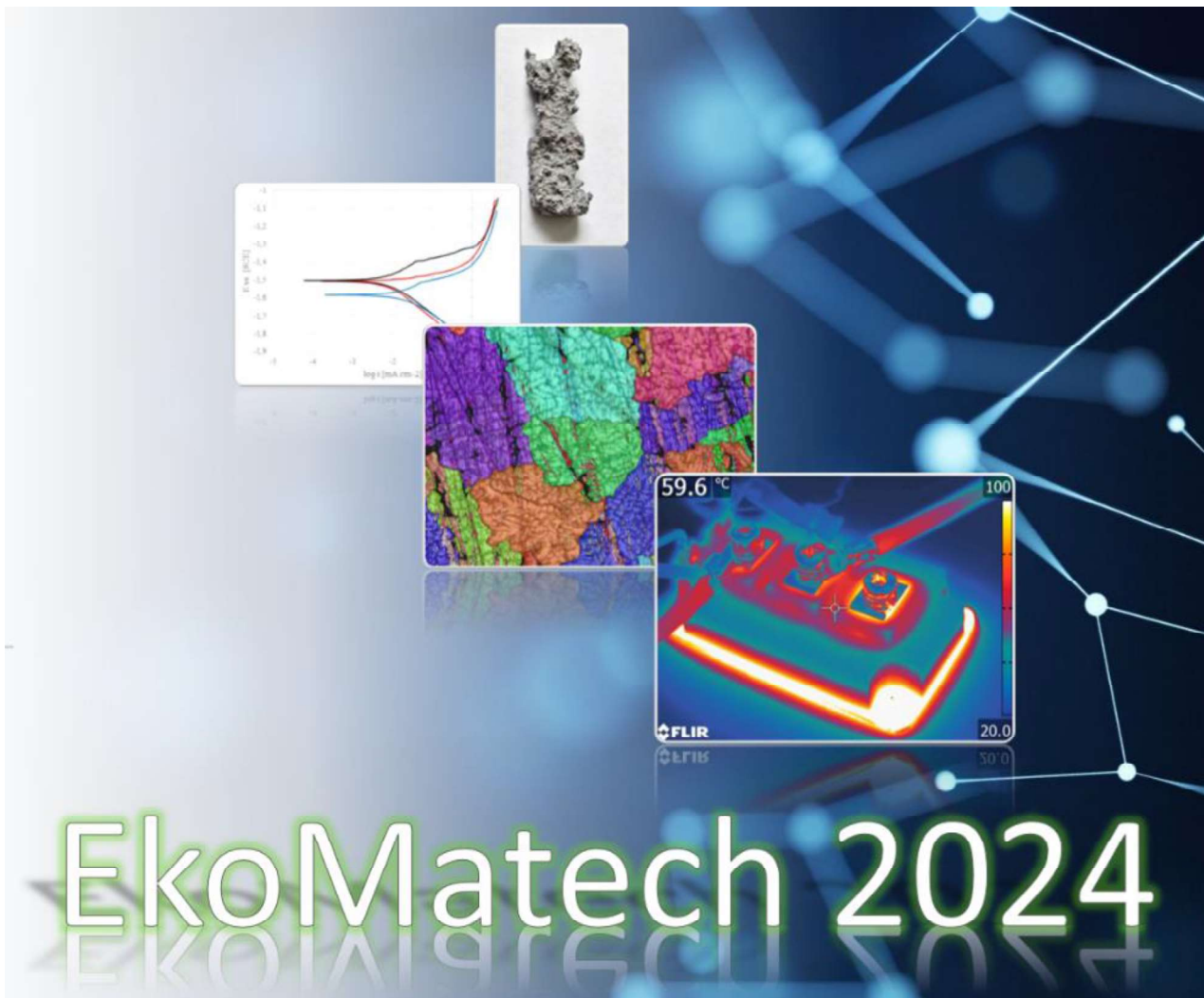


ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE
Výskumné centrum
UNIZA

Zborník príspevkov z vedeckej konferencie



8. október 2024

Výskumné centrum UNIZA, Žilina

ISBN 978-80-554-2127-8

Zborník príspevkov z vedeckej konferencie EkoMatech 2024

Prvé vydanie, 2024

Spôsob rozširovania: elektronicky

Zostavovateľ: Ing. Filip Pastorek, PhD., Ing. Štefan Šedivý, PhD.

