
Technologické riešenia výroby komponentu koľajového vozidla

Martin Bučko, Ing.*

Katedra dopravnej a manipulačnej techniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.
E-mail: martin.bucko@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2257

Vladimír Samaš, Ing.

Katedra dopravnej a manipulačnej techniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.
E-mail: vladimir.samas@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2257

Patrik Slušňák, Ing.

Katedra dopravnej a manipulačnej techniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.
E-mail: patrik.slusnak@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2257

Oleksandr Kravchenko, prof. Ing., Dr.Sc. Tech.

Katedra dopravnej a manipulačnej techniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.
E-mail: oleksandr.kravchenko@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2668

Technological solutions for the production of rail vehicle

Abstract: This study provides a comprehensive analysis of four key manufacturing technologies for metallic components: welding, casting, *CNC* machining, and sheet metal bending. The aim is to compare their technical characteristics, economic aspects, and application potential, with particular attention to the production of a load-bearing component of a railway bogie. The results show that each technology offers distinct advantages and limitations, and the optimal choice depends on several factors such as required precision, production costs, time efficiency, and batch size. Welding ensures high strength but introduces residual stresses and potential defects in the joint area. Casting enables the production of complex or large components with cost-effectiveness in mass production but carries risks of porosity and internal stresses. Sheet metal bending allows fast and economical manufacturing of lightweight components, although limited by material thickness and cracking risks. *CNC* machining provides the highest precision and surface quality, yet it is the most time- and cost-intensive method, making it more suitable for prototypes or secondary finishing. Overall, the study highlights that the selection of the most appropriate technology should be guided primarily by time and volume requirements, with bending favored for rapid and small-batch production, while casting proves more efficient for large-scale manufacturing.

Keywords: welding, casting, *CNC* machining, sheet metal bending.

ÚVOD

Táto štúdia analyzuje štyri kľúčové technológie výroby kovových komponentov : zváranie, odlievanie, *CNC* obrábanie a ohýbanie plechu. cieľom je poskytnúť komplexné porovnanie ich technických charakteristík, ekonomických aspektov a aplikačných možností. Výsledky ukazujú, že každá technológia má svoje špecifické výhody, ale aj obmedzenia, pričom voľba vhodnej metódy závisí od viacer

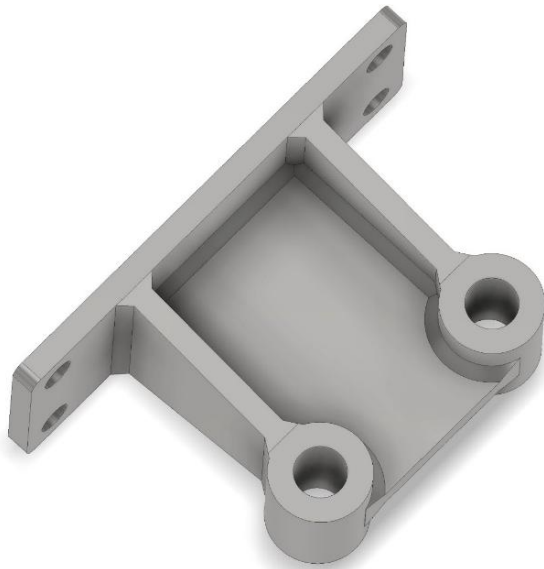
faktorov, ako sú požiadavky na presnosť, finančnú náročnosť, no najmä objem výroby a časovú náročnosť na zhotovenie.

Cena a výrobný čas komponentu sa radia medzi hlavné kľúčové parametre. Preto je nevyhnutou súčasťou pri návrhu komponentov uvažovať o technologických riešeniach samotnej výroby. Táto práca sa bude zaoberať možnosťami zhotovenia nosného komponentu železničného podvozka. Preskúma sa jeho vyrobiteľnosť zváraním,

odlievaním, obrábaním a ohýbaním. Súčasne sa porovnávajú hmotnostné parametre.

