



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

Posúdenie materiálových vlastností poškodenej časti turbíny plánovanej na opravu

Dušan Arsić¹ - Ružica Nikolić² - Ingrid Zuziaková² - Alexander Arsić¹

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

Abstrakt

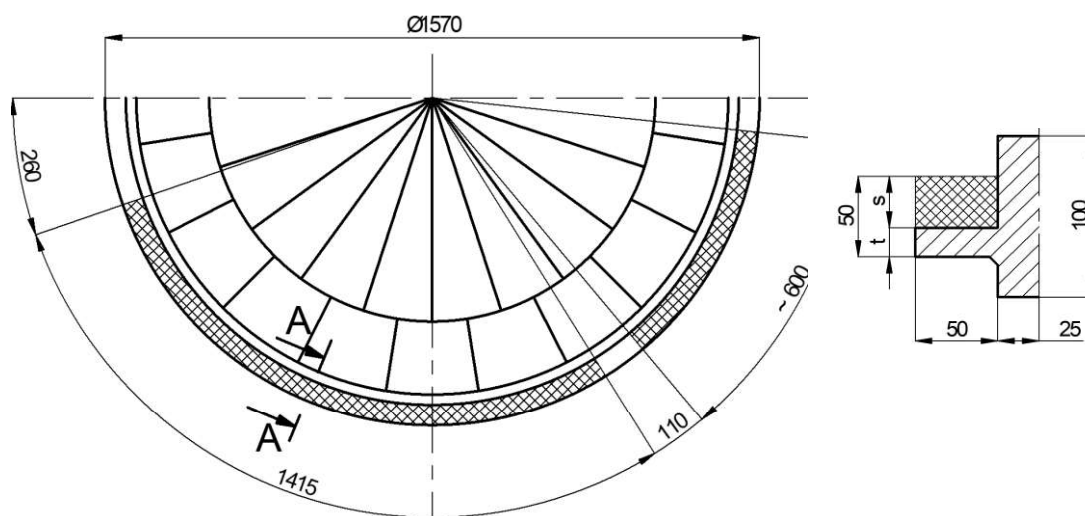
Predmetom výskumu, ktorého čiastkové výsledky sú prezentované v tomto článku, je poškodená membrána turbíny zo železiarskeho závodu. V dôsledku opotrebovania počas procesu dlhodobého využívania došlo k poškodeniu dvoch tretín ložiskového objemu membrány turbíny a strate jej funkčných vlastností. Podľa užívateľskej dokumentácie bola membrána turbíny vyrobená zo sivej liatiny EN-GJL-150. Prezentované sú výsledky chemického zloženia, mechanických vlastností a metalografickej štruktúry základného materiálu membrány turbíny. Neskôr boli použité na analýzu možnosti a opodstatnenosti opravy bránice a na definovanie vhodnej metodiky jej obnovenia. Obnovenie bolo vykonané tvrdým navarením, čo sa ukazuje ako nákladovo efektívne, keďže náklady na opravu touto technikou spravidla nepresahujú 20 % ceny obstarania nového dielu.

Kľúčové slová: poškodená membrána turbíny, chemické zloženie, mechanické vlastnosti, metalografické výskumy, naváranie/zváranie, zvárateľnosť

1. Úvod

Sivá liatina patrí do skupiny zle zvárateľných materiálov, avšak v priemyselnej praxi sa často môžeme stretnúť s poškodenými dielmi z tohto materiálu, ktoré si vyžadujú opravu. Najčastejšie ide o pracovné časti zložitej geometrie a veľkej hmotnosti, ktorých opätovná výroba by bola príliš náročná a nákladná. Problémy pri zváraní odliatkov sa prejavujú v možnosti vzniku trhlin vo zvarovom spoji v dôsledku nízkej deformačnej schopnosti materiálu a v dôsledku veľkého teplotného gradientu [1, 2]. Aby sa tejto skutočnosti zabránilo, je potrebné vykonávať zváranie/opravu mimoriadne opatrne.