Za odbornú, jazykovú a technickú úroveň zborníka zodpovedá zostavovateľ a autori jednotlivých príspevkov

Vydala Žilinská univerzita v Žiline, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, www.uniza.sk / EDIS-vydavateľstvo UNIZA

© Žilinská univerzita v Žiline, 2024

ISBN 978-80-554-2127-8

Porovnanie dvoch technológií na výrobu masívnych dielov strojov

Djordje Ivković¹ – Ingrid Zuziaková² - Ružica Nikolić² - Dušan Arsić¹

¹Inžinierska fakulta, Univerzita Kragujevac, Sestre Janjić 6, 34000 Kragujevac, Srbsko
²Žilinská univerzita v Žiline, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, Slovenská republika

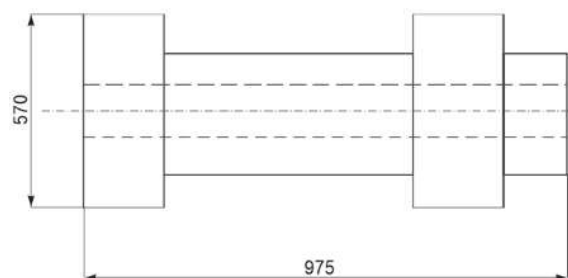
Abstrakt

V tomto článku je prezentované porovnanie dvoch technológií na výrobu masívneho a zodpovedného strojového dielu, liatia do piesku a zvarania. Diel ťažkého stroja bol najskôr vyrobený liatím do piesku, po ktorom sa počas testovania, vykonávaného vizuálnymi kontrolami a metódami penetrácie tekutín, zistili chyby. Následne bol rovnaký diel vyrobený obrábaním a zvaraním, po ktorých vykonané testy nepreukázali žiadne poškodenia v podobe pórovitosti a prasklín. Preto sa dospelo k záveru, že na sériovú výrobu takéhoto dielu by bolo lepšie použiť druhú testovanú technológiu.

Kľúčové slová: ťažký strojový diel, liatie do piesku, obrábanie, zvaranie, K+T oceľ, G42CrMo4, nedeštruktívne testy

1. Úvod

Pri výbere optimálnej technológie výroby určitého strojného dielu sa okrem ekonomických parametrov (cena a možnosť nákupu materiálu) zvažujú aj technologické faktory, ako sú mechanické, chemické a metalurgické vlastnosti uvažovaného materiálu, ako aj jeho technologické možnosti použitia a obmedzenia postupov. Znalosť uvedených vlastností je nanajvýš dôležitá vzhľadom na ich veľký vplyv na výslednú kvalitu vyrábaných dielov. Pre zodpovedné časti a konštrukcie sa vždy kladie požiadavka na kvalitu na najvyššej úrovni. Zodpovedná časť uvažovaná v tomto článku je vyrobená z ocele 42CrMo4 vyrobenej K+T (kalením a temperovaním) a odlievanej ocele G42CrMo4, ktorej náčrt je znázornený na Obrázku 1.



Obr. 1 Schematický pohľad na zodpovednú časť.

2. Liatie do piesku

Analýzou dostupných materiálov, technických možností ako aj požiadaviek na geometriu a rozmery častí, bola pre výrobu zobrazenej časti primárne zvolená technológia odlievania do piesku. Odlievacím materiálom bol G42CrMo4. Chemické zloženie a mechanické vlastnosti sú uvedené v Tabuľkách 1 a 2, [1].

