (2016): *Characteristics of pneumatic tuners of torsional oscillation as a result of patent activity*. In: Acta Mechanica et Automatica, Vol. 10, No. 4, pp. 316-323, ISSN 1898-4088, DOI: 10.1515/ama-2016-0050.

[2] HOMIŠIN, J. (2018): *Contribution and perspectives of new flexible shaft coupling types – pneumatic couplings*. In: Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport, Vol. 99, pp. 65-77, ISSN 0209-3324, DOI: <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2018.99.6>.

[3] HOMIŠIN, J. (2008): *Dostrajanie ukadóv mechanicznych drgajacych skretnie przy pomocy sprzegie pneumatycznych*. Bielsko-Biala: ATH, ISBN 978-83-60714-55-3.

[4] HOMIŠIN, J. (2002): *Nové typy pružných hriadeľových spojok: Vývoj-Výskum-Aplikácia*. Košice: Vienala, ISBN 80-7099-834-2.

[5] IMI (2023): *Compact air bellows*. Accessed: 05.10.2023. Dostupné na internete: <https://www.imi-precision.com/uk/en/list/actuators/air-bellows>.

[6] MALÁKOVÁ, S. a kol. (2023): *Analysis of damage origin of bevel gear wheels*. In: Engineering Failure Analysis. Amsterdam (Nemecko): Elsevier, No. 146, pp. 1-14, [print, online], ISSN 1350-6307.

[7] MALÁKOVÁ, S. a kol. (2020): *Meshing Stiffness - A Parameter Affecting the Emission of Gearboxes*. In: Multidisciplinary Digital Publishing Institute, Basel (Švajčiarsko): Vol. 10, No. 23, pp. 1-12, [online], ISSN 2076-3417 (online).

[8] STURM, M. - PEŠÍK, L. (2017): *Determination of a Vibrating Bowl Feeder Dynamic Model and Mechanical Parameters*. In: Acta Mechanica et Automatica, Vol. 11, No. 3, pp. 243-246, ISSN 1898-4088, DOI: 10.1515/ama-2017-0038.

Hodnotenie zmeny mikrogeometrie kovového povrchu vzhľadom na aplikačnú dobu fosfátovania

Dagmar Draganovská, doc. Ing., PhD.*

Katedra technológií, materiálov a počítačovej podpory výroby, Strojnícka fakulta,
Technická univerzita v Košiciach,
Mäsiarska 74, 040 01, Košice.
E-mail: dagmar.draganovska@tuke.sk, Tel.: + 421 55 602 3515

Anna Guzanová, doc. Ing., PhD.

Katedra technológií, materiálov a počítačovej podpory výroby, Strojnícka fakulta,
Technická univerzita v Košiciach,
Mäsiarska 74, 040 01, Košice.
E-mail: anna.guzanova@tuke.sk, Tel.: + 421 55 602 3515

Gabriela Ižaríková, doc. Mgr., PhD.

Katedra aplikovanej matematiky a informatiky, Strojnícka fakulta,
Technická univerzita v Košiciach,
Letná 9, 040 01, Košice.
E-mail: gabriela.izatikova@tuke.sk, Tel.: + 421 55 602 3515

Evaluation of the change in the microgeometry of the metal surface with respect to the phosphating application time

Abstract: The contribution is focused on the analysis of the microgeometry of metal surfaces after applying a conversion layer using phosphating. The types of basic materials used in the experiment are uncoated deep-drawn steel *DC04* and hot-dip galvanized microalloy steel *HX340LAD+Z*. During the application of the conversion layer, the changes of the microgeometry parameters of the surfaces were studied with respect to the phosphating time, which was 3, 5 and 10 minutes. The paper also deals with the statistical evaluation of roughness parameters of pre-treated surfaces. The achieved results provide information for other technological operations such as the creation of adhesive joints, where the correct anchoring of the adhesive is important for the load-bearing capacity of the joints.

Keywords: microgeometry, metal surface, conversion layer, phosphating, adhesive joint.

ÚVOD

Povrchy kovových materiálov sú v praxi skúmané z hľadiska kvality, od ktorej sa odvíja funkčnosť výrobku. Povrchová vrstva materiálu tvorí hranicu, kde dochádza k narúšaniam celistvosti kryštalických zŕn materiálu, nakoľko je táto vystavená účinkom okolia a prevádzkovým faktorom. K zhoršeniu kvality povrchovej vrstvy môžu prispieť nesprávne technologické podmienky pri operáciách predúprav a finálnej úprave, kedy môže dôjsť k vzniku iniciátorov napätí, ktoré môžu viesť k začatiu samotného degradačného procesu. Tieto nežiadúce následky sa prejavujú v zhoršenej kvalite povrchu ako je napríklad nedostatočná čistota, aktivácia povrchu, znížená korózná odolnosť, nevhodná mikrogeometria a pod.

V súčasnosti neoddeliteľnú súčasť viacerých odvetví v priemysle predstavuje spájanie materiálov. Pri tvorbe spojov práve povrch materiálu a jeho mikrogeometria je veľmi dôležitá pre vznik kvalitného spoja s požadovanou únosnosťou. Tu patrí k určujúcim faktorom veľkosť kontaktnej plochy medzi adhezívom a povrchom spájaného materiálu. Technológia spájania materiálov prešla značným vývojom a s neustále rastúcimi požiadavkami na výslednú kvalitu spojov, ich presnosť a pevnosť pri čo najnižšom ekologickom dopade sa stále vyvíja. Pokrok je značný aj v odvetví automobilového priemyslu, kde sa kladú čím ďalej vyššie nároky na bezpečnosť a pevnosť a to pri dosahovaní čo najnižšej základnej tzv. prevádzkovej hmotnosti vozidiel. Uvedený fakt prispieva k vývoju a zrýchľovaniu aj technológií adhézneho spájania,

avšak toto tempo nemôže byť na úkor kvality daných spojov. Preto je nevyhnutné neustále precízne testovanie spojov a kvality povrchov, aby bola zabezpečená spoľahlivosť pri požadovanej kvalite.

Jednou z vhodných technológií chemických predúprav povrchu je aplikovanie konverznej vrstvy procesom fosfátovania. Pojmom konverzná povlaka sa súhrnne označujú chemické predúpravy kovových materiálov, ktoré vznikajú chemickou reakciou medzi kovom a nanášaným povlakom. Výsledkom tejto chemickej reakcie je vytvorenie povrchovej vrstvy - povlaku. Vrstvy sa vytvárajú ponorením kovového predmetu do chemického roztoku s alebo bez použitia elektrického prúdu na predmet. Fosfátovanie zaraďujeme medzi jednoduchú technológiu, ktorá má vo finálnom výsledku vytvoriť medzivrstvu, pre lepšie priľnutie lepidla alebo ďalších povrchových úprav či pre zvýšenie odolnosti základného materiálu voči korózii [1, 2].

Príspevok sa zaoberá hodnotením zmien parametrov mikrogeometrie povrchov kovových materiálov, určených na tvorbu adhézných spojov, vzhľadom na použitú rozdielnu dobu fosfátovania a ich štatistickým vyhodnocovaním.

1 METODIKA EXPERIMENTÁLNYCH PRÁČ

Ako základný materiál boli použité dva typy ocelí a to ocele typu DC04(1.0338), v ďalšom označená ako DC a HX340LAD+Z(1.0933), v ďalšom označená ako HX, o rozmeroch 100 x 25 x 8 mm.

Oceľ DC04 je nepovlakovaná hlbokoťažná oceľ, zvlášť vhodná pre náročné vonkajšie a vnútorné dielce v automobilových karosériách, alebo pre iné výlisky.

Oceľ HX340LAD+Z je žiarovo pozinkovaná mikrolegovaná oceľ. Chemické zloženie materiálov je v tab. 1 a ich mechanické vlastnosti v tab. 2.

Tab. 1. Chemické zloženie základných materiálov

	C	Mn	P	Si	S	Nb	Ti
DC	0,04%	0,25%	0,01%	-	0,01%	-	-
HX	0,07%	0,60%	0,02%	0,01%	0,01%	0,03%	0,00%

Tab. 2. Mechanické vlastnosti materiálov

	DC	HX
R_e [MPa]	197	414
R_m [MPa]	327	473
A_{80} [%]	39	28,4
Zn [$g \cdot m^{-2}$]	-	110

Oba typy ocelí boli podrobené chemickej predúprave povrchu - fosfátovaniu. Na fosfátovanie vzoriek bola použitá technológia fosfátovania prípravkom

Pragofos 1500 výrobcu Pragochema s.r.o., nanášaná ponorom. Fosfátová vrstva má za úlohu chrániť materiál pred koróziou alebo slúži ako podkladová vrstva pred nanášaním ďalších vrstiev.

Upravovaný povrch ocele bol pred samotným procesom fosfátovania odmastený prípravkom Pragolod 57 N výrobcu Pragochema s.r.o. kvôli odstráneniu konzervačných olejov a iných nečistôt z povrchu oceľových vzoriek. Dispergátor, obsiahnutý v prípravku, je účinný na grafitické a kovové častice, ktoré sa z povrchu odstraňujú komplikovanejšie. Pragolod 57 N bol aplikovaný ponorom vzorky do kúpeľa.

Pred nanášaním vrstvy fosfátu po aplikácii odmasťovadla Pragolod 57 N bol zaradený oplách v kúpeli s aktivačným oplachom Pragofos 1007 o koncentrácii 0,3 % pri izbovej teplote s dobou miešania kúpeľa 3 minúty. Vzorky ocelí typu DC04 boli následne fosfátované v kúpeli Pragofos 1501 pri teplote 60 °C po dobu 3, 5 a 10 minút. Pragofos 1501 je koncentrát na prípravu fosfátovacieho kúpeľa, ktorého hlavnými zložkami sú fosforečnan zinočnatý a chlorečnan. Vzorky ocelí typu HX340LAD+Z boli fosfátované v kúpeli zmiešanom z prípravkov Pragofos 1501 a Pragofos 1502 výrobcu Pragochema s.r.o., používaných na úpravu žiarovo pozinkovanej ocele. Prípravok Pragofos 1502 je prípravok s obsahom fluoridov.

Konverzná fosfátová vrstva bola aplikovaná pri teplote 60 °C po dobu 3, 5 a 10 min. V závislosti od doby fosfátovania je uvedené aj označenie vzoriek (DC0, HX0 - počiatočný stav, DC3, HX3 - doba fosfátovania 3 min., DC 5, HX 5 – 5 min. a DC10, HX10 - 10 min. Po procese fosfátovania boli vzorky opláchnuté demineralizovanou vodou a osušené horúcim vzduchom.

Mikrogeometria kovových povrchov bola vyhodnocovaná dotykovou meraciou metódou s profilomerom typu SurfTest SJ-201 od japonského výrobcu Mitutoyo v súlade s ISO 21920-2. Pre účely experimentu boli zvolené parametre, ktoré výstižne popisujú mikrogeometrické rozdiely hodnotených povrchov, a to R_a [μm] - stredná aritmetická odchýlka profilu, R_z [μm] - priemerná hodnota najväčších výšok profilu, R_{Pc} [-/cm] - počet prvkov profilu na jeden cm dĺžky a R_{Sm} [μm] - stredná šírka prvkov profilu [3].

Za účelom vyhodnotenia nameraných veličín, hodnotiacich mikrogeometriu a vplyv času fosfátovania na zmenu charakteru povrchov, boli dosiahnuté výsledky spracované pomocou štatistických metód. Vyhodnotenie vplyvu materiálu a času fosfátovania na drsnosť povrchu reprezentovanú parametrami R_a , R_z a R_{Pc} bolo realizované s využitím programového softvéru

STATISTICA. Konkrétne boli použité grafické nástroje (*histogram, krabicový graf - boxplot*) a štatistické testy (*Shapiro Wilkov test normality, Levenov test, Dvojvýberový t-test, Mann-Whithey test, ANOVA, Kruskal - Wallisov test*).

2 VÝSLEDKY MERANÍ A VYHODNOTENIE EXPERIMENTÁLNYCH PRÁČ

V zmysle vyššie uvedenej metodiky boli dosiahnuté priemerné hodnoty parametrov mikrogeometrie kovových povrchov uvedené v tab. 3. Priemer hodnôt je uvedený z 20 meraní na každej vzorke.

Tab. 3. Priemerné hodnoty parametrov drsnosti

	R_a [μm]	R_z [μm]	R_{Pc} [-/mm]	R_{Sm} [μm]
DC 0	1,04 ± 0,09	5,43 ± 0,49	44,78 ± 7,80	230 ± 39
DC 3	1,05 ± 0,11	5,28 ± 0,37	47,17 ± 6,72	216 ± 34
DC 5	1,10 ± 0,12	5,352 ± 0,47	47,54 ± 9,87	218 ± 41
DC 10	0,96 ± 0,10	5,22 ± 0,57	56,57 ± 12,85	186 ± 46
HX 0	1,05 ± 0,07	5,88 ± 0,4481	111,90 ± 12,40	90 ± 10
HX 3	0,80 ± 0,08	5,13 ± 0,53	100,08 ± 17,84	104 ± 24
HX 5	1,17 ± 0,12	5,97 ± 0,96	99,86 ± 21,41	105 ± 24
HX 10	0,87 ± 0,12	5,83 ± 1,18	98,14 ± 13,21	104 ± 27

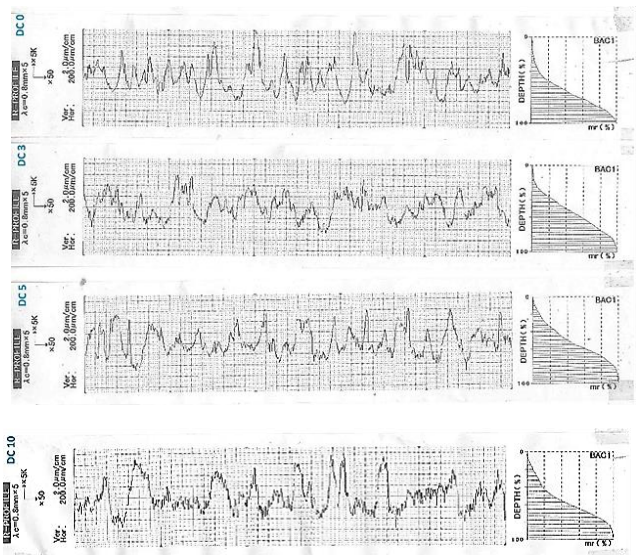
Na základe nameraných hodnôt parametrov R_a a R_z je možné konštatovať, že tieto v závislosti od použitej doby fosfátovania dosahujú mierne zmeny a to hlavne u DC 5 a HX 5. Väčšie rozdiely sa prejavili u parametrov R_{Pc} a R_{Sm} , nakoľko je tento prevrátenou hodnotou R_{Pc} . Parameter R_{Pc} sa u DC materiálu zvýšil oproti pôvodnému povrchu najviac u povrchu s dobou fosfátovania 10 min. Je ale potrebné uviesť, že rozdiel v hodnote tohto parametra u dĺžky fosfátovania 5 min oproti 10 minútam je relatívne malý (9 výstupkov na cm^{-1}) a preto je možné aplikovať fosfátovanie u materiálu DC aj po dobu 5 minút z dôvodu dosiahnutia nižších výrobných nákladov. Povrchy materiálu HX povrchovo upraveného fosfátovaním kopírujú pôvodný povrch, hustota výstupkov sa teda výrazne nemenila. Je potrebné zohľadniť, že počet výstupkov materiálu HX bol už v pôvodnom stave dvojnásobný oproti DC a po povrchovej úprave fosfátovaním sú počty výstupkov materiálu HX výrazne vyššie oproti materiálu DC.

Zvýšená hustota výstupkov profilu na centimeter dĺžky u fosfátového povrchu znamená aj zvýšenú členitosť povrchu oproti materiálu povrchovo

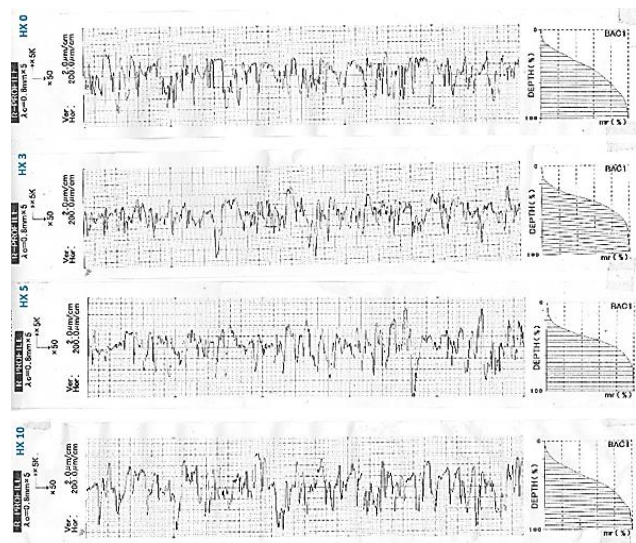
neupravenému. V prípade použitia takýchto fosfátových povrchov pre tvorbu adhézných spojov je možné očakávať zväčšenie kontaktnej plochy medzi lepidlom a povrchovo upraveným materiálom.

Namerané výsledky je možné podporiť aj profilogramami s *Abbot-Firestone* krivkami oboch materiálov, uvedené na obr. 1 a obr. 2.

Výsledky meraní parametrov mikrogeometrie boli podrobené štatistickému vyhodnoteniu. Pre výber vhodnej štatistickej metódy porovnávania bola overená podmienka normality rozdelenia, a to graficky a tiež *Shapiro-Wilkovým testom* (obr. 5). Pre všetky hodnotené skupiny je $p > 0,05$, čo znamená, že na hladine významnosti 0,05 nie je nulová hypotéza (H_0 : náhodný výber pochádza zo základného súboru s normálnym rozdelením) zamietnutá, t. j. podmienka normality je splnená. Podmienka homogenity pre hodnoty parametra R_a pri rôznych časoch aplikácie fosfátovania bola overená *Levenovým testom*.



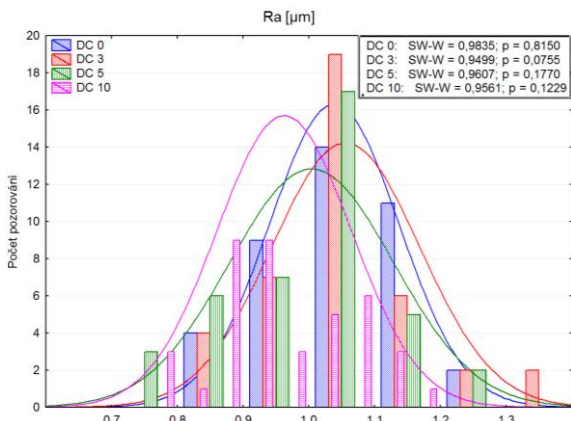
Obr. 1. Profilogramy s *Abbot-Firestone* krivky materiálu DC



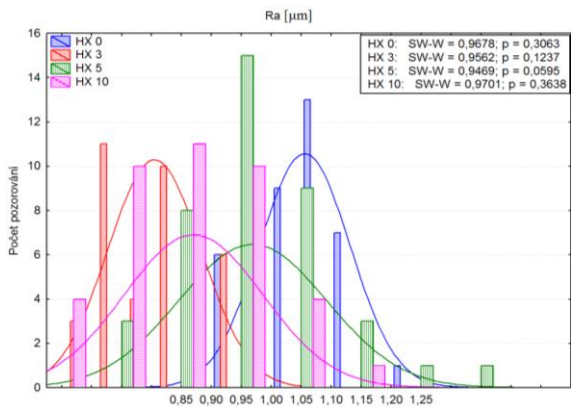
Obr. 2. Profilogramy s *Abbot-Firestone* krivky materiálu HX

Hodnota p je $p = 0,099 > 0,05$ pre oba skúmané materiály a to znamená, že nulová hypotéza o rovnosti rozptylov nie je zamietnutá na hladine významnosti 0,05. Podmienka homogenity je splnená. Grafické porovnanie pre parameter R_a v závislosti na dobu fosfátovania pre materiál DC je na obr. 3 a pre materiál HX je na obr. 4.

Podmienka homogenity pre hodnoty parametra R_a pri rôznych časoch aplikácie fosfátovania bola overená *Leveneovým testom*. Hodnota p bola pre materiál DC a pre HX: $p = 0,099 > 0,05$ a to znamená, že nulová hypotéza o rovnosti rozptylov nie je zamietnutá na hladine významnosti 0,05. Podmienka homogenity je splnená. Grafické porovnanie doby fosfátovania pre parameter R_a je pre skúmané materiály na obr. 5 a obr. 6.



Obr. 3. Overenie podmienok normality materiálu DC pre parameter R_a

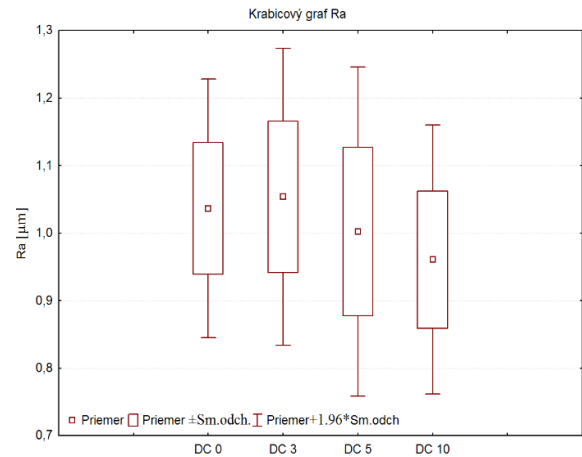


Obr. 4. Overenie podmienok normality materiálu HX pre parameter R_a

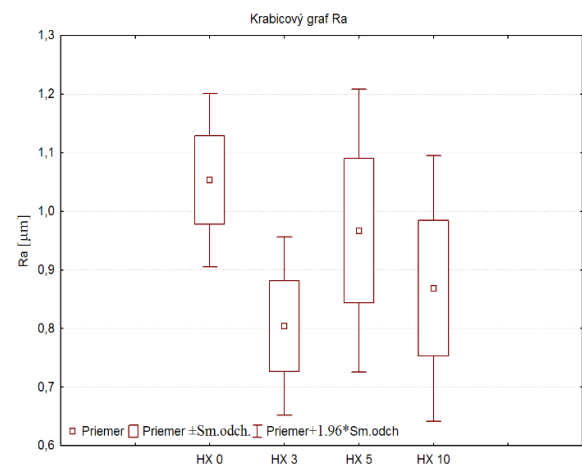
Výsledok jednofaktorovej variančnej analýzy je $0,0000 < 0,05$, t. j. nulová hypotéza je zamietnutá na hladine významnosti, t. j. medzi jednotlivými strednými hodnotami parametra R_a pri rôznych časoch fosfátovania je štatisticky významný rozdiel. To znamená, že čas fosfátovania má vplyv na hodnotu parametra R_a .

Vzhľadom na to, že nulová hypotéza o rovnosti stredných hodnôt bola zamietnutá na hladine významnosti 0,05, *post-hoc analýza* následne

identifikovala páry, medzi ktorými je štatisticky významný rozdiel (tab. 4).



Obr. 5. Porovnanie času fosfátovania pre parameter R_a materiálu DC



Obr. 6. Porovnanie času fosfátovania pre parameter R_a materiálu HX

Tab. 4. *Post-hoc analysis* - parameter R_a

R_a - DC	Tukey HSD test			
	DC0	DC3	DC5	DC10
DC0	-	0,8936	0,4991	0,0106
DC3	0,8936	-	0,1501	0,0008
DC5	0,4991	0,1501	-	0,326
DC10	0,0106	0,0008	0,326	-
R_a - HX	Tukey HSD test			
	HX0	HX3	HX5	HX10
HX0	-	0,0000	0,0000	0,0000
HX3	0,0000	-	0,0000	0,0203
HX5	0,0007	0,0000	-	0,0000
HX10	0,0000	0,0203	0,0000	-

Pod'akovanie

Príspevok bol vypracovaný s podporou projektov VEGA 1/0229/23, KEGA 037TUKE-4/2024 a APVV-20-0303.

ZÁVER

Na základe meraní je možné konštatovať, že:

- pri meraní mikrogeometria sa hodnota parametrov R_a a R_z po povrchovej úprave fosfátovaním mení len mierne u oboch materiálov, parametre R_{Sm} a R_{Pc} materiálu DC vykazujú väčšie zmeny. Pri materiáli HX fosfátované povrchy kopírujú pôvodný povrch, hustota výstupkov sa výrazne nezmenila,
- štatistické vyhodnotenie parametra R_a preukázalo, že čas fosfátovania má vplyv na jeho hodnotu.

LITERATÚRA

- [1] GUZANOVÁ, A. - DRAGANOVSKÁ, D. (2022): *Application of organosilanes in the preparation of metal surfaces for adhesive bonding*. In: J. Adhes. Sci. Technol., Vol. 36, pp. 1153-1175.
- [2] DRAGANOVSKÁ, D. - IŽARÍKOVÁ, G. - MORO, R. (2021): *Trends in the diagnosis of metal surfaces micro-geometry*. In: Mach., Technol., Mater. Vol. 15, pp. 146-149.
- [3] ISO 21920-2:Geom.Product Specifications, 2022.

Návrh koľajového adaptéra typu guma-koľajnica pre ľahké nákladné vozidlo

Ján Dižo, doc. Ing., PhD.*

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

Jakub Fiačan, Ing.

Katedra konštruovania a častí strojov, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina.
E-mail: jakub.fiacan@fstroj.uniza.sk

Miroslav Blatnický, doc. Ing., PhD.

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

Alyona Lovska, prof. Ing., Dr.Sc. Tech.

Katedra dopravnej a manipulačnej techniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina.
E-mail: alyona.lovska@fstroj.uniza.sk, Tel.: +421 41 513 2660

Vadym Ishchuk, Ing.

Katedra dopravnej a manipulačnej techniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina.
E-mail: vadym.ishchuk@fstroj.uniza.sk, Tel.: +421 41 513 2563

A design of a rail adapter type tyre-rail for a light lorry

Abstract: The article is focused on design of a tyre-rail adapter to be mounted on a light road-rail vehicle. The novelty of the design consists in its possibility to change the wheelbase of the vehicle axles for different railway tracks gauges. Then, the considered light vehicle could fulfil various working tasks in a country, where more railway tracks gauges occur. The modified vehicle is a light lorry, which is intended to be used as a versatile and utility vehicle for maintenance purposes and repairing purposes.

Keywords: light road-rail lorry, rubber-rail transmission, engineering design, rubber-rail adapter.

ÚVOD

Dvojcestné vozidlá majú v oblasti koľajových vozidiel pre svoje špecifické vlastnosti určité osobitné postavenie. Týka sa to ich konštrukcie aj použitia. Sú to vozidlá, ktoré sú uvedené do prevádzky na pozemných komunikáciách, môžu sa však pohybovať aj po koľajniciach. V súčasnosti sa s týmito vozidlami môžeme stretnúť stále častejšie, pretože postupne nahrádzajú staršie hnacie vozidlá, ako aj stroje na údržbu tratí [1, 2].

Spomedzi dvojcestných vozidiel sú najpoužívanejšie a najznámejšie bagre. Prevádzkujú ich najmä stavebné firmy na opravu [3, 4] a rekonštrukciu železničných tratí, ako aj na výstavbu železničného podložia.

V princípe je konštrukčné riešenie dvojcestných bagrov rovnaké. Na otočnej nadstavbe kolesového podvozku bagra je umiestnený hnací motor s príslušenstvom spolu s hnacím ústrojenstvom hydrauliky a protizávažia. Je doplnený o koľajnicový podvozok, ktorý umožňuje premiestňovanie bagra po

železničnej trati. Existuje niekoľko typov prenosu hnacej sily z hnacieho ústrojenstva na kolesá. Podobne ako bagre, aj iné dvojcestné vozidlá používajú prídavný podvozok (alebo prídavné hnacie ústrojenstvo).

Z hľadiska jazdných vlastností dvojcestných vozidiel je dôležité zabezpečiť dostatočný kontakt koľajových kolies vozidla s koľajnicami, pretože, ako je známe, koľajnice u koľajových vozidiel podpierajú a zároveň vedú vozidlo po železničnej trati. V kontakte kolesa a koľajnice vznikajú sily [5-7], ktoré je potrebné brať do úvahy pri akejkoľvek úprave vozidiel určených na prevádzku na železničných tratiach.

1 DVOJCESTNÉ VOZIDLÁ A PRENOS SÍL

V literatúre môžeme nájsť niekoľko aspektov na rozdelenie dvojcestných vozidiel. Najvhodnejším prístupom je ich rozdelenie podľa Bada [8], teda rozdelenie podľa prenosu hnacích a brzdných síl z vozidla na koľajnice. Rozoznávame teda tri základné typy prenosu síl.

1. Prenos síl je zabezpečený trením pneumatík o hlavu koľajnice - typ *guma-koľajnica*.
2. Prenos síl je zabezpečený prídavným železničným podvozkom - typ *železničné koleso-koľajnica*.

Táto práca je zameraná na návrh adaptéra prvého typu, t.j. prenos síl bude zabezpečený trením pneumatík o hlavu koľajnice typu *guma-ocel'*. Princíp fungovania tohto systému je popísaný nižšie.

1.1 Systém prenosu síl typu *guma-koľajnica*

V prípade prenosu síl v type *guma-koľajnica* sa hnacie a brzdné sily prenášajú z vozidla na hlavu koľajnice. Vozidlo je vybavené pneumatikovými kolesami pre jazdu po ceste ako aj železničnými kolesami pre jazdu po železničnej trati. Vertikálne zaťaženie (sily) sa rozdeľuje medzi pneumatikami a železničné kolesá, avšak väčšinu hmotnosti vozidla nesú pneumatiky. Železničné kolesá slúžia hlavne na vedenie dvojcestného vozidla v koľaji. Príklady takýchto typov dvojcestných vozidiel sú znázornené na obr. 1 a obr. 2.

Niektoré dvojcestné vozidlá majú zaťaženie iba jednu cestnú nápravu, ako je možné vidieť na obr. 2. Ide o staršie dvojcestné vozidlo, ktorého základom je nákladné vozidlo *Praga V3S*. Profil dvojcestného vozidla býva v spodnej časti vozidla prekročený, preto musia byť v takýchto traťových úsekoch splnené požiadavky, napr. idúce vozidlo je v tomto úseku zdvihnuté a prechádza cez neho zotrvačnosťou.

Hlavné vlastnosti tohto systému možno opísať takto:

- výhodou sú náklady, pretože vozidlo je konštrukčne jednoduché,

- v tomto systéme dochádza ku kontaktu medzi pneumatikami a koľajnicami, preto sú pneumatiky viac opotrebované a musia sa častejšie meniť,
- hnacia náprava ako aj prevodovky sú stále v prevádzke, preto sú viac opotrebované,
- rýchlosť spätného chodu je obmedzená prevodovým pomerom stupňa spiatocky, pretože využíva prevodovku vozidla. Niektoré vozidlá sú vybavené prídavnou reverznou prevodovkou, ktorá túto nevýhodu odstraňuje,
- pneumatiky majú väčší jazdný odpor v porovnaní so železničnými kolesami, čo vedie k vyššej spotrebe paliva [10].



Obr. 1. Dvojcestné vozidlo *FriLiner* s prenos síl typu *guma-koľajnica*



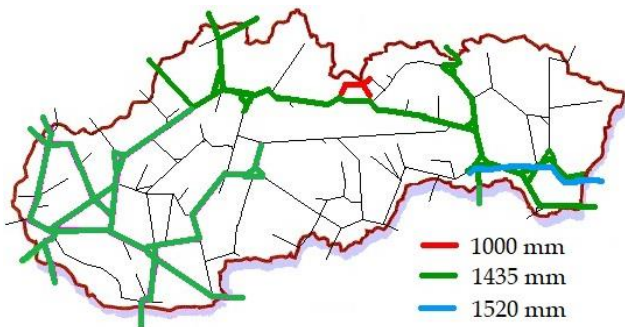
Obr. 2. Prenos síl typu *guma-koľajnica* na staršom nákladnom vozidle *Praga V3S*

1.2 Železničná infraštruktúra na Slovensku - stručný prehľad

Hlavnou myšlienkou prezentovanej práce je navrhnuť ľahké dvojcestné vozidlo, ktoré by bolo možné prevádzkovať na čo najväčšom rozchode koľají. V prípade *Slovenskej republiky* pomerne veľká sieť tratí (obr. 3) zahŕňa štandardný rozchod koľají 1435 mm. Okrem toho existujú aj trate so širším rozchodom 1520 mm a úzkym rozchodom 1000 mm. Širokorozchodná trať je na východe *Slovenskej republiky* a smeruje na *Ukrajinu*, ktorá má rozchod 1520 mm.

Cieľom je navrhnuť koncepčné riešenie nastaviteľného rozchodu kolies pre ľahké dvojcestné

vozidlo. Pri rozchodoch železničných tratí sa požaduje, aby vozidlo bolo schopné nastaviť rozchod kolies pre rozchod železničných tratí od 1000 mm do 1520 mm. Takéto vozidlo by bolo schopné prevádzky na všetkých širokých železničných tratiach, na bežných železničných tratiach 1435 mm, ako aj na najužších železničných tratiach 1000 mm (obr. 3). Užší rozchod koľají ako 1000 mm nie je potrebný z dôvodu malého počtu takýchto železničných tratí.



Obr. 3. Mapa železničných tratí na Slovensku s rôznym rozchodom koľajnic [11]

2 NÁVRH ADAPTÉRA TYPU GUMA-KOĽAJNICA NA VOZIDLO MULTICAR M31 HYDROSTAT

Vozidlo *Multicar M31 Hydrostat* patrí k menším a ľahším všestranným nákladným vozidlám, ktoré sa v súčasnosti vyrábajú. Toto vozidlo má menší rozchod kolies len 1327 mm. V podstate sa dá použiť na prepravu materiálu. Má však zariadenie SWV500 na rýchlu výmenu nadstavieb. Tieto nadstavby je možné aplikovať počas jednotlivých ročných období podľa potreby. Základné rozmery vozidla ako so sklápacou nadstavbou sú zobrazené obr. 4.

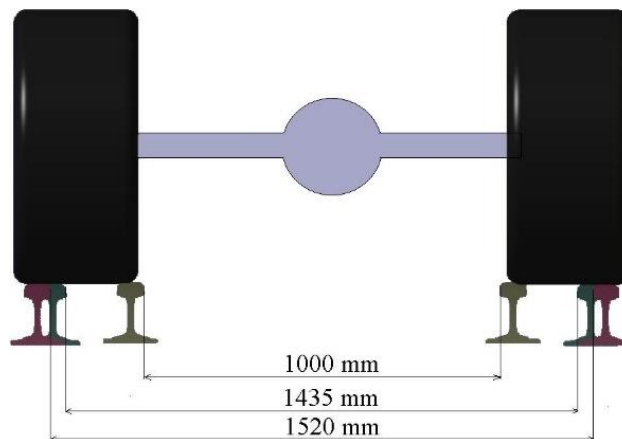
Rozchod kolies závisí od rozmerov pneumatík. Vozidlo má schválené tieto rozmery pneumatík:

- 225/75 R16,
- 285/65 R16,
- 315/55 R16,

- 325/60 R15.

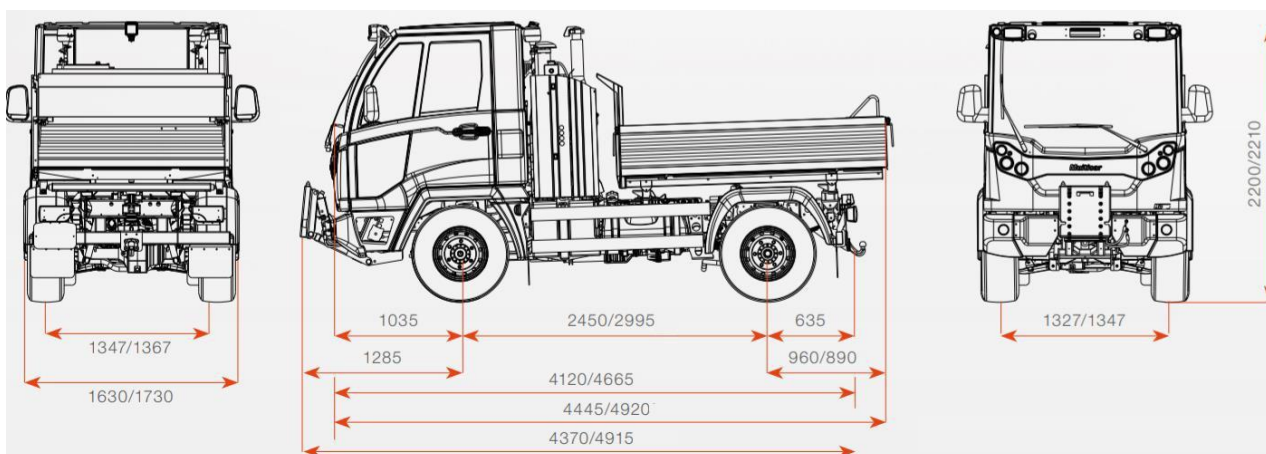
Vozidlo bolo vybrané z toho dôvodu, že má malý rozchod kolies a malé obrysy vozidla, ktoré je nutné použiť aj na úzkych železničných tratiach s rozchodom 1000 mm.

Ako je uvedené vyššie, v prípade dvojcestného vozidla sa hnacie a brzdné sily prenášajú trením pneumatík o koľajnice. Železničné kolesá sú určené na vedenie vozidla a čiastočne na jeho prenášanie. Obrázok 5 znázorňuje kontakt pneumatík s koľajnicami v prípade troch rozchodov, t. j. pre úzky rozchod 1000 mm, štandardný rozchod 1435 mm a široký rozchod 1520 mm.



Obr. 5. Kontakt pneumatík s koľajnicami pre rôzne rozchody koľajnic [1]

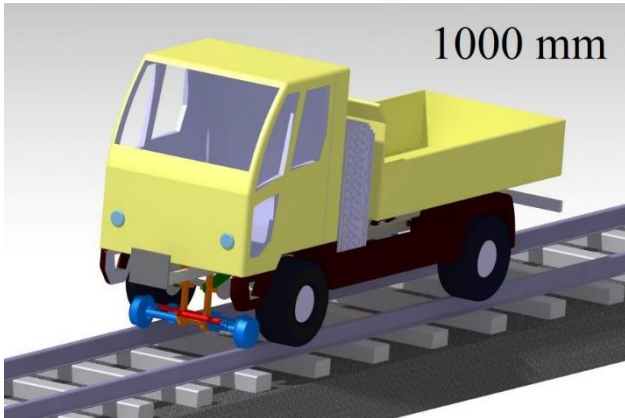
Ako je vidieť, na širokej aj na trati s normálnym rozchodom sú pneumatiky v úplnom kontakte s hlavou koľajnice. Na úzkej trati je kontakt len čiastočný, a je to približne 50 %. Po konzultácii s odborným konštruktérom z firmy, ktorá vyrába dvojcestné vozidlá [9], by takéto vozidlo dokázalo dostatočne prenášať všetky sily aj na úzkej trati. Istý problém môže nastať pri jazde v oblúkoch. Zvolené vozidlo *Multicar M31 Hydrostat* má však systém pohonu všetkých kolies. Menšia kontaktná plocha jedného kolesa by teda bola kompenzovaná opačným



Obr. 4. Rozmery *Multicar M31 Hydrostat*, typ sklápač [12]

koľesom [13], ktoré by malo väčšiu kontaktnú plochu v porovnaní s jazdou v priamej trati.