V tomto článku sa uvažuje o možnosti opravy poškodenej masívnej membránovej turbíny. Jej priemer je $\varnothing 1570$ mm, Obrázok 1.



Obr. 1. Vzhľad poškodenej časti membrány turbíny; detail vpravo je rez A-A; t je minimálna hrúbka (18/22/35 mm – reliéf), s je hrúbka navárannej vrstvy (32/28/15), šrafovany je povrch, ktorý sa bude navárať.



2. Experimentálne skúmanie

Vzhľadom na to, že bolo rozhodnuté o renovácii membrány turbíny zvaraním, časť materiálu na skúšky a vykonanie skúšok bola dodaná. Sivá liatina je liaty materiál, ktorý pozostáva najmä so železa s uhlíkom, ktorý je prítomný vo forme lamelárneho grafitu.

2.1. Chemické zloženie a skúšky mechanických vlastností

Poškodená časť membrány turbíny je schematicky znázornená na obrázku 1 a chemické zloženie a mechanické vlastnosti jej materiálu, sivej liatiny EN-GJL-150, sú uvedené v tabuľkách 1 a 2, [3].

Tabuľka 1. Chemické zloženie sivej liatiny, hmotnostné percento

Sivá liatina	C	Si	Mn	S	P
EN-GJL-150	2,5-4,0	1,0-3,0	0,25-1,1	0,025-0,25	0,05-1,0

Tabuľka 2. Mechanické vlastnosti sivej liatiny

Sivá liatina	Medza klzu YS [MPa]	Pevnosť v ťahu TS [MPa]	Predĺženie A5 [%]	Celková energia dopadu E _j [J]
EN-GJL-150	100	150	0,6	8-13

Tieto vlastnosti bolo potrebné overiť, aby sa vybral vhodný materiál na opravu. Výsledky skúšky chemického zloženia sú uvedené v Tabuľke 3. Skúšky mechanických vlastností zahŕňali stanovenie pevnosti v ťahu, medze klzu a predĺženia (skúška vykonaná na skúšobnom stroji ZWICK/ROELL Z100 s maximálnou nosnosťou 100 kN), celkovo nárazová energia (test vykonaný podľa Charpyho metódy s použitím vzoriek s V-zárezom) a merania tvrdosti podľa Brinella. Výsledky testov sú uvedené v Tabuľke 4.

Tabuľka 3. Chemické zloženie sivej liatiny, hmotnostné percento

Gray cast iron	C	Si	Mn	S	P
EN-GJL-150	3,62	0,72	0,50	0,15	0,55

Tabuľka 4. Mechanické vlastnosti sivej liatiny

Sivá liatina EN-GJL-150	Medza klzu YS [MPa]	Pevnosť v ťahu TS [MPa]	Predĺženie A5 [%]	Energia dopadu E ₁	Tvrdosť [HB]
	98	141	0,6	8,1	148

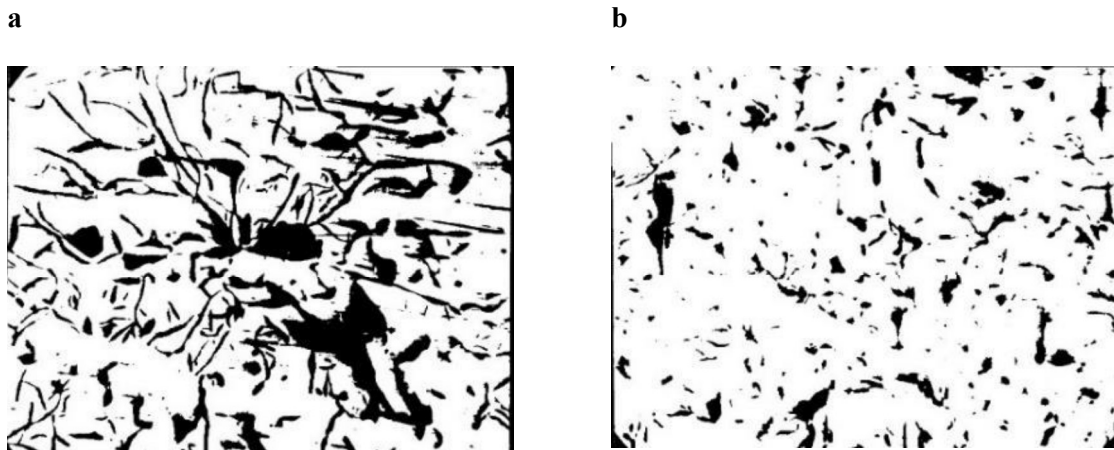
Na základe výsledkov vykonaných skúšok je možné vidieť, že iba obsah Si je nižší ako norma o cca 30 %, čo malo vplyv na zníženie pevnosti v ťahu a medze klzu.