1 VÝROBA ZVÁRANÍM

Zváranie využíva teplo a tlak, pri ktorých vzniká zvar spájajúci dva alebo viacero komponentov. Medzi najpoužívanejšie technológie patrí oblúkové zváranie. Využíva elektrický oblúk na vytvorenie potrebnej teploty pre tavenie materiálov. Plynovým zváraním sa dosahuje potrebná teplota pomocou horľavých plynov. Najrozšírenejšie metódy zahŕňajú zváranie v ochrannej atmosfére (*MIG/MAG*), zváranie netaviacou sa elektródou (*TIG*), elektródové zváranie (*MMA*). Do popredia sa dostáva zváranie laserovým lúčom. Táto metóda je veľmi presná, rýchla a umožňuje zváranie veľmi tenkých alebo citlivých materiálov bez výrazného poškodenia okolitých oblastí. Robotizácia zvárania sa stala veľmi žiadanou technológiou vo výrobnom priemysle vďaka vysokej objemovej kapacite, opakovateľnosti, nižšiemu riziku chýb a nepretržitej prevádzke [1-3].



Obr. 1. Zváraný komponent

Na vyhotovenie zvaru je potrebné v mieste zvárania vytvoriť ochrannú atmosféru ktorá chráni zváraný kov pred oxidáciou. To sa dosahuje aditívnymi prvkami vo zvaracích elektródach, alebo prídavným plynom ktorý je vháňaný na miesto zvaru s prídavným materiálom. To zvyšuje náklady na výrobu zváraním. Pri procese zvárania môžu vo vnútri zvaru vzniknúť defekty, ktoré sú voľným okom nedetekovateľné a na ich kontrolu je potrebné špeciálne vybavenie. Dosiahnutie presnosti vzhľadom na tepelnú rozťažnosť je obtiažné, preto sa preferuje druhotné obrábanie tolerovaných prvkov súčiastky [1-3].

2 VÝROBA ODLIEVANÍM

Výroba odlievaním vzniká roztavením kovu a odliatím do formy, kde stuhne do požadovaného tvaru. Medzi najčastejšie procesy odlievania patrí

odlievanie do dutej formy, kde je piesok zmiešaný so spojivom hutnený do formy kde je umiestnený vzor. Následne po vybratí vzoru sa do formy odlieva. Po odliatí je potrebné dodatočné opracovanie odliatku. Presné odlievanie je proces používaný na zložité kusy, ktoré vyžadujú vysokú mieru presnosti s minimálnym obrábaním. Vytvárajú sa keramické formy pomocou voskového vzoru, ktorý sa po vytvorení formy vytápa. Odstredivé odlievanie je metóda, pri ktorej sa opakovane využívajú formy. Forma sa otáča a odstredivou silou vytlačí roztavený kov do formy. Po vytvrdnutí nie je potrebné dodatočné obrábanie [7, 8].