Vozidlo *Multicar M31 Hydrostat* s navrhnutým podvozkom na trati s úzkym rozchodom 1000 mm je zobrazený na obr. 6 a obr. 7 zobrazuje to isté vozidlo s tým istým navrhnutým podvozkom, ale na trati so širokým rozchodom 1520 mm [1].

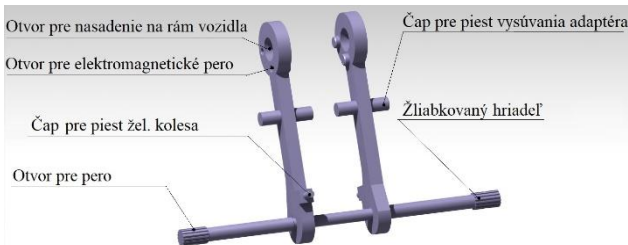


Obr. 6. Vozidlo *Multicar M31* s navrhnutým podvozkom na trati s rozchodom 1000 mm



Obr. 7. Vozidlo *Multicar M31* s navrhnutým podvozkom na trati s rozchodom 1520 mm

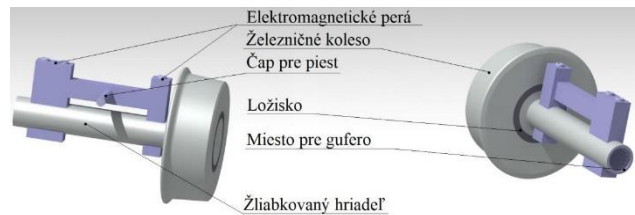
Navrhnutý adaptér na koľajnicu pneumatiky pozostáva z hlavného rámu (obr. 7), na ktorom sú namontované dva nastaviteľné prídavné adaptéry (obr. 8). Zobrazenie posuvného adaptéra v reze je na obr. 9.



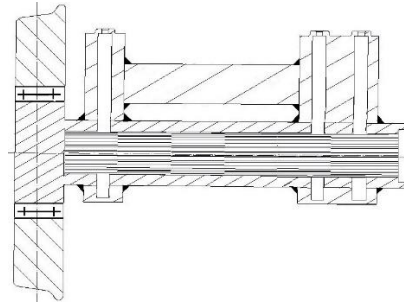
Obr. 7. Hlavný rám koľajového podvozka

Môžu upravovať polohy v smere osi vďaka drážkovaniu. Tým sa zabezpečí zmena rozchodu kolies. Ďalšími časťami adaptéra sú dva hydraulické dvojčinné valce (obr. 10). Tieto valce umožňujú

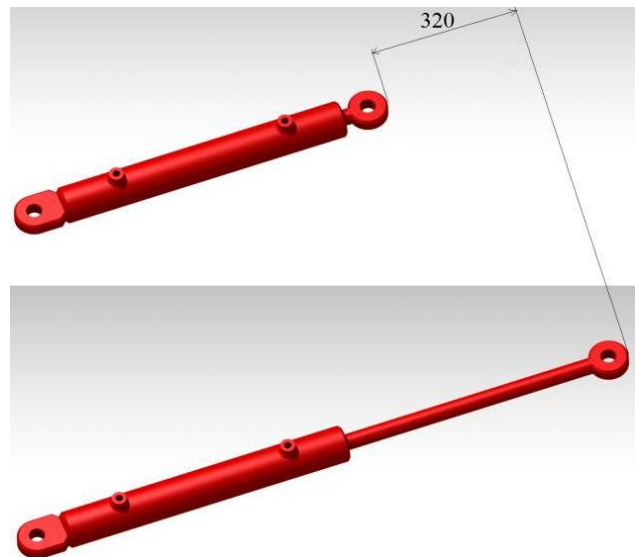
zmenu polohy prídavných adaptérov voči hlavnému rámu.



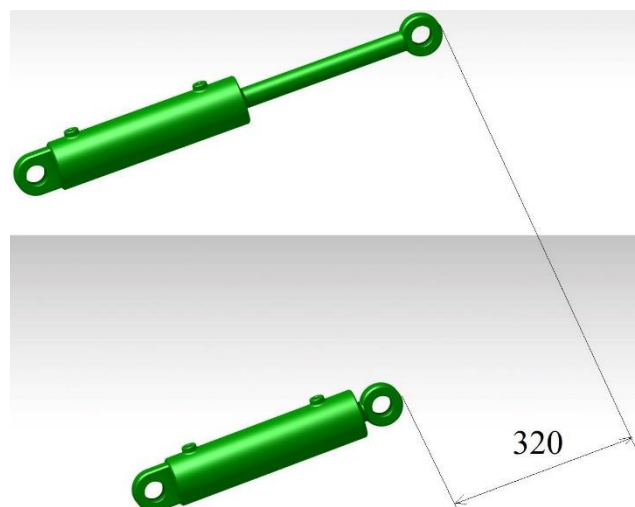
Obr. 8. Posuvné adaptéry navrhnutého podvozka



Obr. 9. Posuvný adaptér v reze



Obr. 10. Hydraulický piest na vysúvanie posuvného adaptéra železničného koleša

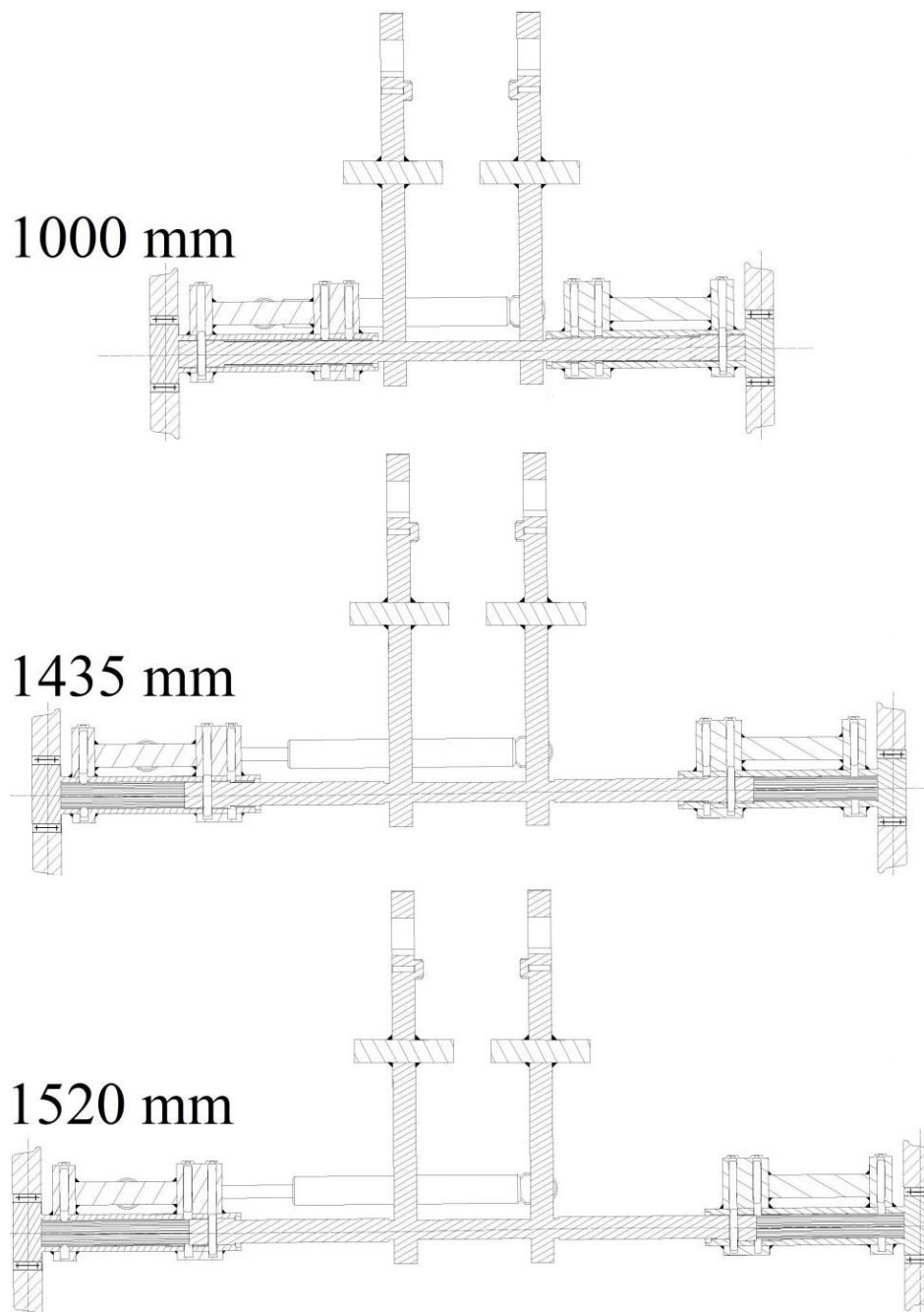


Obr. 11. Hydraulický piest na vysúvanie koľajového podvozka

Celý adaptér sa zdvíha a uvoľňuje pomocou ďalších dvoch hydraulických valcov, ktoré sú jednou koncovou časťou pripevnené k rámu cestného koľajového vozidla a druhou koncovou časťou k hlavnému rámu adaptéra (obr. 11).

prídavný elektrický systém pre ovládanie, osvetlenie vozidla a iné.

Navrhnuté dvojcestné vozidlo obsahuje dva adaptéry, jeden pre prednú nápravu a jeden pre zadnú nápravu. Bude mať tri polohy (obr. 12) pre uvažované



Obr. 12. Rez koľajovým adaptérom pre rôzne rozchody železničnej trate

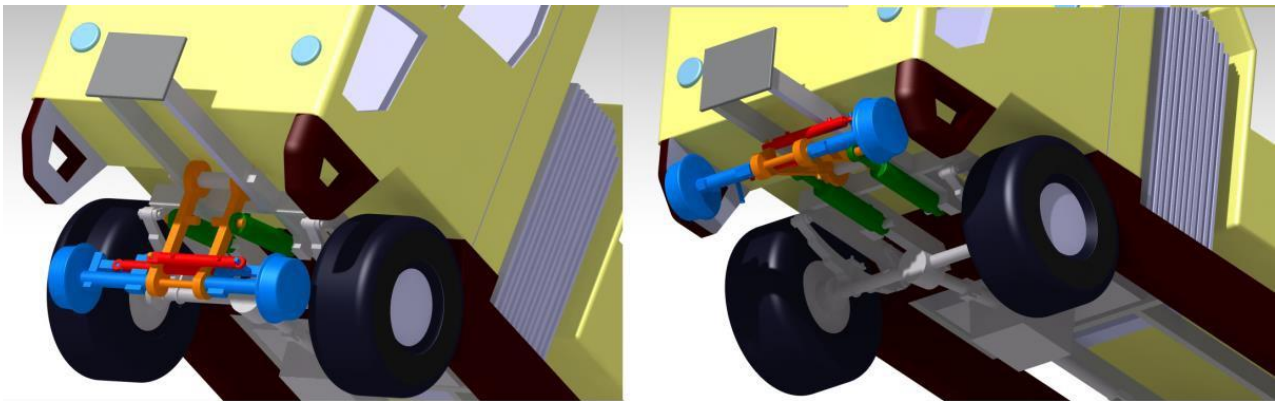
Navrhnutý adaptér pre dvojcestné vozidlo má aj ďalšie potrebné komponenty, medzi ktoré patria elektromagnetické kľúče. Zablockujú nastaviteľné časti prispôbené v jednotlivých polohách pre úzke, normálne a široké rozchody, aby sa tieto definované polohy nemenili pri jazde po železničnej trati. Samozrejmosťou je doplnenie vozidla s adaptérom o ďalšie komponenty, medzi inými sú to ventily, hadice a zdroj hydraulického tlaku hydraulického systému,

rozchody a rozchody bude možné meniť, keď sa vozidlo opiera o cestné kolesá (pneumatiky).

V tejto polohe sa adaptéry zdvihnú a celkovú hmotnosť ponесú cestné kolesá. Pri tejto konštrukcii vozidla bude ovládanie adaptérov, teda zdvíhanie, nastavovanie a uzamykanie plne automatické z kabíny vozidla. Je to skutočne značná výhoda systému. Vizualizácie spodnej časti navrhovaného cestného koľajového vozidla s adaptéromi v prednej a

zadnej časti sú na obr. 13 a obr. 14. Tieto obrázky zobrazujú adaptéry pre prednú časť vozidla (obr. 13)

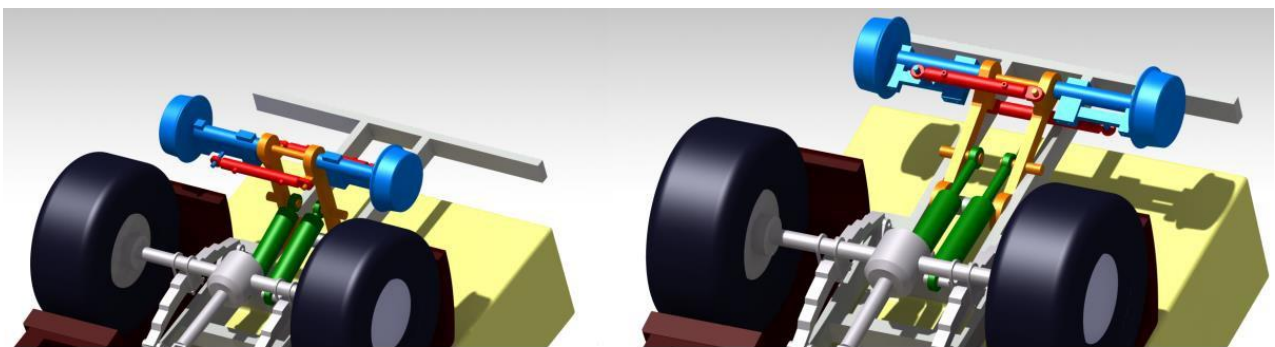
aby bolo možné vozidlo naviesť do pozdĺžnej polohy so železničnou traťou. To je ďalšia výhoda



Vysunutý koľajový adaptér

Zasunutý koľajový adaptér

Obr. 13. Koľajový adaptér v prednej časti vozidla *Multicar M31*



Vysunutý koľajový adaptér

Zasunutý koľajový adaptér

Obr. 14. Koľajový adaptér v zadnej časti vozidla *Multicar M31*

vo vysunutej a zasunutej polohe a tiež zobrazujú adaptér (železničný podvozok) pre zadnú časť vozidla (obr. 14) *Multicar M31* vo vysunutej a zasunutej polohe.

Keď sú adaptéry vo vysunutej polohe, vozidlo sa môže pohybovať po železničnej trati a keď sú adaptéry v zasunutej polohe, vozidlo sa môže bezpečne pohybovať po ceste (obr. 15).



Obr. 15. Vozidlo *Multicar M31* s koľajovými adaptérmi pri jazde po ceste

Vozidlo je možné nakoľajovať na miestach, kde je cesta približne v rovnakej úrovni ako železničná trať, teda prakticky na každom železničnom priecestí. Tieto miesta však musia byť dostatočne veľké na to,

navrhnutého vozidla, pretože vďaka malým rozmerom sa v zásade medze nekladú a dá sa vykonávať kdekoľvek.

Budúce výskumné aktivity v tejto oblasti budú zamerané na rozvoj myšlienky navrhnúť aj adaptér, ktorý by bol založený na inom princípe prenosu síl, a to na adaptéri typu *guma-koľajnica*. Následne budú tieto konštrukcie porovnané a zhodnotené ich výhody a nevýhody a z nich vyplývajúce výhody pre použitie na vybranom ľahkom nákladnom vozidle.

Ďalšie aktivity budú zamerané na analýzu konštrukcie adaptéra z hľadiska pevnosti pomocou metódy konečných prvkov [13, 14]. Nakoľko je karoséria adaptéra zaťažovaná hmotnosťou vozidla, ako aj nákladom prepravovaného tovaru alebo nákladom použitej nadstavby, mala by spĺňať všetky požiadavky z hľadiska dlhodobej prevádzky [15].

Vozidlo bude jazdiť po železničnej trati určitou rýchlosťou. Z toho vyplýva odlišná dynamická odozva v porovnaní s jeho prevádzkou na cestách. Preto by sa okrem uvedených pevnostných analýz mali vykonávať aj dynamické simulácie pomocou multibody modelu. Implementácia karosérie z konečných prvkov do multibody modelu vozidla

potom pomôže v maximálnej možnej miere simulovať reálne prevádzkové podmienky.

ZÁVER

Cieľom predloženej práce bolo predstaviť popis dvojcestných vozidiel. Sú opísané základné vlastnosti a charakteristiky týchto špeciálnych dopravných prostriedkov, ktoré sa uplatňujú najmä v traťovom hospodárstve. Dvojcestné vozidlá sa používajú na údržbu železničných tratí, na práce pri výstavbe železničných tratí, na špeciálne účely pri opravách a na mnohé iné činnosti. Konštrukcia dvojcestných vozidiel vychádza zo štandardných cestných vozidiel, najčastejšie z nákladných vozidiel, pretože môžu byť vybavené rôznymi nadstavbami. Nákladné autá navyše obsahujú výkonný zdroj energie, ktorý je možné využiť aj na ovládanie prídavných zariadení cestných a koľajových vozidiel.

Ďalšia časť článku predstavuje návrh adaptéra, ktorý je určený na montáž na ľahké dvojcestné vozidlo. Adaptér je typu *guma-koľajnica* a jeho hlavnou výhodou je možnosť nastavenia rozchodu kolies. Takto nastaviteľný rozchod kolies cestného a koľajového vozidla je výhodný pre také lokality, v ktorých existujú železničné trate s rôznym rozchodom koľají. Je to tak aj v Slovenskej republike. Navyše kompaktné rozmery navrhnutého cestno-koľajového vozidla umožňujú jeho prevádzku prakticky kdekkoľvek.

Pod'akovanie

„Táto práca vznikla vďaka podpore projektu KEGA 031ŽU-4/2023: Rozvoj kľúčových kompetencií absolventa študijného programu Vozidlá a motory.“

„Táto práca vznikla vďaka podpore projektu VEGA 1/0308/14: Výskum dynamických vlastností mechanických systémov koľajových vozidiel s poddajnými komponentmi pri jazde v koľaji.“

„Financované EÚ NextGenerationEU prostredníctvom Plánu obnovy a odolnosti SR v rámci projektu č. 09I03-03-V01-00131.“

LITERATÚRA

- [1] FIAČAN, J. (2018): *Koncepčné usporiadanie dvojcestných vozidiel*. Vedúci bakalárskej práce: Ing. Ján Dižo, PhD., Žilinská univerzita v Žiline, Strojnícka fakulta, No: 28230920181004.
- [2] QIN, B. - ZENG, R. - LI, X. - YANG, J. (2021): *Design and performance analysis of the hydropneumatic suspension system for a novel road-rail vehicle*. In: Applied Sciences, Vol. 11, No. 5, pp. 1-16.
- [3] TALEBITOOTI, R. - BAYAT, R. (2018): *Active-suspension design for a special road-rail vehicle based on vehicle-track coupled model using generic*

algorithm. In: International Journal of Acoustics and Vibrations, Vol. 23, No. 1, pp. 9-15.

[4] DROŹDZIEL, P. - KOMSTA, H. - KRZYWONOS, L. (2012): *An analysis of costs of vehicle repairs in a transportation company. Part II*. In: Transport Problems, Vol. 7, No. 4, pp. 5-11.

[5] MORAVEC, J. (2017): *Increase of the operating life of active parts of cold-moulding tools*. In: Technicki Vjesnik, Vol. 24, pp. 143-146.

[6] GERLICI, J. - LACK, T. (2016): *Tangential stresses for non-elliptical contact patches computed by means of a modified FASTSIM method*. In: Civil-Comp Proceedings, Vol. 110.

[7] KURČÍK, P. - GERLICI, J. - LACK, T. - SUCHÁNEK, A. - HARUŠINEC, J. (2019): *Innovative solution for test equipment for the experimental investigation of friction properties of brake components of brake systems*. In: Transportation Research Procedia, Vol. 40, pp. 759-766.

[8] BADO, P. - JELÍNEK, V. (2012): *Speciální drážní vozidla*. Praha: Alfa, ISBN 978-80-260-5856-4, 368 p.

[9] SAZ s.r.o. [online cit.: 2021-05-05]. Available from: <http://www.saz.cz/en/category/road-rail-vehicles/>.

[10] MACOUREK, V. - SEDLÁK, J. - HARTMANN, M. (2006): *Mobilní souprava pro odporové svařování kolejnic*. In: Proceedings of Track Maintenance Machines in Theory and Practice Seminar, Žilina, pp. 55-59.

[11] *Electrification of track in Slovakia* [online cit. 2021-05-03]. Available from: <https://www.rail.sk/skhist/elektr.htm>.

[12] *Multicar M31/M31 Hydrostat* [online cit. 2021-04-30]. Available from: <https://www.hako.com/en/municipal-technology/multifunctional-load-and-implementation-carriers/multicar-m31-/m31-hydrostat>.

[13] ŠTASTNIAK, P. - SMETANKA, L. - MORAVČÍK, M. (2018): *Structural analysis of a main construction assemblies of the new wagon prototype type zans*. In: Manufacturing Technology, Vol. 18, No. 3, pp. 510-517.

[14] JAKUBOVIČOVÁ, L. - SAPIETOVÁ, A. - MORAVEC, J. (2018): *Static analysis of transmission tower beam structure*. In: MATEC Web of Conferences, Vol. 244.

[15] LEITNER, B. (2010): *A new approach to identification and modelling of machines dynamic systems behaviour*. In: Proceedings of the 14th International Conference Transport Means, Kaunas, Lithuania, pp. 17-20.

Konštrukcia pružného kolesa harmonického prevodu

Daniela Kepeň Harachová, Ing., PhD.*

Katedra konštrukčného a dopravného inžinierstva, Strojnícka fakulta,
Technická univerzita v Košiciach,
Letná 9, 042 00 Košice.
E-mail: daniela.harachova@tuke.sk, Tel.: + 421 55 602 2366

Jozef Krajňák, Ing., PhD.

Katedra konštrukčného a dopravného inžinierstva, Strojnícka fakulta,
Technická univerzita v Košiciach,
Letná 9, 042 00 Košice.
E-mail: jozef.krajnak@tuke.sk, Tel.: + 421 55 602 2373

Silvia Maláková, doc. Ing., PhD.

Katedra konštrukčného a dopravného inžinierstva, Strojnícka fakulta,
Technická univerzita v Košiciach,
Letná 9, 042 00 Košice.
E-mail: silvia.malakova@tuke.sk, Tel.: + 421 55 602 2372

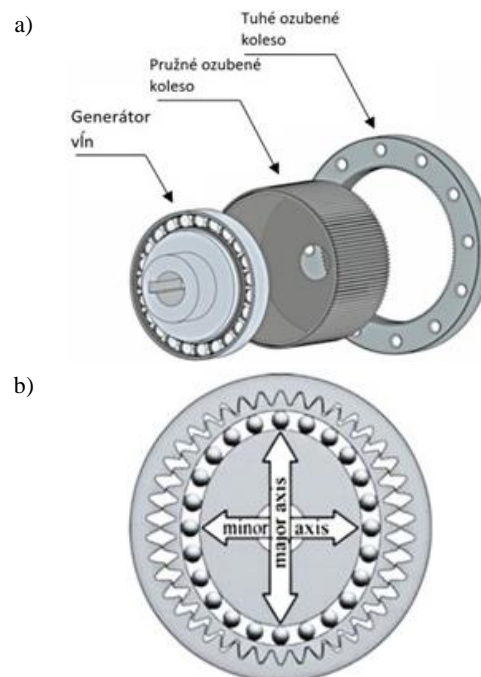
The construction of a flexspline harmonic drive

Abstract: Flexspline is one of the most important components of harmonic drive. Flexspline is very adversely stressed during operation. In essence, stresses from deformation by the generator, stresses from the transmitted load and local stresses from the bending of the teeth in the tooth gaps act in it. Flexspline is radially flexible, but torsionally very stiff. When the wave generator is inserted into the Flexspline, the gear takes on its elliptical shape. When designing a flexible wheel, it is very important to determine and correctly choose its geometric properties.

Keywords: flexspline, harmonic drive, wave generator, construction.

ÚVOD

Prevod s názvom *Harmonic Drive* bol navrhnutý v USA spoločnosťou *Muser* na zvýšenie krútiaceho momentu znížením rýchlosti otáčania motora ako zdroja energie. Harmonický prevod má štruktúru s tromi komponentmi: generátor vln (*wave generator WG*), pružné ozubené koleso (*flexspline FS*) a tuhé ozubené koleso (*circular spline CS*). Harmonické pohony majú oproti klasickým ozubeným prevodom množstvo výhod, ale aj nevýhod. Medzi hlavné výhody patrí: vysoký krútiaci moment, vynikajúca presnosť polohovania a opakovateľnosť, kompaktná konštrukcia, nulová vôľa, vysoký redukčný prevodový pomer a vysoká torzná tuhosť. Na druhej strane ich nevýhodou je vysoká elasticita, nelineárna tuhosť a tlmenie. Najbežnejší spôsob prevádzky pohonu s ozubeným kolesom harmonického prevodu využíva generátor vln ako vstupný článok a pružné koleso ako výstupný článok. V dôsledku toho, že pri harmonických prevodoch (obr. 1) je jeden člen poddajným, majú tieto prevody v porovnaní s planétovými prevodmi dve zvláštnosti. Prvá zvláštnosť harmonických prevodov spočíva v tom, že



Obr. 1. Návrh harmonického pohonu:
a) hlavné prvky harmonického pohonu,
b) interakcia harmonických hnacích prvkov

v dôsledku zmeneného tvaru poddajného kolesa od zaťaženia, alebo v dôsledku zvoleného tvaru vačky generátora, dochádza k veľmi malému relatívnemu pohybu medzi zubami, nachádzajúcimi sa v ozubenom zábere. Druhá zvláštnosť je taktiež podmienená tvarom poddajného kolesa, spočíva v zmenšení uhlov tlaku v kinematickej dvojici generátor vln - poddajné koleso, čo sa prejaví na zmenšení trecích strát tejto dvojice v porovnaní unášač- satelit pri planétovom prevode. Pružné koleso je hlavnou súčasťou harmonického prevodu, ktorý môže generovať opakované vibrácie generátora vln. Z tohto dôvodu by pružné koleso malo mať pružnosť a dobré vibračné charakteristiky.

1 KONFIGURÁCIA GENERÁTORA VĽN

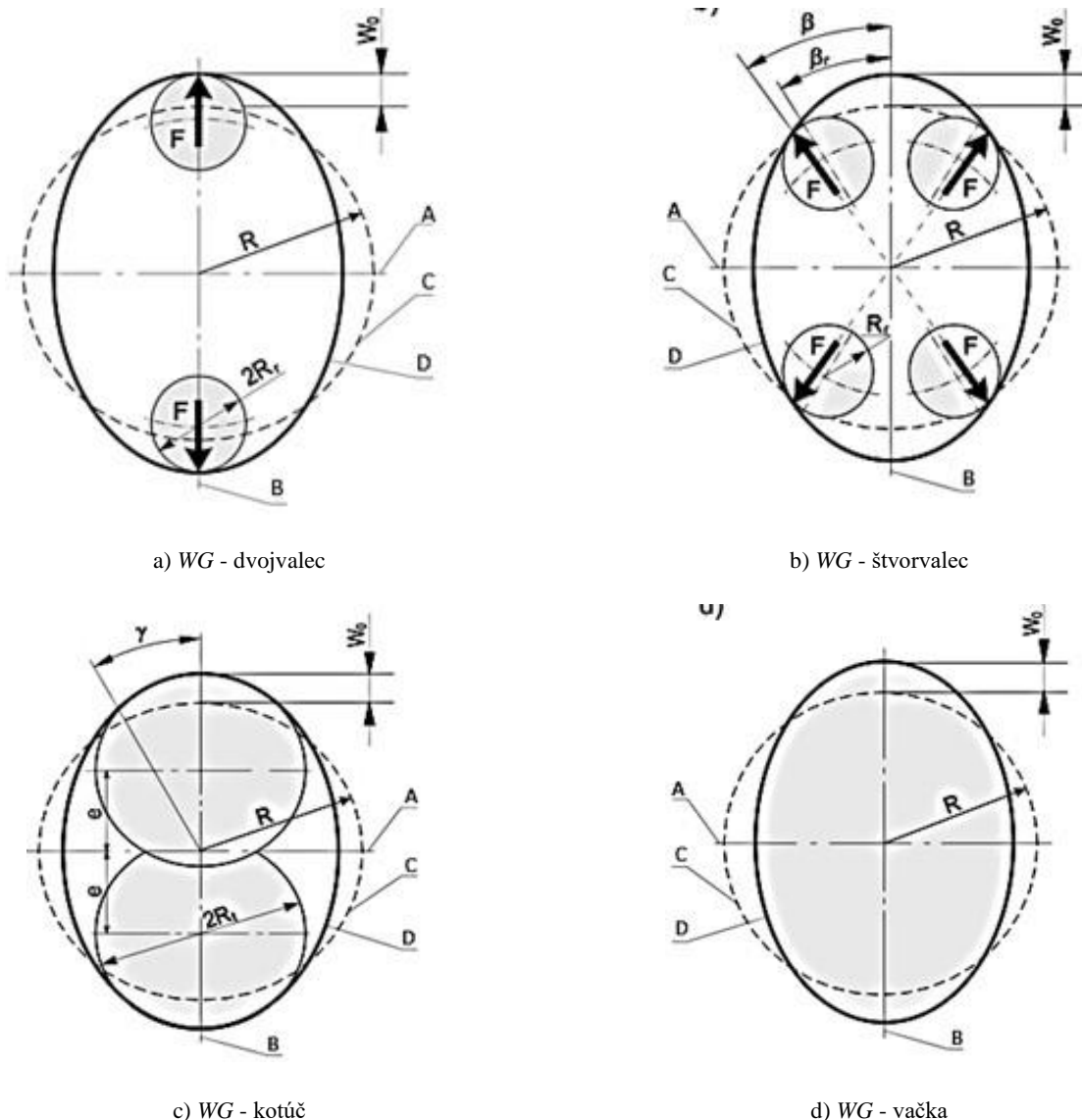
Vlnový generátor môže mať rozličnú konfiguráciu, pričom pri každom z nich dochádza k deformácii pružného kolesa iným spôsobom.

To znamená, že deformovaný tvar pružného kolesa je definovaný tvarom WG. V praxi sa využívajú nasledovné typy vlnového generátora:

- *WG typu ideálnej elipsy* (štandardný),
- *WG typu vačky* (obr. 2a),
- *WG typu dvoch diskov* (obr. 2b),)
- *WG typu dvoch odvaľujúcich sa elementov* (obr. 2c),
- *WG typu štyroch odvaľujúcich sa elementov* (obr. 2d).

Pre analytický popis strednicovej plochy pružného ozubeného kolesa jednotlivých konfigurácii WG je potrebné zaviesť niekoľko predpokladov, za ktorých budú nami popísané rovnice platné:

- neutrálna krivka pružného kolesa má konštantnú dĺžku (nemení sa počas deformácie),

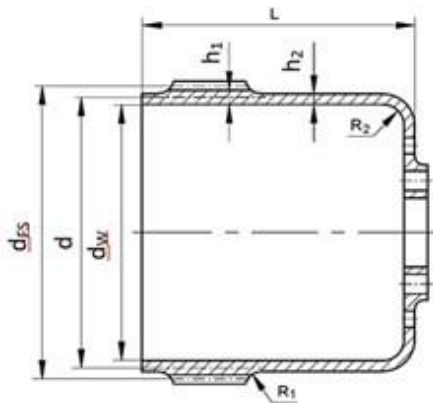


Obr. 2. Schematické znázornenie typických konfigurácii WG: a) – vedľajšia os generátora, b) – os generátora, c) – neutrálna vrstva pružného kolesa pred deformáciou, d) - neutrálna vrstva pružného kolesa po deformácii

- jednotlivé zuby pružného kolesa považujeme za tuhé, k deformácii dochádza len v koreni zuby,
- pričný rez geometriou zuby považujeme za nemenný počas deformácie a v každom bude kolmý na strednicovú plochu,
- uvažujeme, že zub je v zdeformovanom stave pružného kolesa „odrezaný“ od povrchu pružného kolesa (oddelenie v koreni zuby).

2 PRUŽNÉ OZUBENÉ KOLESO

Kľúčovým elementom harmonického prevodu slúžiace na prenos pohybu je pružné ozubené koleso, ktoré je tvorené tenkostenným valcom, pričom na jeho vonkajšom okraji (otvorenom) sa nachádza vonkajšie ozubenie. Uzavretá časť valcovej nádoby je vo väčšine prípadov zosilnená (hrubšia ako valcový povrch pružného kolesa), keďže sa k nej priamo pripája výstupný hriadeľ prevodovky prenášajúci vysoké krútiace momenty.



Obr. 3. Základná konštrukcia pružného kolesa: d_{FSw} - rozstupový priemer, d - stredný výpočtový priemer, d_w - vnútorný priemer, h_1 - hrúbka „hrnca“ deformátora pod ozubením, h_2 - hrúbka „hrnca“ bez ozubeného krúžku

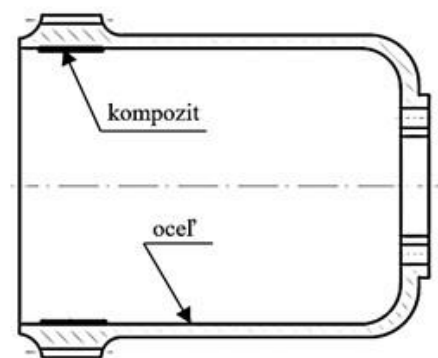
Tvar pružného kolesa (obr. 3) závisí od typu vlnového generátora, ktorý sa zasúva pri montáži do otvorenej časti pružného kolesa [12]. Cez uzavretú časť valcovej nádoby sú vedené diery. Pomocou skrutiek vedených cez tieto diery je následne primontovaný výstupný člen prevodového stupňa, ku ktorému sa dajú pripájať záťaž potrebným spôsobom.

Pružné koleso podlieha počas behu prevodovky neustálej deformácii od generátora vln a zároveň dochádza k viacnásobnému kontaktu v ozubení medzi pružným kolesom a tuhým kolesom. Z tohto dôsledku je dôležitá správna voľba materiálu pružného kolesa.

2.1 Materiál pružného kolesa

Pri navrhovaní pružného kolesa je veľmi dôležité určiť a správne zvoliť jeho geometrické vlastnosti. Adekvátny výber rozmerov pružného kolesa by mal zabezpečiť minimalizáciu napätí v nebezpečných

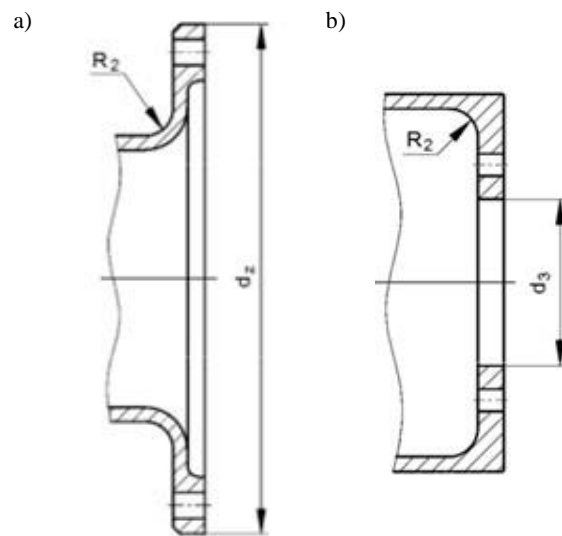
prierezoch a konštantnejšie rozloženie napätia pružného kolesa, ktorý musí byť pružný v radiálnom smere, ale musí byť tuhý v smere krútenia. Týmto javom sa nedá vyhnúť, keď pružné koleso je vyrobené z konvenčných izotropných materiálov, ako je oceľ. Preto je veľmi dôležitá vhodná aplikácia materiálov či technologických úprav. Použitie kompozitov pre pružné ozubené koleso umožňuje zníženie hmotnosti pružného kolesa a výrazne zvyšuje jeho radiálnu náchylnosť a tlmenie vibrácií [4, 5]. Výroba pružných kolies vyrobených výhradne z kompozitov je však obmedzená technologickými ťažkosťami spojenými s vytváraním ich ozubeného venca. Tento problém môže byť vyriešený aplikáciou tzv. „komplexné“ oceľovo-kompozitné hybridné pružné kolesá (obr. 4) [3].



Obr. 4. Konštrukcia tzv. „hrncového“ tvaru pružného kolesa z materiálu oceľ - kompozit

3 TYPY PRUŽNÉHO KOLESÁ

Geometrické parametre konštrukcií, s ktorými sa najčastejšie stretávame, sú uvedené na obr. 3. Klasické pružné kolesá môžu mať vonkajšie (obr. 5a), alebo vnútorné (obr. 5b) príruby.