Tabuľka 1. Chemické zloženie G42CrMo4

| Chemické zloženie | %C | %Si | %Mn | %Cr | %Mo | %P | %S |
|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------|-------|
| Štandardné | 0,38-0,45 | max. 0,40 | 0,60-0,90 | 0,90-1,20 | 0,15-0,30 | 0,025 | 0,035 |

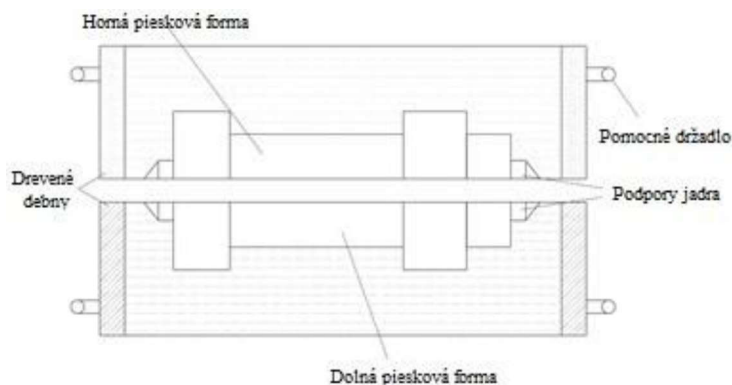
Tabuľka 2. Mechanické vlastnosti ocele G42CrMo4 (normalizované)

| Mechanické vlastnosti | R_{eH} , MPa | R_m , MPa | A, % | Z, % | KV | HB |
|-----------------------|----------------|-------------|--------|------|-------|---------|
| Norma | 350-700 | 650-1000 | 10-12% | 60 | 16-31 | 150-200 |

Ťahové skúšky boli vykonané na skúšobnom stroji ZWICK/ROELL Z100 s maximálnou nosnosťou 100 kN (10 t). Požiadavka na medzu klzu, R_{eH} bola stanovená na minimálnu povolenú hodnotu 230 MPa. Boli testované tri vzorky a získali sa hodnoty 324, 320 a 329 MPa. Keďže bola splnená stanovená požiadavka, nebolo potrebné žiadne dodatočné tepelné spracovanie materiálu.

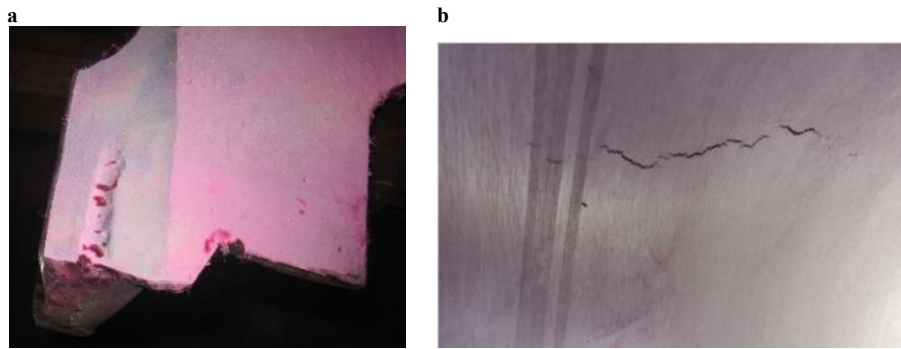
Skúšky rázovej húževnatosti boli vykonané podľa Charpyho metódy s použitím vzoriek s V-zárezom. Testy boli vykonané pri teplote 20 °C a -20 °C. Vzorky pre Charpyho test pod 0 °C sa ochladili v zmesi suchého ľadu a alkoholu. Získané výsledky boli taktiež nad požadovanou minimálnou hodnotou pri oboch testovacích teplotách.

Po potvrdení mechanických vlastností oceľového odliatku, sa začalo s odlieváním dielov do piesku. Bola pripravená piesková forma na liatie roztaveného kovu, Obrázok 2.



Obr. 2 Schematický pohľad na hornú a dolnú pieskovú formu.

Po ukončení prvej sériovej výroby boli vykonané nedeštruktívne skúšky. Boli použité dve metódy, vizuálna a penetračná kvapalinová metóda. Obe metódy preukázali závažné a neopraviteľné chyby na vyrobených dieloch, t.j. pórovitosť a povrchové trhliny. Hlavným dôvodom vzniku pórovitosti sú veľké rozmery dielca a tým aj objem pieskovej formy. Veľké rozmery vedú k intenzívnejšiemu vedeniu tepla z liateho tekutého kovu, preto ostalo menej času na únik rozpustených plynov [1], [2]. Príčina vzniku trhlín súvisí aj s vedením tepla. Existuje rozdiel medzi rýchlosťami ochladzovania roztaveného kovu na povrchu a v objeme odlievanej časti, takže hodnoty zvyškového napätia v ťahu môžu potenciálne prekonať pevnosť materiálu, čo spôsobuje vznik trhlín. Niektoré z pozorovaných defektov sú znázornené v Obrázku 3.