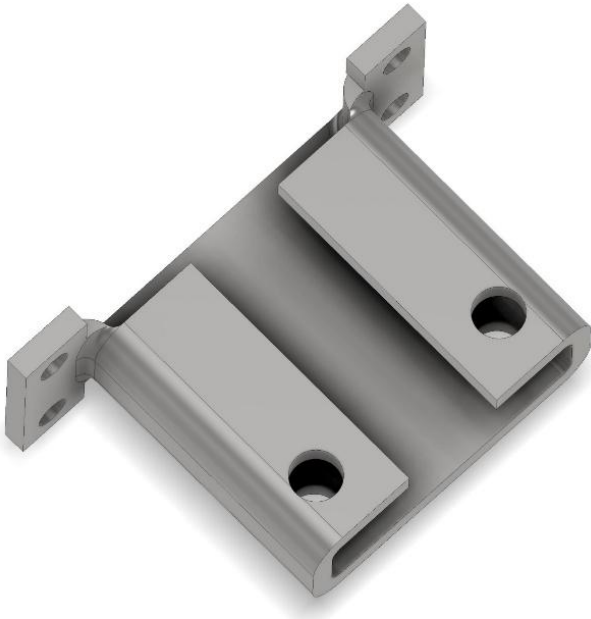
Obr. 2. Odlievaný komponent

Kvalita závisí od druhu materiálu a postupov pri procese tuhnutia. Pri odlievaní hrozí pórovitosť, trhliny a zvýšené pnutia v odlievanom komponente. Pri namáhaných súčiastkach sa odporúča odlievané prvky podrobiť doplňujúcim procesom na zníženie vnútorných pnutí. Výroba odlievaním je vhodná pre komponenty, ktoré by sa kvôli svojmu tvaru ťažko vyrábali inými technológiami. Zároveň táto technológia umožňuje veľkosériovú produkciu, čo má vplyv na čas a cenu komponentu. Cena výrobného procesu sa líši od zložitosti, použitého procesu a množstva vyrábaných súčiastok [1, 4, 5].

3 VÝROBA OHÝBANÍM

Ohýbanie plechu zahŕňa aplikáciu vonkajšej sily na plech na spôsobenie jeho deformácie pozdĺž predurčenej krivky, čím sa vytvorí definovaná geometrická forma [9]. Ohyb sa vykonáva pomocou rezníka a formy, ktorých pôsobením vďaka tlaku dochádza k ohybu plechu [9]. Najčastejšie používané ohýbacie stroje sú lisy. Ohýbacie lisy môže realizovať široký rozsah ohýbacích tvarov, ako sú V a U tvary, a je vhodný pre výrobu zložitých štruktúr s viacerými ohybmi. Ďalšou metódou je vzduchové ohýbanie, kde

tlak vzduchu tlačí plech do formy. Rotačné ťažné ohýbanie vzniká ťahaním rotujúceho plechu po forme. Valcové ohýbanie pomocou ohýbacích valcov ohýbajú do oblúka [1, 6, 9].



Obr. 3. Ohýbaný komponent

V súčasnosti plechové súčiastky dosahujú vysokú pevnosť vďaka vláknitej štruktúre materiálu, kde nedochádza k prerušeniu vlákien. Presnosť dosiahnutých rozmerov závisí od vlastností materiálu, ich odpruženia po ohybe. Nevýhodou je možnosť vzniku trhlin, ktoré sú dôsledkom nevhodne zvoleného polomeru ohybu alebo krehkosti použitého materiálu. Výroba jednoduchých tvarov je rýchla a lacná, avšak je obmedzená hrúbkou plechu, ktorá je maximálne 10 mm. Dnešné CNC riadené ohýbačky dokážu dosiahnuť vysokú presnosť a spoľahlivosť [1, 6].

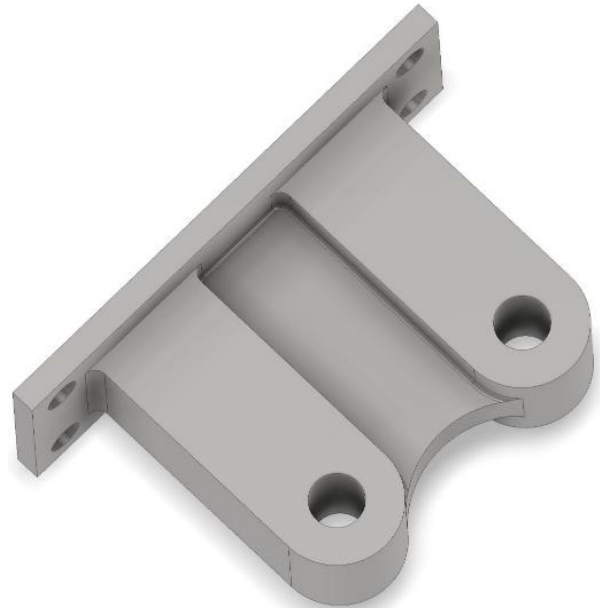
4 VÝROBA OBRÁBANÍM

CNC obrábanie je výrobná technológia, ktorá automatizuje riadenie obrábacích nástrojov pomocou počítača. Tento proces umožňuje vysokú presnosť a opakovateľnosť, čo ho robí ideálnym pre výrobu zložitých súčiastok.