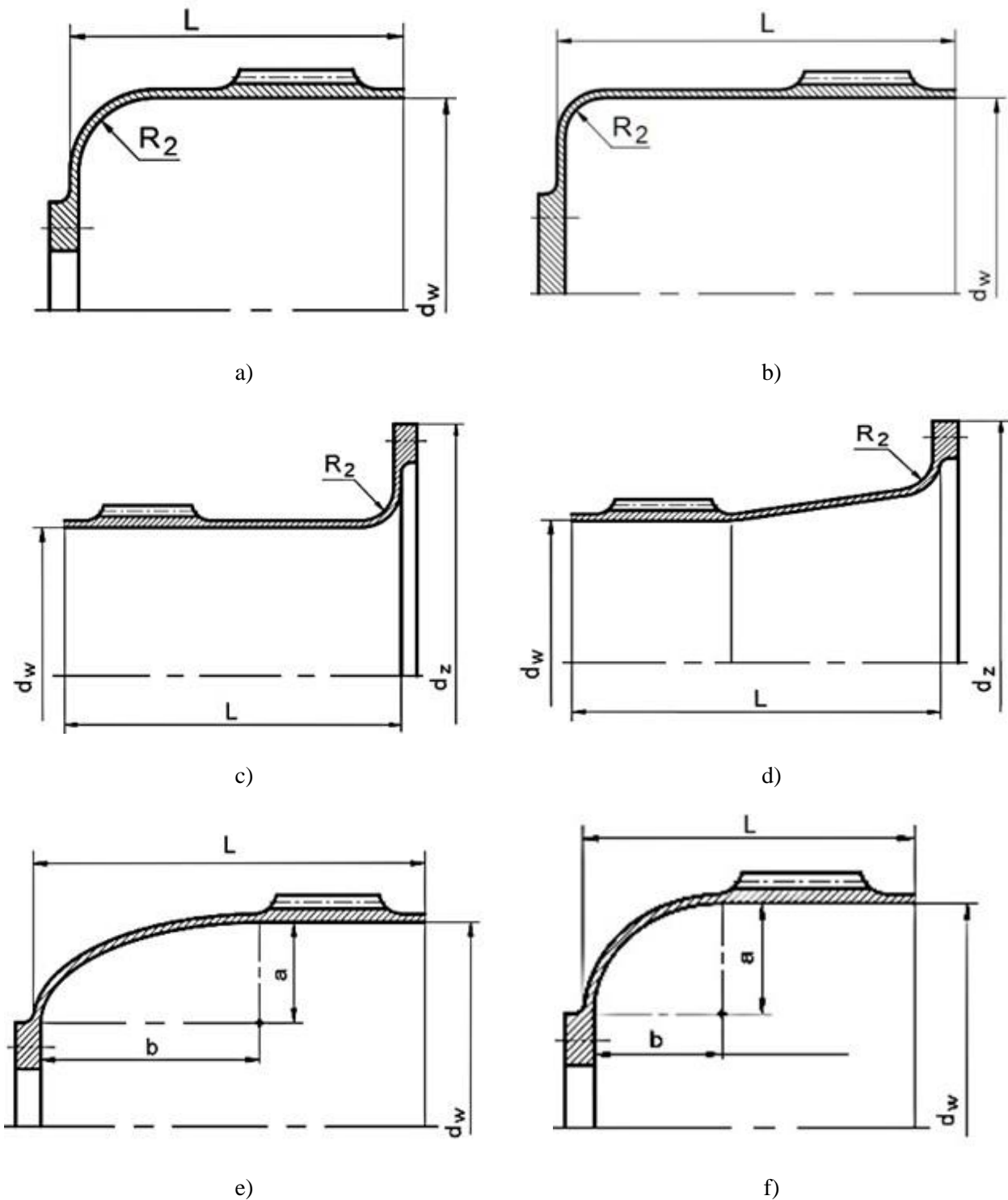


Obr. 5. Konštrukcia pružného kolesa harmonického prevodu: a) vonkajšia príruha, b) vnútorná príruha, d_z - priemer vonkajšej príruhy, d_3 - priemer vnútornej príruhy, R_2 - polomer zaoblenia

Pružné koleso harmonického prevodu má elasticke vlastnosti a v závislosti od generátora vln môže nadobúdať špecifické tvary. Na obr. 6 sú znázornené najčastejšie používané tvary pružného kolesa harmonického prevodu. Mnohé zo skúmaných tvarov pružného kolesa sa ukázali ako úplne zbytočné pre ich malú odolnosť. Cieľom rôznych analýz konštrukcií pružného kolesa harmonického prevodu je získať taký tvar pružného kolesa, ktorým by sa zlepšila jeho životnosť a spoľahlivosť.

ZÁVER

Kľúčovým elementom harmonického prevodu slúžiace na prenos pohybu je pružné ozubené koleso. Tvar pružného kolesa závisí od typu vlnového generátora, ktorý sa zasúva pri montáži do otvorenej časti pružného kolesa. Pružné koleso je počas prevádzky namáhané veľmi nepriaznivo. Pôsobia v ňom napätia od deformácie generátorom, napätia od prenášaného zaťaženia a miestne napätia od ohybu zuba v zubových medzerách. Veľkosť



Obr. 6. Základné typy pružných elementov harmonického prevodu

deformácie pružného kolesa má značný vplyv na charakter a kvalitu záberu. Analýza tvaru pružného kolesa umožňuje posúdiť možnosť zmenšenia rozmerov harmonických pohonov bez obmedzenia ich pevnosti. Tvar činných bokov zubov pevného kolesa by mal byť taký, aby v mieste najväčšieho zaťaženia pružného kolesa po deformácií nedochádzalo k zvýšeniu napätí vplyvom nesprávneho záberu. Budúca práca sa môže zamerať na zistenie tvaru zdeformovaného zuba pružného kolesa a následne navrhnúť protiprofil, aby pri zábere pružného kolesa s tuhým kolesom harmonického prevodu nedochádzalo k interferencii.

Pod'akovanie

Príspevok bol vypracovaný v rámci riešenia grantových projektov:

KEGA 029TUKE-4/2021 - Implementácia moderných edukačných prístupov pri konštruovaní prevodových mechanizmov.

KEGA 037TUKE-4/2024 - Vytvorenie interaktívneho nástroja pre zvýšenie zručností a kompetencií študentov v rámci výučby predmetov zameraných na tvorbu konštrukčnej dokumentácie.

VEGA 1 /0346/24 - Vývoj inovatívnych systémov a prvkov pre redukciu torzných vibrácií v mechanických pohonoch.

LITERATÚRA

[1] KRAJŇÁK, J. - URBANSKÝ, M. - ŽULOVÁ, L. (2022): *Investigation of air temperature change in the flexible element depending on connecting holes number during compressing of this element*. In: Projektowanie, badania i eksploatacja : Wydawnictwo naukowe Akademii techniczno-humanistycznej w Bielsku-Białej, pp. 299-306 [print], ISBN 978-83-66249-97-4.

[2] HARACHOVÁ, D. - MALÁKOVÁ, S. (2022): *Possibilities of use and characteristics of high-precision transmissions in machinery*. In: MM Science Journal, Praha (Česko): MM Publishing November, pp. 6014-6019 [print, online], ISSN 1803-1269.

[3] FOLEGA, P. - BURDZIG, R. - WEGRZYN, A. P. (2009): *Using new materials for flexsplines of harmonic drive*. In: Engineering' - Innovation and development, 5th Engineering Conference, Covilhã - Portugal.

[4] BORYSOVSKA, K. - VERBYLO, D. - PODREZOV, Y. - SZAFRAN, M. (1995): *The*

structural optimization of ceramic-organic composites. In: Archives of Metallurgy and Materials, Vol. 54, No. 4, pp. 875-879.

[5] JEONG, S. - LEE, S. G. (1995): *Development of the composite flexspline for a cycloid-type harmonic drive using net shape manufacturing method*, In: Composite Structures, Vol. 32, pp. 557-565.

[6] GREGA, R. - KRAJŇÁK, J. - ŽULOVÁ, L. - KAČÍR, M. - KAŠŠAY, P. - URBANSKÝ, M. (2023): *Innovative solution of torsional vibration reduction by application of pneumatic tuner in shipping piston devices*. In: Journal of Marine Science and Engineering. - Bazilej (Švajčiarsko): Multidisciplinary Digital Publishing Institute, Vol. 11, Np. 2, pp. 1-15, [online], ISSN 2077-1312.

[7] MORAVEC, J. - KOPAS, P. - JAKUBOVIČOVÁ, L. - LEITNER, B. (2018): *Experimental casting of forging ingots from modelmaterial*. In: MMS 2017 MATEC Web of Conference, pp. 157.

[8] Lightweight Harmonic Drive® Gears and Actuators Help Improve the Productivity of Factory Automation Systems: [online - www.harmonicdrive.net](http://www.harmonicdrive.net)

[9] CHEN, X. - LIU, Y. - XING, J. - LIN, S. - XU, W. (2014): *The parametric design of double-circular-arc tooth profile and its influence on the functional backlash of harmonic drive*. In: Mech. Mach. Theory, Vol. 73, pp. 1-24.

[10] MANTÍČ, M. - KULKA, J. (2022): *Effect of notch geometry change on draw rod durability*. In: Engineering Failure Analysis. Amsterdam (Nemecko): Elsevier Vol. 141, pp. 1-12, [print, online], ISSN 1350-6307.

[11] MONKOVA, K. et al. (2019): *Effect of the Weight reduction of a Gear Wheel on Model Characteristics*. In: MATEC Web Conf., No. 2, Vol. 299, pp. 1-6.

[12] HARMONIC GEAR STRAIN WAVE GEAR (2005): <https://harmonicdrive.de/en/technology/harmonic-drive-strain-wave-gears>.

[13] GHORBER, H. - GANDHI, S. - ALPETER, F. (2001): *On the Kinematic Error in Harmonic Drive Gears*. In: J. Mech. Des., pp. 90-97.

[14] CZECH, P. - ŁAZARZ, B. - TUROŃ, K. (2017): *Influence of conditions of vehicle motion on its economy*. In: Autobusy, No. 6, pp. 136-142, ISSN 1509-5878.

Materiály s vysokou teplotou tavenia využívané v práškovej metalurgii

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

Materials with a high melting point used in powder metallurgy

Abstract: Metals with a high melting point are frequently used materials in technical practice. Their fundamental advantage over other metal materials is their higher melting temperature, which exceeds the melting temperature of iron. Thanks to this physical property, such metals and their alloys can be used in environments where the components are subject to high thermal stress.

Keywords: powder metallurgy, refractory materials, mechanical properties.

ÚVOD

Typickým príkladom použitia vysokotavitelných materiálov sú žiaruvzdorné a žiarupevné materiály. Žiaruvzdorné materiály sú také, ktoré odolávajú vysokým teplotám a nemenia výrazne svoje rozmery. Žiarupevné materiály sú schopné pri vysokých teplotách prenášať silové zaťaženia. V súčasnej dobe sú zmienené vlastnosti často požadované. V mnohých prípadoch je technológia práškovej metalurgie (PM) jediná, ktorou sa dajú takéto vlastnosti dosiahnuť tak, aby spĺňali všetky mechanické, fyzikálne, chemické a ekonomické požiadavky. Príkladom môžu byť tepelné motory alebo meracia technika [1].

Medzi ďalšiu oblasť použitia kovov s vysokou teplotou tavenia patrí elektrotechnika. Mnoho elektrotechnických súčastí je počas pôsobenia elektrického prúdu vystavených vysokým teplotám, ktorým musia odolávať bez výraznej straty svojich vlastností počas celej svojej životnosti.

Najväčšie uplatnenie našla PM ťažkotaviteľných kovov pri výrobe elektrických kontaktov (najmä pre silnoprúdovú elektrotechniku). Elektrické kontakty sú súčasťou, od ktorých je požadovaná vysoká elektrická vodivosť, vysoká tepelná vodivosť, tvrdosť a odolnosť proti erózii elektrickým oblúkom. Tieto vlastnosti sú do určitej miery protichodné a spravidla ich nemožno dosiahnuť použitím jedného kovu. Napríklad pre veľké napätia, malé prúdy a časté prerušenia sa používa volfrám [2].

Elektrické vlákna vedú prúd pri vysokých teplotách. Preto sa najčastejšie zhotovujú z volfrámu alebo molybdénu. tieto kovy sú pre svoju vysokú teplotu tavenia (volfrám 3410 °C, molybdén 2610 °C) klasickými spôsobmi veľmi ťažko spracovateľné.

V druhom odseku sú uvedené niektoré technológie výroby práškov ťažkotaviteľných kovov a ich zliatin akými sú *Ti*, *Mo*, *W* alebo *Ta*.

1 KOVY S VYSOKOU TEPLITOU TAVENIA

Kovy s vysokou teplotou tavenia sú tie, ktorých teplota tavenia je vyššia, ako je v prípade železa (1536 °C). Podľa tohto kritéria sa tu zaraďujú *Ti*, *Zr*, *Hf*, *V*, *Nb*, *Ta*, *Mo*, *W* a *Re*. Technológia práškovej metalurgie sa uplatňuje pri spracovaní týchto kovov predovšetkým v prípade *Nb*, *Ta*, *Ti*, *Mo* a *W*.

Kovy s vysokou teplotou tavenia sa ťažko vyrábajú klasickou metalurgiou (procesom tavenia a odlievania). Veľmi vysoké teploty tavenia týchto kovov sťažujú ich premenu do kvapalného stavu. Kovy pripravené odlievaním majú vyšší obsah nečistôt, čo sa nepriaznivo odráža na ich mechanických vlastnostiach, často sú veľmi krehké. Pri ich výrobe pomocou PM možno podstatne znížiť teplotu prípravy a dosiahnuť vyššiu čistotu a lepšie vlastnosti. Práškové kovy sa vyrábajú redukciami pevných práškových oxidov vodíkom v tuhom stave a následným spekaním týchto práškov pri relatívne nižších teplotách [3].

Kovy s vysokou teplotou tavenia sa používajú predovšetkým pre elektrotechnický priemysel a pre konštrukčné aplikácie v oblasti vysokých teplôt. Podľa použitia ich môžeme rozdeliť na:

- kontaktné materiály s vysokou teplotou tavenia,
- konštrukčné materiály s vysokou teplotou tavenia.

Technológia práškovej metalurgie na prípravu konštrukčných kovov s vysokou teplotou tavenia sa

uplatňuje predovšetkým v prípade *Nb*, *Ta*, *Mo*, *W*. Aplikuje sa tak pre ich vysokú teplotu tavenia aj pre vysokú závislosť mechanických charakteristík týchto kovov od ich čistoty. Závislosť *Youngovho* modulu a pevnosti v ťahu vybraných vysokotavitelných kovov od teploty je zobrazená na Obr.1. Technológia PM umožňuje pripraviť tieto kovy v požadovanej čistote a s vlastnosťami, ktoré umožňujú ich ďalšie spracovanie bežnými tvárniciami procesmi do vyžadovanej formy, často na polotovary vo forme tyčí, drôtov, plechov, fólií a pod. [4]. Tieto kovy a ich zliatiny nachádzajú široké uplatnenie v mnohých oblastiach techniky, najmä v elektrotechnike a vákuovej technike (napr. tienenie pecí, výhrevné telesá pecí).

Volfrám a v menšej miere i molybdén vykazujú veľmi dobré pevnostné vlastnosti pri normálnej teplote a vynikajúce pevnostné vlastnosti pri zvýšených teplotách. Pevnosť vysoko čistého, tvárneného a následne žihaného *volfrámu* dosahuje pri $T = 1800\text{ }^{\circ}\text{C}$ $R_m = 200\text{ MPa}$ a pri $T = 2200\text{ }^{\circ}\text{C}$, $R_m = 100\text{ MPa}$. *Molybdén* dosahuje pri teplote $T = 1400\text{ }^{\circ}\text{C}$ pevnosť $R_m = 200\text{ MPa}$. Pri použití týchto kovov pri zvýšených teplotách je však nutné zabrániť ich oxidácii, na ktorú sú náchylné. *Molybdén* začína v oxidačnej atmosfére oxidovať od $400\text{ }^{\circ}\text{C}$, nad $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ je oxidácia veľmi intenzívna. *Volfrám* začína oxidovať pri $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ a oxidácia je intenzívna pri $800\text{ }^{\circ}\text{C}$. Z tohto dôvodu musia byť súčiastky z *W* a *Mo*, ktoré majú pracovať v oxidačnej atmosfére, pokryté ochrannými povlakmi [5]. Mechanické vlastnosti *W*, *Mo* a *Ta* sú uvedené v tab. 1. Použitie vysokotavitelných kovov a ich zliatin je v tab. 2.

Tab. 1. Mechanické vlastnosti *W*, *Mo* a *Ta*

Vlastn.	stav	<i>W</i>	<i>Mo</i>	<i>Ta</i>
<i>HV</i>	spekaný	250	160	90
	kovaný	500	240	
	plech, valcovaný	500	350	
	plech, žiháný (rekryštalizovaný)	380	300	
<i>R_m</i> [MPa]	spekaný	150	-	200
	kovaný	1500	1000	
	drôt, ťahaný	4100	2500	
	drôt, žiháný	1100	1000	
<i>E</i> [%]	drôt, ťahaný	1 ÷ 4	2 ÷ 5	
	drôt, žiháný	-	20	
<i>E</i> [MPa]	pri 20 °C	39·10 ⁴	35·10 ⁴	19·10 ⁴
<i>G</i> [MPa]		15·10 ⁴	13·10 ⁴	

Technológia spracovania konštrukčných kovov s vysokou teplotou tavenia spočíva vo výrobe práškového kovu, jeho lisovaní a následnom spekaní,

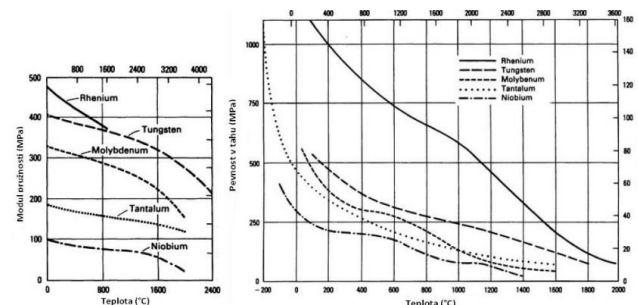
ktoré prebieha spravidla dvojstupňovo. Napríklad pri *volfráme* sa realizuje predspekávanie pri teplote $T = 1000 \div 1400\text{ }^{\circ}\text{C}$ a konečné spekanie pri teplote $T = 2800 \div 3100\text{ }^{\circ}\text{C}$, pri *molybdéne* pri $T = 2200\text{ }^{\circ}\text{C}$. Speká sa v ochrannej atmosfére a vo vákuu [6].

Tab. 2. Hlavné oblasti použitia vysokotavitelných kovov a ich zliatin

Materiál	Použitie
<i>W</i> , <i>Mo</i> , <i>Mo-W</i> , <i>W-20Ag</i>	dýzy raket
<i>Ta-10W</i> , <i>Ta-10W-10Hf</i>	spaľovacie komory raket
<i>Nb</i>	dýzy a konštrukčné prvky raket
<i>W</i> , <i>W-ThO₂</i> , <i>W-La₂O₃</i>	žiarovky, výroba elektrónok
<i>Mo-0,5Ti-0,1Zr-0,5C</i>	sklárske priemysel, vysokoteplotné materiály, technika liatia, striekanie a tvárnenie kovov
<i>Mo-12Ti-0,3Zr-0,15C</i>	
<i>Mo-30W</i> , <i>Ta-10W-2,5Hf-0,01C</i>	
<i>Nb-10W-1Zr-0,1C</i>	
<i>Ta</i> , <i>Mo</i> , <i>W</i> , <i>Mo-30W</i>	chemický priemysel
<i>W</i> , <i>Mo</i> , <i>Nb</i> , <i>Ta</i>	elektrotechnika, stavba pecí, výhrevné drôty, plechy

Tvárniteľnosť *volfrámu* a *molybdénu* je veľmi závislá od ich čistoty. Veľmi nepriaznivo sa prejavuje obsah intersticiálnych prvkov ako sú *H*, *O*, *N* a *C*. Prechodová teplota pre *W* a *Mo* s čistotou 99,95 je medzi $T = 150 \div 350\text{ }^{\circ}\text{C}$. *Niób* a *tantal* sú dobre tvárniteľné až do obsahu až do obsahu nečistôt (*O* + *N* + *C*) do 0,2 %.

Do *volfrámu*, ktorý je určený pre prácu pri vysokých teplotách (vlákna žiaroviek a pod.), sa pridávajú pri jeho výrobe vysokotavitelné oxidy (*ThO₂*, *Al₂O₃*, *Y₂O₃*, *La₂O₃*, *CaO*, *K₂O*) v množstvách 0,03 ÷ 1,5 % hm. Oxidy zabezpečujú disperzné spevnenie a zabraňujú zhrubnutiu štruktúry *volfrámu*, a tým aj nežiadúcim zmenám mechanických vlastností [7].



Obr. 1. Závislosť *Youngovho* modulu a *R_m* vybraných kovov od teploty

1.1 Materiály na báze titánu

Titán je polymorfný kov vyskytujúci sa v dvoch kryštalografických modifikáciách α a β . Nízokoteplotná α -fáza má hexagonálnu tesne usporiadanú mriežku (*H12*), vysokoteplotná β -fáza má kubickú priestorovo centrovanú (*K8*). Teplota

transformácie α/β je 882 °C. Všetky priemyselne vyrábané zliatiny sa rozdeľujú do 6 skupín. Pomocou *PM* sa okrem technicky čistého *Ti* vyrábajú iba pseudo α zliatiny *Ti* a $\alpha + \beta$ zliatiny martenzitického typu.

Ti a jeho zliatiny sa vyznačujú pomerne vysokými hodnotami mechanických vlastností [8, 9]. Mechanické vlastnosti závisia od štruktúry a chemického zloženia a hodnoty medze klzu sa môžu pohybovať od 400 MPa do 1400 MPa pri ťažnosti *A* od 10 % do 30 %. Majú výhodný pomer pevnosti k hustote, ktorý je vyšší ako pri oceliach, pretože sa vyznačujú nízkou hustotou ($\rho = 4500 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$). Majú dobré pevnostné vlastnosti pri stredne vysokých teplotách, pri ktorých už nemožno aplikovať špeciálne hliníkové zliatiny. Vyznačujú sa vysokou odolnosťou proti korózii. Uvedené vlastnosti predurčujú *Ti* a jeho zliatiny pre použitie v leteckej a kozmickej technike. V súčasnosti sa používajú aj v iných oblastiach, napr. v strojárskom a chemickom priemysle a v malom rozsahu i v medicíne [10].

Základným procesom prípravy tvarových súčiastok na báze *Ti* je výroba prášku. V súčasnosti sa aplikujú na výrobu práškového *Ti* resp. *Ti* zliatin tieto technológie:

- termická redukcia TiO_2 ,
- redukcia chloridov TiCl_4 ,
- hydro-dehydrogenačný proces,
- elektrolytický spôsob,
- metóda REP (Rotating Electrode Process, odtavovanie rotujúcej elektródy).

Rozvoj *PM titánu* a jeho zliatin stimulujú dva vzájomne sa prelínajúce aspekty, a to ekonomický a technický. Z ekonomického hľadiska je to skutočnosť, že *PM* poskytuje možnosť lepšieho využitia materiálu. Táto skutočnosť je zvlášť dôležitá pre *Ti* a jeho zliatiny, ktoré sa vyznačujú zlou obrábiteľnosťou. Pri výrobe konštrukčných súčiastok z *Ti* zliatin pre letecký priemysel klasickou metalúrgiou sa využije v priemere len 16 % z celkovej východiskovej hmotnosti. Vzniknuté triesky predstavujú ťažko spracovateľný odpad v prípade klasickej metalúrgie. Technológiou *PM* je možné všetok trieskový odpad premeniť na cennú surovinu - prášok. Technológia *PM* zaisťuje využitie titánového materiálu na 80 % ÷ 90 %. Z technického hľadiska *PM Ti* a jeho zliatin umožňuje vyrobiť materiály, ktoré sa uplatnením klasickej metalúrgie vôbec nedajú vyrobiť [11]. Ide o *Ti* zliatiny legované prvkami, ktoré segregujú alebo sú v tekutom stave nerozpustné v *Ti*, napr. *Fe*, *Cr*, *Mn*, *Ni* a iné. Technológia *PM* umožňuje potlačiť segregáciu týchto prvkov. Ďalej možno uskutočňovať legovanie matrice oxidmi, nitridmi, boridmi a pod. *PM* umožňuje tiež pripraviť izotropné materiály na báze *Ti*.

Oproti uvedeným výhodám aplikácie *PM* na výrobu *Ti* a *Ti* zliatin stojí viacero problémov, ktoré rozvoj *PM Ti* čiastočne sťažujú. Ich základom je vysoká afinita *Ti* ku všetkým intersticiárnym prvkom (*H*, *O*, *N*, *C*). Na prekonanie problémov prípravy *Ti* pomocou *PM* je potrebné nájsť optimálne technické riešenie predovšetkým v troch oblastiach *PM* titánu.

Prvá oblasť úzko súvisí s požadovanou vysokou čistotou konečných výrobkov, ktorá sa týka celého technologického cyklu od rafinácie predzliatin cez výrobu práškov a ich úpravu až po kompakáciu. Súčasťou uvedeného problému je nedostatok experimentálnych výsledkov, ktoré by umožnili presnejšie analyzovať stupeň negatívneho pôsobenia vtrúsenín a prímiesí na degradáciu úžitkových vlastností výrobkov a exaktne stanoviť prípustný stupeň znečistenia pre konkrétne aplikácie [12].

Druhá oblasť sa týka otázok nedeštruktívnej kontroly. Súčasné systémy nedeštruktívnej kontroly ťažko identifikujú defekty o veľkosti pod 0,25 mm. Z lomovej mechaniky je známe, že so zvyšovaním pevnostných vlastností sa veľmi prudko znižuje prípustná veľkosť kritického defektu. V extrémne namáhaných konštrukčných súčiastkach z *Ti* zliatin sa nesmie vyskytnúť defekt s kritickou veľkosťou nad 0,1 mm. Táto skutočnosť hovorí v neprospech *PM Ti*, kde je veľmi náročné vylúčiť výskyt pórov, resp. iných defektov s takouto veľkosťou. Keďže vyžadovaná miera rizika v letectve je veľmi nízka, vyžaduje si uplatnenie práškovej metalúrgie *Ti* pre kritické súčiastky mimoriadne technické opatrenia s cieľom zabezpečenia vysokej čistoty.

Tretia oblasť je oblasť skúšobníctva, kde nejde len o vypracovanie nových exaktných skúšobných metód, ale i o získanie rozsiahlych štatistických údajov a prevádzkových skúseností [13].

V leteckých aplikáciách *PM Ti* možno konštrukčné súčiastky rozdeliť do týchto dvoch kategórií:

- a) nekritické súčiastky sú tie, ktoré neprenášajú dynamické rázové alebo cyklické ťahové (viacosové) namáhanie,
- b) kritické súčiastky sú také, ktoré tieto namáhania prenášajú a ich poškodenie môže spôsobiť deštrukciu celého systému.

Na výrobu kritických súčiastok je nutné používať náročnejšie technologické varianty ako v prípade nekritických súčiastok. Výroba kritických súčiastok nedosiahla ešte vyžadovanú spoľahlivosť a stále sa len rozvíja. Na základe výroby nekritických a kritických súčiastok sa dajú spôsoby prípravy rozdeliť na dve skupiny, ktoré reprezentujú viaceré výrobné postupy:

- a) nekritické súčiastky sa pripravujú z miešaných práškov. Technológia výroby spočíva v mechanickej homogenizácii zmesi práškov jednotlivých kovov vo vyžadovanom pomere

a ďalšej kompaktizácii týchto práškov. Zmesi elementárnych práškov sa vyznačujú dobrou lisovateľnosťou a dobrou spekatelnosťou, takže uplatnením bežných spôsobov tvarovania sa môžu dosiahnuť hodnoty hustoty až 95 % teoretickej hustoty. Štruktúra takýchto materiálov je v mikroobjektoch značne heterogénna. Dôsledkom heterogenity štruktúry sú nízke hodnoty lomovej pevnosti a lomovej húževnatosti.

- b) kritické súčiastky sa pripravujú z predlegovaných alebo legovaných práškov. Pri tejto technológii má každá prášková častica chemické zloženie totožné s chemickým zložením konečného výrobku. Lisovateľnosť takýchto práškov je obťažná. Nutné je použiť izostatické spôsoby lisovania, či už za tepla alebo za studena. Uvedená technológia umožňuje získať homogénnu bezpórovitú štruktúru a lepšie mechanické vlastnosti. Tie umožňujú aplikáciu takto vyrobených konštrukčných súčiastok pre extrémne spôsoby namáhania [14].

V *PM titánu* musí byť zohľadnená vysoká afinita *Ti* k intersticiálnym prvkom. Tepelné spracovanie práškov i polotovarov sa musí realizovať vo vysokom vákuu alebo v inertných plynoch (*He*, *Ar*) s vysokou čistotou. Kontakt práškových častíc s ovzduším v procese spracovania (prítomnosť O_2 a N_2) degraduje jeho vlastnosti, a tým i vlastnosti konečného výrobku. *Ti* prášky, najmä jemné prášky, sú tiež vysoko horľavé, takže pri neopatrnnej manipulácii s nimi môže dôjsť k explózii [15].

Kompaktizácia miešaných práškov sa realizuje pri použití lisovacích tlakov v rozsahu $p = 800 \text{ MPa} \div 900 \text{ MPa}$, čím sa získajú výlisky s hustotou $\rho = 85 \% \div 90 \%$. Proces spekania sa uskutočňuje najčastejšie vo vákuu pri teplotách približne $1400 \text{ }^\circ\text{C}$, v menšej miere v inertných plynách, predovšetkým v *Ar*. Čistota argónu je veľmi vysoká, obsah kyslíka musí byť pod 0,005 % a dusíka pod 0,01 %. V prípade požiadaviek na vyššiu hustotu nasledujú sekundárne operácie tvarovania. Najčastejšie sa využíva izostatické lisovanie za tepla, ale používa sa aj kovanie za tepla a kovanie za tepla s nasledujúcim tepelným spracovaním. Kompaktizácia predlegovaných práškov sa môže uskutočniť izostatickým lisovaním za tepla, vákuovým lisovaním za tepla, kovaním alebo pretlačovaním. V súčasnosti ma najväčší význam izostatické lisovanie za tepla. Teplota lisovania sa pohybuje v intervale $T = 870 \text{ }^\circ\text{C} \div 980 \text{ }^\circ\text{C}$, lisovacie tlaky $p = 100 \text{ MPa} \div 200 \text{ MPa}$, aktívny lisovací čas $t = 2 \div 8$ hodín.

V leteckom priemysle sa technológia práškovej metalurgie uplatňuje najmä na výrobu nekritických súčiastok z $\alpha + \beta$ zliatin, napr. *Ti-6Al-4V* a *Ti-6Al-2V*. Uvedené materiály sú určené na tepelné spracovanie,

a preto konečnou operáciou je tepelné spracovanie, napr. izotermické žihanie pri teplotách $T = 450 \text{ }^\circ\text{C} \div 550 \text{ }^\circ\text{C}$ [16].

V chemickom a potravinárskom priemysle sa *PM Ti* využíva pri výrobe súčiastok odolných proti korózii, rôznych krúžkov, filtrov, elektród a pod.

1.2 Elektrotechnické kontaktné materiály

Elektrické kontakty uzatvárajú elektrické obvody, slúžia na prenos elektrického prúdu v určitom časovom intervale a k rozpojovaniu uzavretého elektrického obvodu. tieto v mnohých smeroch protichodné požiadavky sa vo viacerých prípadoch nedajú zabezpečiť čistými kovmi alebo ich zliatinami [17]. Technológia *PM* však umožňuje zjednotiť rozdielne vlastnosti, ktoré sú vyžadované pre kontaktné materiály, do jedného materiálu. Navyše kontakty vyrobené *PM* majú lepšie úžitkové vlastnosti (vyššiu odolnosť proti opotrebeniu), čo umožňuje skoro úplné nahradenie kontaktov z drahých kovov (*Au*, *Ag*, *Pt*, *Pd*).

Pri aplikácii kontaktov v elektrických obvodoch dochádza k degradačným procesom, ktoré určujú ich životnosť. Pri zapojení kontaktov vzniká medzi prvkami zapojenia elektrický oblúk, ktorý môže spôsobiť straty materiálu. Straty materiálu, ku ktorým môže dôjsť pri vzniku elektrického oblúka, podstatne ovplyvňujú životnosť spínacieho prístroja. Pri rozpojovaní kontaktu dochádza najprv k poklesu prierezu kontaktnej plochy a k narastaniu prúdovej hustoty, následkom čoho sa teplota môže zvýšiť na takú hodnotu, že bezprostredne pred úplným rozpojením sa kontaktný materiál nataví a elektrický prúd je vedený cez malý kovový mostík taveniny. Ak je hustota elektrického prúdu vysoká, nastane explózia, ktorá preruší mostík a dôjde k rozstreknutiu taveniny. Pri ďalšom vzniku elektrického oblúka sa kontaktný materiál v päťke klenby ohreje až na teplotu varu a nastáva jeho vyparovanie. Celkové straty kontaktného materiálu, ktoré vznikajú pri rozpojení spínacích prvkov vyššie uvedeným mechanizmom, sa označujú termínom *prepal*.

Pri uzavretí kontaktu dochádza k nárazu pohyblivého spínacieho prvku na nepohyblivý (pevný) spínací prvok, čo je sprevádzané deformačnými procesmi. Tieto procesy sú krátkodobé ($8 \cdot 10^{-3} \text{ s}$), ale mnohonásobne sa opakujú.

Základnými požiadavkami kladenými na materiály elektrických kontaktov sú vysoká elektrická a tepelná vodivosť. Vodivosť napomáha tomu, aby sa kontaktný materiál počas zaťaženia prechodom prúdu čo najmenej ohrieval a aby prípadný ohrev nespôsobil poškodenie kontaktného materiálu i iných materiálov, ktoré aplikované v spínacom obvode. Ďalšími požiadavkami sú nízky prechodový odpor, odolnosť proti opalu a erozívne pôsobeniu elektrického oblúka, odolnosť proti korózii na vzduchu

a v mikrokľíme samotného prístroja, odolnosť proti zväraniu (vzájomnému spojeniu), odolnosť proti oteru pri vysokých spínacích tlakoch.

Elektrické kontaktné materiály sa delia do týchto dvoch skupín:

- materiály pre silnoprúdovú elektrotechniku (vysokonapäťové kontakty),
- materiály pre slaboprúdovú elektrotechniku (nízkonapäťové kontakty).

I keď medzi oboma skupinami neexistuje ostré rozhranie, pre každú skupinu existujú špecifické požiadavky na vlastnosti, ktoré majú rozhodujúci vplyv na voľbu materiálu. Pre materiály používané v silnoprúdovej elektrotechnike je základným problémom zvládnutie silných erózií pri prechode prúdu daným materiálom. Pri materiáloch pre slaboprúdovú elektrotechniku sa na prvé miesto z hľadiska materiálových požiadaviek kladie korózna odolnosť a minimálny transport materiálu. Korózna odolnosť je dôležitá na dosiahnutie konštantného prechodového odporu. Príklad použitia kontaktných materiálov v závislosti od parametrov el. obvodu je na obr. 2. Transport materiálu je charakterizovaný lokálnym prenosom materiálu z jedného kontaktu na druhý.

1.3 Materiály pre silnoprúdovú elektrotechniku

Základným materiálom pre silnoprúdovú elektrotechniku je volfrám, ale používa sa aj *Mo*, *Re* a spojené materiály *W-Ag* a *W-Cu*. Fyzikálne a mechanické vlastnosti *W* spolu s *Mo* a *Re* sú uvedené v tab. 3.

Tab. 3. Fyzikálne a mechanické vlastnosti *W*, *Mo* a *Re*

Vlastnosť	<i>W</i>	<i>Mo</i>	<i>Re</i>
Hustota pri 20 °C ρ_{20} [g·cm ⁻³]	19,3	10,2	21,04
Teplota tavenia T_{tav} [°C]	3410	2617	3180
Teplota varu T_{var} [°C]	5900	4800	5900
Merná elektrická vodivosť ρ [m·Ω ⁻¹ ·mm ⁻²]	18,2	17,3	5,23
Tepelná vodivosť λ [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	129,8	159,1	0,586
Pevnosť v ťahu R_m [MPa] – stav mäkký	1400	800	1200
Ťažnosť A [%] – stav mäkký	1-3	20	20

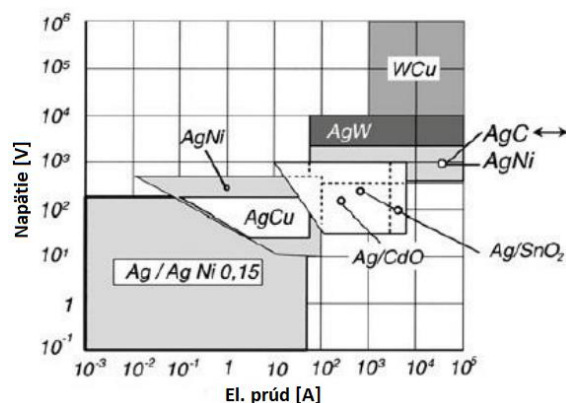
Volfrám má vysokú teplotu tavenia, veľmi dobrú odolnosť proti opalu a vysokú tvrdosť. Má však iba 1/3 elektrickej vodivosti meďi, zle sa spracováva a je málo tvárny. Je pomerne málo odolný proti oxidačnej

atmosfére pri teplotách nad 400 °C. Na jeho povrchu dochádza k tvorbe oxidických vrstiev, ktoré zvyšujú prechodový odpor. Materiálové straty, súvisiace s tvorbou elektrického oblúka sú v prípade materiálov na báze *W* pomerne nízke, a to pre jeho vysokú tvrdosť i stálosť elektrického oblúka. Kontakty na báze *volfrámu* sú vhodné vo všetkých prípadoch, keď možno očakávať vysoké prevádzkové zaťaženie. Uplatňujú sa elektrickej výzbroji automobilov (prerušovacie kontakty, zapaľovacie elektródy), vo vákuových zariadeniach, v regulátoroch napätia, v signalizačných zariadeniach a pod.

Na výrobu vysokonapäťových kontaktov sa používajú aj materiály na báze *molybdénu*. *Molybdén* je oproti *volfrámu* odolnejší proti plynom, má nižšiu hustotu a je lepšie obrábatel'ny. *Mo* je drahší v porovnaní s *W*. V *USA* sa používajú molybdénové kontakty i pre slaboprúdovú elektroniku.

Rénium má vynikajúce vlastnosti pre výrobu kontaktných materiálov. Spínacie prvky sú vhodné pre prúdy do 10 A, a príznaky transportu materiálu nie sú badateľné ani pri 100 miliónoch zapojení. Kým kontakty z materiálov na báze *W* možno používať do teplôt asi 700 °C, kontakty z materiálov na báze *Re* možno použiť i pri vyšších teplotách. Pre svoju vysokú cenu sa používa v menšej miere.

Pre aplikácie s vyššími hodnotami elektrickej vodivosti sa používajú spojené materiály *W* s kovmi s veľmi dobrou elektrickou vodivosťou, t. j. *Ag* a *Cu*. Tieto kovy sa v tekutom stave nerozpúšťajú vo *volfráme*, a preto sa nemenia vlastnosti jednotlivých zložiek v spojenom materiály. kontaktné materiály *W-Ag* a *W-Cu* sa vyznačujú vysokou odolnosťou proti opalu a malým sklonom k tvorbe návarov. Spínacie obvody tohto typu sú schopné vysokého zaťaženia do 1000 A. V prípade kontaktných materiálov typu *W-Ag* sa do *Ag* pridáva asi 0,04 hm. % *Ni*, ktorý zabezpečuje zlepšenie zmáčavosti *Ag*. Pri príprave kontaktov z čistých kovov sa prášky z týchto kovov lisujú (na hustotu 80 %), predspekajú pri nižšej teplote a spekajú pri vyššej teplote (napr. *W* pri $T = 2800$ °C) v ochrannej vodíkovej atmosfére.



Obr. 2. Použitie rôznych kontaktných materiálov v závislosti od napätia a el. prúdu

1.4 Materiály pre slaboprúdovú elektrotechniku

Pre slaboprúdovú elektrotechniku sa používajú najmä kontakty na báze striebra, ktoré sa vyznačujú vysokou elektrickou a tepelnou vodivosťou. Jeho nevýhodou je pomerne nízka odolnosť proti zlúčeninám síry, malá tvrdosť, sklon k zvaraniu a nízka odolnosť proti opalu. V menšej miere sa používajú materiály na báze zlata, platiny, paládia. Kontakty na báze Ag, Au, Pt a Pd sa vyrábajú klasickou technológiou. Nakoľko ani jeden zo spomenutých prvkov nezaraďujeme medzi materiály s vysokou teplotou tavenia, nebudeme sa zaoberať ich použitím a vlastnosťami [18].