2.2. Metalografické skúšky

Štruktúra skúmaných vzoriek zodpovedá štruktúre sivej liatiny podľa príslušnej normy [2]. Grafické lamely sú na obrázku 2(a) rozmiestnené vo feriticko-perlitickom podklade miestami vo forme roziet a vo väčšom percente sú rozmiestnené podľa Obrázku 2(b). Účasť grafitu v štruktúre nie je všade rovnaká, ako vidno z týchto obrázkov.

Na základe chemického zloženia, pevnosti v ťahu, tvrdosti a metalografických snímkov, možno potvrdiť, že testovaná vzorka možno zaradiť do materiálovej triedy EN-GJL-150.

Klasifikácia a kategorizácia sivej liatiny sa zvyčajne určuje na základe veľkosti uhlíkového ekvivalentu Ce a vplyvu rýchlosti tuhnutia. Empirický výraz Ce obsahuje množstvo celkového uhlíka Te (C – viazaný v kovovej báze – viazaný a voľný uhlík – grafit) a také množstvo kremíka a fosforu, ktoré sú svojim účinkom ekvivalentné uhlíku. Získané výsledky pre tento materiál boli Ce < 4,3, čo znamená, že patrí medzi hypotektoidné odliatky, ktoré majú zvyčajne vločkovitú grafitovú štruktúru.



Obr. 2. Výsledky metalografickej skúšky; (a) Veľké grafítové lamely (zväčšenie 100×); (b) Jemnejšie grafítové lamely (zväčšenie 100×).
Leptané v 3 % roztoku nitalu.

2.2.1 Vplyv rýchlosti tuhnutia

Vplyv rýchlosti tuhnutia na štruktúru materiálu a tým aj na jeho mechanické vlastnosti je príčinou veľkých rozdielov vo vlastnostiach v rôznych prierezoch a hrúbkach stien rovnakého odliatku z obyčajnej sivej liatiny. V hrubšej stene (nad 12 mm) je štruktúra prevažne len z feritu a hrubého grafítu. Nevýhody obyčajnej sivej liatiny možno zmierniť špeciálnymi prísadami (modifikačnými činidlami), čo v tomto prípade nebolo vykonané. Preto má sivá liatina triedy EN-GJL-150 najslabšie mechanické vlastnosti.

2.2.2 Zvárateľnosť sivej liatiny

Aplikácia navárania/zvárania pri oprave poškodených odliatkov zo sivej liatiny má tepelný vplyv na vlastnosti základného materiálu, preto je potrebné poznať tepelné a fyzikálne vlastnosti sivej liatiny, z ktorej je vyrobený predmetný diel, Tabuľka 5.

Tabuľka 5. Tepelné a fyzikálne vlastnosti sivej liatiny [4]

Materiál	Hustota pri 20°C [g/cm ³]	Koeficient tepelnej rozťažnosti od 100 do 700 °C [$\alpha_t \cdot 10^{-6}$]	Koeficient tepelnej vodivosti
EN-GJL-150	7,8	11,0	0,66

Keďže bolo navrhnuté, že membrána turbíny bude opravená navarením/zvárením, bolo potrebné zvážiť aj zvariteľnosť základného kovu.