Na výrobu komponentu pomocou CNC obrábacích zariadení, ako sú frézy, sústruhy, brúsky a iné. Pri zložitých tvaroch je potrebné vyhotoviť riadiaci program obrábania pomocou CAM programu. Tento proces vyžaduje podporný personál s príslušnými CAM programami, čo navyšuje náklady na výrobu pomocou CNC obrábania [10].

Výroba trieskovým obrábaním odoberá pomocou rezných nástrojov materiál z polotovaru a obrába ho do vyžadovaného tvaru. Pevnosť vyrobeného komponentu zodpovedá vlastnostiam materiálu. Obrábaním je dosahovaná vysoká presnosť a hladký povrch čo znižuje napätie na povrchu súčiastky a

zvyšuje jeho únosnosť zaťaženia. Technológia je vhodná na malosériovú a presnú výrobu. Vzhľadom na značnú časovú náročnosť a podporných služieb pri použití CNC riadených strojov je náročná na financie [1].



Obr. 4. Komponent vyhotovený obrábaním

5 POROVNANIE TECHNOLÓGIE VÝROBY

Táto kapitola sa zameriava na porovnanie rôznych výrobných technológií z hľadiska presnosti, kvality povrchu, ekonomickej náročnosti a časovej efektívnosti. Pri skúmanom komponente nie je presnosť povrchu zásadným faktorom, avšak na styčných a spojovacích prvkoch je nevyhnutná pre zabezpečenie zmontovateľnosti.

5.1 Presnosť a kvalita

Presnosť a kvalita povrchu pre skúmaný komponent nemá vzhľadom na jej veľkosť a použitie významný vplyv. Kvalita povrchov je vyžadovaná na prvkoch komponentu, ktoré sú v kontakte s konštrukciou, aby bola zabezpečená zmontovateľnosť komponentu. Presnosť je vyžadovaná na spájacie prvky. Pri odlievaní a zváraní sa vyžaduje dodatočné obrábanie spojovacích prvkov súčiastky na vyžadovanú presnosť a kvalitu aby bola dosiahnutá zmontovateľnosť.

5.2 Finančná náročnosť

Ekonomické porovnanie technológií ukazuje výrazné rozdiely v nákladovej štruktúre a ekonomickej efektívnosti pri rôznych objemoch výroby. CNC obrábanie má najvyššie náklady. Vysoké náklady sú spôsobené cenou strojov, kvalifikovaných operátorov a podporný personál. Odlievanie je často nákladovo efektívnejšie než iné výrobné metódy pre vysokú objemovú výrobu. Hoci počiatkové náklady na

vytvorenie formy môžu byť vysoké, odlievania sa stáva efektívnym pre veľké výrobné série. Ohýbanie plechu je najkonkurencieschopnejšie cenovo pri nízkych až stredných objemoch [11]. Zváranie má variabilné náklady v závislosti od zručnosti zvárača a zariadenia. Robotické zváranie môže významne znížiť náklady pre sériovú výrobu vďaka vysokej objemovej kapacite a opakovateľnosti [12].

5.3 Časová náročnosť

Časová náročnosť pre skúmaný komponent závisí pri CNC obrábaní od použitého stroja, zvoleného druhu a kvality nástroja, kvalifikovanosti operátora a programátora. CNC obrábanie môže byť časovo rýchlejšie ako odlievania ak nepočítame s časom vývoju formy na odlievania. Opraviteľnosť nepodarkov môže byť časovo náročná. Ohýbanie môžeme zaradiť medzi najrýchlejšie metódy zhotovenia. Svojou univerzálnosťou nástrojov a dostupnosťou plechov je možné rýchle zhotovenie v závislosti od dostupných materiálov u výrobcu. Čas zvárania závisí od schopností zvárania samotného zvárača. V prípade využitia robotického zvárania je potrebné programovanie zváracieho stroja, ktoré je časovo náročné. Pred zváraním je potrebná príprava zváraných komponentov, čo navyšuje čas.