ZÁVER

Pri vybratých materiáloch boli zhrnuté ich mechanické a fyzikálne vlastnosti ako aj oblasť ich využitia. Pomerne obsiahne bola opísaná problematika titánu a jeho zliatin nakoľko jeho význam pre využitie v priemysle stále narastá. V ďalšej časti boli rozobraté materiály používané v elektrotechnickom priemysle. Ťažkotaviteľné kovy nachádzajú významné uplatnenie v silnoprádovej elektrotechnike, pričom na výrobu množstva súčiastok je využívaná technológia PM. Veľké uplatnenie našla PM pri výrobe elektrických kontaktných materiálov.

Pod'akovanie

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

LITERATÚRA

- [1] IŽDINSKÁ Z. - ŠVEC P. (2013): *Prášková metalurgia*. Bratislava: Slovenská technická univerzita, ISBN 978-80-227-3875-0, s. 140.
- [2] SKOTNICOVÁ K. - KURSA M. (2013): *Prášková metalurgia*. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, ISBN 978-80-248-3378-1, s.153
- [3] NEMČOK, O. (2011): *Prášková metalurgia*. Dubnica nad Váhom: Dubnický technologický inštitút. ISBN 978-80-89400-20-1, s. 73.
- [4] MORAVEC J. - KANTORIKOVÁ E. - FABIAN P: (2020): *Prášková metalurgia*. Žilina EDIS, ISBN 978-80-554-1692-2.
- [5] NEIKOV, O. D. - NABOYCHENKO, S. S. - MURASHOVA, I. V. - GOPIENKO, (2009):

Handbook of Non-Ferrous Metal Powders - Technologies and Applications, 1st ed., 2009, Philadelphia: Elsevier, 671 p., ISBN 978-1-85617-422-0.

- [6] THÜMMLER, F. - OBERACKER, R. (1993): *Introduction to powder metalurgy*.1st ed. Cambridge: The University Press, 332 p., ISBN 0-901716-26-X
- [7] ASM Handbook (1998): Volume 7: *Powder Metal Technologies and Applications*. Ed. Peter W. Lee. 1st. ed. Materials Park: ASM International, 1147 p., ISBN 978-0871703873.
- [8] LUKÁČ, I. (1990): *Prášková metalurgia*, 1.vyd., Alfa, Vysoká škola technická v Košiciach, ISBN 80-05-00422-2.
- [9] VELGOSOVÁ O. - MIŠKUFOVÁ A. - LAUBERTOVÁ M. (2008): *Priprava kompozitov na báze Al*. In: Acta Metallurgica Slovaca 14, p. 103 – 112.
- [10] ANGELO, P. - PHI Learning Pvt. C. - SUBRAMANIAN, R. (2008): *Powder metallurgy science, technology and applications*. 1st.ed. Delhi: PHI Learning Pvt, 312 p., ISBN 9788120332812.
- [11] THÜMMLER, F. - OBERACKER, R. (1993): *Introduction to powder metalurgy*.1st ed. Cambridge: The University Press, 332 p., ISBN 0-901716-26-X.
- [12] GERMAN, R. M. (1994): *Powder Metallurgy Science*. 2nd ed. Princeton: MPIF, 472 p., ISBN 1-878954-42-3.
- [13] HOULDCROFT, P. T. - JOHN, R. (2001): *Welding and Cutting: A Guide to Fusion Welding and Associated Cutting Processes*, s. 240., ISBN 978-1855-7357-81.
- [14] KUHN, H. - MEDLIN, D. (2000): *ASM Handbook*. Volume 8: Mechanical Testing and Evaluation. Materials Park, Ohio: ASM International, ISBN 0871703890.
- [15] SZABA, J.(2017): *Teplotná stabilita štruktúry práškových kompozitov na báze medi*. TU Košice Dizertačná práca.
- [16] MATTHEWS, F. L. - RAWLINGS, R. D. (1994): *Composite materials: engineering and science*. Chapman and Hall, London.
- [17] HOSFORD, W. F. (2005): *Mechanical behavior of materials*. New York, USA: Cambridge University Press, s. 425. ISBN 0-521-84670-6.
- [18] VELGOSOVÁ O. - MIŠKUFOVÁ A. - LAUBERTOVÁ M. (2008): *Priprava kompozitov na báze Al*. In: Acta Metallurgica Slovaca 14, p. 103-112.

Vplyv tvaru telesa na deformáciu čelného ozubenia

Silvia Maláková, doc. Ing., PhD.*

Katedra konštrukčného a dopravného inžinierstva, Strojnícka fakulta,
Technická univerzita v Košiciach,
Letná 9, 042 00 Košice.
E-mail: silvia.malakova@tuke.sk, Tel.: + 421 55 602 2372

Daniela Kepeň Harachová, Ing., PhD.

Katedra konštrukčného a dopravného inžinierstva, Strojnícka fakulta,
Technická univerzita v Košiciach,
Letná 9, 042 00 Košice.
E-mail: daniela.kepen.harachova@tuke.sk, Tel.: + 421 55 602 2366

Jozef Krajňák, Ing., PhD.

Katedra konštrukčného a dopravného inžinierstva, Strojnícka fakulta,
Technická univerzita v Košiciach,
Letná 9, 042 00 Košice.
E-mail: jozef.krajnak@tuke.sk, Tel.: + 421 55 602 2373

The influence of the shape of the body on the teeth deformation of the spur gear

Abstract: The article is devoted to the analysis of the influence of the basic parameters of the body of the spur gear on the deformation of the teeth in meshing. The problem is solved for spur gears of large dimensions, the semi-finished product of which can be a weldment, casting or forging. Gear deformations are determined by the finite element method. Examples of simulation and subsequent processing of the results demonstrate the extent of the influence of individual parameters of the gear body on the deformation of the gearing. At the same time, the results point to suitable designs of shape and dimensions to achieve the desired deformation of the teeth but with the smallest possible weight of the gears.

Keywords: spur gear, deformation, shape of wheel.

ÚVOD

K najrozšírenejším druhom prevodových mechanizmov v praxi patria ozubené prevody. Používajú sa v rôznej forme a veľkosti, od jednoduchých súkolesí, až po komplikované systémy ozubených prevodov. Základnou jednotkou ozubených prevodov sú ozubené kolesá. Je to jedna zo základných zložiek mechanizmov a častí strojov, predstavujú dôležitý a v mnohých prípadoch nezastupiteľný konštrukčný prvok.

Ozubené prevody používané v automobilovom priemysle sa dnes navrhujú tak, aby boli čo najľahšie, aby sa okrem iného znížila spotreba paliva a tým aj emisie CO_2 . Zníženie hmotnosti ozubeného prevodu je dôležité aj pri domácich spotrebičoch, kde sa ozubené kolesá získavajú vstrekovacími metódami z polymérnych materiálov, pri ktorých je zníženie ich hmotnosti dôležité pre úsporu materiálu pri zachovaní životnosti a odolnosti proti opotrebovaniu a pri zabezpečení ich správnej funkcie. Mimoriadny

význam zníženia hmotnosti ozubených prevodových mechanizmov je aj v automobilovom a leteckom priemysle, čím sa zlepší pomer hmotnosti prevodovky k prenášanému výkonu a zníži sa negatívny vplyv dynamických javov vyskytujúcich sa pri jej prevádzke. Teda súčasným trendom je návrh ozubených prevodov s minimálnou hmotnosťou, ale pri zachovaní prevádzkových parametrov.

Ozubené súkolesia sa konštruujú pre zadaný prenášaný výkon, otáčky a prevodový pomer. Je potrebné vziať do úvahy prevádzkové podmienky, požadovanú trvanlivosť a ďalšie parametre. Prvým krokom je určenie hlavných rozmerov ozubenia. Konštrukčný tvar telesa ozubeného kolesa môže mať rôzny tvar, ale musí spĺňať základné požiadavky tuhosti a pevnosti, a to pri čo najľahšej konštrukcii telesa ozubeného kolesa.

Príspevok sa zaoberá optimálnym návrhom vhodného tvaru telesa čelných ozubených kolies tak, aby

hmotnosť telesa bola čo najmenšia ale pri zachovaní tuhosti ozubenia.

1 KONŠTRUKCIE TELIES ČELNÝCH OZUBENÝCH KOLIES

Konštrukčné tvary ozubených kolies sú závislé od rozmerov ozubených kolies, materiálu a od spôsobu výroby telesa ozubeného kolesa.

Ozubené kolesá malých rozmerov (pastorky) v prípade, ak nie je splnená podmienka minimálnej hrúbky stojiny sa vyrábajú ako súčasť hriadeľa (obr. 1a).



Obr. 1. Čelný pastorok: a) vyrobený priamo na hriadeľi, b) samostatný

V sériovej výrobe, pokiaľ to rozmery umožňujú býva pastorok spravidla samostatný (obr. 1b), čo umožňuje používať vhodnejší materiál ako sa používa na hriadele.

Polotovary telies spolu zaberajúcich čelných ozubených kolies môžu byť vyrobené zvaráním (obr. 2), odlievaním alebo kovaním (obr. 3).

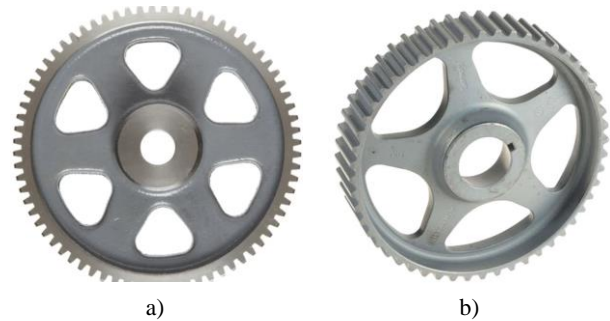


Obr. 2. Zvárané teleso čelného ozubeného kolesa

Pri priemeroch ozubených kolies od 150 mm do 200 mm sa používa kovanie. Kovanie sa využíva sa prevažne na výrobu polotovaru pre ozubené kolesá, ktorý bude neskôr opracovaný do konečnej podoby. Tieto polotovary sú tvorené operáciami ako je voľné kovanie alebo zápustkové kovanie. Zuby kolesa sú kované s prídavkom materiálu okolo profilu zuba. Na výrobu kovaných ozubených kolies sa môžu používať železné aj neželezné kovy ako je uhlíková oceľ,

legovaná oceľ, antikorozívna oceľ, titán, nikel, hliník a nástrojová oceľ.

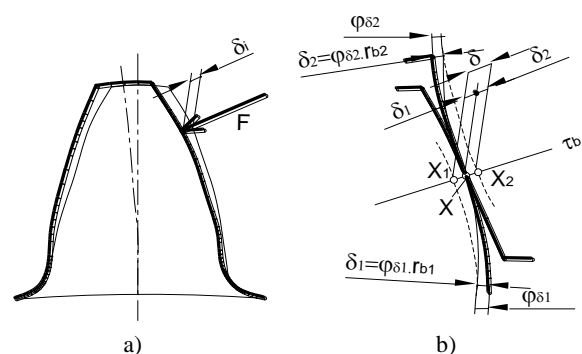
Pre ozubené kolesá väčších rozmerov sa ako polotovary používajú odlátky. Spojenie náboja s vencom sa v tomto prípade realizuje pomocou ramien s rôznym prierezom. Odlievania sa používa väčšinou na vytváranie polotovarov pre ozubené kolesá veľkých rozmerov. Sú menej únosné ako kolesá kované. Vyrábajú sa zo sivej liatiny pre obvodovú rýchlosť $v < 7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a z oceleliatiny pre obvodovú rýchlosť $v < 20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Pre priemer čelného ozubeného kolesa $d > 500 \text{ mm}$.



Obr. 3. Tvar telesa: a) kovaného, b) odlievaného ozubeného kolesa

2 DEFORMÁCIA OZUBENIA

Zuby ozubených kolies sa vplyvom zaťaženia deformujú. Pôsobením výslednej normálovej sily F sa zub jedného kolesa deformuje tak, ako je to na obr. 4a) znázornené hrubou čiarou. Výsledná deformácia zuba v smere pôsobenia normálovej sily δ_i ($i = 1, 2$ - index, ktorý udáva, či ide o zub pastorka - hnacieho kolesa alebo zub hnaného kolesa) sa skladá z deformácie od ohybu, šmyku, deformácie v mieste votknutia a od dotykovej deformácie.



Obr. 4. Deformácia: a) zuba, b) páru spolu zaberajúcich zubov

V skutočnosti je však potrebné určiť deformáciu spolu zaberajúcich zubov, čiže deformáciu páru zubov, ktorá sa dá predstaviť a ilustrovať na obr. 4b. Na tomto obrázku je znázornená časť páru zubov, ktoré sa na záberovej priamke τ_b v nezaťaženom stave dotýkajú v bode X . Po zaťažení sa profily oboch spolu zaberajúcich zubov deformujú do tvaru znázorneného čiarkovanou čiarou na príslušnom

obrázku. Tieto už deformované profily zubov pretnú priamku záberu v bodoch X_1 a X_2 . Celková deformácia tohto páru zubov δ sa môže potom určiť ako súčet deformácií oboch zubov $\delta_1 + \delta_2$. Na obrázku sú ďalej zobrazené uhly $\varphi_{\delta 1}$ a $\varphi_{\delta 2}$. Sú to uhly, o ktoré sa musia jednotlivé kolesá pootočiť, aby sa znova stretli v bode X , tak, ako je to v skutočnosti.

Deformácia jednotlivých párov zubov sa mení po dráhe záberu. Zub má maximálnu deformáciu, ak pôsobí sila na špičke zuba, a to následkom veľkej deformácie zuba od ohybu.

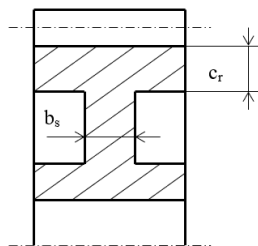
3 VPLYV TVARU A ROZMEROV TELESA OZUBENÉHO KOLESA NA DEFORMÁCIU OZUBENIA

Analýza vplyvu tvaru telesa čelného ozubeného kolesa na záberovú tuhosť ozubenia je riešená na základe výsledkov deformácie ozubenia. V tejto práci je deformácia ozubenia riešená pomocou metódy konečných prvkov. Podmienkou úspešného zvládnutia tejto problematiky bolo vytvorenie výpočtového modelu skúmaného ozubeného súkolesia, ktorý je podkladom pre riešenie úloh statickej deformačnej analýzy metódou konečných prvkov použitím programu *SolidWorks*.

Zaťaženie zubov čelného evolventného súkolesia má spojitý charakter. Pre riešenie bežných úloh pevnostného výpočtu ozubenia, výpočtu hriadeľov, uloženia ozubených kolies a podobne, sa spojitě zaťaženie nahrádza osamelou silou. Skúmané boli maximálne deformácie, keď zaťaženie pôsobí na hlave zuba.

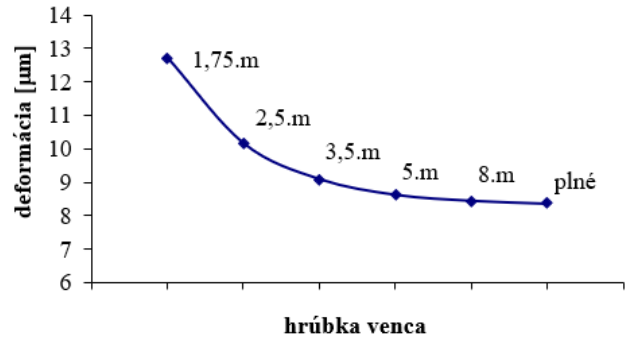
3.1 Vplyv hrúbky venca na deformáciu ozubenia

Vplyv hrúbky venca c_r (obr. 5) na deformáciu ozubenia sa bude zisťovať na modeli čelného ozubeného kolesa s priamymi zubami.



Obr. 5. Konštrukcia telesa: c_r - hrúbka venca, h - hrúbka stojiny

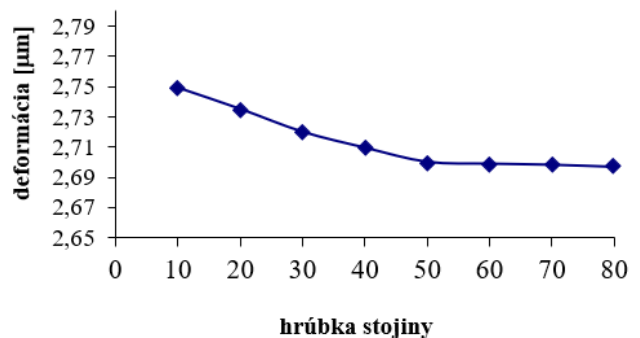
Na obr. 6 je znázornená závislosť deformácie ozubenia od hrúbky venca. Zistené výsledky ukazujú, že znižovaním hrúbky venca sa zväčšuje deformácia zubov. Ako zo zistených hodnôt vyplýva, do veľkostí venca 3,5 m sa deformácia mení väčšou zmenou. Pričom m je hodnota normalizovaného modulu.



Obr. 6. Vplyv hrúbky venca na deformáciu ozubenia

3.2 Vplyv hrúbky stojiny na deformáciu ozubenia

Z obr. 7 vidieť, že pri zväčšovaní šírky stojiny h , ktorá je umiestnená v strede šírky ozubeného kolesa sa deformácia mierne znižuje.

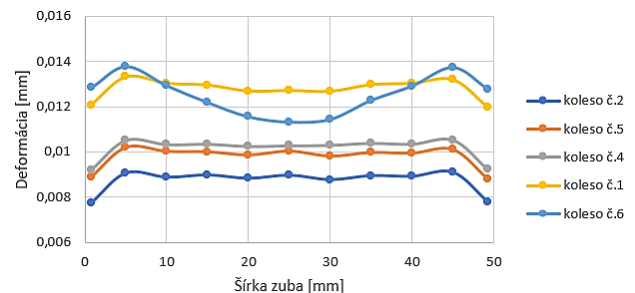


Obr. 7. Vplyv hrúbky venca na deformáciu ozubenia

Umiestnenie stojiny ovplyvňuje deformáciu ozubenia.

3.3 Vplyv voľby tvaru telesa ozubeného kolesa deformáciu ozubenia


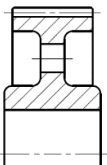

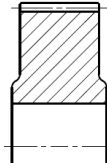

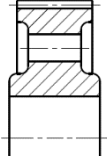

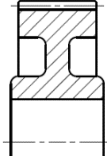
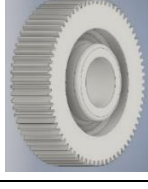
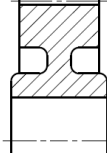

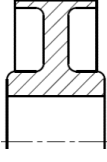
V tab. 1 sú udané tvary telies ozubených kolies, na ktorých bola skúmaná deformácia ozubenia. Veľkosť ozubenia je pre všetky ozubené kolesá rovnaká.



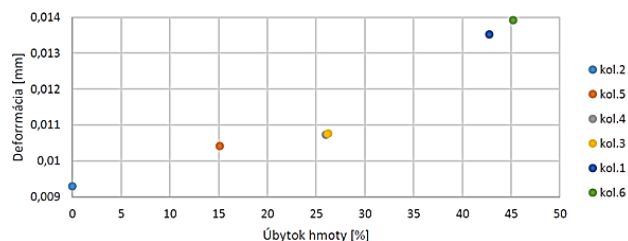
Obr. 9. Porovnanie deformácie zuba po šírke kovaného kolesa pre jednotlivé modely

Obrázok 9 zobrazuje rozloženie deformácie po šírke zuba, ak zaťaženie pôsobí na hlave zuba pre jednotlivé modely tvarov kovaných ozubených kolies.

Tab. 1. Tvary čelných ozubených kolies

Poradie	Model	
Koleso č. 1		
Koleso č. 2		
Koleso č. 3		
Koleso č. 4		
Koleso č. 5		
Koleso č. 6		

Z obrázku vyplýva, že rozloženie deformácie po šírke ozubenia je pre všetky skúmané tvary kovaných telies ozubených kolies porovnateľne rovnaká. Výnimku to tvorí model č. 6 (tab. 1), ktorého hrúbka venca je najmenšia.



Obr. 10. Vplyvu úbytku materiálu na maximálnu deformáciu ozubenia

Porovnanie vplyvu úbytku materiálu na deformáciu ozubenia je zobrazený na obr. 10. Čím je väčší úbytok hmoty, tým väčšia je výsledná deformácia ozubenia.

Porovnaním vplyvu percentuálneho úbytku hmoty na deformáciu ozubenia sa ako najvhodnejšie varianty javia kované kolesá s označením koleso č. 3 a č. 4 (tab. 1). Tieto kolesá majú veľmi podobnú deformáciu ozubenia aj úbytok hmoty, pričom sa tvarovo navzájom odlišujú. Výhodnejší sa javí variant tvarového riešenia pre koleso č. 4, pretože je z hľadiska ekonomiky výhodnejšie ako koleso č. 3, ktoré má na výrobu komplikovanejší tvar a je u neho nutnosť vyvrtávať odľahčovacie diery.

ZÁVER

Ozubené kolesá sú navrhované v rôznych vyhotoveniach. V súlade s presným návrhom ozubenia je potrebné venovať sa problematike návrhu vhodného tvaru telesa ozubeného kolesa. Na ich parametre sú v súčasnosti sú kladené stále vyššie nároky. Prejavuje sa to v raste a dynamickosti zaťaženi, pri ich čo najnižšej možnej hmotnosti a teda úspore materiálu avšak pre požadovanú životnosť a spoľahlivosť ozubených prevodov.

PodĎakovanie

Príspevok bol vypracovaný v rámci riešenia grantových projektov: KEGA 037TUKE-4/2024, KEGA 029TUKE-4/2021 a VEGA 1 /0346/24.

LITERATÚRA

- [1] CZECH, P. - ŁAZARZ, B. - TUROŃ, K. (2017): *Influence of conditions of vehicle motion on its economy*. In: *Autobusy*, No. 6, pp. 136-142, ISSN: 1509-5878.
- [2] KUCZAJ, M. et al. (2023): *Research on Vibroactivity of Toothed Gears with Highly Flexible Metal Clutch under Variable Load Conditions*. In: *Sensors*, Vol. 23, pp 287.
- [3] BUKOVSKÁ, Š. - MORAVEC, J. - SOLFRONK, P. - PEKÁREK, M. (2022): *Assessment of the Effect of Residual Stresses Arising in the HAZ of Welds on the Fatigue Life of S700MC Steel*. In: *Metals*, Vol. 12, 1890.
- [4] MORAVEC, J. - KOPAS, P. - JAKUBOVIČOVÁ, L. - LEITNER, B. (2018): *Experimental casting of forging ingots from model material*. In: *MMS 2017, MATEC Web of Conference*, pp. 157.
- [5] CZECH, P. (2018): *Autonomous vehicles: basic issues*. In: *Scientific Journal of Silesian University of Technology = Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej: Series Transport: Seria Transport*, Vol. 100, pp. 15-22.
- [6] MORAVEC, J. - GRYC, K. (2021): *Forming and Heat Treatment of Modern Metallic Materials*. In: *Metals*, Vol. 11, 1106.

Aplikácia solenoidu pri magnetickom tvárnení

Ján Moravec, doc. Ing., PhD.*

Katedra technologického inžinierstva, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.
E-mail: jan.moravec@fstroj.uniza.sk, Tel.: +421 41 513 2764

Application of solenoid in magnetic forming

Abstract: In the contribution, the theoretical part points out the known starting points for calculating the inductance of a long cylindrical coil. In the practical part, the method of application of magnetic forming in the production of tins in lead samples is presented. The results confirm the correctness of the hypothesis.

Keywords: solenoid, samples, forming.

ÚVOD

Cieľom príspevku je poukázať na rozličné okolnosti a danosti vstupujúce do výpočtov indukčnosti dlhej valcovej cievky - solenoidu so závitmi navinutými tesne pri sebe. V monografii [1] som sa na stranách 33 až 36 venoval problematike stanovenia magnetickej intenzity na osi jednovrstvovej cievky. V ďalšom texte bude prebraný problém výpočtu indukčnosti takejto cievky.

1 TEORETICKÉ POZNATKY

Približný výpočet indukčnosti dlhej valcovej cievky, ktorá má závitov tesne pri sebe.

Pre silu magnetického poľa vo veľmi dlhej cievke bolo odvodené [1-6]:

$$F_m \doteq \frac{z \cdot I}{l}. \quad (1)$$

Indukcia je:

$$B = \mu_o \cdot F_m = \mu_o \cdot \frac{z \cdot I}{l}. \quad (2)$$

Pre magnetický tok vychádza:

$$\phi = B \cdot S = \mu_o \cdot \frac{z \cdot I}{l} \cdot F, \quad (3)$$

Indukčnosť:

$$L = \frac{\psi}{I} = \frac{z \cdot \phi}{I} = \frac{\mu \cdot z^2 \cdot S}{l}. \quad (4)$$

Pre vzduch je:

$$\mu_o = 1,256 \cdot 10^{-6} \frac{\text{H}}{\text{m}}. \quad (5)$$

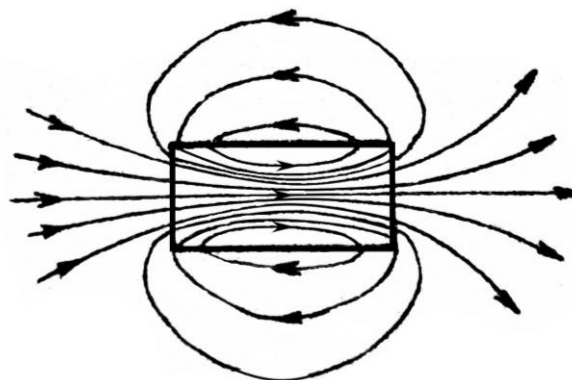
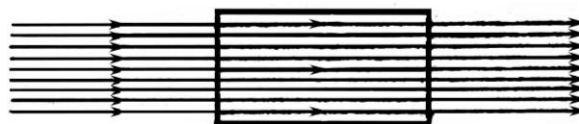
Takže napokon:

$$L = \frac{1,256 \cdot z^2 \cdot F}{l} \cdot 10^{-6} \left[\text{m}^2, \text{m}, \text{H} \right], \quad (6)$$

Nepresnosť výpočtu spočíva v tom, že sila magnetického poľa H , stanovená podľa uvedeného vzťahu neplatí celkom presne pre celý vnútorný priestor cievky [7-9]. Podobne neplatí presne ani výpočet celkového magnetického toku podľa bežného vzorca:

$$\oint = B \cdot S. \quad (8)$$

Názorne je to uvedené na obr.1 hore, kde je naznačený predpokladaný tvar poľa, zatiaľ čo skutočný tvar je na obr. 1 dolu.



Obr. 1. Tvar magnetického poľa

Presnejší výpočet ponúka vzorec:

$$L = \frac{1,256 \cdot z^2 \cdot F}{l} \cdot \left(1 - \frac{8 \cdot R}{3 \cdot \pi \cdot l} + \frac{R^2}{2 \cdot l \cdot \xi} \right) 10^{-6}, \quad (7)$$

$$\frac{l}{\xi} = 1 - \operatorname{tg}^2 \frac{\varphi}{2} - \frac{1}{4} \cdot \cos \varphi \cdot \sin \varphi \cdot \left(1 - \frac{\sin^2 \varphi}{2} + \frac{15}{16} \cdot \sin \varphi + \dots \right) \quad (8)$$

$$\sin \varphi = \frac{R}{\sqrt{R^2 + l^2}}$$

1.1 Aplikácia

Dané: $z = 606$, $R = 0,0854$ m, $l = 0,834$ m.

Indukčnosť vypočítaná podľa jednoduchého vzorca bude: $L = 12,68$ m·H. Pri použití presnejšieho vzťahu je: $L = 11,59$ m·H. Rozdiel je 8,6 %. Otázka je, prečo je potrebné sa zapodievať takýmito údajmi. Odpoveď dáva presne to isté, čo už *S. Mikovíni* povedal pred 300 rokmi. Prosím o pozretie citátu na začiatku tohto čísla *Technológa*.

2 EXPERIMENT

2.1 Použitie zariadenie pre tvárnenie magnetickým rázom

Experimentálne práce boli vykonané na zariadení prezentovanom na obr. 1. Tvárnilo sa desať kusov vzoriek. Tvárnenie bolo aplikované s voľným jadrom, kedy sa tvárnili olovené vzorky hranatého tvaru s rozmermi 35x35 mm s hrúbkou 7 mm.



Obr. 1. Zariadenie pri experimentálnom tvárnení voľným jadrom

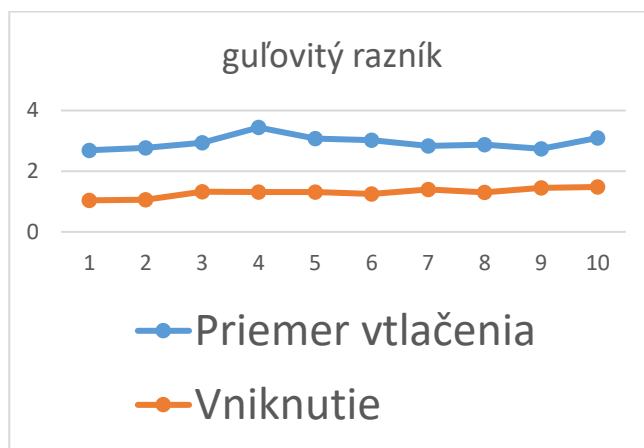
2.2 Experimentálne výsledky-vtláčanie polguľovitého razníka

Výsledky dosiahnuté pri experimentoch s aplikovaním voľného jadra (razníka) ukazujú, že takýto spôsob tvárnenia je vhodný z viacerých dôvodov. Prvým je rýchlosť procesu, kedy ide pri samotnej práci o časový úsek vyjadrený v stotínach sekúnd. V našom prípade je to 0,03 s. Druhá prednosť je z pohľadu ľahkej automatizácie pri použití tohto druhu tvárnenia. Pri analýze výsledkov z tab. 1 sa ukazuje, že ide o relatívne stabilný proces, keďže rozdiel medzi maximálnou hodnotou 3,44 mm a minimálnou hodnotou 2,69 mm je pri priemere vtláčania 0,77 mm. Rozdiel medzi maximálnou hodnotou 1,48 mm a minimálnou hodnotou 1,04 mm je pri parametre vniknutia 0,44 mm. Hodnoty sú pre

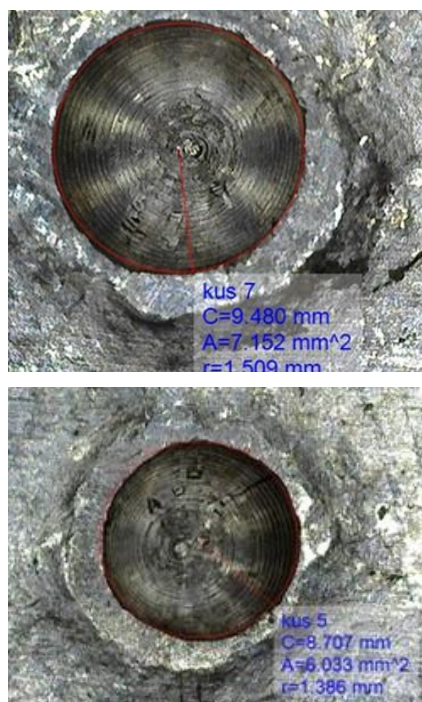
tento úsek vyrovnané a stabilné. Vzorky boli merané na zariadení *Dino-Lite*.

Tab. 1. Výsledky experimentov guľovitý razník

Číslo vzorky	Priemer vtláčania [mm]	Vniknutie [mm]
1	2,69	1,04
2	2,77	1,06
3	2,94	1,32
4	3,44	1,31
5	3,08	1,31
6	3,02	1,25
7	2,83	1,40
8	2,88	1,30
9	2,74	1,45
10	3,10	1,48



Obr. 2. Graf podľa tab. 1



Obr. 3. Dutiny vo vzorkách pri meraní na prístroji *Dino-Lite*

Tvárnenie v oblasti objemového spektra je možné a ukazuje sa ako produktívne a takisto schodné pri vytváraní dutín a vtlačkov, reliéfov a úpravy povrchov. Olovené vzorky celkom vhodne poslúžili ako modelový materiál pre túto oblasť a základe dosiahnutých výsledkov sa dá usudzovať, že riešenie je vhodné pre priemyselné využitie pri použití výkonnejších zariadení [10].

3 DISKUSIA

1. Prienik (vtlačenie) bolo dosiahnuté pri veľkom zrýchlení razníka a tiež jeho vplyv tu má, samozrejme, jeho geometrický tvar. Opísané experimenty jasne ukazujú, že aplikácia magnetického impulzu je vhodná na tvorbu dutín.
2. Tvárnenie v oblasti objemového spektra je možné a ukazuje sa ako produktívne a tiež realizovateľné pri vytváraní dutín. Dôležité je spomenúť aj ekologickú stránku procesu. Potrebná elektrická energia dodávaná do zariadenia môže byť aj z alternatívneho zdroja a pracovisko nezaťažuje životné prostredie ako napr. v prípade použitia klasického tvárniaceho stroja a celokovových tvárniacich nástrojov.

ZÁVER

V príspevku bola pozornosť zameraná na využitie magnetických javov v technológii výroby dutín vo vzorkách. Ciele experimentov možno hodnotiť ako dosiahnuté a splnené. Publikované zariadenie zabezpečilo vykonávanie experimentov na tvorbe dutín vo vzorkách. Laboratórne experimentálne riešenie ukázalo spôsob, akým sa dajú fyzikálne poznatky pohodlne aplikovať v priemyselnej výrobe. Potvrdilo sa, že pomerne jednoduché riešenie s aplikáciou magnetického poľa zabezpečí presné, rýchle a kvalitné vytváranie dutín v kovových materiáloch. Získané výsledky potvrdili aj vhodnosť tohto riešenia pre aplikáciu vo výrobnom procese. Vytváranie dutín je jednou z najvýznamnejších prác pri výrobe, napr. dutinových nástrojov. Realizácia

tohto druhu práce v sebe spája niekoľko výhod: rýchlosť výroby, presnosť, veľmi dobrá výsledná kvalita dutín a tiež dobrá reprodukovateľnosť výsledkov. Popísané riešenie dopĺňa a zároveň rozširuje sféru objemového tvarovania. Možno dodať, že práca s voľným jadrom je jednoduchá a spoľahlivá. Publikované výsledky budú určite dobrým základom pre ďalšiu výskumnú prácu v tejto oblasti.

Pod'akovanie

Táto práca bola podporená projektom KEGA 022ŽU4/2021 Vedeckej grantovej agentúry Ministerstva školstva SR.

LITERATÚRA

- [1] MORAVEC, J. (2023): *Aplikácie magnetického rázu v tvárnení*. ŽU Žilina, ISBN 978-80-554-1064-0.
- [2] FEYNMAN, R. P. (1988): *Feynmanove prednášky z Fyziky 3*. ALFA Bratislava
- [3] HAJKO, V. - POTOCKÝ, L. - ZENTKO, A. (1982): *Magnetizačné procesy*. ALFA Bratislava.
- [4] KOLÁČEK, P. (1904): *Elektřina a magnetismus*. Praha.
- [5] TIRPÁK, A. (1999): *Elektromagnetismus*, Polygrafia SAV Bratislava, ISBN 80-88780-26-8.
- [6] KNEPP, L. (1988): *Magnetické pole*, SVŠT Bratislava.
- [7] KRISTENSSON, G. (2017): *Scatering of Electromagnetics waves by Obstacles*. University Lund, Sweden, 760 pp, ISBN 978-1-613353-8.
- [8] FUKA, B. - HAVELKA, J. (1978): *Elektromagnetické pole*, SPN Praha, 522 strán.
- [9] KUBRYCHT, J. (1974): *Magnetismus a elektromagnetismus*. SNTL Praha.
- [10] MORAVEC, J. (2016): *Magnetic Field Application in Area of Sheet Metal Forming*. In: 25th Anniversary International Conference on Metallurgy and materials, May 25th -27th, Brno, p, 303-310, ISSN 978-80-87294-67-3.

Pneumatické pružné hriadel'ové spojky v pohonoch mechanických sústav

Peter Kaššay, doc. Ing., PhD.*

Katedra konštrukčného a dopravného inžinierstva, Strojnícka fakulta,
Technická univerzita v Košiciach,
Letná 1/9, 042 00 Košice - Sever.
E-mail: peter.kassay@tuke.sk, Tel.: +421 55 602 2369

Matej Urbanský, Ing., PhD.

Katedra konštrukčného a dopravného inžinierstva, Strojnícka fakulta
Technická univerzita v Košiciach,
Letná 1/9, 042 00 Košice - Sever.
E-mail: matej.urbansky@tuke.sk, Tel.: +421 55 602 2368

Pneumatic flexible shaft couplings in drives of mechanical systems

Abstract: The article presents a newly developed pneumatic flexible shaft coupling with hose flexible element usable, among other applications, in drives of mechanical systems. The presented coupling uses a hose-shaped flexible element winding between the supporting surfaces of coupling's driving and driven hub. As the torque transfer is ensured with compressed air, the torsional stiffness of coupling can be adapted to actual operating parameters (rotational speed) with change of air pressure inside the flexible elements. This makes the presented coupling suitable for semi-active torsional vibration control. A patent was also granted for the presented coupling design. The design of hose-shaped element enables reliable sealing of compression volume and it is also easy to assemble and dismantle.

Keywords: pneumatic flexible shaft coupling, semi-active vibration isolation, patent.

ÚVOD

V súčasnosti bežne používané pružné hriadel'ové spojky zabezpečujú pružný prenos krútiaceho momentu pomocou kovových alebo gumových pružných elementov. Pružné hriadel'ové spojky okrem toho, že prenášajú krútiaci moment, zabezpečujú aj ďalšie dôležité funkcie ako vyrovnanie malých radiálnych a axiálnych odchýlok polohy spájaných hriadel'ov, a hlavne tlmia torzné kmitanie a momentové rázy. Dôležitým mechanickým parametrom pružných spojok v mechanických sústavách s periodicky sa meniacim krútiacim momentom je ich dynamická torzná tuhosť. Dynamická torzná tuhosť ovplyvňuje hodnotu vlastnej frekvencie torzného kmitania mechanickej sústavy. Hodnota dynamickej torznej tuhosti hriadel'ových spojok počas prevádzky závisí nielen od použitých pružných elementov, ale aj prevádzkových parametrov ako napríklad: stredná (statická) hodnota prenášaného krútiaceho momentu, amplitúda a frekvencia budiacich harmonických zložiek krútiaceho momentu, teplota pružného elementu a ďalších. Aby bola mechanická sústava dobre vyladená z hľadiska torzného kmitania, tak je potrebné vybrať pružnú hriadel'ovú spojku, ktorá bude mať vhodnú dynamickú torznú tuhosť. Túto

však už potom nie je možné (aktívne) meniť. K zmene mechanických vlastností gumených pružných elementov dochádza aj vplyvom starnutia materiálu pružných elementov a opotrebenia od premenlivej záťaže. Preto platí, že aj keď je pružná spojka vhodne zvolená, tak po určitom čase môže dôjsť k rozladieniu mechanickej sústavy z hľadiska torzného kmitania.