Pod vlastnosťou zvariteľnosti sivej liatiny sa rozlišuje fyzikálna a technologická zvariteľnosť. Fyzikálna zvariteľnosť je charakterizovaná možnosťou vykonávania fyzikálno-chemických procesov na vytvorenie zvarového spoja, zatiaľ čo technologická zvariteľnosť je charakterizovaná súhrnom vlastností základného kovu, ktoré určujú jeho reakcie na zmeny, ku ktorým dochádza počas zvárania. Fyzikálna zvariteľnosť sivej liatiny je teda dobrá a technologická zvariteľnosť je zlá. Získanie požadovaných vlastností zvarového spoja je možné len za predpokladu, že sa aplikujú určité technologické opatrenia na zlepšenie zvariteľnosti.

Dosiahnutie toho, že navarené vrstvy budú mať čo najbližšie mechanické vlastnosti k základnému materiálu, závisí od: chemického zloženia základného materiálu, chemického zloženia prídavného materiálu a rýchlosti ochladzovania zvarového/tvrdo navareného spoja.

Zvariteľnosť odliatku je lepšia, ak je povrch lomu svetlosivý, a horšia, ak je lom čierny, čo je prípad membrány turbíny.

3. Záver

Vzhľadom na výsledky skúšky základného materiálu, zabezpečenie súvisiacich vlastností základného materiálu a zvarového kovu membrány turbíny súvisí najmä s reguláciou rýchlosti chladenia. V závislosti od rýchlosti chladenia šedá liatina tuhne v stabilnom alebo nestabilnom systéme. Skutočnosť, že rýchlosť ochladzovania



pri tuhnutí zvarového kovu sivej liatiny je niekoľko desiatok krát vyššia ako rýchlosť ochladzovania pri grafitizácii odliatkov, určuje tvrdnutie a ochladzovanie zvarového spoja podľa metastabilného systému.

Na zváranie/naváranie sivej liatiny možno použiť dva spôsoby: zváranie za tepla/naváranie a zváranie za studena/naváranie.

Ak sa požaduje, aby chemické zloženie základného materiálu a zvarového kovu bolo podobné, zváranie za tepla sa aplikuje pomocou vysokoteplotného predohrevu. Proces zvárania/navárania s vysokoteplotným predhrievaním môže predísť problémom s vytvrdzovaním štruktúry v tepelne ovplyvnenej zóne, pretože tepelný cyklus zvárania/navárania je do určitej miery regulovaný (najmä znížením rýchlosti chladenia). Avšak do akej miery aplikácia technologických opatrení zabezpečí tvrdonávarovú vrstvu s požadovanými vlastnosťami, bez trhlín, závisí od chemického a štruktúrneho zloženia konkrétneho odliatku, ktoré je v súvislosti s rokmi využívania a rozsahu poškodenia membrány turbíny ťažko predvídateľné.

PodĎakovanie

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

4. Referencie

- [1] Dj. Ivković, D. Arsić, V. Lazić, R.R. Nikolić, O. Bokuvka, Procedure for replacing the material for manufacturing the responsible welded structure, 26th International PhD. students' seminar SEMDOK 2023, Western Tatras-Zuberec, Slovakia, 2023, 1-3, pp. 51-58, ISBN 978-80-554-1947-3.
- [2] Dj. Ivković, D. Arsić, R. Prokić Cvetković, O. Popović, R. Nikolić, O. Bokuvka, How to replace the original material for the welded structure manufacturing, Production Engineering Archives, Vol. 29, No. 4, pp. 369-378, <https://doi.org/10.30657/pea.2023.29.42>, 2023OI
- [3] ISO 185:2020, Grey cast iron-Classification, International Organization for Standardization, 2020, <https://www.iso.org/standard/67753.html>
- [4] R. Wei, M. Mao, J. Liang, C. Zhao, C. Ouyang, R. Wang, Q. Bai, R. Deng, H. Li, Q. Bian. Study of the effect of overlap rate on the failure form, microstructure and wear resistance of multilayer laser cladding on grey cast iron surfaces. Tribology International, 2024, vol. 194, June 2024, 109568.