Obr. 3 Zobrazenie niektorých zistených nedostatkov: (a) červovitá pórovitosť; (b) trhliny.

U niekoľkých vyrobených odliatkov bola vykonaná oprava, aby sa dali osadiť do finálneho produktu. Oveľa väčší počet odliatkov bol klasifikovaný ako nevyhovujúci a bol odoslaný do šrotu. Záver bol teda taký, že je potrebné zmeniť výrobnú technológiu.

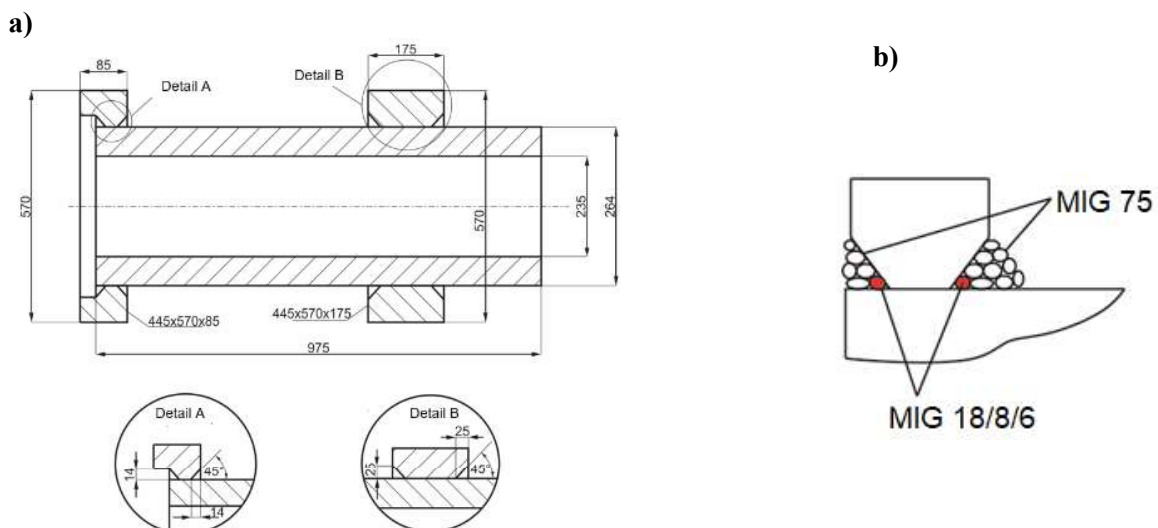
3. Zváranie

Aby sa predišlo skôr popísaným problémom, bolo zvolené rozhodnutie použiť niektorú z dostupných technológií. Ako riešenie bola zvolená kombinácia obrábania a zvárania. Na uľahčenie výrobného procesu bola geometria dielu rozdelená na tri menšie časti (dve prizmatické a jedna valcová), ktoré boli opracované jednotlivo pomocou frézovacích a sústružníckych operácií. Po opracovaní bolo potrebné spojiť tri diely, na ktoré sa použili dostupné postupy zvárania (MIG/MAG).

Pred výrobou dielu bolo potrebné vyhodnotiť zvárateľnosť ocele 42CrMo4. Vypočítaný uhlíkový ekvivalent bol 0,815, čo je viac ako je povolená hodnota pre tento typ ocelí, 0,5, takže pri tomto zváraní bolo potrebné použiť špeciálne opatrenia (predhrievanie a tepelné spracovanie po zváraní) [2-4].

Použitá technológia stanovila požiadavky na nanášanie koreňových zvarov pomocou austenitického prídavného materiálu, zatiaľ čo na prídavné zvary bolo potrebné použiť drôt vyššej pevnosti. Podľa stanoveného kritéria boli vybrané prídavné materiály G 18 8 Mn a Mn3Ni1CrMo, SI Jesenice, Slovinsko, [5].

Po opracovaní dielov a posúdení priaznivej technológie zvárania bola pripravená zostava na zváranie, Obrázok 4.