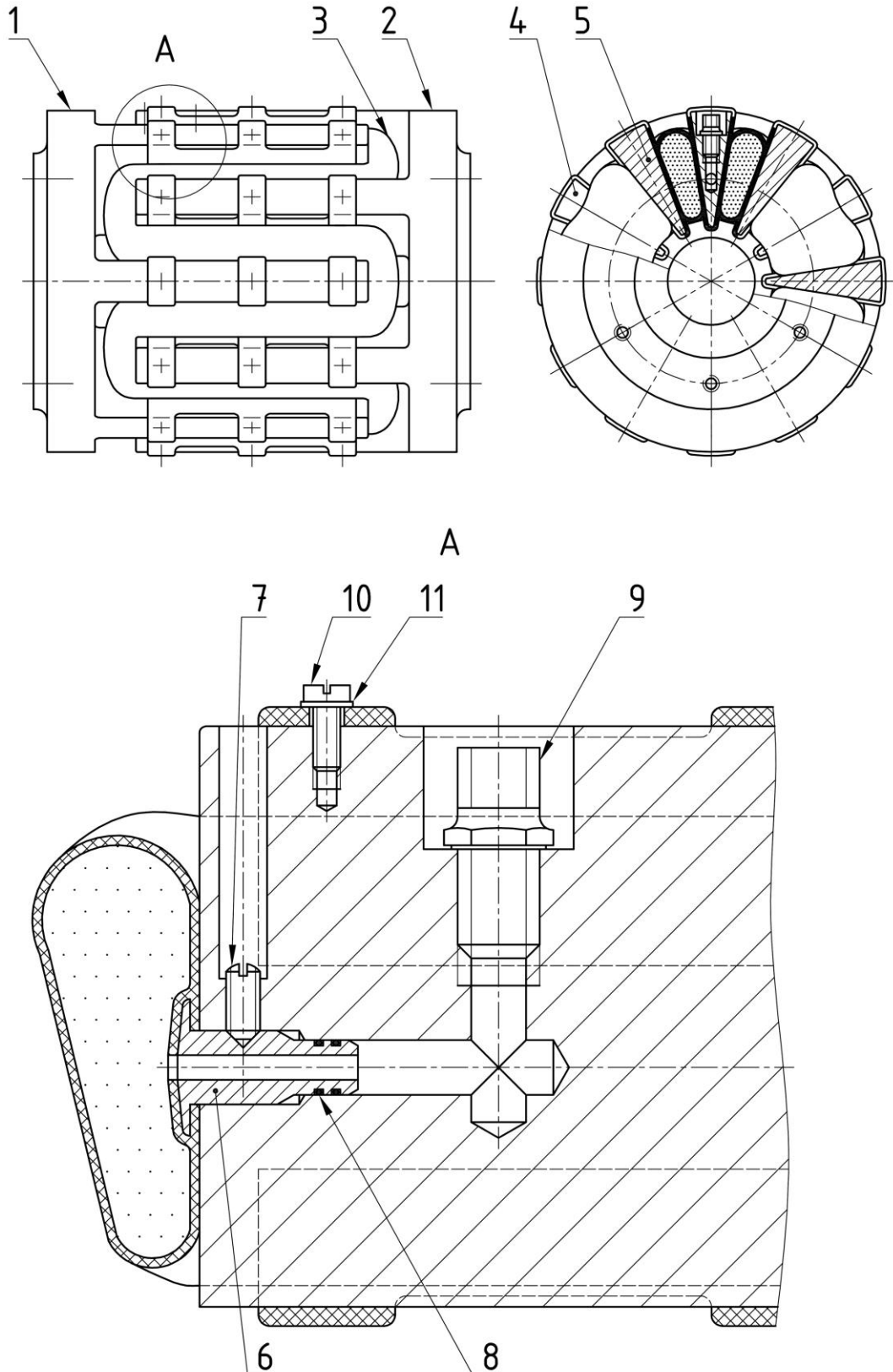
Nevýhody doteraz používaných pružných hriadel'ových spojok je možné eliminovať použitím pneumatických pružných elementov, v ktorých je pružný prenos krútiaceho momentu zabezpečený pomocou stlačeného plynného média. Tlak plynného média v týchto pružných elementoch je možné meniť. Tým je možné vhodne prispôbiť dynamickú torznú tuhosť spojky aktuálnemu prevádzkovému režimu mechanickej sústavy, čo umožňuje ich využitie ako prvku pre semiaktívnu vibroizoláciu torzne kmitajúcich mechanických sústav. Je však nutné spomenúť, že zmenu tuhosti je možné dosiahnuť rôznymi spôsobmi, ako napríklad listovými pružinami s meniteľnou aktívnou dĺžkou, magnetmi, magnetoreologickými elastómerni, predpätými mechanizmami atď. [1-30]. Ďalšou veľkou výhodou týchto pneumatických pružných elementov je to, že plynné médium nepodlieha starnutiu ani opotrebeniu. Spojky využívajúce pneumatické pružné elementy sa

zaraďujú do skupiny pneumatických pružných hriadeľových spojok.

Cieľom príspevku je predstaviť novo vyvinutú „Pneumatickú pružnú hriadeľovú spojku s hadicovým pružným elementom“, na ktorej technické riešenie bola udelená ochrana formou patentu [13].

1 PNEUMATICKÁ PRUŽNÁ HRIADEĽOVÁ SPOJKA S HADICOVÝM PRUŽNÝM ELEMENTOM

Táto spojka, znázornená na obr. 1, využíva na pružný prenos krútiaceho momentu nový typ pneumatického pružného elementu - hadicový pružný element. Ide o



Obr. 1. Pneumatická pružná hriadeľová spojka s hadicovým pružným elementom

pružný element tvaru hadice vinúcej sa medzi opornými plochami hnacieho a hnaného kotúča spojky. Pneumatická pružná hriadeľová spojka s hadicovým pružným elementom sa skladá z hnacieho kotúča (1) a hnaného kotúča (2), ktoré sú pružne spojené pomocou hadicového pružného elementu (3). Hadicový pružný element sa vinie medzi opornými plochami (4) hnacieho kotúča spojky a opornými plochami (5) hnaného kotúča spojky. Stlačené plynné médium je do pružného elementu privádzané cez pneumatickú koncovku (6), ktorá je v otvore opornej plochy zaistená nastavovacou skrutkou (7). Utesnenie koncovky v kotúči je riešené pomocou tesniacich krúžkov (8). Stlačené plynné médium je do spojky privádzané cez plniaci ventil (9). Upevnenie pružného elementu k oporným plochám kotúčov spojky je zabezpečené pomocou skrutiek (10) a podložiek (11). Vplyvom vzájomného pootočenia kotúčov spojky z neutrálnej polohy dochádza ku stláčaniu kompresného objemu hadicového pružného elementu, čím sa zabezpečí pružný prenos krútiaceho momentu medzi hnacím a hnaným kotúčom.

Výhodou tohto hadicového pružného elementu je to, že kompresný objem celej pneumatickej pružnej spojky s hadicovým pružným elementom je potom nutné utesniť len v mieste pneumatickej koncovky a plniaceho ventilu zabezpečujúcich prívod stlačeného plynného média. Konštrukcia hadicového pružného elementu navyše umožňuje jeho rýchlu a jednoduchú montáž, a v prípade potreby aj demontáž.

ZÁVER

Pneumatickú pružnú hriadeľovú spojku s hadicovým pružným elementom je možné aplikovať v sústavách mechanických pohonov. Umožňuje pružný prenos krútiaceho momentu a vďaka možnosti zmeny jej torznej tuhosti sa zabezpečí vyladenie týchto sústav pri rôznych pracovných režimoch. Konštrukcia hadicového pružného elementu navyše zabezpečuje spoľahlivé utesnenie kompresného objemu, a jeho jednoduchú montáž prípadne demontáž. Pneumatická pružná hriadeľová spojka s hadicovým pružným elementom preto bude zvyšovať technickú úroveň a spoľahlivosť mechanických sústav, v ktorých bude zaradená.

Pod'akovanie

Príspevok bol vypracovaný v rámci riešenia grantových projektov:

KEGA 029TUKE-4/2021 - Implementácia moderných edukačných prístupov pri konštruovaní prevodových mechanizmov.

KEGA 037TUKE-4/2024 - Vytvorenie interaktívneho nástroja pre zvýšenie zručností a kompetencií študentov v rámci výučby predmetov zameraných na tvorbu konštrukčnej dokumentácie.

VEGA 1 /0346/24 - Vývoj inovatívnych systémov a prvkov pre redukciu torzných vibrácií v mechanických pohonoch

LITERATÚRA

- [1] BEHROOZ, M. - WANG, X. - GORDANINEJAD, F. (2014): *Modeling of a new semi-active/passive magnetorheological elastomer isolator*. In: Smart Materials and Structures, Vol. 23, No. 4.
- [2] DUDA, M. - ŁAZARZ, B. - CZECH, P. - MAŃKA, A. - MATYJA, T. (2015): *Vibration-isolating action of seats in a passenger car*. In: TTS Technika Transportu Szynowego, Vol. 22, No. 12, pp. 453-458.
- [3] FANG, L. - WANG, Y. (2017): *Stiffness analysis of a variable stiffness joint using a leaf spring*. In: Lecture Notes in Computer Science, Vol. 10463 LNAI, pp. 225-237.
- [4] FILIPOWICZ, K. (2019): *Vibration damping in torsionally flexible metal clutch for applications in mining machines*. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Vol. 261.
- [5] HAM, V. R. - SUGAR, T. G. - VANDERBORGHT, B. - HOLLANDER, K. W. - LEFEBER, D. (2009): *Compliant actuator designs: Review of actuators with passive adjustable compliance/controllable stiffness for robotic applications*. In: IEEE Robotics and Automation Magazine, Vol. 16, No. 3, pp. 81-94.
- [6] HOMIŠIN, J. (2002): *Nové typy pružných hriadeľových spojok, vývoj - výskum - aplikácia*. Košice, Viena, ISBN 80-7099-834-2.
- [7] HOMIŠIN, J. (2016): *Characteristics of pneumatic tuners of torsional oscillation as a result of patent activity*. In: Acta Mechanica et Automatica, Vol. 10, No. 4 (38), pp. 316-323, ISSN 1898-4088.
- [8] HOMIŠIN, J. - KAŠŠAY, P. (2012): *Influence of temperature on characteristics properties of flexible coupling*. In: Transport Problems, Vol. 7, No. 4, pp. 123-129.
- [9] CHOI, J. - HONG, S. - LEE, W. - KANG, S. (2009): *A variable stiffness joint using leaf springs for robot manipulators*. In: Proceedings - IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 4363-4368.
- [10] CHOI, J. - HONG, S. - LEE, W. - KANG, S. - KIM, M. (2011): *A robot joint with variable stiffness using leaf springs*. In: IEEE Transactions on Robotics, Vol. 27, No. 2, pp. 229-238.
- [11] JIN, H. - LUO, M. - LU, S. - HE, Q. - LIN, Y. (2023). *Design and Analysis of a Novel Variable Stiffness Joint for Robot*. In: Actuators, Vol. 12, No. 1.

- [12] JÍROVÁ, R. - PEŠÍK, L. (2021): *Pneumatic vibroisolation system of the base desk with natural frequency regulation*. In: Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport, Vol. 113, pp. 91-100.
- [13] KAŠŠAY, P. (2020): *Pneumatická pružná hriadel'ová spojka s hadicovým pružným elementom: Patent SK 288800 B6*. ÚPV SR, Banská Bystrica.
- [14] KAŠŠAY, P. - URBANSKÝ, M. - MALÁKOVÁ, S. - KRAJŇÁK, J. (2021): *Verification of Torsional Vibration Extremal Control*. In: Projektowanie, badania i eksploatacja, pp. 157-162.
- [15] KINNUNEN, K. - LAINE, S. - TIAINEN, T. - VIITALA, R. (2022): *Method for Adjusting Torsional Natural Frequencies of Powertrains with Novel Coupling Design*. In: Machines, Vol. 10, No. 3.
- [16] KINNUNEN, K. - LAINE, S. - TIAINEN, T. - VIITALA, R. - SEPPÄNEN, A. - TURRIN, T. - VIITALA, R. (2021): *Coupling with adjustable torsional stiffness*. In: Proceedings of the Estonian Academy of Sciences, Vol. 70, No. 4, pp. 470-476.
- [17] KOŁODZIEJ, P. - BORYGA, M. (2014): *Frequency analysis of coupling with adjustable torsional flexibility*. In: Eksploatacja i Niezawodność, Vol. 16, No. 2, pp. 325-329.
- [18] KOWAL, A. - FILIPOWICZ, K. (2007): *The construction of metal flexible torsional coupling*. In: Transport Problems, Vol. 2, No. 3, pp. 69-76.
- [19] LEDEZMA-RAMIREZ, D. F. - FERGUSON, N. S. - BRENNAN, M. J. (2011): *Shock isolation using an isolator with switchable stiffness*. In: Journal of Sound and Vibration, Vol. 330, No. 5, pp. 868-882.
- [20] LEE, K. H. - PARK, J. E. - KIM, Y. K. (2019): *Design of a stiffness variable flexible coupling using magnetorheological elastomer for torsional vibration reduction*. In: Journal of Intelligent Material Systems and Structures, Vol. 30, No. 15, pp. 2212-2221.
- [21] LI, Z. - CHEN, W. - ZHANG, J. - LI, Q. - WANG, J. - FANG, Z. - YANG, G. (2022): *A novel cable-driven antagonistic joint designed with variable stiffness mechanisms*. In: Mechanism and Machine Theory, Vol. 171.
- [22] LIU, Y. - LIU, X. - YUAN, Z. - LIU, J. (2019). *Design and analysis of spring parallel variable stiffness actuator based on antagonistic principle*. In: Mechanism and Machine Theory, Vol. 140, pp. 44-58.
- [23] LUBIN, T. - VAHAJ, A. A. - RAHIDEH, A. (2020): *Design optimisation of an axial-flux reluctance magnetic coupling based on a two-dimensional semi-analytical model*. In: IET Electric Power Applications, Vol. 14, No. 5, pp. 901-910.
- [24] OPASIAK, T. - MARGIELEWICZ, J. - GAŚKA, D. - HANISZEWSKI, T. (2022): *Influence of changes in the working temperature of flexible couplings on their stiffness characteristics*. In: Transport Problems, Vol. 17, No. 4, pp. 177-186.
- [25] SARANI, B. - AHMADI, H. (2022): *Mechanical design and control of a novel variable impedance actuator (VIA) for knee joint of a rehabilitation exoskeleton*. In: Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, Vol. 44, No. 3.
- [26] SYAM, T. M. I. - HEGAZI, A. A. A. - MUTHALIF, A. G. A. - BADRI, Y. (2021): *Magnetorheological elastomer-based variable stiffness flexible coupling for vibration isolation*. In: Transactions of the Canadian Society for Mechanical Engineering, Vol. 46, No. 1.
- [27] VANDERBORGHT, B. - ALBU-SCHAEFFER, A. - BICCHI, A. - BURDET, E., CALDWELL, D. G. - CARLONI, R. - WOLF, S. (2013): *Variable impedance actuators: A review*. In: Robotics and Autonomous Systems, Vol. 61, No. 12, pp. 1601-1614.
- [28] WIECZOREK, A. N. - KONIECZNY, Ł. - WOJNAR, G. - WYROBA, R., FILIPOWICZ, K. - Kuczaj, M. (2024): *Reduction of dynamic loads in the drive system of mining scraper conveyors through the use of an innovative highly flexible metal coupling*. In: Eksploatacja i Niezawodność - Maintenance and Reliability, Vol. 26, No. 2.
- [29] WOLF, S. - HIRZINGER, G. (2008). *A new variable stiffness design: Matching requirements of the next robot generation*. In: Proceedings - IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 1741-1746. <https://doi.org/10.1109/ROBOT.2008.4543452>
- [30] ZHU, Y. - WU, Q. - CHEN, B. - XU, D. - SHAO, Z. (2022): *Design and Evaluation of a Novel Torque-Controllable Variable Stiffness Actuator with Reconfigurability*. In: IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, Vol. 27, No. 1, pp. 292-303.

Aplikácia nedeštruktívnych metód kontroly na zvarové spoje vyrobené z plastu

Radoslav Koňár, Ing., PhD.*

Katedra technologického inžinierstva, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina, Slovenská republika.
E-mail: radoslav.konar@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2799

Lucia Grünermelová, Ing.

TÜV SÜD Slovakia s.r.o.,
976 31 Vlkanová, Slovenská republika.
E-mail: lucia.gruenermelova@tuvsud.com, Tel.: + 421 903 806 041

Application of non-destructive inspection methods to welded joints made of plastic

Abstract: The article describes the possibilities of non-destructive testing of welds made of plastic materials. Both surface and volume methods of non-destructive testing can be used for plastic welds. Non-destructive testing of plastics has certain limitations. The limitations are related to the physical-mechanical properties of the material, as well as the geometry of the tested parts. The most common inspection of welds on plastic materials is a visual inspection, which is carried out to the extent of 100 %. For the inspection of plastic welds, it is also possible to use the penetration method and, with limitations, also ultrasonic and radiographic inspection.

Keywords: non-destructive testing, plastic materials, welding, joints.

ÚVOD

Plastové materiály sa dostávajú čoraz častejšie do popredia a začínajú nahrádzať kovové materiály v rôznych aplikáciách priemyslu. Často je potrebné plasty pri priemyselnej výrobe zvarat'. Technologii zvarania plastov je v súčasnej dobe pomerne veľa. Tak ako zvary na kovových materiáloch je potrebná nedeštruktívna kontrola aj na zvaroch plastov. Nedeštruktívna kontrola vychádza z použitej technológie zvarania plastov, ale tiež z typu plastu. V súčasnej dobe narastajú požiadavky na *NDT* kontroly plastových zvarov. Pre *NDT* kontrolu plastových zvarov je možné použiť vizuálnu, kapilárnu, ultrazvukovú a prežarovaciu metódu. Článok sa zaoberá *NDT* vizuálnou ultrazvukovou a prežarovacou kontrolou zvarov na materiáli polyetylén. Kontrolované zvarové spoje boli vyrobené technológiou zvarania na tupo horúcim telesom a elektrofúzne pomocou elektrotvarovky.

1 POLYETYLÉN

Polyetylén (*PE*) sa vyrába v niekoľkých základných typoch, ktoré sa od seba zásadne odlišujú niekoľkými významnými vlastnosťami. Spoločnú majú základnú surovinu pre výrobu - etylén. Z úžitkových vlastností sú spoločné najmä odolnosť proti nízkym teplotám, odolnosť voči pôsobeniu rozpúšťadiel a chemikálií.

Sú to materiály ľahšie ako voda a je potrebné ich chrániť proti *UV* žiareniu (napr. pridaním 2 % ÷ 4 % sadzí). Sadze majú aj ďalší pozitívny vedľajší vplyv, pretože pôsobia ako kryštalizačné jadrá, čím urýchľujú kryštalizáciu, a tým zlepšujú kvalitu materiálu a tiež zvarového spoja [1].

Vysokohustotný polyetylén (*PE-HD* - hustota cca. 0,95 g·cm⁻³) je lineárny, tvrdý a má 80 % kryštalického podielu. Materiály *PE-HD* sa hodia pre rozvod pitnej vody, kanalizáciu, odpady, ale aj pre plynárenské rozvody. Taktiež sa z nich vyrábajú stavebné izolačné fólie, obalový materiál, nádrže a priemyselné armatúry. *PE-HD* sa začína taviť pri teplote 120 °C ÷ 130 °C, maximálna trvalá prevádzková teplota je do 40 °C. Dobre odoláva zaťaženiu pri nízkych teplotách do -50 °C.

Pevnosť plastových materiálov je podľa nového spôsobu definovaná pomocou minimálnej požadovanej pevnosti *MSR*, ktorá sa používa pre polotovary vo forme rúr, resp. tvaroviek pre tlakové aplikácie. Základom je odolnosť proti vnútornému pretlaku vody pri 20 °C počas 50 rokov. *MSR* je podľa typu *PE 80* - 8,0 MPa, *PE 100* - 10,0 MPa, *PE 125* - 12,5 MPa [1].

Medzi najdôležitejšie charakteristiky materiálu *PE - HD* zaradujeme:

- kryštalický podiel - 80 %,

- hustota cca. $0,955 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$,
- index toku taveniny *MFR* (190/5) - $0,45 \text{ g}\cdot\text{min}^{-1}$,
- medza klzu v ťahu 21 MPa,
- modul pružnosti v ťahu 800 MPa,
- teplota tavenia 120 °C až 130 °C,
- teplota mäknutia podľa *Vicata* (*VST/B/50*) +67 °C,
- minimálna požadovaná pevnosť v ťahu *MRS* je min. 8 MPa [1].

Materiál typu *PE 100* má pre rúry hornú medzu prevádzkovej teploty 50 °C, avšak ešte pri 60 °C je životnosť materiálu vysoká. Všetky pevnostné skupiny *PE-HD* sú navzájom zvariteľné. Dôležitá je zvýšená odolnosť materiálu *PE 100* proti vzniku a šíreniu napätových trhlin, ktoré boli v minulosti slabinou bežných typov *PE-HD*. *PE 100* priniesol do priemyslu vyššiu kvalitu, predovšetkým vďaka zvýšenej pevnosti a odolnosti materiálu proti rýchlemu šíreniu trhliny, čím umožnil zvýšenie maximálneho prevádzkového zaťaženia konštrukcií a rúr.

Materiál *PE 100 RC* predstavuje vyšší typový rad *PE 100*. Hlavný rozdiel oproti materiálu *PE 100* je v štruktúre a prepojení vnútorných molekúl. Základnou vlastnosťou materiálu *PE 100 RC* je zvýšená odolnosť proti bodovej záťaži, resp. proti pomalému šíreniu trhliny [1, 6].

2 NEDEŠTRUKTÍVNE SKÚŠANIE ZVAROV Z PLASTOV

Pri kontrole zvarových spojov na plastových materiáloch (*polyetylén*, *polypropylén*) nie sú nedeštruktívne (*NDT*) kontroly vykonávané v takom rozsahu, ako pri zvaroch na oceliach. Je to spôsobené najmä fyzikálno-mechanickými vlastnosťami materiálu a tiež aj obmedzeniami súvisiacimi s používanými technológiami spájania plastových materiálov. Tieto dva fakty výrazne obmedzujú využitie *NDT* kontrol plastov.

Medzi použiteľné *NDT* kontroly zvarov na plastových materiáloch možno zaradiť z povrchových metód najmä vizuálnu kontrolu. Kapilárna metóda je použiteľná iba v špecifických prípadoch. Z objemových metód možno na kontrolu zvarov plastových potrubia a dosiek aplikovať röntgenovú kontrolu a čiastočne aj ultrazvukovú kontrolu.

V plastárskej praxi je najčastejšie využívaná pre kontrolu vizuálna kontrola. Po vyhovujúcej vizuálnej kontrole nasleduje pri uzavretých systémoch ako potrubia, nádrže, silá, zásobníky a pod. najčastejšie tlaková skúška a kontrola tesnosti, ktorá je niekedy nesprávne zamieňaná za tlakovú skúšku. Tlakovú skúšku je možné považovať za kontrolu mechanickej celistvosti a pevnosti systému.

Objemové kontroly prežiarením a ultrazvukom sú využívané iba vo výnimočných prípadoch. Ich aplikácia je často spojená s dodatočnými požiadavkami zákazníka, prípadne je realizovaná na skúšobných zvaroch potrebných pre prípravu a schválenie postupov zvárania *WPQR*.

Personál, vykonávajúci akúkoľvek *NDT* kontrolu na zvaroch z plastov rovnako, ako v prípade kontroly na oceľových potrubíach, musí byť kvalifikovaný a certifikovaný v súlade s *STN EN ISO 9712*.

2.1 Vizuálna kontrola

Vizuálna kontrola (*VT*) je jednou z najdôležitejších metód *NDT* skúšania pri kontrole zvarov z termoplastov. Je vykonávaná ako prvá a predchádza ostatným *NDT* kontrolám.

Vizuálna kontrola zvarových spojov na plastových materiáloch sa vykonáva za podmienok definovaných v norme *STN EN 13100-1*. Podmienky pozorovania pri vizuálnej kontrole sú podobné ako pri skúšaní zvarov na oceliach. Minimálna intenzita osvetlenia na skúšanom povrchu by mala byť min. 500 lx, vzdialenosť od povrchu pri priamej kontrole od 300 mm do 600 mm. Povrch musí byť pred skúškou očistený od cudzích častíc, ktoré môžu ovplyvniť výsledky kontroly (prach, zemina, masť a pod.). Príprava zvarov pre vizuálnu kontrolu je v prípade plastových zvarov jednoduchšia ako v prípade ocele, pretože pri zváraní sa vevyskytujú povrchové nečistoty ako troska, opal, rozstrek a pod.

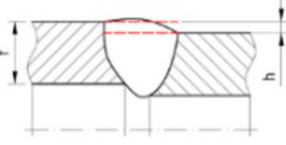

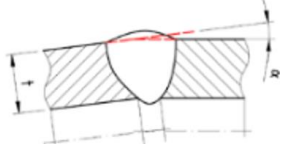


Hodnotenie chýb zvarových spojov termoplastov sa vykonáva v súlade s dvomi normami. Prvou normou je norma *STN EN ISO 14728*, ktorá klasifikuje chyby zvarových spojov termoplastov vyhotovených technológiami zvárania horúcim telesom na tupo, elektrofúznym zváraním, zváraním horúcim plynom a extrúderom. Norma je určená pre široké spektrum termoplastov [2].

Stupne kvality zvarových spojov termoplastov definuje norma *STN EN 16296*. Podobne ako *STN EN ISO 5817* definuje táto norma tri stupne kvality *B*, *C* a *D*, ktoré zodpovedajú výrobnej kvalite. Norma je určená pre hrúbku zváraných materiálov $t > 2 \text{ mm}$. Pre každý typ chyby a stupeň kvality norma predpisuje kritériálnu podmienku prípustnosti chyby.

Zvarové spoje, ktoré nevyhovujú kritériám prípustnosti, sa považujú za chybné a je potrebné vykonať ich opravu. Absencia vizuálnej kontroly, prípadne jej nesprávne prevedenie, skraca čas bezproblémovej dlhodobej prevádzky plynovodu bez potreby následných dodatočných zásahov pri riešení havarijných stavov.

V tab. 1 sú znázornené typické príklady chýb pri zváraní na plynovodoch, ktoré je možné identifikovať priamou vizuálnou kontrolou.

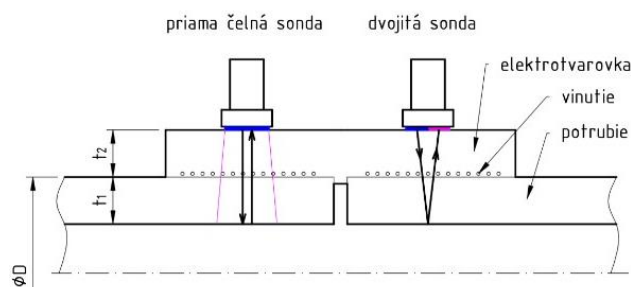
Tab. 1. Chyby zvarov na plastových potrubiach identifikovaných priamou vizuálnou kontrolou

Číslo chyby podľa STN EN 14728	Názov chyby	Schéma chyby	Fotografia chyby
SEJAAA	lineárne vychýlenie		
SEKAA	uhlové vychýlenie		
7BAAA	tepelné poškodenie mimo oblasti zvarania	bez schémy	

2.2 Ultrazvuková kontrola

Pre ultrazvukové skúšanie plastových zvarov vyhotovených horúcim telesom na tupo, elektrotvarovkou, extrúziou a tiež aj horúcim plynom je určená norma *STN EN 13100-3*. Platí pre hrúbky základného materiálu $10 \leq t \leq 100$ mm. Skúšanie plastových materiálov prináša so sebou využitie špecifických postupov. Je to spôsobené zhoršenými akustickými vlastnosťami samotného plastu. Pre skúšanie je potrebné použiť frekvencie sond v rozsahu 1 MHz ÷ 5 MHz.

Pre *NDT* kontrolu zvarových spojov je možné aplikovať tri techniky kontroly. Pre kontrolu zvarového spoja na potrubí vyhotoveného elektrotvarovkou sa používa skúška pozdĺžnou vlnou s použitím priamej čelnej alebo dvojitej sondy (obr. 1) [2].

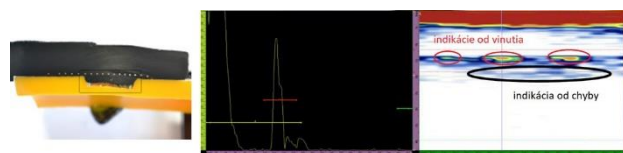


Obr. 1. Skúška metódou pozdĺžnej vlny s kolým dopadom ultrazvuku [2]

Tento spôsob kontroly je pri praktickej kontrole sprevádzaný viacerými problémami. Prvým problémom je zabezpečenie dostatočného

akustického kontaktu s tvarovkou. Súvisí to s nerovnosťami tvarovky na povrchu, kedy sa reliéf povrchu mení v závislosti od výrobcu a tiež od dimenzie tvarovky. Dosahtnutie požadovaného kontaktu, ale aj úprava povrchu tvarovky do požadovaného stavu mechanickým opracovaním je veľmi zložitá, v praxi až nemožná. Druhým problémom pri kontrole je prítomnosť vinutia v elektrotvarovke, ktoré sa správa ako necelistvosť, čiže odráža ultrazvukový zväzok späť do sondy a tým znižuje spoľahlivosť kontroly. Indikácia malých chýb s rozmerom blízky priemeru vinutia preto nie je možné identifikovať [2].

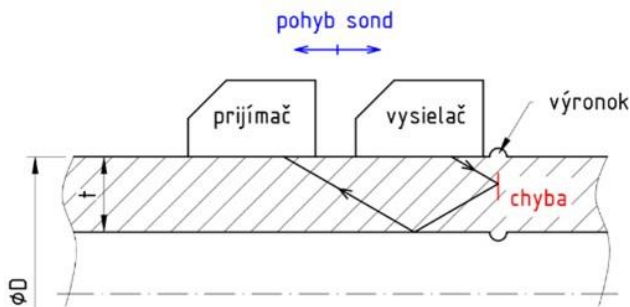
Vyššia spoľahlivosť kontroly sa dá dosiahnuť použitím techniky *PA*, kedy na lineárnom skene je možné vidieť rovnomerne rozložené indikácie od vinutia tvarovky. Na základe pravidelnosti výskytu týchto indikácií vieme určiť, či de o chybu alebo o indikáciu od vinutia. Pri konvenčnej ultrazvukovej technike tento prehľad strácame (obr. 2).



Obr. 2. Príklad zo skúšky ultrazvukom elektrofúzneho zvarového spoja: snímka makroštruktúry zvarového spoja (vľavo), *PA-UT* záznam v mieste s vytvorenou umelou chybou s hĺbkou 5 mm (*A* - sken v strede a lineárny sken vpravo) [2, 6]

Druhou technikou použiteľnou pre kontrolu tupých zvarov vyhotovených horúcim telesom, horúcim plynom, prípadne extrúderom je tandemová technika

(obr. 3). Táto technika sa využíva aj pri skúšaní zvarov ocelí s veľkou hrúbkou základného materiálu. Pri skúške sa používajú dve rovnaké uhlové sondy s uhlom lomu ultrazvuku v plaste 45° alebo 60° (prechodová technika). Sondy sú mechanicky spriahnuté tak, aby v prípade chyby orientovanej kolmo na povrch materiálu vyslaný ultrazvukový zväzok odrazil od chyby a smeroval do sondy, ktorá je prijímačom [2].



Obr. 3 Tandemová technika skúšania tupých zvarov vyhotovených horúcim telesom [2]

Technika *TOFD* je treťou technikou ktorá je využiteľná pre kontrolu tupých zvarov vyhotovených horúcim telesom, horúcim vzduchom, alebo extrúderom. Pre skúšku je potrebné použiť miniatúrne uhlové sondy s uhlom lomu pozdĺžnych ultrazvukových vln v plaste 45° alebo 60° .

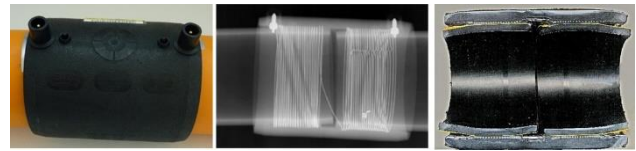
Uhol lomu pri uhlových sondách vždy súvisí s materiálom, pre ktorý sú sondy určené, a teda uhlová sonda pre ocel s uhlom lomu ultrazvuku v oceli 60° nebude mať uhol lomu pri skúšaní plastu taktiež 60° .

2.3 Kontrola prežiarením (röntgenová kontrola)

Postupom a podmienkami röntgenovej kontroly zvarových spojov z plastov sa zaoberá norma *STN EN 13100-2*. Prežarovaciu metódu je podľa tejto normy možné použiť pre kontrolu zvarových spojov vyhotovených na tupo horúcim telesom, elektrotvarovkami, extrúziou a horúcim vzduchom. Prežarovacia metóda je použiteľná pre materiály s hrúbkou $5 \leq t \leq 100$ mm. Norma tiež popisuje techniky prežarovania a posúdenie kvality vyhotovených rádiogramov. Pri skúške prežiarením plastových zvarov absentujú však kritériá pre hodnotenie prípustnosti chýb. Hodnotenie prípustnosti pri skúške prežiarením vychádza z prípustnosti jednotlivých chýb definovaných v norme *STN EN 16296* [2, 3].

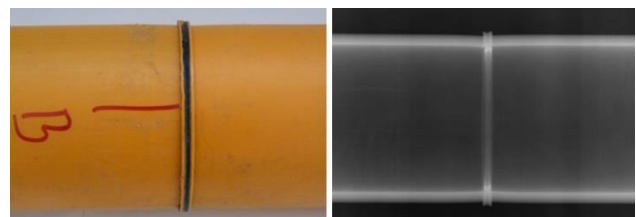
Pri kontrole zvarov vyhotovených elektrotvarovkou je problém spojený podobne ako v prípade ultrazvuku s prítomnosťou výhrevného vinutia. Vinutie môže

prekrývať chyby vo zware a robiť rádiogram neprehľadným (obr. 4).



Obr. 4. Príklad z kontroly prežiarením elektrofúzneho zvarového spoja: spoj (vľavo), rádiogram (v strede), makroštruktúra (vpravo) [2, 6]

Pri skúšaní plastových spojov vyhotovených zvarovaním na tupo horúcim telesom je veľmi dôležitá správna poloha skúšaného objektu voči rádiografickému filmu a zdroju žiarenia. Je to hlavne v prípade indikácie plošných chýb ako chyba natavenia (studený spoj), ktorý pri svojej minimálnej hrúbke a nevhodnej orientácii nemusí byť vždy na rádiograme viditeľný. Z tohto dôvodu je najvhodnejšie orientovať predpokladanú chybu tak, aby sa čo najviac využil fyzikálny princíp zmeny intenzity ionizačného žiarenia pri prechode pevnou hmotou (obr. 5). S identifikáciou objemových chýb (dutiny, póry) zvyčajne problémy pri prežarovaní nenastávajú [2, 3].



Obr. 5. Príklad skúšky prežiarením tupého zvarového spoja vyhotoveného horúcim telesom: spoj (vľavo), rádiogram (vpravo)

Prežarovacie kontroly boli vykonané s použitím röntgenovej lampy. Pre kontrolu bola použitá technika počítačovej rádiografie (*CR - Computed Radiography*) s využitím ohybných pamäťových *IP* platní, ktoré sa po expozícii digitalizovali skenerom.

ZÁVER

Neseštruktívne kontroly zvarov vyrobených na plastových polotovaroach sa čoraz častejšie začínajú aplikovať hlavne v odvetviach, kde chyby spojené s únikom znamenajú výrazné ekonomické straty ako aj ohrozenie života. Ide najmä o odvetvia priemyslu, kde sa využívajú potrubné siete a tesné nádrže. Správne aplikované *NDT* kontroly, dokážu identifikovať výrobné chyby a tým zamedziť prevádzkovým problémom. Objemové skúšanie plastov je aj pri použití moderných techník stále problémom, čo súvisí s fyzikálnymi vlastnosťami plastov.

LITERATÚRA

- [1] LEŽDÍK, V. - MIČIAN, M. - PATEK, M. (2016): *Schvaľovanie postupov zvarovania kovových materiálov a plastov*. Turany: Inštitút kvality a vzdelávania, s.r.o., 204 p., ISBN 978-80-969599-2-1.
- [2] LEŽDÍK, V. - KOŇÁR, R. - KOREŇOVÁ, N. (2020): *Opravy plynovodných potrubí vykonávané technológiou zvarovania*. Turany: Inštitút kvality a vzdelávania, s.r.o., 166 p., ISBN 978-80969599-3-8.
- [3] MORAVEC, J. a kol. (2020): *Technológia 1*. Žilina: Žilinská univerzita v Žiline, 411 p., ISBN 978-80-554-1731-8.
- [4] KOŇÁR, R. (2022): *Skúsenosti pri ultrazvukovom skúšaní zvarov v praxi*. In: *Technológ*, roč. 14, č. 3, pp. 63-67, ISSN 1337-8996.
- [5] LEŽDÍK, V. - SOBOTA, M. - BEZÁK, J. (2001): *Zváranie v plynárenstve*. Žilina: EDIS - ŽU v Žiline, 191 p., ISBN 80-7100-902-4.
- [6] FATURÍK, M. (2017): *Využitie ultrazvukovej defektoskopie pri skúšaní zvarových spojov polyetylénových plynárenských potrubí*. Dizertačná práca: Žilinská univerzita v Žiline.

Možnosti využitia technológie termálneho vrtania na účely spájania tenkostenných nerovnakých materiálov v automobilovom priemysle

Anna Guzanová, doc. Ing., PhD.*

Katedra technológií, materiálov a počítačovej podpory výroby, Strojnícka fakulta,
Technická univerzita v Košiciach,
Mäsiarska 74, 040 01 Košice.
E-mail: anna.guzanova@tuke.sk, Tel.: + 421 55 602 3515

Nikita Veligotskyi, Ing.

Katedra technológií, materiálov a počítačovej podpory výroby, Strojnícka fakulta,
Technická univerzita v Košiciach,
Mäsiarska 74, 040 01 Košice.
E-mail: nikita.veligotskyi@tuke.sk, Tel.: + 421 55 602 3515

Dagmar Draganovská, doc. Ing., PhD.

Katedra technológií, materiálov a počítačovej podpory výroby, Strojnícka fakulta,
Technická univerzita v Košiciach,
Mäsiarska 74, 040 01 Košice.
E-mail: dagmar.draganovska@tuke.sk, Tel.: + 421 55 602 3515

Possibilities of using thermal drilling technology for joining thin-walled dissimilar materials in the automotive industry

Abstract: The article deals with the study of the applicability of flowdrill technology for the formation of joints between thin metallic materials based on iron and aluminium alloy. This technology is primarily used to create holes in profiles with a local increase in material thickness to accommodate a greater number of threads. If used to drill two interleaved thin-walled materials, a joint is formed as a secondary effect. The quality of the resulting bushings forming the interference fit joint was investigated. The joints were formed using a combination of uncoated deep drawn steel, galvanized *HSLA* steel and *aluminum* alloy, in different positions in the joint. Subsequently, tensile shear testing of single joints was performed. The load carrying capacity of the joints was also tested in combination with adhesive bonding. The load capacity of the joints combined with bonding was significantly higher compared to flowdrill joints. The combination of both technologies yields an increase in the absorbed energy of the joint at failure.