ZÁVER

Po analýze výrobných technológií možno konštatovať, že vhodný výber výrobných technológií závisí najmä od časových a množstevných požiadaviek na výrobu. Pri výrobe komponentu malosériovej výroby, kde je potrebná rýchla výroba je možné preferovať výrobu ohýbaním vďaka jej univerzálnosti nástrojov a dostupnosti materiálov. Pri potrebe veľkosériovej výroby je taktiež výhodná výroba ohýbaním, avšak v prípade nedostatku času na vývoj je výhodnejšie využiť výrobu odlievaním. Technológia umožňuje výrobu komplexných tvarov a rýchlu sériovú výrobu. Výroba obrábaním je nákladná pre daný komponent. Výhodnosť takejto výroby sa vypláca pri prototypoch. Ručné zváranie môžeme považovať, ako strednú cestu medzi cenou a kvalitou. Pri zavedení robotického zvárania je možné dosiahnuť cenovo a časovo výhodnejšie podmienky, avšak je potrebné rátať s vyššími nákladmi na zaobstaranie zváracieho robota. Veľký význam pre výber správnej technológie budú mať mechanické vlastnosti, ktoré budú predmetom ďalšej štúdie.

Podakovanie

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

„Financované EÚ NextGenerationEU prostredníctvom Plánu obnovy a odolnosti SR v rámci projektu č. 09I03-03-V01-00129“.

LITERATÚRA

- [1] FOLTÍN, P. a kol. (2017): *Technológia strojárskych výroby I: Tvorba polotovarov*. Žilina: Žilinská univerzita, ISBN 978-80-554-1376-9.
- [2] PÍŠKA, M. (2015): *Základy tvárnenia a zvárania*. Brno: VUT Brno, ISBN 978-80-214-5237-8.
- [3] SHAFEEK, M. - SURANJAN, S. - DORESWAMY, D. et al. (2024): *Effect of welding parameters on microstructure and mechanical properties of GMAW welded S275 steel welded zone*. In: *Discov Mater* 4, 96, <https://doi.org/10.1007/s43939-024-00169-4>
- [4] PATWARI, A. U. et al. (2024): *Defects and remedies in casting processes*. In: *Materials Research Communications* [online], 12(2), 223-235. [cit. 2025-09-23]. DOI: 10.1007/s44245-024-00067-2
- [5] NIKLAS, A. et al. (2015): *Effect of Microstructure and Casting Defects on the Mechanical Properties of Secondary Alloy*. In: *Procedia Manufacturing* [online], 2, 105-112. [cit. 2025-09-23]. DOI: 10.1016/j.promfg.2015.07.019.
- [6] PANICKER, G. J. et al. (2022): *Study on Sheet Metal Bending*. In: *ScienceOpen Preprints* [online], [cit. 2025-09-23]. Dostupné na: https://www.scienceopen.com/document_file/e2ddc4df-193e-44a3-8b5e-38bed6333af7/ScienceOpenPreprint
- [7] AMARISHKUMAR, J. P. – SUNILKUMAR, N. CH. (2023): *Recent Advancements and Critical Insights in Casting Processes*. In: *International Journal of Scientific Research in Mechanical and Materials Engineering (IJSRMME)*, Volume 7, Issue 6, pp. 5-18, ISSN 2456-3307
- [8] MORAVEC, J. (2020): *Technológia I*. Žilina: EDIS - Žilinská univerzita v Žiline, ISBN 978-80-554-1731-8.
- [9] KOMASPEC (2024): *An Engineers' Guide to Sheet Metal Bending* [online]. [cit. 2024-09-30]. Dostupné z: <https://www.komaspec.com/about-us/blog/guide-to-sheet-metal-bending/>
- [10] VASILKO, K. - BELAN, J. (2023): *CNC obrábanie v modernej výrobe*. Bratislava: VEDA, vydavateľstvo SAV, 312 s. ISBN 978-80-224-1901-7.
- [11] SLOTA, J. - SPIŠÁK, E. (2023): *Technológia ohýbania plechov*. Košice: TUKE, 189 s., ISBN 978-80-553-4089-6.
- [12] KOMASPEC (2024): *An Engineers' Guide to Sheet Metal Bending* [online]. [cit. 2024-09-30]. Dostupné z: <https://www.komaspec.com/about-us/blog/guide-to-sheet-metal-bending/>