Obr. 4 a) Schéma zostavy pripravenej na zváranie; b) Schéma nanášania zváracích vrstiev.

Na získanie dobrých vlastností konečného produktu sa použilo predhrievanie, ako aj tepelné spracovanie po zváraní. Po zváraní nasledovalo normalizačné žihanie (pri 800 °C), kalenie (z 800 °C ochladenie v oleji) a popúšťanie pri (600 °C).



Po ukončení zvarovania prvého dielu a úspešnom tepelnom spracovaní boli diely podrobené nedeštruktívnym skúškam, rovnako ako pri odliatkoch. Bolo pozorovaných oveľa menej nedostatkov. Na Obrázku 5 je znázornený príklad dobrého zvarovania. Zvarený diel bol testovaný aj v reálnych pracovných podmienkach a vykazoval dobrý výkon pri intenzívnom nárazovom zaťažení.



Obr. 5 Príklad dobrého zvaru na vyrobenom diele.

4. Závěry

Pri výbere vhodnej výrobnéj technológie je potrebné zvážiť množstvo faktorov, akými sú dostupnosť materiálov na trhu alebo vlastné technologické možnosti. Pri výrobe ťažkého, masívneho a/alebo zodpovedného strojného dielu je však potrebné zvážiť ďalšie faktory, ktoré ovplyvňujú kvalitu konečného produktu, keďže kvalita, ako aj spoľahlivosť vyrábaného dielu sú najdôležitejšie.

V tomto článku je prezentovaný výber optimálnej technológie výroby masívneho strojného dielu. Keďže prvá použitá technológia, liatie do piesku, vytvorila súčiastku s početnými defektmi, pórovitosťou a povrchovými trhlinami, bolo potrebné použiť alternatívnu technológiu. Kombinácia obrábania a zvarovania bola zvolená ako riešenie, aby sa predišlo zisteným problémom. Masívna časť bola rozdelená na tri kusy, vyrobené opracovaním a následne spojené zvaraním.

Keďže uhlíkový ekvivalent vypočítaný na základe chemického zloženia bol väčší ako prípustná hodnota pre tento typ ocele (42CrMo4), bolo potrebné prijať určité opatrenia. Pred zvaraním boli diely predhriate a po zvaraní bolo potrebné vykonať aj dodatočné tepelné spracovanie pozostávajúce zo žihania a kalenia + popúšťania. Prídavné materiály a parametre zvarovania boli vybrané na základe odporúčaní z referencií a bol výrobcom materiálu.

Aj keď bol tento postup zvarovania veľmi zložitý, t. j. zahŕňal predhrievanie, samotné zvarovanie a tepelné spracovanie po zvaraní, s rôznymi prídavnými kovmi aplikovanými na koreňovú a výplňovú vrstvu, diely boli vyrobené úspešne, pretože sa znížil počet šrotu. Opodstatnenosť zvolenej technológie výroby bola overená výkonom dielov v reálnych prevádzkových podmienkach.

Pod'akovanie

Project TR35024 of the Ministry of Education, Science and Technological Development of Republic of Serbia.

5. Referencie

- [1] F. Dimitrijević, "Selection of most favourable heat-treatment regime for steel cast G42CrMo4 and steel 42CrMo4", Master's thesis, Faculty of Engineering, University of Kragujevac, Kragujevac, Serbia (2020). (In Serbian).
- [2] M. Jovanović, V. Lazić, "Casting and welding technology", University textbook, Faculty of Engineering, University of Kragujevac, Serbia (2015). (In Serbian).
- [3] Dj. Ivković, "Heat-treatment application for producing responsible structure from Q+T steel 42CrMo4", Master's thesis, Faculty of Engineering, University of Kragujevac, Kragujevac (2022). (In Serbian).
- [4] D. Arsić, V. Lazić, R. Nikolić, N. Sczygiol, B. Krstić, Dj. Ivković, B. Hadzima, F. Pastorek, R. Ulewicz, "Weldability assessment of various steels by hard-facing", *Materials*, 2022, vol. 15(9), 3082, <https://doi.org/10.3390/ma15093082>,
- [5] https://honex.rs/wp-content/uploads/downloads/Elektrode_web.pdf, accessed on 20/01/2024 16:30h.