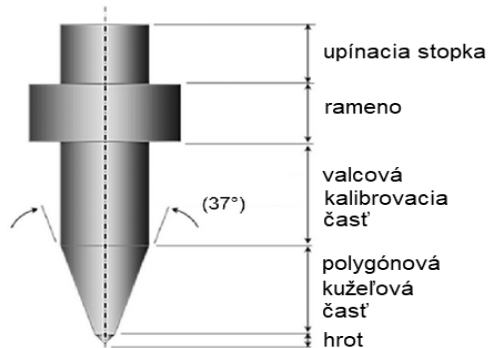
Keywords: joining, thermal drilling, dissipated energy.

ÚVOD

Technológia termálneho vrtania (*flowdrill*) je beztriesková technológia výroby otvorov s lokálnym pretvorením materiálu do tvaru puzdra, ktorá produkuje minimálne množstvo odpadu a tým prispieva k ochrane životného prostredia a šetreniu materiálu [1-3]. Vrták sa pomocou relatívne vysokého axiálneho tlaku a rýchlosti otáčania tlačí do materiálu, v ktorom vplyvom trecieho tepla ($600\text{ }^{\circ}\text{C} \div 800\text{ }^{\circ}\text{C}$) dôjde k zmäkčeniu materiálu a následnému preniknutiu nástroja [4-6]. Pri prenikaní nástroja dochádza k plastickému toku materiálu v smere vrtania, ktorý vytvorí puzdro, ako aj proti

smere vrtania, čo vytvorí golier. Do vytvoreného puzdra je možné vytvoriť závit na upevnenie spojovacieho elementu [7]. Tvar nástroja má priamy vplyv na tvar vytvoreného puzdra a goliera [8-10] (obr. 1). Hrot nástroja iniciuje vznik otvoru, polygónová kužeľová časť generuje trecie teplo a následne vytlačá deformovaný materiál. Valcová kalibračná časť nástroja tvaruje puzdro do valcového tvaru a prírubová časť má za úlohu tvarovať golier. Táto časť môže mať aj reznú hranu, ktorá môže golier odstrániť [11, 12]. Dĺžka a priemer nástroja, ako aj tvárniace parametre (otáčky, posuv) sa volí s ohľadom na hrúbku materiálu, ktorý sa má vrtáť. Dĺžka nástroja sa volí s ohľadom na hrúbku

materiálu, ktorý sa má vŕtať. Experimentuje sa aj s tzv. kombinovaným nástrojom s dvoma priermi, pomocou ktorého je možné výrazne znížiť axiálnu silu v procese vŕtania a tým znížiť deformáciu obrobku a predĺžiť životnosť nástroja. Životnosť nástrojov je ovplyvnená aj správnym mazaním a celkovou údržbou.



Obr. 1. Časti nástroja na termálne vŕtanie

Pri štúdiu procesu termálneho vŕtania vzniká otázka, či by bolo možné využiť ho aj na spájanie tenkostenných materiálov preniknutím nástroja cez preplátované materiály, kde by dve vnorené puzdrá vytvorili tvarový spoj [13].

Pri využití technológie termálneho vŕtania na spájanie dvoch tenkých materiálov sa môže javiť ako problém medzera, ktorá vznikne medzi materiálmi vplyvom ich rôznej tvárnosti pri pôsobení

axiálnej sily a v dôsledku toho, že puzdro vytvorené na vrchnom materiáli odtlačí spodný materiál [14].

Medzera je menšia pri použití spájacieho elementu, ktorý pri doťahovaní oba materiály k sebe pritlačí. Pri kombinácii technológie termálneho vŕtania s lepením by práve lepidlo mohlo vyplniť medzeru a zabrániť tak vzniku prípadnej štrbinovej korózie.

Cieľom experimentálnych prác bolo overiť možnosť využitia technológie termálneho vŕtania na spájanie oceľových a hliníkových materiálov vo forme plechov. Zároveň bola otestovaná aj možnosť kombinácie termálneho vŕtania s adhéznym spájaním.

1 POUŽITÉ MATERIÁLY A METÓDY

Na prípravu spojov bola použitá nepovlakovaná hlbokoŕažná oceľ *DC04* (ďalej: *DC*) valcovaná za studena, pozinkovaná jemnozrnná vysokopevná mikrolegovaná oceľ *TL 1550-220+Z* (ďalej: *TL*) so zvýšenou tvárnosťou za studena a napokon precipitačne vytvrdená zliatina hliníka *EN AW-6082 T6 (AlSi1MgMn)*, ďalej: *Al*. Chemické zloženie materiálov, ich mechanické a fyzikálne vlastnosti a stav povrchu/mikroštruktúry pri dodaní uvádzajú tab. 1 až tab. 3. Spoje boli vytvorené medzi nerovnakými materiálmi, podľa matice uvedenej v tab. 4.

Tab. 1. Chemické zloženie materiálov (hm. %)

<i>DC</i>									
<i>C</i>	<i>Mn</i>	<i>P</i>	<i>S</i>	<i>Fe</i>					
0,040	0,250	0,009	0,008	zvyšok					
<i>TL</i>									
<i>C</i>	<i>Mn</i>	<i>Si</i>	<i>P</i>	<i>S</i>	<i>Al</i>	<i>Nb</i>	<i>Ti</i>	<i>Cu</i>	<i>Fe</i>
0,100	1,000	0,500	0,080	0,030	0,015	0,100	0,150	0,200	zvyšok
<i>Al</i>									
<i>Si</i>	<i>Fe</i>	<i>Cu</i>	<i>Mn</i>	<i>Mg</i>	<i>Cr</i>	<i>Zn</i>	<i>Ti</i>	<i>Al</i>	
1,00	0,40	0,06	0,44	0,70	0,02	0,08	0,03	zvyšok	

Tab. 2. Mechanické vlastnosti a stav povrchu/mikroštruktúry

	R_e [MPa]	R_m [MPa]	<i>A</i> [%]	hrúbka [mm]	Stav povrchu/mikroštruktúry
<i>DC</i>	197	327	39	0.8	elektrostaticky olejovaný
<i>TL</i>	292	373	34	0.8	pozinkovaný, Zn vrstva 100 g·m ⁻² , olejovaný
<i>Al</i>	290	340	14	1.0	precipitačne vytvrdený

Tab. 3. Fyzikálne vlastnosti materiálov

	merná hm. [kg·m ⁻³]	T_{lav} [°C]	tepelná vodivosť [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	koef. tep. rozťažnosti ×10 ⁻⁶ ·K ⁻¹	modul pružnosti [GPa]
<i>DC, TL</i>	7860	~1500	45	10.8 ÷ 12.5	~210
<i>Al</i>	2700	555	180	24	~ 70

Tab. 4. Matica vytváraných spojov

Materiál v hornej pozícii	Materiál v dolnej pozícii
DC	Al
Al	DC
TL	Al
Al	TL

1.1 Nástroj, parametre procesu termálneho vŕtania

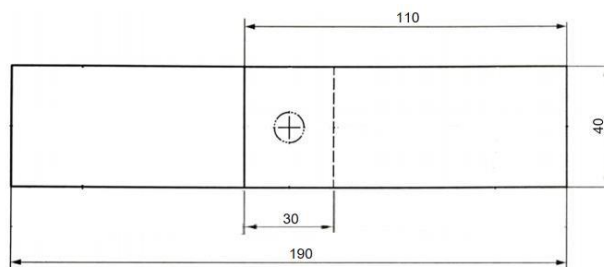
Podľa hrúbky spájaných materiálov a hrúbky spoja bol zvolený nástroj na termálne vŕtanie *Flowdrill Long* bez orezu s priemerom 5,3 mm. Procesné parametre sú uvedené v tab. 5.

Tab. 5. Parametre termálneho vŕtania

Parameter	Hodnota
Rezná rýchlosť	113 m·min ⁻¹
Otáčky	7200 min ⁻¹
Posuv	200 mm·min ⁻¹

1.2 Tvar a rozmery skúšobných vzoriek

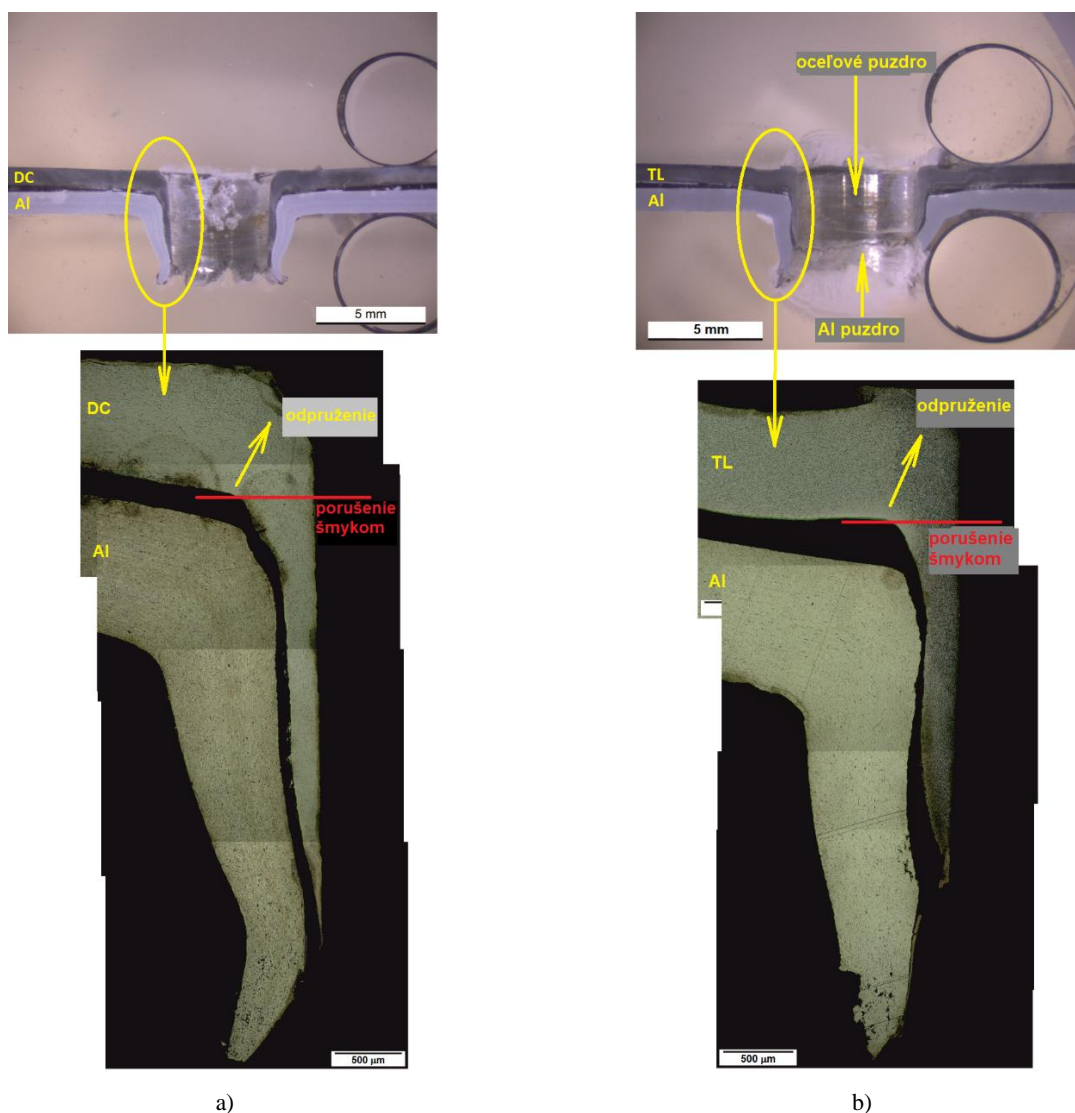
Pri výpočte rozmerov skúšobných vzoriek sme sa riadili normou *STN EN ISO 12996*. Výsledné rozmery skúšobných vzoriek sú znázornené na obr. 2. Otvor je vytvorený vždy v strede preplátovanej plochy.



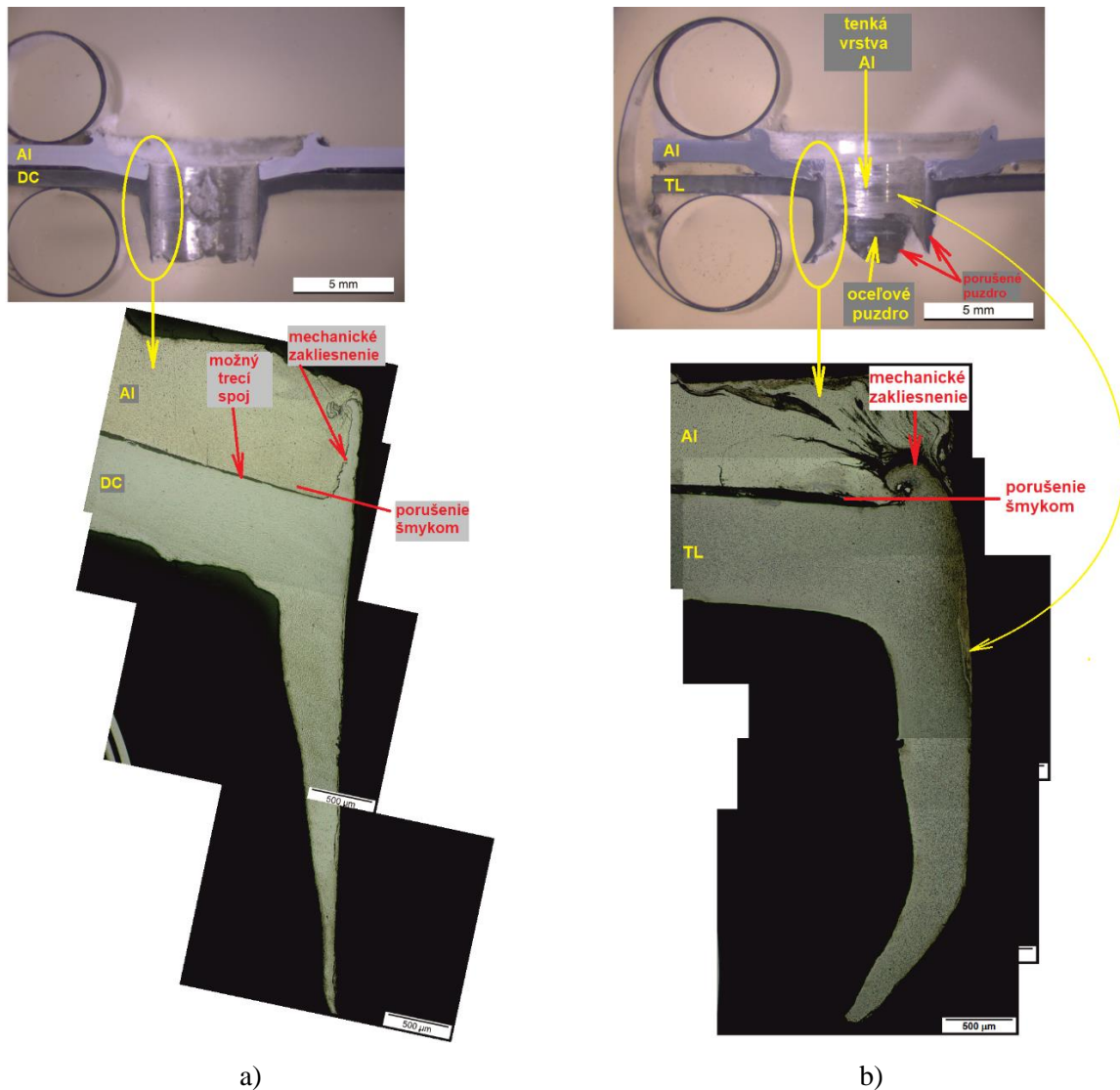
Obr. 2. Tvar a rozmery skúšobných vzoriek

1.3 Lepidlo a proces lepenia

Na lepenie vzoriek bolo použité lepidlo *RB 5197 (Henkel)*, ktoré je na báze gummy a je vhodné aj pre kombináciu s odporovým zváraním. Hrúbka lepidla



Obr. 3. Metalografické rezy spojov a) DC-Al a b) TL-Al, Nital, HF



Obr. 4. Metalografické rezy spojov a) Al-DC a b) Al-TL, Nital, HF

0,2 mm. Postup pri tvorbe kombinovaných spojov: nanosenie lepidla, preplátovanie materiálov, termálne vrtanie, vytvrdenie lepidla pri 175 °C, 25 min v peci. Pevnosť v ťahu samotného adheziva je 12 MPa, pevnosť v šmyku pri 20 °C je > 15 MPa.

1.4 Testovanie spojov

Vytvorené spoje boli testované na pevnosť v šmyku pri namáhaní na ťah na univerzálnom trhacom stroji TIRA test 2300 pri rýchlosti zaťaženia 10 mm·min⁻¹. Počas zaťaženia bola zaznamenávaná závislosť zaťaženie - posun pričnicka. Zo získaných závislostí sme určili vybrané nasledovné mechanické charakteristiky spojov, odporúčané normou STN EN ISO 12996:

- F_{max} - maximálna sila zaznamenaná pri skúške,
- sF_{max} - posunutie pri ťahovej strihovej sile F_{max} .

2 VÝSLEDKY

2.1 Mikroskopické hodnotenie spojov

Metalografické rezy vytvorených spojov zosnímané pri 50-násobnom zväčšení sú uvedené na obr. 3 a obr. 4.

Obrázok 3 ukazuje metalografiu spojov, kde ocelové materiály sú v hornej pozícii a Al v spodnej pozícii. Pri oboch spojoch je vidieť, že obe vzniknuté puzdrá (ocelové i hliníkové) prešli procesom tvarovania súčasne, o čom svedčí zhodný pričný profil oboch puzdiar. Po odchode nástroja od materiálov prestala pôsobiť vertikálna prítlačná sila od prírubovej časti nástroja a došlo k odpruženiu ocele, čím vznikla medza medzi vnútorným a vonkajším puzdrom medzera. Červená čiara označuje miesto, kde dôjde k porušeniu puzdra šmykom pri následnom zažení.

Na obr. 4 je metalografia spojov, kde oceľové materiály sú v spodnej pozícii a *Al* v hornej pozícii.

Metalografické rezy na obr. 4 odhaľujú details, ktoré neboli pozorovateľné voľným okom. Hliníková zliatina v hornej pozícii bola vytlačená z miesta otvoru do strán. Plastický tok ocele v smere posuvu nástroja vytvoril puzdro. Menší objem materiálu sa premiestnil aj proti smeru posuvu nástroja a vytvoril bariéru medzi hliníkovou zliatinou a nástrojom. Tento malý výstupok by pri vŕtaní jedného materiálu vytvoril golier. Teraz sa však zakliesnil do hliníkovej zliatiny a vytvoril s ňou mechanický spoj. Pri spoji *Al-TL* je na vnútornej strane oceľového puzdra lokálne vidieť tenkú nesúvislú vrstvu nalisovanej hliníkovej zliatiny. Pri materiáli *DC* je golier vyšší ako pri oceli *TL*, čo súvisí s nižšími mechanickými vlastnosťami a vyššou ťažnosťou ocele *DC* v porovnaní s *TL*. Z metalografie uvedených spojov vyplýva, že porušenie tohto typu spoja sa bude realizovať šmykom goliera a predpokladá sa malá únosnosť týchto spojov.

2.2 Testovanie spojov

Krivky zaťažovania jednotlivých spojov sú uvedené na obr. 5.

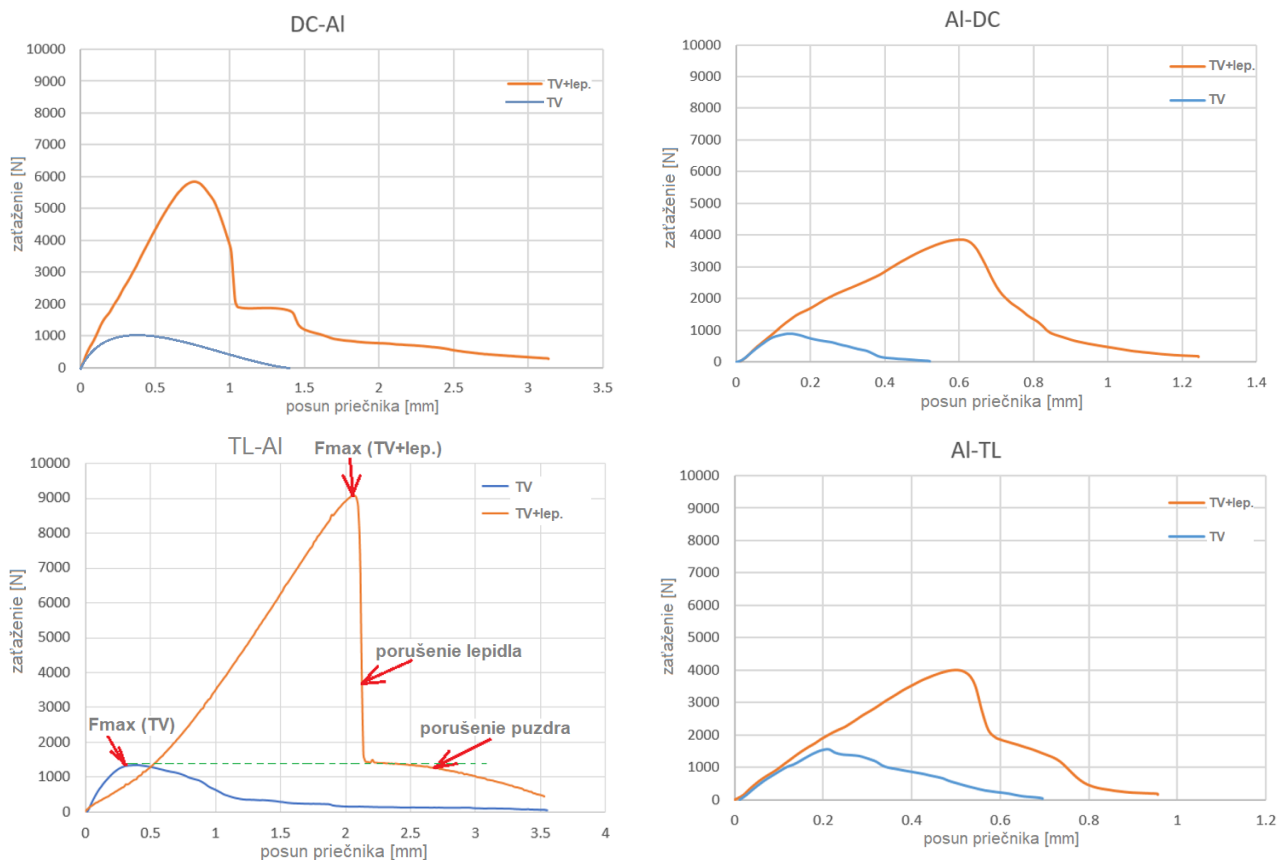
Z kriviek zaťažovania spojov vytvorených len termálnym vŕtaním je zrejmé, že spoje kde bol

vrchným materiálom *Al* sa porušili vždy do 1 mm pohybu priečnika, kým spoj *TL-Al* sa porušil pri vyšších hodnotách dráhy priečnika - až do 2.5 mm. To naznačuje vyššiu schopnosť *TL-Al* spoja absorbovať energiu pri namáhaní. Pri všetkých spojov vytvorených termálnym vŕtaním je zostupná časť krivky postupná, nejde o okamžitý strih, ale postupné ušmyknutie puzdra.

Zaťažujúce krivky spojov s lepidlom ukazujú značné zvýšenie maximálnej sily F_z , teda únosnosti spojov. Na zostupnej časti krivky sú viditeľné dve oblasti: začiatok zostupu z maximálnej sily je prudký, čo zodpovedá porušeniu lepidla, potom nastáva spomalenie zostupu, ktoré zodpovedá postupnému porušeniu puzdra a nastáva približne na úrovni F_{max} príslušného spoja vytvoreného termálnym vŕtaním.

Spoje kombinované s lepením majú niekoľkonásobne vyššiu únosnosť ako *FD* spoje. Prínos *FD* k celkovému správaniu spoja spočíva v spomalení zostupnej časti krivky a k zvýšeniu celkovej absorpcie energie spoja porušením puzdra. Z tohto pohľadu je preto dôležitou technológiou *FD* vytvoriť súvislé puzdro s čo najväčšou hrúbkou v mieste šmyku. Plocha pod zaťažujúcou krivkou vyjadruje deformačnú prácu potrebnú na porušenie spoja, resp. absorpčnú schopnosť spoja.

Porovnanie hodnôt deformačnej práce pre skúmané



Obr. 5. Porovnanie kriviek zaťažovania spojov vytvorených termálnym vŕtaním (*TV*) a spojov kombinovaných s lepením (*TV + lep*)

kombinácie materiálov a metódy ich spájania sú uvedené v tab. 6.

Tab. 6. Základné charakteristiky spojov F_{max} a S_{Fmax} a deformačná práca W na porušenie spoja

spoj	F_{max} [N]	S_{Fmax} [mm]	W [J]
Termálne vŕtanie			
DC-Al	997	0,20	0,32
Al-DC	834	0,15	0,23
TL-Al	1300	0,40	1,61
Al-TL	1569	0,24	0,53
Termálne vŕtanie a lepenie			
DC-Al	5857	0,77	5,70
Al-DC	3861	0,60	2,07
TL-Al	9077	2,07	10,31
Al-TL	3993	0,51	1,72

Z hľadiska spotrebovanej energie pri zaťažení je výhodné, keď uvedené charakteristiky dosahujú čo najvyššie hodnoty. Čím sú tieto hodnoty väčšie, tým viac energie spoj absorbuje pred porušením, čo je pozitívne z hľadiska bezpečnosti pri náraze. Napríklad, spoj TL-Al síce nevykázal najvyššiu únosnosť ($F_{max} = 1300$ N), ale absorboval najviac energie pri porušení ($W = 1,61$ J). V kombinácii s lepením došlo k významnému zvýšeniu únosnosti tohto spoja ($F_{max} = 9077$ N) a aj k zvýšeniu absorpcie energie ($W = 10,31$ J).

ZÁVER

Publikovaná experimentálna štúdia potvrdila možnosť využiť technológiu termálneho vŕtania na spájanie tenkostenných kovových materiálov. Zo získaných výsledkov sa dajú sformulovať nasledujúce zistenia:

- technológiou termálneho vŕtania je možné vytvoriť tvarový spoj, a to samostatne alebo v kombinácii s lepením,
- dôležitú úlohu pri spájaní nerovnakých materiálov majú ich fyzikálne vlastnosti, najmä teplota tavenia a tepelná vodivosť materiálov. Vhodné je poznať aj teplotnú závislosť mechanických vlastností spájaných materiálov,
- vzhľadom na rozhodujúci vplyv fyzikálnych vlastností na správanie materiálov pri lokálnom ohreve hrá pozícia spájaných materiálov významnú úlohu,
- ak sa má vytvoriť tvarový spoj s dvoma koncentrickými puzdrami, do hornej pozície sa odporúča umiestniť materiál s vyššou teplotou tavenia a vyššou tuhosťou. Takto vyrobené

spoje vykazovali aj najvyššiu mechanickú únosnosť,

- každá materiálová kombinácia si vyžaduje hľadanie optimálnych procesných parametrov, alebo detailne prepracované tepelno-deformačné modelovanie procesu,
- kombinácia technológie termálneho vŕtania s lepením vedie k utesneniu spoja, k zvýšeniu únosnosti spoja a k zníženiu rizika štrbinovej či galvanickej korózie. Pri namáhaní kombinovaného spoja dochádza najprv k porušeniu lepeného spoja a následne k porušeniu puzdra, čo zvyšuje prácu potrebnú na porušenie spoja.

PodĎakovanie

Táto práca bola podporená Vedeckou grantovou agentúrou MŠVVaM SR a SAV v rámci projektu VEGA 1/0229/23: Výskum využiteľnosti technológie termálneho vŕtania na tvorbu multimateriálových spojov v automotive, KEGA 037TUKE-4/2024: Vytvorenie interaktívneho nástroja pre zvýšenie zručností a kompetencií študentov v rámci výučby predmetov zameraných na tvorbu konštrukčnej dokumentácie a APVV-20-0303: Inovatívne prístupy pri obnove funkčných povrchov laserovým naváraním.

LITERATÚRA

- [1] European Aluminium Association (2015): *Hybrid joining techniques*. Available on the internet: <https://www.aec.org/page/extrusion-aluminum-joining-manual>.
- [2] MESSLER, W. S. (1993): *Joining of advanced materials*. USA: Butterworth-Heinemann, 560 p., ISBN 0-7506-9008-9.
- [3] SIRISALEE, P. a kol. (2006): *Multi-criteria material selection of monolithic and multi – materials in engineering design*. In: *Advanced Engineering Materials*, Vol. 8, No. 1-2, pp. 48-56.
- [4] MORI, K. a kol. (2013): *Joining by plastic deformation*. In: *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, Vol. 62, No. 2, pp. 673-694.
- [5] MARTINSEN, K. a kol. (2015): *Joining of dissimilar materials*. In: *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, Vol. 64, No. 2, pp. 679-699.
- [6] KLEINER, M. a kol. (2003): *Manufacturing of lightweight components by metal forming*. In: *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, Vol. 5, No. 2(2), pp. 521-542.
- [7] GRAF, M. a kol. (2018): *Macroscopic modeling of thin-walled aluminium-steel connections by flow drill screws*. In: *Thin-Walled Structures*, Vol. 130, pp. 286-296.

- [8] KUMAR, R. - HYNES, N. R. J. (2019): *Thermal drilling processing on sheet metals: A review*. In: International Journal of Lightweight Materials and Manufacture, Vol. 2, pp. 193-205.
- [9] STREPPPEL, A. H. - KALS, H. J. J. (1983): *Flowdrilling: a preliminary analysis of a new bush-making operation*. In: CIRP annals: manufacturing technology, Vol. 32, No. 1, pp. 167-171.
- [10] KUMAR, R. a kol. (2019): *Multi-objective optimization of green technology thermal drilling process using grey-fuzzy logic method*. In: Journal of Cleaner Production, Vol. 236, 117711
- [11] MILLER, S. F. a kol. (2006): *Experimental and numerical analysis of the friction drilling process*. In: J. Manuf. Sci. Eng, Vol. 128, pp. 802-810.
- [12] KANAGARAJU, T. a kol. (2016): *Optimization of drilling parameters for thrust force and torque in friction drilling process*. In: Middle-East J. Sci. Res., Vol. 24, No. 4, pp. 1577-1582.
- [13] SCHMERLER, R. - ROTHE, F. - GRUNERT, M. (2020): *Hybrid joining using the flow drill technology*. Available on the internet: (PDF) Hybridfügen durch Fließlochformen Hybrid joining using the flow drill technology (researchgate.net)
- [14] SKOVRON, J. D. a kol. (2015): *Effect of thermal assistance on the joint quality of Al6063-T5A during flow drill screwdriving*. In: Journal of Manufacturing Science and Engineering, Vol. 137, No. 5, 051019.

Identifikácia elasticko-plastickej deformácie pre rôzne stupne deformácie pri tvárnení plechu otočným ohýbaním

Borislav Melo, Ing., PhD.

Viena International, spol. s r. o.,
Dolné Kráčiny 2, 036 01 Martin.
E-mail: melo@viena.sk

Identification of elastic-plastic deformation for different degrees of deformation for forming sheet metal by swivel bending

Abstract: The thesis deal with the issue of bending. The practical part is dealing with developing of design of bending tool for bending of metal sheet parts and made technological processes for manufacturing of non-standard components. The part of design is an account of bending strength, bending work, and made cutting plans. The content is also an economic assessment of the design and final evaluation.

Keywords: pneumatic flexible shaft coupling, semi-active vibration isolation, patent.

ÚVOD

Kyvňý (otočný) ohýbací systém je príkladom flexibility, keď je potrebné vytvárať kvalitné ohýbané diely. Táto technológia dosahuje vysokú produktivitu výroby presne ohýbaných častí. Manipulácia s veľkými plechmi pri práci je oveľa jednoduchšia. Na obrovské spektrum výrobkov zvyčajne stačí len jeden typ nástroja. Plechy sa tvárnia bez poškodenia povrchu a navyše je tento spôsob vhodný pre malé a takisto aj veľké diely.

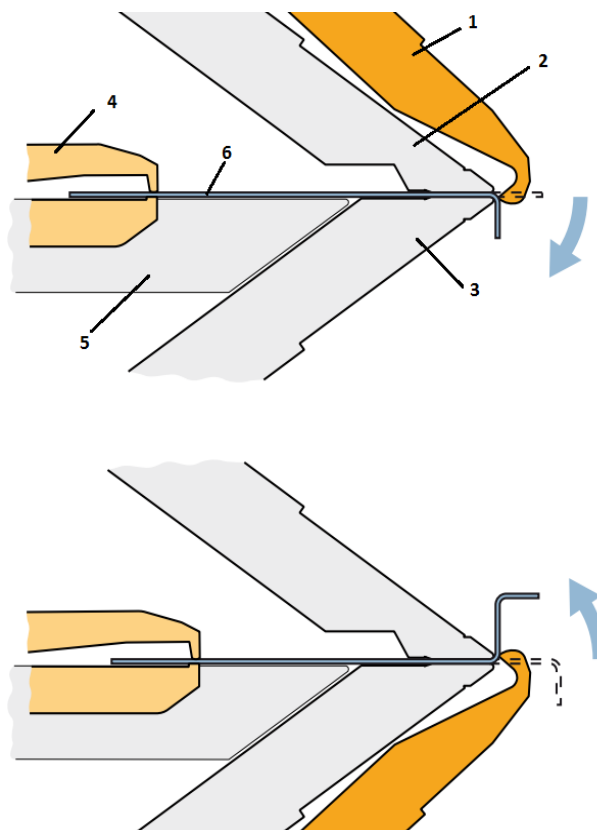
1 PRINCÍP

Pri kývavom ohýbaní (*SB*) leží plech na pracovnom stole. Uchytávacia čeľusť zabezpečí plech na ohýbanej línii. Horná a dolná ohýbacia čeľusť napnú ohýbaný plech. Nový tvar ohýbacieho ramena umožňuje ohnutie $90^\circ \cdot s^{-1}$ a pri automatickom nastavení na hrúbku plechu je to investícia najmä do produktivity a flexibility (obr. 1). Dlhá časť ohýbaného materiálu zostane ležať na pracovnom stole. Priebeh prác hlavne pri veľkých kusoch je podstatne rýchlejší, bezpečnejší a kvalitnejší. Aby sa plechy pri ohýbaní neposúvali, môže byť plech držaný medzi ohýbacími čeľusťami silou až 120 kN.

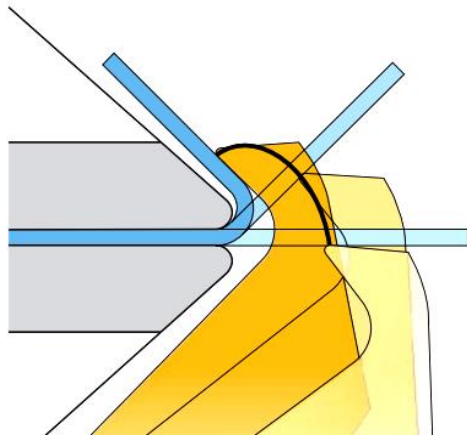
2 VÝHODY KYVNEHO OHÝBANIA

Pri presnom *SB* ohýba ohýbacie rameno s presnosťou $0,1^\circ$, čím zabezpečuje opakovateľnosť výroby. Rovinnosť ohýbaného dielu je zaistená rovinnosťou stroja. Pri *SB* ohýba používateľ s jediným nástrojom uhlý až do 150° (obr. 2).

Najväčšou výhodou je rýchla zmena programu pre ohýbanie pri malých sériách. Používa sa do hrúbok 6 mm (oceľový plech) alebo 4 mm (plech z antikorošnej ocele).



Obr. 1. Princíp kývavého ohýbania: 1 - ohýbacie rameno, 2 - horná ohýbacia čeľusť, 3 - spodná ohýbacia čeľusť, 4 - uchytávacia čeľusť, 5 - pracovný stôl, 6 - plech



Obr. 2. Ohýbacím ramenom sa ohýbajú uhly až do 150°

Použitie:

- ohýbanie zatvorených profilov, dekoratívnych hliníkových plechov,
- reklamné panely, boxy na nástroje na montážnych vozidlách,
- opláštenia klimatizácií, pecí a kotlov,
- medicínálne prístroje a prevádzky,
- kuchyne a interiéry reštaurácií,
- deliace steny, dopravníky, kovový nábytok a dvere,
- pohyblivé schody, výtahy a iné.

3 KONŠTRUKČNÝ NÁVRH OHÝBACIEHO ZARIADENIA

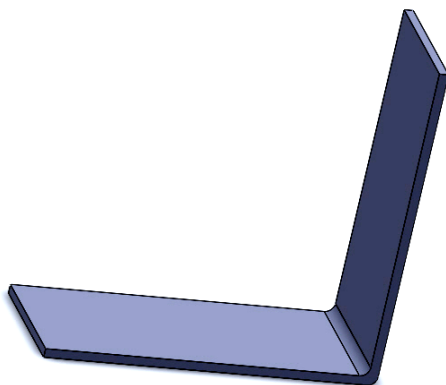
3.1 Výtvarok (výrobok)

Výrobok je vyobrazený na obr. 3.

Materiál: plech s hrúbkou 1,0 mm a 0,8 mm.

Chemické zloženie 0,10 % C, 0,45 % Mn, 0,035 % P, 0,035 % S.

Ďalšími hodnotami sú: $R_m = 420$ MPa, $R_e = 235$ MPa, $A = 26$ %.



Obr. 3. 3D model výrobku

3.2 Výpočet ohýbacej sily a práce

3.2.1 Ohýbacia sila

Princíp ohýbania na ohýbacom zariadení je na obr. 6. Ide vlastne o ohýbanie votknutého nosníka. Sila na ohýbanie sa stanoví podľa vzťahu (1):

$$F_o = \frac{b \cdot s^2}{6 \cdot l} \cdot R_m \cdot C \quad [\text{N}] \quad (1)$$

kde b - šírka ohýbaného pásu [mm],

C - koeficient pri ohýbaní do tvaru V (1,15 až 1,45),

R_m - pevnosť materiálu [MPa],

l - dĺžka ohýbaného ramena [mm],

s - hrúbka materiálu [mm].

Pre $s = 0,8$ mm je 139,2 N a pre $s = 1,0$ mm je 217,5 N.

3.2.2 Ohýbacia práca

Ohýbacia práca pri ohýbaní sa vypočíta podľa vzťahu (2):

$$A_o = F_o \cdot h \cdot \psi \quad [\text{J}] \quad (2)$$

kde ψ - súčiniteľ plnosti diagramu = 0,5 až 0,65,

h - pracovná dráha ohybníka [mm],

A - práca [J],

F_o - ohýbacia sila [N].

Pre $s = 0,8$ mm je 1201,9 J a pre $s = 1,0$ mm je 1878,11 J.

4 KONŠTRUKČNÉ RIEŠENIE OHÝBACIEHO ZARIADENIA

4.1 Princíp

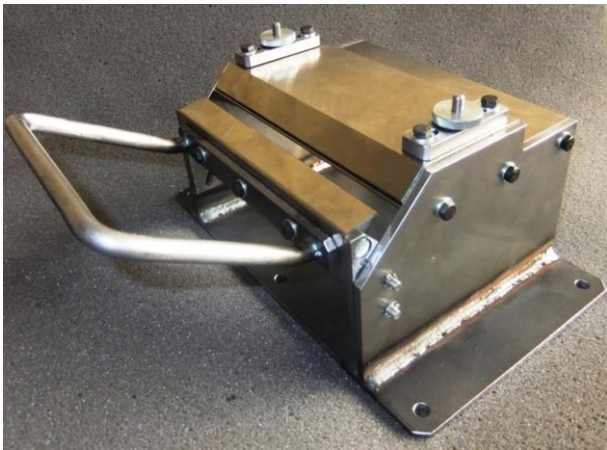
Ohýbacie zariadenie je jednoduchý nástroj na ohýbanie plechu, ktorý je konštruovaný tak, aby s ním bolo možné ohnúť plech s pevnosťou 400 MPa hrúbky 1 mm na dĺžke 15 mm.

Aby sa dal nástroj využiť pre širší rozsah hrúbok, bol upravený podľa nasledujúceho:

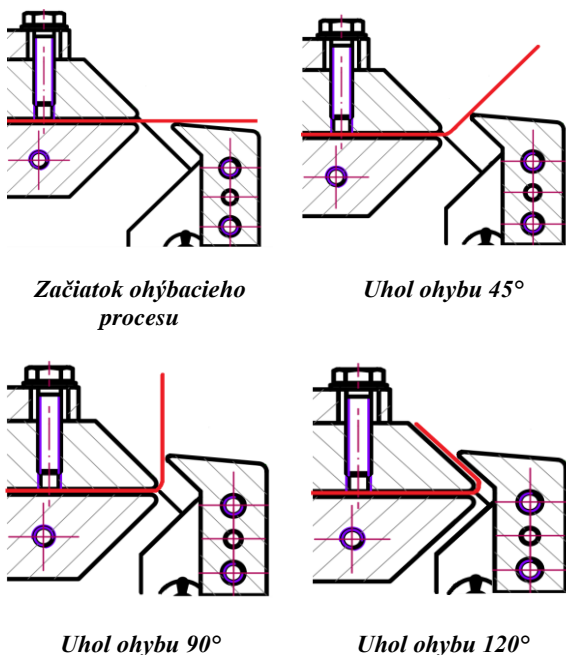
- do prítlačníka a prítlačnej lišty sa vyfrézovali drážky, vďaka ktorým sa zaistí posunutie prítlačníka o príslušnú hodnotu pre danú hrúbku plechu.

Experimentálne ohýbacie zariadenie je na obr. 4.

Pred ohnutím plechu je potrebné vykonať nastavenie ohýbacieho zariadenia pre danú hrúbku plechu. Charakteristickým znakom ohýbacieho zariadenia je kyvný pohyb ohybníka, vďaka ktorému je možné ohýbať materiál do rôznych uhlov ohybu pri relatívne malom zdvihu ohybníka (obr. 5).



Obr. 4. Vyrobené experimentálne ohýbacie zariadenie



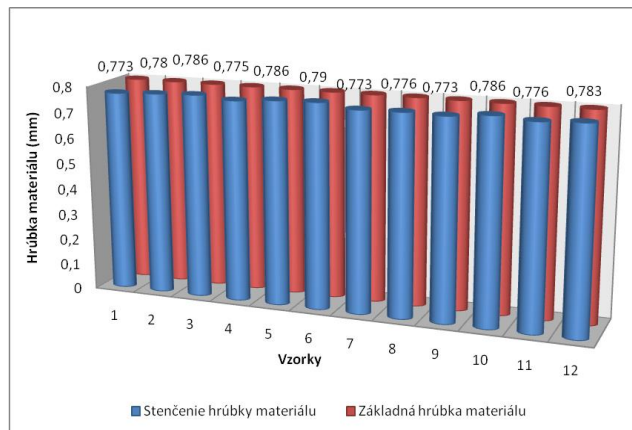
Obr. 5. Rôzne nastavenia uhlov ohybu na experimentálnom ohýbacom zariadení

5 EXPERIMENTÁLNA ČASŤ

Cieľom experimentálnych skúšok bolo overiť vplyv pretvorenia na presnosť a pevnosť výtvarkov. Skúšobné vzorky boli z plechu hrúbky 0,8 mm a 1,0 mm pri polomere ohybu 1 mm. Ohýbalo sa 12 kusov vzoriek kyvným spôsobom ohýbania na experimentálnom ohýbacom zariadení (obr. 4). Na základe vykonaných experimentov sa vyhodnotil vplyv stupňa pretvorenia na presnosť výtvarkov, vplyv stenčenia hrúbky materiálu na pevnosť výtvarkov.

5.1 Stenčenie steny

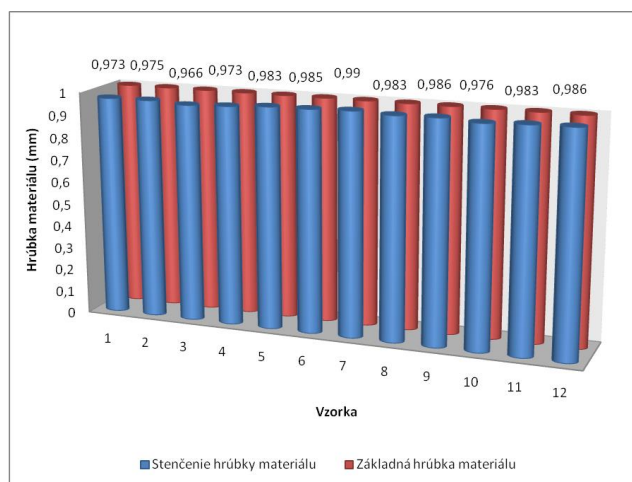
Hodnoty, o ktoré sa materiál stenčí, t. j. h_s , sú uvedené v tab. 1 a tab. 2. Na obr. 5 a obr. 6 sú uvedené jednotlivé hrúbky po stenčení v porovnaní s východiskovou hrúbkou.



Obr. 6. Graf hodnôt hrúbky materiálu s_s pre základnú hrúbku materiálu $s = 0,8$ mm

Tab. 1. Hodnoty stenčenia pre hrúbku materiálu 0,8 mm

Vzorka číslo	s_s [mm]	h_s [mm]	Stenčenie hrúbky [%]
1	0,773	0,027	3,37
2	0,780	0,030	2,50
3	0,786	0,024	1,75
4	0,775	0,035	3,12
5	0,786	0,017	1,75
6	0,79	0,014	1,25
7	0,773	0,027	3,37
8	0,776	0,037	3,00
9	0,773	0,024	3,37
10	0,786	0,037	1,75
11	0,776	0,027	3,00
12	0,783	0,024	2,12



Obr. 7. Graf hodnôt hrúbky plechu s_s pre základnú hrúbku materiálu $s = 0,8$ mm

Tab. 2. Experimentálne namerané hodnoty odpružení pre pretvorenie

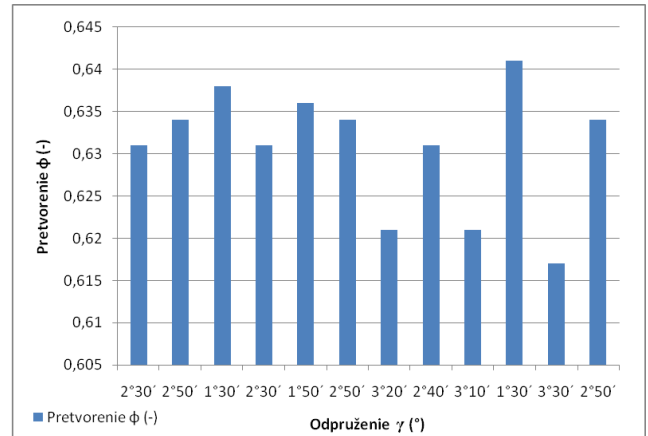
Hrúbka vzorky 1,0 mm	φ [-]	Uhol ohybu [°]	Uhol odprużenia [°]
1	0,655	91°10'	1°10'
2	0,667	90°30'	0°30'
3	0,658	91°30'	1°30'
4	0,665	91°10'	1°10'
5	0,675	89°50'	-0°10'
6	0,677	89°30'	-0°30'
7	0,682	88°40'	-1°20'
8	0,675	89°50'	-0°10'
9	0,667	90°30'	0°30'
10	0,658	91°20'	1°20'
11	0,675	89°50'	-0°10'
12	0,678	89°10'	-0°50'

Tab. 3. Experimentálne namerané hodnoty odpružení pre pretvorenie

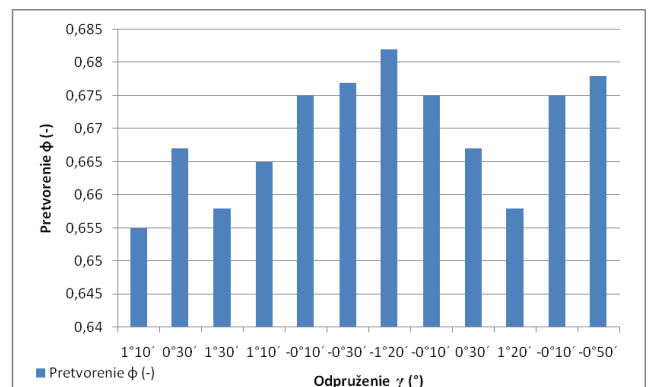
Hrúbka vzorky 0,8 mm	φ [-]	Uhol ohybu [°]	Uhol odprużenia [°]
1	0,631	92°30'	2°30'
2	0,634	92°50'	2°50'
3	0,638	91°30'	1°30'
4	0,631	92°30'	2°30'
5	0,636	91°50'	1°50'
6	0,634	92°50'	2°50'
7	0,621	93°20'	3°20'
8	0,631	92°40'	2°40'
9	0,621	93°10'	3°10'
10	0,641	91°30'	1°30'
11	0,617	93°30'	3°30'
12	0,634	92°50'	2°50'

Z výsledkov experimentálnych skúšok zameraných na vplyv stupňa pretvorenia na zvyškové elastické napätia ostávajúce vo výtvarkoch po procese ohýbania, sa dajú vyvodit' nasledovné závery:

- pri $s = 0,8$ mm a vzniknutom pretvorení $\varphi = 0,617$ bolo namerané maximálne odpružení 3°30' (obr. 7),
- pri $s = 1,0$ mm a vzniknutom pretvorení $\varphi = 0,658$ bolo namerané maximálne odpružení 1°30' (obr. 8).



Obr. 8. Hodnoty odprużenia a pretvorenia pre základnú hrúbku materiálu $s = 0,8$ mm



Obr. 9. Hodnoty odprużenia a pretvorenia pre základnú hrúbku materiálu $s = 1,0$ mm

5.2 Pevnosť výtvarkov

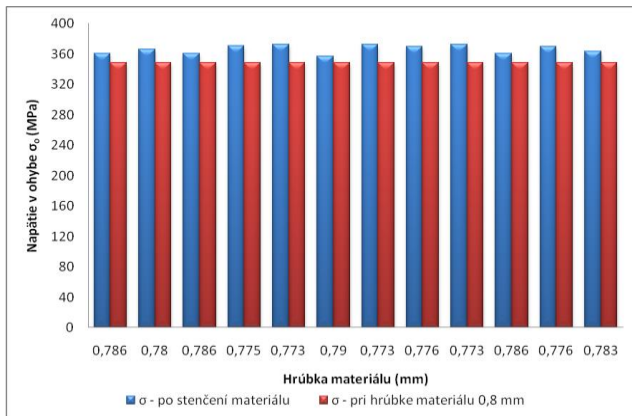
- pri hrúbke 0,8 mm bolo vypočítané maximálne $\sigma_o = 372,73$ MPa pre stenčenie hrúbky materiálu 0,773 mm (obr. 9).

Tab. 4. Hodnoty pevnosti v ohybe σ_o pre hrúbky materiálu so stenčením s_s

Vz. č.	Stenčenie pre 1,0 mm	σ_o [MPa]
1	0,973	365,99
2	0,975	364,49
3	0,976	363,75
4	0,973	365,99
5	0,983	358,58
6	0,985	357,13
7	0,990	353,53
8	0,983	358,58
9	0,986	356,40
10	0,976	363,75
11	0,983	358,58
12	0,986	356,4

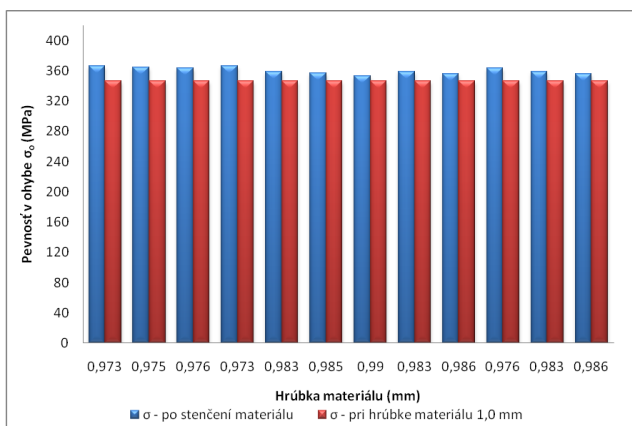
Tab. 5. Hodnoty pevnosti v ohybe σ_o pre hrúbky materiálu so stenčením s_s

Vz. č.	Stenčenie pre 0,8 mm	σ_o [MPa]
1	0,786	360,5
2	0,780	366,07
3	0,786	360,50
4	0,775	370,81
5	0,773	372,73
6	0,790	356,86
7	0,773	372,73
8	0,776	369,85
9	0,773	372,73
10	0,786	360,50
11	0,776	369,85
12	0,783	363,27



Obr. 10. Hodnoty pevnosti v ohybe σ_o

- pri hrúbke 1,0 mm bolo vypočítané maximálne $\sigma_o = 365,99$ MPa pre stenčenie hrúbky materiálu 0,973 mm (obr. 10).

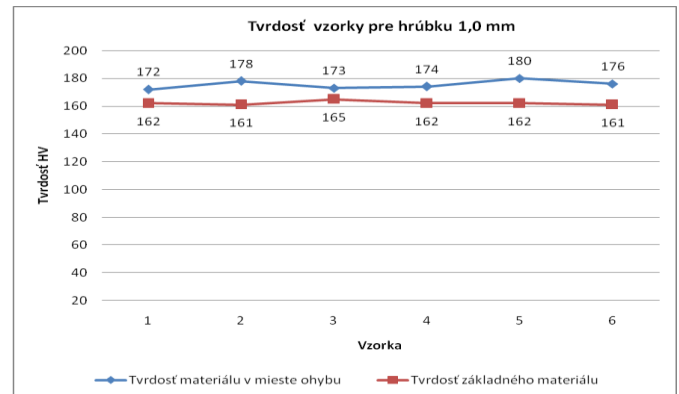


Obr. 11. Hodnoty pevnosti v ohybe σ_o

6 TVRDOSŤ

Tab. 6. Hodnoty mikrotvrdości pre hrúbku 0,8 mm

Hrúbka vzorky	1,0 mm					
Číslo vzorky	1	2	3	4	5	6
Tvrdosť HV v mieste ohybu	172	178	173	174	180	176
Tvrdosť HV základného materiálu	162	161	165	162	162	161



Obr. 12. Hodnoty mikrotvrdości pre hrúbku 1,0 mm

7 DISKUSIA

Ohýbalo sa po dvanásť kusov vzoriek. Na základe vykonaných experimentov sa vyhodnotil vplyv stupňa pretvorenia na presnosť výtvarkov a vplyv stenčenia hrúbky materiálu na pevnosť výtvarkov.

7.1 Presnosť výtvarkov

Z výsledkov experimentálnych skúšok zameraných na vplyv stupňa pretvorenia na zvyškové elastické napätia ostávajúce vo výtvarkoch po procese ohýbania, možno vyhodnotiť nasledovné závery:

Stenčenie hrúbky materiálu:

- pri hrúbke vzorky $s = 0,8$ mm boli namerané nasledovné hodnoty stenčenia hrúbky materiálu s_s : max: 0,773 \rightarrow 3,37 %,
- pri hrúbke vzorky $s = 1,0$ mm boli namerané nasledovné hodnoty stenčenia hrúbky materiálu s_s : max: 0,966 \rightarrow 3,4 %.

Odpruženie materiálu:

- pri hrúbke vzorky $s = 0,8$ mm boli namerané nasledovné hodnoty odpruženia γ : pri pretvorení $\varphi = 0,617 \rightarrow \gamma = 3^\circ 30'$,
- pri hrúbke vzorky $s = 1,0$ mm boli namerané nasledovné hodnoty odpruženia γ : pri pretvorení $\varphi = 0,658 \rightarrow \gamma = 1^\circ 30'$.

SB boli dosiahnuté menšie uhly odpruženia materiálu a menšia veľkosť vzniknutého stenčenia v pretvorenej oblasti výtvarku, čím sa dosiahla v niektorých prípadoch väčšia presnosť ohýbanej súčiastky.

7.2 Pevnosť výtvarkov

Pevnosť výtvarkov bola zisťovaná na základe pevnosti materiálu v ohybe σ_o vzhľadom na spevnenie vyvolané stenčením vzorky v oblasti ohybu.

- pri hrúbke vzorky $s = 0,8$ mm boli namerané nasledovné hodnoty odpruženia σ_o .

Pre kyvné ohýbanie:

- pre stenčenie $s_s = 0,773 \rightarrow \sigma_o = 372,81$ MPa,
- pri hrúbke vzorky $s = 1,0$ mm boli namerané nasledovné hodnoty odpruženia σ_o .

Pre kyvné ohýbanie:

- pre stenčenie $s_s = 0,973 \rightarrow \sigma_o = 365,99$ MPa.

Z uvedeného vyplýva, že stenčenie zvýšilo pevnosť výtvarkov v ohýbanej oblasti.

7.3 Tvrdosť výtvarkov

Na základe výsledkov zistených pri meraní mikrotvrdości podľa *Vickersa* je možné tvrdiť, že v mieste ohybu vzniklo k zvýšeniu tvrdosti vzorky:

- Pri hrúbke vzorky $s = 0,8$ mm boli namerané nasledovné hodnoty mikrotvrdości:

pre kyvné ohýbanie: v mieste ohybu: 186 HV a základného materiálu: 165 HV

- Pri hrúbke vzorky $s = 1,0$ mm boli namerané nasledovné hodnoty mikrotvrdości:

pre kyvné ohýbanie: v mieste ohybu: 180 HV a základného materiálu: HV

Výhodou ohýbacieho zariadenia je možnosť ohýbania plechu do rôznych uhlov ohybu.

Pri ohýbaní súčiastky do uhla napríklad 60° by sa musel pri klasickom ohýbaní vymeniť ohybník s ohybnicou, čo má za následok zvýšenie nákladov na nástroj.

ZÁVER

V nadväznosti na svetové tendencie a so zreteľom na špecifickú situáciu treba riešiť problém tvárnenia kovov v celom komplexe - tvárnený materiál, tvárniace nástroje, tvárniace stroje a ich automatizáciu vrátane riadenia. Progresívnu metódou v technológii ohýbania je v súčasnosti bezpochyby aj kyvné ohýbanie, ktorého veľkou výhodou je ohýbanie veľkých dielov až $4 \times 3,7$ m, automatické programovanie a ďalej sú to výhody samotnej konštrukcie kyvnej ohýbačky, napríklad programovateľná pozícia hornej čeľuste, robustnosť spodnej čeľuste, nedochádza k jej priehybu a rýchlosť ohýbania ohýbacej čeľuste je až $90^\circ \cdot s^{-1}$.

LITERATÚRA

[1] BAČA, J. - BÍLIK, J. (2000): *Technológia tvárnenia*. Bratislava: Slovenská technická univerzita, 235 p., ISBN 80-2271-3392.

[2] MORAVEC, J. (2011): *Nekonvenčné metódy tvárnenia*. EDIS - vydavateľstvo Žilinskej univerzity v Žiline, ISBN 978-80-554-0389-2.

[3] OKOLICÁNYI, P. (2009): *Kyvná ohýbačka - flexibilita bez hraníc* [online], [cit.28.10.2010]. Dostupné na internete: <http://www.techpark.sk/technika-782009/kyvna-ohybacka-flexibilita-bez-hranic.html>.

[4] MORAVEC, J. (2003): *Ohýbanie a ohýbacie nástroje*. EDIS - vydavateľstvo Žilinskej univerzity v Žiline, 93 p., ISBN 80-8070-040-0.

[5] KYVNÉ OHÝBANIE BODUJE (2006): [online], [cit.01.11.2010]. Dostupné na internete: <http://www.bickelwolf.sk/pdf/ts/kob-SVBrno.pdf>.

A modern approach to ergonomics: the study of work and non-work activities of employees

Ján Zuzik, Ing.*

Department of industrial Engineering, Faculty of Mechanical Engineering,
University of Žilina,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina, Slovak Republic.
E-mail: jan.zuzik@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2748

Vladimíra Biňasová, Ing. PhD., DiS.

Department of industrial Engineering, Faculty of Mechanical Engineering,
University of Žilina,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina, Slovak Republic.
E-mail: vladimira.binasova@fstroj.uniza.sk, Tel.: +421 41 513 2727

Beáta Furmannová, Ing., PhD.

Department of industrial Engineering, Faculty of Mechanical Engineering,
University of Žilina,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina, Slovak Republic.
E-mail: beata.furmannova@fstroj.uniza.sk, Tel.: +421 41 513 2711

Abstract: The purpose of the study is to determine how an employee's work and non-work activities are related. The relevance of after-work activities is covered in the introduction. The relationship between employees' work and non-work activities is illustrated in the section that follows. The last section addresses the effects of employees' unequal workloads and non-work activities as well as suggestions for personalized advice. An individual's general well-being depends on having a balanced ratio between work and non-work activities, which is why the article offers a more comprehensive answer to this issue.

Keywords: industrial engineering, ergonomics, well-being, work-life balance.

INTRODUCTION

These days, it's critical to establish a positive link between an individual and their profession, as well as the activities they undertake at work, but it's still not a given. Making employees' jobs as simple as feasible is consequently crucial. They must be at ease, have no health issues, and be able to perform their duties as smoothly as possible. Ergonomics is significant in the organization for several reasons. The application of ergonomics in an industrial organization is a unique characteristic [5, 6, 15].

The worker and their combined physical and mental qualities make up one essential part of the work system. The goal of ergonomics is to customize each worker's work environment, addressing both the mental and physical demands of the job [9, 11].

A balanced ratio of work to non-work activities is another key topic in ergonomics, as it is essential to an individual's total well-being. Because a person's physical, psychological, and social health are impacted by the connections between their work and non-work activities. [7, 8, 14].

1 UNLOCKING POTENTIAL: THE CRUCIAL ROLE OF EXTRACURRICULAR ACTIVITIES

Employees' involvement in extracurricular activities has a significant impact on their work lives and the tasks they perform at work. This link could be complex and affect both individual performance and several aspects of the workplace. The following are some crucial elements that establish the relative importance of work and non-work activities [3, 13]:

- **Impact on recreation and restorative measures:** Activities that take place outside of the workplace, such as physical activity, relaxation, or cultural pursuits, can help employees replenish and reenergize their bodies and minds. They can thus have a favorable impact on the output and caliber of the job.
- **Improving originality and creativity:** Taking pauses from professional obligations, like during spare time or a weekend off, can help foster originality and creativity. Relaxation and novel experiences can inspire fresh perspectives and methods for completing things at work.

- **Work-Life Balance:** An employee's general contentment and well-being depend much on striking the correct balance between their personal and professional lives. Participating in extracurricular activities can support preserving this equilibrium, which boosts engagement and morale at work.
- **Enhancing interpersonal connections:** Extracurricular pursuits like attending social gatherings or athletic events help fortify the social links among coworkers. Cooperative teams and effective communication methods might benefit from strong social bonds.
- **Burnout prevention:** Engaging in activities outside of the workplace can help avoid burnout. Employees who get enough rest can better handle the pressure and stress of their work-related tasks.

All things considered, the significance of extracurricular activities lies in creating a balanced and satisfying existence that fosters both an individual's personal and professional development. The equilibrium between work-related and leisure-related pursuits enhances workers' overall job satisfaction and productivity.

2 CONNECTION BETWEEN WORK AND NON-WORK ACTIVITIES

The intricate relationship between work and leisure activities has an impact on an individual's overall quality of life. Numerous variables may impact this connection [10, 13]:

- **Time demand of job responsibilities:** An individual's capacity to dedicate time and energy to non-work activities can be greatly impacted by the intensity and demand of their work activities. Workers with extremely demanding job schedules might not have much time for hobbies.
- **Flexibility of the work environment:** Employees may find it simpler to balance work and personal obligations in an atmosphere that offers more flexibility. On the other hand, a rigid workplace may make it harder to strike a balance.
- **Relaxation through non-work activities:** After a demanding workday, engaging in a variety of non-work activities, such as exercise, art, or hobbies, can help you unwind and rest. Resuming non-work-related activities can help people feel less stressed and preserve their mental health.
- **Employer assistance for work-life balance:** Businesses and organizations that understand the value of a balanced lifestyle might offer programs like home offices or flexible work

schedules to encourage a better separation of work and leisure time.

- **Personal preferences and values:** People differ in the values and priorities they place in life. Work-life may take precedence for some people, while family time, leisure time, and personal growth may be more significant to others.
- **Technological developments:** The relationship between work and non-work activities can be made simpler or more complex by modern technologies. When technology makes it possible to operate remotely, flexibility may rise. However, maintaining regular access to work emails and other communication platforms might make it more difficult to distinguish between work and personal time.

In general, the relationship between work and non-work activities is a contextual and personalized process that considers a range of workplace factors as well as individual preferences.

3 THE RESULT OF AN UNEVEN DISTRIBUTION BETWEEN WORK AND LEISURE ACTIVITIES

Lack of employment or an imbalanced ratio between work and leisure activities can have several detrimental effects on a person's social, psychological, and physical well-being as well as the quality of his working life. Among these repercussions are [12, 13]:

- **Increased stress:** Chronic stress can be brought on by an excessive workload and a lack of downtime. This illness can decrease sleep, have a detrimental impact on one's physical and mental well-being, and raise the chance of developing additional health issues.
- **Decreased productivity:** Working nonstop without proper breaks might wear you out and make you less productive. Long-term imbalances can lead to burnout, which shows itself as tiredness and a lack of drive.
- **Sleep issues:** Working long hours or having a lot on your plate might throw off a person's sleep schedule. Sleep deprivation hinders the body's natural regeneration process and can cause issues with cognitive function and general health.
- **Impaired health:** A sedentary lifestyle can lead to several health problems, including obesity, heart disease, and other conditions. An uneven ratio can have long-term effects on physical health.
- **Social relationship disruption:** Social isolation and a weakening of social ties can result from not making time for friends, family, and personal interests. The general level of life pleasure may suffer as a result.

- Limited personal development: There may be less room for learning and personal growth if work obligations take up all of your attention. Someone could feel stuck in a job routine with no room for personal development.
- Poor work-life balance: Feelings of discontent and unequal time management might arise from an uneven distribution of jobs and non-work activities.

4 PROPOSAL OF RECOMMENDATIONS FOR EFFECTIVE MANAGEMENT OF WORK AND NON-WORK ACTIVITIES

The following ideas could be included in draft recommendations for the efficient management of work and non-work activities to achieve a balanced and healthy lifestyle [4, 13, 16]:

- Establishing distinct limits: To avoid the working day from becoming uncontrollably longer, it is crucial to establish boundaries between work and non-work activities, as well as to set and adhere to defined working hours.
- Setting priorities for tasks: Important tasks must be determined and ranked in order of significance. Time must be set aside for non-work activities that are crucial to an employee's personal growth and well-being.
- Flexible work environment: To enhance work-life balance, if possible, consider a home office or a flexible work environment. To design a comfortable, ergonomic workspace that encourages productivity and wellbeing.

A good example of how to set up the workspace for a worker who works from home is shown in Figure 1. The work surface should be comfortable for working on, and the table should not have any extra items on it.

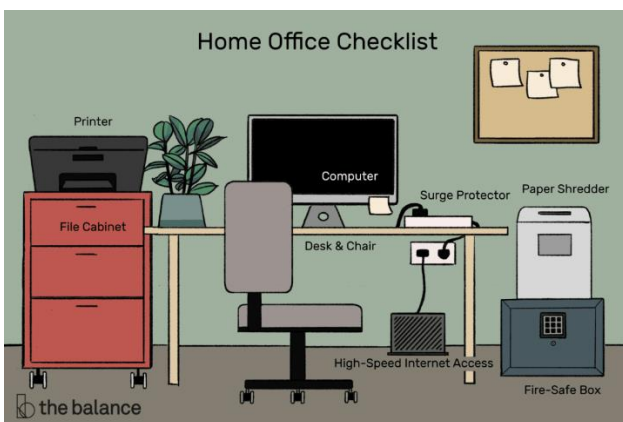


Fig. 1. Illustration of the layout of the workspace [1]

- Development of time management skills: To help staff members better organize their time, it is worthwhile to invest in their time management training. Utilizing tools and technologies to keep

track of and manage your time commitments and responsibilities is also advised.

- Support for work-life balance from the employer: It is important to communicate with your employer about the need for work-life balance and discuss possible measures such as flexible working hours or a policy supporting the well-being of employees. It is imperative to create clear boundaries between work and personal time, even when working remotely.
- Personal planning system: Putting both work and non-work activities into one's planning system is crucial. To efficiently manage time, keep track of long-term objectives and ambitions as well.
- Fostering Social Relationships: To build social bonds and support emotional health, this component emphasizes spending time with friends, and family, and participating in social activities.
- Call for self-reflection: It's important to evaluate if the balance struck between your personal and professional lives is sustainable and satisfactory frequently.

By following these suggestions, people can better manage their time and strike a balance between work and leisure activities. It's critical to recognize your priorities and modify your plans considering the demands and circumstances of the moment.

CONCLUSIONS

The idea of striking a healthy balance between work and leisure time is essential to a person's general well-being. Work and personal life are intertwined and have an impact on one's physical, emotional, and social well-being. Serious repercussions from an imbalanced ratio can include elevated stress, reduced productivity, insomnia, strained relationships, and poor health.

Setting clear boundaries between work and personal activities, prioritizing projects, taking regular breaks, and fostering a flexible work environment are some tips for managing work and non-work activities effectively. Developing time management skills and communicating the need for work-life balance to the employer are crucial aspects. Other strategies for living a balanced lifestyle include creating a personal planning system and providing social relationship support.

Sustaining an ideal balance requires continuous self-reflection and employer support for work-life balance. To promote general well-being and contentment, it is important to set clear guidelines and foster an atmosphere where people feel encouraged to maintain a work-life balance. To achieve a well-balanced and superior lifestyle, it is critical to

recognize your priorities and modify your plans in light of evolving circumstances.

Acknowledgments

This work was supported by the Slovak Research and Development Agency under contract APVV 19-0305.

REFERENCES

- [1] Ako pandémie zmenila a ešte zmení pracovné prostredie, prístup spoločností a zamestnávateľov a zamyslenie sa nad potrebnými legislatívnymi zmenami. (n.d.). Cit 22. január 2024, z <https://www.linkedin.com/pulse/ako-pand%C3%A9mia-zmenila-e%C5%A1te-zmen%C3%AD-pracovn%C3%A9-prostredie-stodolicova-mba>
- [2] ANTONIUK, I. - SVITEK, R. - KRAJČOVIČ, M. - FURMANOVA, B. (2021): Methodology of design and optimization of internal logistics in the concept of Industry 4.0. In: *Transportation Research Procedia*, 55, 503-509.
- [3] AOYAGI, C. - MUNRO, A. (2024): *Guilt, gender, and work-life balance: A choice experiment*. In: *Journal of Choice Modelling*, 50. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.jocm.2023.100464>
- [4] BADRI, S. K. Z. (2024): *Evaluating higher education (HE) work design to sustain academics' work-life balance*. In: *Journal of Applied Research in Higher Education*, 16(1), 134-149. Scopus. <https://doi.org/10.1108/JARHE-04-2022-0116>
- [5] BARBUŠOVÁ M. - BIGOŠOVÁ E. - ČECHOVÁ I. (2018): *Systém merania produktivity v podniku*. In: Projekt interdisciplinárny projektom XXI storočia. Monografia. Bielsko-Biala. Wydawnictwo Akademii Techniczno-Humanistycznej. 2018. ISBN 978-83-65182-92-0.
- [6] DULINA, E. 2023. *Uplatnenie ergonomie vo výrobných a logistických systémoch*. Žilinská univerzita v Žiline: EDIS. 2023. 106 s. ISBN 978-80-554-1960-2.
- [7] FILIPOVÁ, I. - DULINA, E. - BIGOŠOVÁ, E. - PLINTA, D. (2021): *Modern Possibilities of Patient Transport Aids*. In: 14th International scientific conference on sustainable, modern, and safe transport (Transcom). Virtual conference 26 May - 28 May, Slovakia. *Transportation Research Procedia*, 55, pp. 510-517 2021.
- [8] FURDYGIEL, P. - PLINTA, D. (2020): *Production process improvement system*. In: Wydawnictwo Naukowe Akademii Techniczno-Humanistycznej w Bielsku-Białej. Bielsko-Biala.
- [9] HORVÁTHOVÁ, B. - GAŠO, M. (2017): *New technologies for ergonomic workplace evaluation*. In: Bielsko Biala: Wydawnictwo Akademii Techniczno-Humanistycznej, pp. 419-424, ISBN 978-83-65192-80-7.
- [10] MAJOR CRISES AND WORK-LIFE BALANCE (2024): *The importance of organizational response*. In: *Human Resource Management International Digest*, Vol. 32, No. 1, pp. 27-29. Scopus. <https://doi.org/10.1108/HRMID-09-2023-0194>
- [11] PLINTA, D. - WIECEK, D. - MIELCAREK, D. (2011): *Analysis of working conditions on the example of assembly workplaces*. W: MOPP: 13. ročník mezinárodního semináře: Modelování a optimalizace podnikových procesů, Česká republika, Plzeň 24-25.11., pp. 1-7, ISBN 978-80-261-0060-7.
- [12] SINGHAL, D. - SALUNKHE, H. A. (2024): *An analysis of factors associated with employee satisfaction in information technology companies*. In: *International Journal of Human Capital in Urban Management*, Vol. 9, No. 1, pp. 135-156. Scopus, <https://doi.org/10.22034/IJHCUM.2024.01.10>.
- [13] SLAMKOVÁ, E. - DULINA, E. - TABAKOVÁ, M. (2010): *Ergonomia v priemysle*. Žilina: GEORG knižárstvo, 262 p., ISBN 978-80-89401-09-3.
- [14] TREBUŇA, P. - PEKARČIKOVÁ, M. - KLIMENT, M. - TROJAN, J. (2019): *Metódy a systémy riadenia výroby v priemyselnom inžinierstve*. Košice: Technická Univerzita v Košiciach, 2019. 210 s. ISBN 978-80-553-3280-2.
- [15] VAVRÍK, V. - FUSKO, M. - BUČKOVÁ, M. - GAŠO, M. - FURMANNOVÁ, M. - ŠTAFFENOVÁ, M. (2022): *Designing of machine backups in reconfigurable manufacturing systems*. In: *Applied Sciences*, Vol. 12, No. 5, pp. 1-27, ISSN 2076-3417.
- [16] KRAJČOVIČ, M. - ANTONIUK, I. - PAPÁNEK, L. - FURMANN, R. - BIŇASOVÁ, V. - BASTIUCHENKO, V. (2022): *Procedure of applying the genetic algorithm for the creation of a production layout*. In: *MM SCIENCE JOURNAL*, pp. 6147-6155, ISSN 1803-1269 (print), ISSN 1805-0476 (online).

Magnetic forming with heat in a magnetic field

Ján Moravec, doc. Ing., PhD.*

Department of Technological Engineering, Faculty of Mechanical Engineering,
University of Žilina,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina, Slovak Republic.
E-mail: jan.moravec@fstroj.uniza.sk, Tel.: +421 41 513 2764

Abstract: The article focuses on the application of a magnetic field in the forming of low-carbon steel castings. The original solution of the forming device, which was used in the experimental works, is presented. The results of the experimental works confirmed the suitability of its use for the mentioned work.

Keywords: samples, magnetic field, forming, tests.

1 THEORETICAL KNOWLEDGE

In order to achieve the required melting temperature of a certain type of material, it is necessary to supply the appropriate amount of energy. During casting and production of castings, the liquid phase obtained with the help of an energy source (melting furnace) is used, but after casting, the falling temperature of the casting is no longer used. The following text describes how this temperature can be used to optimize the casting and forging process.

A metal with a temperature of T_1 has a temperature of T_2 when cast into a mold. When processed by die forging, on the condition that T_2 is approximately equal to the temperature of T_3 , that is, the temperature of T_2 does not differ much from the value of the temperature of T_3 , i.e. size of the upper forging temperature, we can process the casting for the purpose of increasing its useful and mechanical properties, up to the limit of T_4 , the lower forging temperature. (Fig. 1).

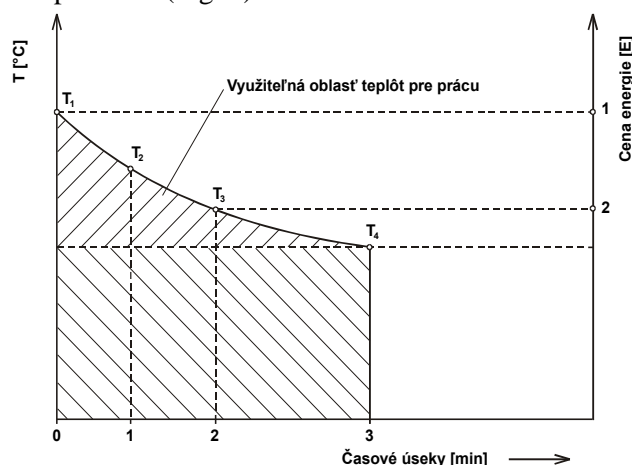


Fig. 1. Illustration of the use of metal temperature for casting and forming

A steel model device was made for experimental verification. Lead was used as an experimental material because the model tests use the properties of lead and its alloys, which at ambient temperature have

similar plastic properties as steel at a temperature of 900 °C. Two types of parts (components) were made:

- cylindrical samples with through a continuous hole, five pieces,
- mounted samples also with a continuous hole, five pieces.

Procedure:

- molten metal was poured into the model mold, which was then shaped in the die by pressing pressure.

Findings:

- one heating is enough for both methods,
- the method is also suitable for small-scale production,
- savings in energy costs are obtained.

Limitation:

- with a low range of forging temperatures, there is a risk of damage to the forming tool if the forming time interval is shifted.

The benefit of the solution is the financial effect expressed by cost savings not only of the energy itself, but also of the need for only one heating device. When comparing the consumption of electricity between two furnaces, i.e. a heating furnace and a melting furnace, it can be seen that the power consumption of both devices at a price of € 0.198 per 1 kW is:

- 1 - melting furnace K 360/12 - 100 kW, price € 19.80,
- 2 - heating furnace VK 100S - 45 kW, price € 8.91.

This simple comparison shows the economic advantage of the solution, especially with the constant increase in the price of electricity.

1.1 The process of applying a magnetic field

The casting process itself can be done in a magnetic field (Fig. 1). Experimental works as well as theoretical analysis of process events confirm a positive result.

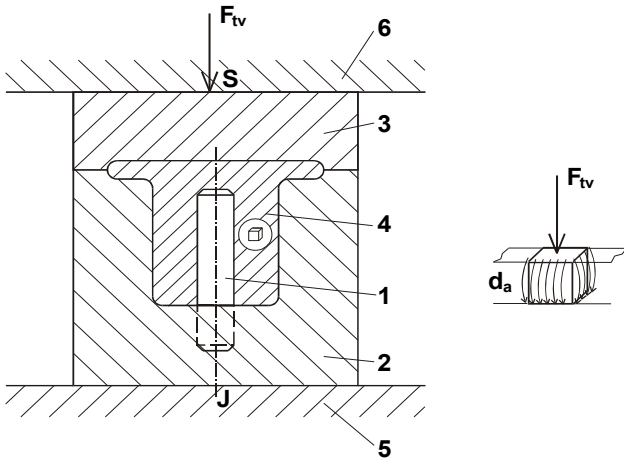


Fig. 2. Schematic of reworking the casting in a magnetic field: 1 - mandrel, 2 - lower part, 3 - upper part, 4 - workpiece, 5 - press table, 6 - frame

In Fig. 2 is a schematic diagram of a casting forming experiment arrangement where magnetic field lines surround the forming region and act on the volume elements. The effect of the magnetic field on the directional solidification of the melt was described above. Similar positive and positive results are realistically expected in this case as well when applying the procedure to practice and production of real parts.

The intention is to show not only the side connected with production technology, but also to partially draw attention to the economy, ecology and the use of unconventional procedures in this area. It will be necessary to know in detail the issue of heat transfer in the mold-casting system.

2 EXPERIMENTAL PART

The production of castings by pressing liquid metal combines the advantages of hot forging technology and pressure casting. The required amount of metal is poured into the stationary lower part of the mold. Movable - the upper part of the mold moves downwards after pouring the liquid metal and begins to push the metal upwards into the gap between the active parts. After the entire cavity is filled, the pressing pressure is transferred to the entire volume of the metal. Crystallization of the casting until complete solidification takes place under pressure, which also results in solidification of the metal [4].

The second alternative to this method is casting with crystallization under pressure. The upper part of the mold (press) covers the entire cross-section of the cavity of the lower mold and the metal is not extruded. The die enters the bottom of the mold just enough to compensate for the shrinkage of the metal. As a result of using the pressure of the die, the casting exactly copies the surface of the mold. The clean and high-quality surface of such a casting is close to the quality of the surface of castings cast under pressure. The advantage of this method is the calm free escape of

gases and the fact that the necessity of using an inlet system is eliminated, because the metal is poured directly into the working cavity of the mold.

For experimental work, samples were made of low-carbon steel 12 020. The chemical composition of the steel is: $C - 0.13\%$, $Cr - 0.20\%$, $Mn - 0.70\%$, $Ni - \text{max } 0.25\%$. The hardness of the samples was 66.05, 66.10, 66.90, 68.15, 68.30 HRB. The sets of rollers were cast in a mold. After reaching the upper forging temperature of 1280 °C, the actual forming began. 10 pieces with the application and 10 pieces without the application of a magnetic field were formed up to the limit of the lower forging temperature of 750 °C. The scheme of experiments with the application of a magnetic field is shown in Fig. 3.

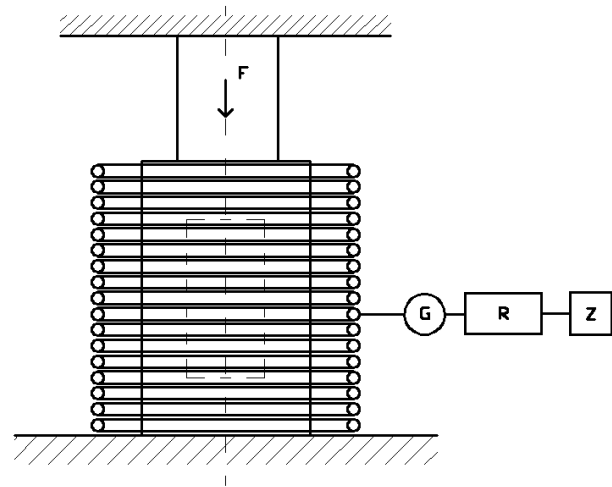


Fig. 3. Scheme of experiments with the application of a magnetic field

Principle:

The work that the source supplied to the circuit from the moment of switching on $t = 0$, $I = 0$, to the assumed moment $t = t$, $I = I$, is:

$$A = \int_0^t \varepsilon' \cdot I \cdot dt = \int_0^t R \cdot I^2 \cdot dt + \int_0^t \left(L \cdot I \cdot \frac{dI}{dt} \right) \cdot dt \quad (1)$$

where ε' - DC electromotive voltage source,

$$\varepsilon' = R \cdot I + L \cdot \frac{dI}{dt}.$$

On the right-hand side, the first term represents *Joule's heat*. The second term for $I = 0$ is non-zero and represents the energy accumulated by the inductance L . It is the energy of the magnetic field and applies to it:

$$E_m = \int_0^I L \cdot I \cdot dI = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I^2 \quad (2)$$

This energy can be expressed using the magnetic field vectors \mathbf{H} , \mathbf{B} . The model case of a toroidal coil with current I and number of turns N is used. For the total magnetic flux Φ surrounded by its turn:

$$\Phi = L \cdot I = N \cdot B \cdot S. \quad (3)$$

After substituting for $L \cdot I$ in (1) using the relation:

$$H = \frac{N \cdot I}{d} = n \cdot I \quad (4)$$

where $d =$ length of curve $2 \cdot \pi \cdot R$,

$$n - \text{density of turns, } n = \frac{N}{d},$$

from which $I = \frac{H \cdot d}{N}$ will be:

$$\begin{aligned} E_m &= \frac{1}{2} \cdot L \cdot I \cdot 2 = \frac{1}{2} \cdot \Phi \cdot L = \\ &= \frac{1}{2} \cdot H \cdot B \cdot S \cdot d = \frac{1}{2} \cdot H \cdot B \cdot \tau \end{aligned} \quad (5)$$

where $\tau = S \cdot d$ is the volume of the toroid.

Accumulation of magnetic energy occurs in the circuit when the current increases and is supplied by the current source.

In Fig. 4 is a captured assembly of the experimental forming device.

A detailed description of the construction of the used device and its calculation is in the source [3].

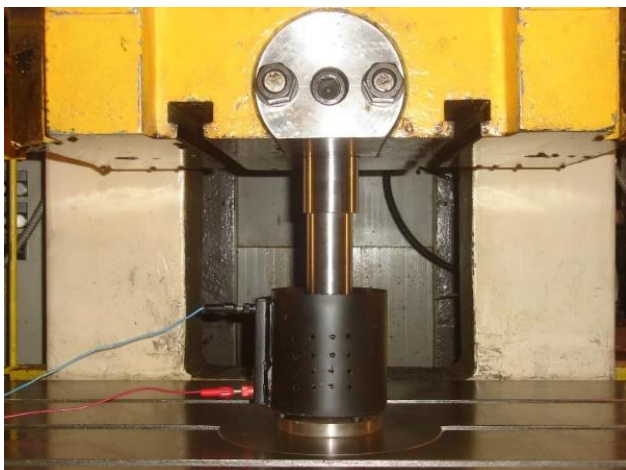


Fig. 4. An experimental device - an assembly

2.1 Testing

2.1.1 Construction of pressure test equipment

In order to carry out the tests, it was necessary to manufacture the test equipment described in the following text. The tool consists of the following basic parts: body pos. 1 where there is a working chamber in which cylindrical samples of metal materials are placed. The second part is the punch list pos. 3 by which the sample is pressed in its longitudinal axis. The punch is housed in a bronze case, pos. 2. The sample is stored in the cavity on the plate pos. 4, which is hardened to 60 HRC and ground. The body is screwed to the base plate. A ventilation hole is drilled in the longitudinal axis of the body, necessary for mounting the plate (Fig. 5).

An experiment was carried out in the said facility. Conditions of the experiment: machine - shredder, tool: pressing device.

10 + 10 pieces of cylindrical samples were pressed. The dimensions of the samples were $\varnothing 18 \times 21$ mm. The reduction was chosen to a maximum of 30 %. Figure 6 shows part of the samples after the tests. Tables 1 and 2 show the results of the experiment.



Fig. 5. A test equipment



Fig. 6. Samples after tests performed at various reductions



Fig. 7. Metallographic cut of the sample, magnification 100x, etched Nital 2 %

According to the data in the tables, it is clear that the tests were carried out in hot conditions. The temperatures are higher than the *Curie temperature*. It follows that when applying a heating amount with a value smaller than the *Curie temperature*, a greater influence of the magnetic field on the forming process

can be expected. The tests were only intended to point out the fact that the application of a magnetic field does not have an adverse effect on the forming process as such. Cracks did not occur on any sample out of the entire number of samples. Figure 8 shows the metallographic cut of the sample with a reduction of 30 %. The bulge parameter is listed for addition.

Figure 8 shows a metallographic cut of a sample that has a reduction of 29.55 %. The sample has a pronounced course of compressed fibers. Other cuts are not included, because it would be unnecessary duplication at the expense of space in the text of the work.

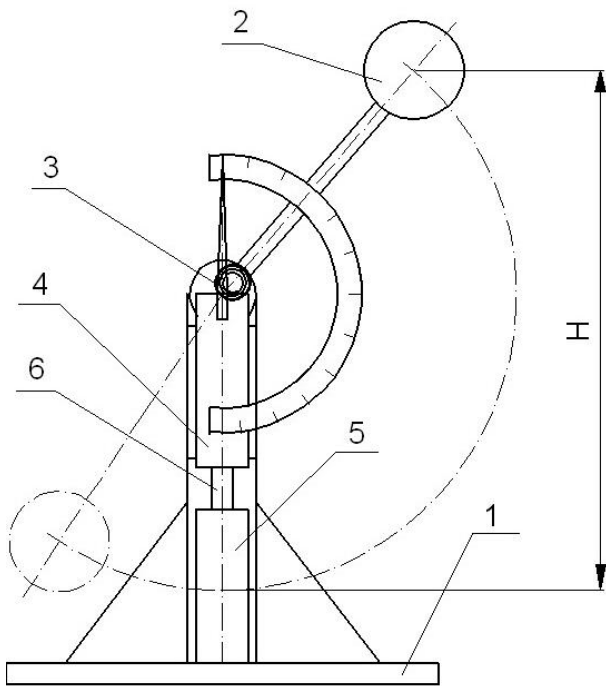


Fig. 8. A test device for detecting transformational resistances

2.1.2 Determination of apparent resistances

Simplified technological tests on samples were used, the aim of which is to determine the final value of the resistance against deformation in an integral way. The test samples are designed in such a way that the state of stress during their deformation is maximally close to uniaxial. The scheme of the device is shown in Fig. 8.

Principle:

The essence is a modified *Sharp hammer*. Pendulum 2 with a weight of 25 kg has a maximum lift of $H = 1.5$ m. On the shaft around which the pendulum rotates, a circular cam 3 is fixed, which through a roller bearing acts on member 4, which deforms the test sample 6. After the pendulum swings, the total work consumed during hammering is measured.

During impact forming, the tool hits the formed material at a certain speed. It ranges around $6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ in the case of thunderbolts. The speed from the moment

of impact of the tool starts to decrease, because the work is consumed in shaping the material. After the work done by the falling ram is exhausted, the speed will drop to zero.

Due to the fact that the test is close to static hammering, the evaluation can be done according to a simple relationship:

$$A = K_s \cdot V \cdot \ln \frac{h_0}{h_1} = K_s \cdot V \cdot \varphi \quad [\text{J}], \quad (6)$$

where A is the transformation work consumed to transform the sample,

K_s - medium deformation resistance (MPa),

V - volume of compressed sample (cm^3),

h_0 - initial height of the compressed sample (mm),

h_1 - height of the sample after compression (mm),

φ - logarithmic degree of transformation.

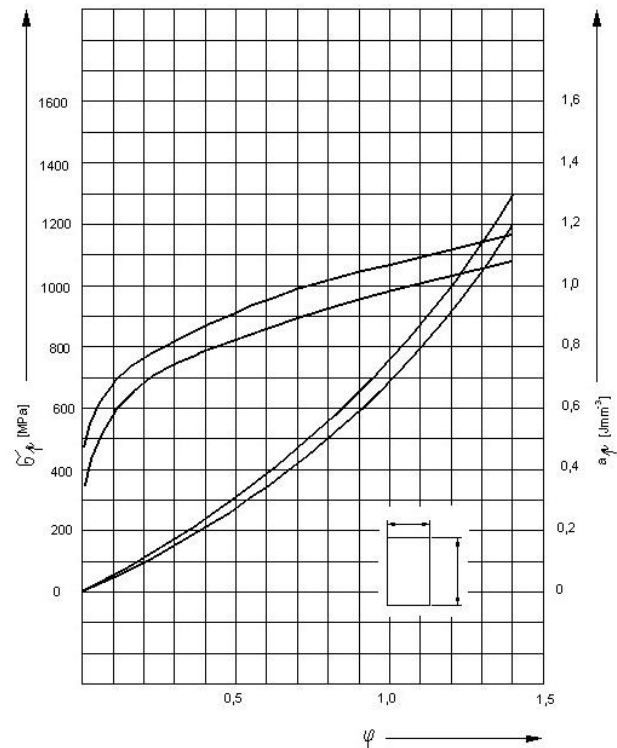


Fig. 9. Curves of deformation resistance of the tested steel

In Fig. 9 shows the dependences of deformation resistances on the logarithmic degree of deformation (these dependences are also called strengthening curves) for individual test stages for steel 12 020. The measured values are the mean values from five measurements.

CONCLUSION

Trends in industry will require the use of unconventional technological procedures, where the latest scientific findings (physics, chemistry) will be applied. Increasing productivity and its indicators in

the production of components and functional units will require the use of new progressive procedures that can satisfy the demands of producers and customers.

In the contribution, the effort was to point out the real possibilities of applying physical knowledge to the production process and verifying the device for influencing the forming process with a magnetic field in laboratory conditions, which was accomplished.

From the point of view of intention, the detected differences are insignificant. The magnetic field does not play a significant role in the machining of material exposed to its action in the previous process.

REFERENCES

- [1] ŽIDEK, M. - SOMMER, B. - DĚDEK, V. (1988): *Steel Forming*, SNTL Praha.
- [2] MORAVEC, J. (2011): *Unconventional methods of metal forming*, EDIS Publishing House UNIZA Žilina, ISBN 978-80-554-0389-2.
- [3] MORAVEC, J. (2023): *Application of magnetic shock in forming*, EDIS publishing house UNIZA Žilina, ISBN 978-80-554-1964-0.
- [4] MORAVEC, J. (2008): *Implementation of knowledge from electromagnetism into the sphere of integrated procedures in chipless technologies*. Collection grant project VEGA 1/4100/07, 58 pp., publishing house UNIZA Žilina, ISBN 978-80-8070-874-0.
- [5] MARCINIÁK, Z. - DUNCAN, J. L. - HU, S. J. (2004): *Mechanics of Sheet Metal Forming*. Butterworth-Heinemann Jordan Hill, Oxford, 211 p., ISBN 0-7506-5600-0.
- [6] HRIVŇÁK, A. - EVIN, E. - SPIŠÁK, E. (1985): *Technológia plošného tvárnenia*. Bratislava.
- [7] MORAVEC, J. (2015): *Teória tvárnenia kovov*. EDIS vyd. UNIZA, ISBN 978-80-554-1095-1.
- [8] BOLJANOVIC, V. (2005): *Sheet Metal forming processes and die Design*. ISBN 0-8311-3182-9.
- [9] *Metal Forming, Mechanics and Metallurgy*, Cambridge: Univ. Press, ISBN 978-1-107-00452-8.
- [10] KUNDAR, S. (2004): *Technology of Metal Forming Processes*. ISBN 978-81-203-3425-0.
- [11] LANGE, K. (2004): *Lehrbuch der Umformtechnik*. Berlin: Springer-Verlag Berlin, 496 p., ISBN 978-35400-5197-8.
- [12] PEARCE, R. (2010): *Sheet Metal Forming*. ISBN 0-7503-0101-5.

Workshop production management methods

Ján Zuzik, Ing.*

Department of industrial Engineering, Faculty of Mechanical Engineering,
University of Žilina,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina, Slovak Republic.
E-mail: jan.zuzik@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2748

Vladimíra Biňasová, Ing., PhD., DiS.

Department of industrial Engineering, Faculty of Mechanical Engineering,
University of Žilina,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina, Slovak Republic.
E-mail: vladimira.binasova@fstroj.uniza.sk, Tel.: +421 41 513 2727

Martin Gašo, Ing., PhD.

Department of industrial Engineering, Faculty of Mechanical Engineering,
University of Žilina,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina, Slovak Republic.
E-mail: martin.gaso@fstroj.uniza.sk, Tel.: +421 41 513 2737

Beáta Furmannová, Ing., PhD.

Department of industrial Engineering, Faculty of Mechanical Engineering,
University of Žilina,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina, Slovak Republic.
E-mail: beata.furmannova@fstroj.uniza.sk, Tel.: +421 41 513 2711

Marta Kasajová, Ing., PhD.

Department of industrial Engineering, Faculty of Mechanical Engineering,
University of Žilina,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina, Slovak Republic.
E-mail: marta.kasajova@fstroj.uniza.sk, Tel.: +421 41 513 2707

Workshop production management methods

Abstract: The contribution is devoted to a mechanical engineering company, then the methods of workshop production management and the systems that are used in this management are discussed in detail. At the beginning of the practical part, the current state of workshop management is identified using a questionnaire. In the second part, there is an analysis of workshop management in the company and a proposal for improving the given management.

Keywords: workshop management, management, analysis, enterprise, production.

INTRODUCTION

The main task of an engineering manufacturing company is to ensure the material and cultural requirements of people by producing products that meet high standards and also must meet the required amount of products. The production of the required amount of high-quality products is therefore among the most important target functions of all industrial and thus also engineering companies. To carry out this important function, other functions should be developed in the engineering plant. Their task should be to ensure such conditions that they have a

permanent and efficient performance of these basic functions. These functions include in particular:

- a) Sales function - This function includes the sale of products, the delivery of commercial and technical services to the customer, etc.
- b) Innovation function - It can also be called a scientific and technical function, its goal is to innovate products and the production base.
- c) Supply function - This function has the task of procuring manpower, means of production and information.

- d) Proper function - The function is taking care of the material factors of production, financial resources, etc.
- e) Protective function - It can be internal or external.
- f) Organizational and management function.
- g) Political-educational and social-health function, which is supposed to provide culture assurance and innovation of living and working conditions for people who work in the given company.

All units that fulfil a function have their own unique goal, which should be the same as the primary goal. The task of corporate management is to coordinate these functions as best as possible, constantly according to certain criteria. The functional structure of the workshop management system is shown in Fig. 1.

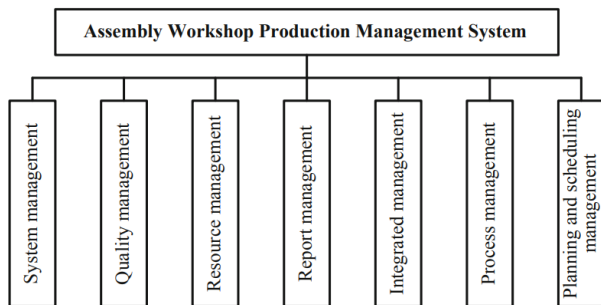


Fig. 1. System function structure map

System Management: It includes three main contents, namely user information management, system setup and database management.

Resource Management: It mainly involves the work staff in the assembly process, the tools and equipments needed in the process, and the corresponding material resources management. In the assembly production process, the most important resource is the personnel, and the work staff of each position is the undertakers to ensure assembly work smooth progress. The requirement for tools, equipments and materials are prerequisites in the whole assembly process.

Planning and Scheduling Management: It mainly includes planning task management, document demand management, planning division management, resource scheduling management, outsourced information management, and dispatching and completion management. Taking production planning as the main line, enterprise, branch and production workshop are connected in series, so that each department is managed as a whole. The production plan may also be changed after it is formulated. It needs to be determined according to the specific production situation and the degree of customer requirement. The function module needs to deal with these changes in time, so as to make the internal

resources of workshop more effective adjustment, to ensure the stability of assembly production process.

Process Management: It is mainly responsible for the management of process documents and related information. The assembly process is the method and skill used in the specific assembly process. The assembly process covers process planning, process resource, and process change and assembly route. Only by formulating assembly documents in line with the actual situation of the enterprise can we effectively guide the relevant production activities of the workshop and ensure the correctness and safety of assembly process. The assembly workshop completes parts and components assembly according to the production plan, assembly document and process requirement, and finally a deliverable product is formed.

Quality Management: Its functions include work in process information management, qualified inspection product management, scrap information management and quality report information management. The requirements of assembly production process management for quality management are essential. It is related to the future development of the whole assembly production workshop.

1 ANALYSIS OF THE WORKSHOP PRODUCTION MANAGEMENT SYSTEM IN THE COMPANY

The selected enterprise belongs to the category of medium-sized enterprises and deals with the production of electro-mechanical systems. According to the principle of management, the company is classified as a company with a pressure system and has a combined approach to management, which means that there are elements of both centralized and decentralized management.

The company uses the *MOIS 2.0* system for planning and then production management, this system has been modified and is still being developed. It is currently in charge of one IT technician, who sets it up and, in case of malfunctions, looks for a solution to eliminate them. An ordinary worker cannot get into the system, only masters and people in charge of engineering, planning and inventory management have access to it. When someone opens *MOIS 2.0*, the main menu opens, where on the top bar they can choose from six industries such as *Logistics, Manufacturing, Planning, Reports, Master, CRM*. The core of the main group consists of four groups, the first of which is *Work Orders*, it contains information about orders, delivery dates, work schedule, the second group is *Master Data*, this group contains current information about workplaces, the third group contains information primarily about

productivity, information about the productivity of the operator and individual groups can be found there or centers. In the last group, Import, there are reports on export logistics and many others. Management in the enterprise uses a pressure system, that is, workers after execution of their work, they hand over the material to the next workplace, which they have recorded in the guides. Workers have pallets at their workplaces from which they can freely choose which materials to process first and which to process later. This is how employees work unless they receive an instruction from the foreman that something has a higher priority and needs to be processed before other materials.

In the company, each employee has his own unique barcode, which is also recorded in the *MOIS 2.0* system, when the worker goes to perform some task, in this case, he goes to bend sheet metal on a press brake, scans his barcode, then scans barcode on the production guide, selects from the menu which action is to be performed, confirms it and the system records it.

2 THE EVALUATION OF THE ANALYSIS OF THE CURRENT STATE

Workshop production management in the company using the *MOIS 2.0* system, which is still under development, could be described as a well-functioning system. However, every company and every system has good sides and also sides that could be worked on to make the system more reliable, work more efficient and thus a prosperous business. The main pluses of production management in the company include:

- excellent interpersonal relations in the company, if the situation arises that it is necessary for workers to come to work on the weekend or work an extra shift the workers are always willing and can come to an agreement with them,
- recording and collection of production data is at an excellent level.

The management and monitoring of product quality is also at a good level, if there is an error on a product, it is immediately corrected and the required product quality is ensured.

- management of *NC* programs also works very well in the company and I haven't had any problems with it,
- in the company, situations are very well managed when an error occurs in the company that relates to the workshop production management, which may be that there is an error in the documentation, that there are insufficient production means, some unexpected failure

occurs and quick action is needed. Then the foreman and the workers act very quickly and try to solve the situation as quickly and efficiently as possible,

- among the shortcomings that was noticed during stay at the company are:
- problems with meeting deadlines,
- some workplaces do not manage to produce on time, the biggest problems with handing over materials on time are experienced by the workers at the bending presses,
- out-of-date time standards for workers, which results in situations where the worker gets the job done earlier and does not work. Adjusting the standards would benefit production management,
- inappropriately chosen layout of the company, since materials have to take unnecessary long routes around the company, thereby congesting material flows. It would also help management in the company to change the layout.

The primary task of production management is based on the fact that it manages a specific production system and ensures that the performance potential is actively used in the production of products that were calculated at a higher planning level. This should be done with as much efficiency as possible.

CONCLUSIONS

The results can be applied in the teaching of the *Department of Industrial Engineering* thanks to the processing of theory from the field of workshop production management, detailed processing of workshop production management systems. Identification of the current state of workshop production management and analysis of the current state in the company, this knowledge can be applied to the subject *Production Management 1*. They can also use the results in the company by applying the proposed solutions, such as proposing the training of workers to process the material according to the one with the earliest delivery date. Editing the layout would also be beneficial and positive for workshop production management.

There could also be an update of work standards at some workplaces in the company. These changes should improve compliance with deadlines and reduce company losses due to non-compliance with deadlines.

Acknowledgments

This work was supported by project contract No. VEGA1/0524/22.

REFERENCES

- [1] ANTONIUK, I. - SVITEK, R. - KRAJČOVIČ, M. - FURMANOVA, B. (2021): *Methodology of design and optimization of internal logistics in the concept of Industry 4.0*. In: *Transportation Research Procedia*, 55, 503-509.
- [2] AOYAGI, C. - MUNRO, A. (2024): *Guilt, gender, and work-life balance: A choice experiment*. In: *Journal of Choice Modelling*, Vol. 50., Scopus, <https://doi.org/10.1016/j.jocm.2023.100464>.
- [3] BADRI, S. K. Z. (2024): *Evaluating higher education (HE) work design to sustain academics' work-life balance*. In: *Journal of Applied Research in Higher Education*, Vol. 16, No. 1, pp. 134-149, Scopus, <https://doi.org/10.1108/JARHE-04-2022-0116>
- [4] DULINA, E. (2023): *Uplatnenie ergonómie vo výrobných a logistických systémoch*. Žilinská univerzita v Žiline: EDIS, 106 p., ISBN 978-80-554-1960-2.
- [5] FILIPOVÁ, I. - DULINA, E. - BIGOŠOVÁ, E. - PLINTA, D. (2021): *Modern Possibilities of Patient Transport Aids*. In: 14th International scientific conference on sustainable, modern, and safe transport (Transcom 2021), Virtual conference 26-28 May, Slovakia, *Transportation Research Procedia*, Vol. 55, pp. 510-517.
- [6] FURDYGIEL, P. - PLINTA, D. (2020): *Production process improvement system*. In: *Wydawnictwo Naukowe Akademii Techniczno-Humanistycznej w Bielsku-Białej, Bielsko-Biała*.
- [7] Major crises and work-life balance: The importance of organizational response (2024): *Human Resource Management International Digest*, Vol. 32, No. 1, pp. 27-29, Scopus, <https://doi.org/10.1108/HRMID-09-2023-0194>.
- [8] PLINTA, D. - WIECEK, D. - MIELCAREK, D. (2011): *Analysis of working conditions on the example of assembly workplaces*. W: MOPP: 13. ročník mezinárodního semináře: Modelování a optimalizace podnikových procesů, Česka republika, Plzno 24-25.11., pp. 1-7, ISBN 978-80-261-0060-7.
- [9] SINGHAL, D. - SALUNKHE, H. A. (2024): *An analysis of factors associated with employee satisfaction in information technology companies*. In: *International Journal of Human Capital in Urban Management*, Vol. 9, No. 1, pp. 135-156, Scopus, <https://doi.org/10.22034/IJHCUM.2024.01.10>.
- [10] SLAMKOVÁ, E. - DULINA, E. - TABAKOVÁ, M. (2010): *Ergonómia v priemysle*. Žilina: GEORG knihárstvo, 262 p., ISBN 978-80-89401-09-3.
- [11] TREBUŇA, P. - PEKARČIKOVÁ, M. - KLIMENT, M. - TROJAN, J. (2019): *Metódy a systémy riadenia výroby v priemyselnom inžinierstve*. Košice: Technická Univerzita v Košiciach, 210 p., ISBN 978-80-553-3280-2.
- [12] VAVRÍK, V. - FUSKO, M. - BUČKOVÁ, M. - GAŠO, M. - FURMANNOVÁ, M. - ŠTAFFENOVÁ, M. (2022): *Designing of machine backups in reconfigurable manufacturing systems*. In: *Applied sciences*, Vol. 12, No. 5, pp. 1-27, ISSN 2076-3417.
- [13] KRAJČOVIČ, M. - ANTONIUK, I. - PAPÁNEK, L. - FURMANN, R. - BIŇASOVÁ, V. - BASTIUCHENKO, V. (2022): *Procedure of applying the genetic algorithm for the creation of a production layout*. In: *MM Science Journal*, pp. 6147-6155, ISSN 1805-0476.
- [14] CHAN, M. (2019): *Successful companies practising Just-In-Time systems* [online], <https://www.unleashedsoftware.com/blog/3-successful-companies-practising-jit-systems>.
- [15] GREGOR, M. et al. (2005): *Plánovanie výroby*. Žilina: EDIS, 173 p., ISBN 80- 8070-427-9.
- [16] GREGOR, M. et al. (2000): *Dynamické plánovanie a riadenie výroby*. Žilina: EDIS, 284 p., ISBN 80-7100-607-6.
- [17] HAYES, A. (2020): *Manufacturing resource planning definition* [online], <https://www.investopedia.com/terms/m/manufacturin-g-resource-planning.asp>.
- [18] HEŘMAN, J. (2001): *Řízení výroby*. 1. vyd. Praha: MELANDRIUM, 167 p., ISBN 80-86175-15-4.
- [19] KAVAN, M. (2002): *Výrobní a provozní management*. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, 424 p., ISBN 80-247-0199-5.
- [20] KOVÁČ, J. - TREBUŇA, P. (2015): *Riadenie výroby*. Košice: TUKE, 122 p., ISBN 978-80-553-2305-3.
- [21] KOŠTURIK, J. - GREGOR, M. (1993): *Podnik v roce 2001*. GRADA, 311 p., ISBN 80-7169-003-1.
- [22] STOFKOVA, J. - KREJNUS, M. - STOFKOVA, K. R. - MALEGA, P. - BINASOVA, V. (2022): *Use of the analytic hierarchy process and selected methods in the managerial decision-making process in the context of sustainable development*. In: *Sustainability*, Vol. 14, No. 18, 11546.
- [23] RAKYTA, M. - BUBENIK, P. - BINASOVA, V. - MICIETA, B. - STAFFENOVA, K. (2022). *Advanced Logistics Strategy of a Company to Create Sustainable Development in the Industrial Area*. In: *Sustainability*, Vol. 14, No. 19, 12659.



prof. Ing. Jozef Meško, PhD. nás opustil.

Pred Vianocami 2023 dňa 18. 12. nás navždy opustil kolega a priateľ *prof. Ing. Jozef Meško, PhD.* Profesor Meško sa narodil 18.11. 1958 v Čadci. Základnú školu v Kysuckom Novom Meste ukončil v roku 1973 a v tom istom roku nastúpil na OU pri ZVL Kysucké Nové Mesto. V roku 1976 získal výučný list ako strojný zámočník a o dva roky neskôr maturoval na *Strednej škole pre pracujúcich* v Kysuckom Novom Meste. Na denné inžinierske štúdium na VŠDS v Žiline nastúpil v roku 1978 a skončil ho v roku 1982. Po ukončení inžinierskeho štúdia pokračoval v doktorandskom štúdiu, kde sa venoval grafitickým liatinám a zlievarenstvu. Vedeckú hodnosť CSc. obhájil v roku 1987. Od roku 1983 pracoval na VŠDS na *Strojníckej a elektrotechnickej fakulte* vo funkcii odborný asistent. Spolu s *doc. Ing. Júliusom Veselkom, CSc.* vytvorili veľmi pevný základ úseku zvarovania na *Katedre mechanickej technológie* (v súčasnosti *Katedra technologického inžinierstva*). Neskôr sa *prof. J. Meško* habilitoval (1992) a po inaugurácii bol menovaný za profesora v roku 2001. *Prof. J. Meško* zastával funkciu zástupcu vedúceho katedry a bol garantom doktorandského štúdia v programe *Strojárske technológie a materiály*.

Počas takmer štyridsaťročného pôsobenia na *Žilinskej univerzite* v Žiline vchoval stovky absolventov v odbore *Strojárska technológia* so špecializáciou na zvarovanie. Úspešne vyškolil viacerých doktorandov, z ktorých podstatná časť sú uznávaní odborníci vo svojom odbore. V ostatnom období bol členom vedeckej rady *Žilinskej univerzity* v Žiline. Profesor Meško vytvoril vedeckú školu v oblasti metalurgie a zvarovania ťažko zvariteľných grafitických liatin. Multidisciplinarita zlievania a zvarovania ho sprevádzali celý profesijný život. Pracoval na vývoji prídavných materiálov pre opravy odliatkov z grafitických liatin, ktoré zavrášil udelením patentu s neskorším využitím v reálnych podmienkach *slovenských zlievarní*. Prednášal na viacerých zahraničných a domácich kolokviách a konferenciách. Bol autorom/spoluautorom vysokoškolských učebníc a skript v oblasti zvarovania. Svoje vedecké poznatky publikoval v mnohých zahraničných a domácich vedeckých časopisoch. Získal viaceré ocenenia a uznania zväračkou komunitou prostredníctvom organizácií ako *Výskumný ústav zväračský, Prvá zväračská* a iné.

Prof. Meško mal rád *Oravu*, rád rozprával o chalupe, kde prežil mnohé letá, tešil sa z úspechov dcéry *Gabiky*.

Češť Tvojej pamiatke *Jožko*, odpočívaj v pokoji.



doc. Ing. Július Veselko, CSc. nás opustil.

Docent *Július Veselko* sa narodil 14. augusta 1935 v *Brezne*. Po vychodení ľudovej školy v rokoch 1941-1945 študoval na *Štátnom gymnázium v Brezne nad Hronom*. V rokoch 1953 až 1958 študoval na *Strojníckej fakulte SVŠT v Bratislave* špecializáciu „*Technológie zvarovania*“. V roku 1974 ukončil externú aspirantúru obhajobou kandidátskej dizertačnej práce na *SVŠT Bratislava*. V roku 1980 na *Strojníckej a elektrotechnickej fakulte VŠDS Žilina* obhájil habilitačnú prácu. V roku 1997 obdržal od *European Welding Federation* diplom *European Welding Engineer*. Od roku 1959 pracoval vo *Výskumnom ústave zvaračskom v Bratislave* na výskumných úlohách pod vedením akademika *Čabelku*.

V rokoch 1963 až 1968 pracoval v *Mostárni Brezno* ako odborový inžinier stavebnej techniky. Od roku 1968 pôsobil na *VŠDS v Žiline*, teraz *ŽU v Žiline*, na *Katedre mechanickej technológie Strojníckej fakulty*. Vychoval množstvo študentov, odborníkov, docentov i profesorov. V roku 1997 až 2011 pracoval na *Ústave súdneho inžinierstva ŽU v Žiline* ako prvý zástupca riaditeľa a vedúci sekcie *Strojárstvo* so zameraním na znaleckú a metodickú činnosť v znaleckom odbore *Strojárstvo*. Vydal trinásť vysokoškolských učebníc pre denné a postgraduálne štúdium. Publikoval v domácich a takisto zahraničných odborných časopisoch. Spolupracoval aj s firmami výrobnjej sféry vypracovaním expertných posudkov na riešenie príčin havárií a posúdenie zariadení pre potreby slovenských podnikov. Vypracoval stovky znaleckých posudkov v odbore *Strojárstvo*. V roku 2014 za zásluhy v oblasti zvarovania mu bola udelená na *Výskumnom zvaračskom ústave Pamätná medaila akademika Jozefa Čabelku* za zásluhy o rozvoj zvarovania.

Samostatnú kapitolu v jeho živote zohrával šport.

S volejbalom začal už na gymnázium, ktorý hral aj popri štúdiu na *SVŠT Bratislava*, kde sa začala najúspešnejšia časť jeho športovej kariéry. Začal hrať za študentský klub *Slávia*, ktorý patril k najlepším slovenským klubom. Na majstrovstvách sveta vo volejbale v roku 1960 v *Rio de Janeiro*, kde jeho družstvo získalo striebornú medailu, ale rok predtým na *Univerziáde v Turíne* boli prví. Tento úspech mu priniesol titul *Majster športu*. Po roku 1970 bol späť s kysuckým volejbalom ako tréner volejbalistiek.

V roku 2015 mu *Mestské zastupiteľstvo v Brezne* udelilo titul *Čestného občana mesta Brezna*. Volejbalové družstvo mužov *Mostární Brezno* sa za jeho pôsobenia stalo najúspešnejším športovým družstvom mužov vôbec v povojnovej histórii športu v *Brezne*. Zaujímavosťou je, že po nástupe do *Mostární Brezno* bol hrajúcim trénerom mužstva. V roku 2016 mu *slovenská volejbalová federácia*

udelila najvyššie volejbalové ocenenie *Zlatú volejbalovú loptu slovenskej volejbalovej federácie*. V roku 2000 dostal *Čestné uznanie za 5. miesto v ankete Najlepší športovec mesta Brezna v 20. storočí*.

Život pána docenta bol nesmierne plodný, zmysluplný a obohacujúci. Zanecháva stopu, ktorá nám ho bude ešte dlho pripomínať a jeho odkaz bude pokračovať v mnohých z nás, ktorým odovzdal kus seba a svojich znalostí. Jeho výskumné príspevky, odborné poznatky a schopnosť podporovať ďalších študentov a kolegov zostali ako trvalé odkazy na jeho nekonečnú oddanosť vzdelávaniu. Mal otvorenú a priateľskú povahu, rád sa stretával s kamarátmi, s ktorými si nejdedenkrát zaspomínali na rôzne spoločné zážitky zo života. Vždy si vážil každého študenta a kolegu a snažil sa mať ku každému ľudský prístup. Bol veľmi vďačný svojim kolegom za dlhoročnú spoluprácu počas celej svojej kariéry.

Od roku 2004 žil v *Kysuckom Novom Meste s Editou*, neskoršou manželkou a veľmi sa tešil zo svojich detí: dcéry *Zuzany*, troch synov *Júliusa*, *Igora* a *Juraja*, vnúčat *Zuzany*, *Hany*, *Lubora*, *Lubice*, *Marka*, *Emy*, *Ely* a pravnuka *Olivera*.

Češť Tvojej pamiatke *Július*, odpočívaj v pokoji.

jm

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, физикальных 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, результатов 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: Žilinská univerzita, strojnica fakulta, Univerzitná 1, 01026 Žilina

Telefón: 041-513 2764, 513 2814

Fax: 041-513 1535

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

ISSN 1337-8996

DOI: <https://doi.org/10.26552/tech.J.2024.1>