

Korozja i pękanie stali eksploatowanych w kontakcie z ciekłymi metalami

Monografia

**Edmund Tasak
Krzysztof Pańcikiewicz
Aneta Ziewiec**

KRAKÓW 2022

Wydawnictwo Naukowe
AKAPIT

Recenzenci:

Prof. dr hab. inż. Jerzy Łabanowski, Politechnika Gdańska

Dr hab. inż. Mirosław Łomozik, Sieć Badawcza Łukasiewicz - Instytut Spawalnictwa

© Copyright by Wydawnictwo Naukowe AKAPIT
Kraków, 2022

Printed in Poland

ISBN 978-83-65955-59-3



Wydawnictwo Naukowe „AKAPIT”, Kraków

tel. 608 024 572

e-mail: wn@akapit.krakow.pl

www.akapit.krakow.pl

Podziękowanie

Autorzy dziękują inż. Alojzemu Leśniakowi za przeprowadzenie obliczeń i analiz metodą MES stanu naprężeń w wannach cynkowniczych i tyglach do rafinacji ołowiu oraz zgodę na wykorzystanie wyników.

SPIS TREŚCI

Streszczenie.....	9
Summary	10
Część I. Zjawiska występujące w czasie kontaktu stali z ciekłymi metalami i mechanizmy korozji wanień	
1. Wstęp.....	11
2. Reakcja żelaza z cynkiem.....	13
2.1. Układ równowagi fazowej żelazo-cynk	13
2.2. Kinetyka reakcji w układzie równowagi fazowej żelazo-cynk	15
2.3. Wpływ składu chemicznego stali na szybkość korozji	18
3. Odporność korozyjna stali i spoin w ciekłym cynku.....	24
3.1. Odporność korozyjna stali.....	24
3.2. Odporność korozyjna spoin w złączach spawanych	29
3.3. Wpływ czystości metalurgicznej stali na odporność korozyjną.....	33
3.4. Wpływ nierówności powierzchni	36
3.5. Wpływ perlitu.....	38
3.6. Dyskusja i podsumowanie wyników badań	39
4. Wanny do cynkowania ogniowego.....	41
4.1. Materiały na wanny cynkownicze.....	41
4.2. Konstrukcje i technologie wykonywania wanień.....	43
5. Wpływ warunków eksploatacji na trwałość urządzeń kontaktujących się z ciekłymi metalami.....	46
5.1. Kruchość stali w obecności ciekłych metali.....	46
5.2. Naprężenie krytyczne do pękania stali w ciekłym ołowiu	49
5.2.1. Układ równowagi fazowej żelazo – ołów	49
5.2.2. Materiał do badań i przebieg eksperymentu	50
5.2.3. Wyniki badań naprężeń.....	52
5.2.4. Wyniki badań mikroskopowych i fraktograficznych.....	54
5.2.5. Podsumowanie	57
5.3. Naprężenie krytyczne do pękania stali w ciekłej miedzi.....	58
5.3.1. Układ równowagi fazowej żelazo – miedź	58
5.3.2. Materiał i metodyka badań.....	62
5.3.3. Wyniki badań pękania próbek.....	62
5.3.4. Wyniki badań mikroskopowych i fraktograficznych	65

5.3.5. Analiza wyników badań.....	66
5.3.6. Podsumowanie	67
5.4. Pękanie naprężeniowe podczas eksploatacji stali w ciekłym cynku	68
5.5. Uruchamianie nowych wanien	70
5.6. Eksploatacja wanien	72
6. Przyczyny awarii wanien cynkowniczych.....	80
6.1. Mechanizm lokalnej korozji wanien	82
6.2. Korozja wanien w narożach, w pobliżu dna oraz lustra cynku	87
7. Podsumowanie.....	92

Część II. Awarie wanien cynkowniczych i tygli do rafinacji ołowiu – studium przypadków

8. Przypadek P1. Korozja wanien cynkowniczych w piecu dwuwannowym.....	97
8.1. Ocena stanu wanny nr 1 po awarii	97
8.2. Analiza systemu ogrzewania	99
8.3. Niewłaściwe wykonanie ceramicznej wymurówki pieca	101
8.4. Zaleganie na dnie twardego cynku i niezbyt częste jego usuwanie	102
8.5. Analiza stanu wanny nr 2 po awarii	103
8.6. Analiza wyników obserwacji i pomiarów	105
8.7. Niewłaściwy rozkład temperatury w piecu	105
8.8. Wnioski	108
9. Przypadek P2. Perforacja wanny cynkowniczej w narożu w pobliżu kołnierza	109
9.1. Ocena stanu wanny po awarii.....	109
9.2. Analiza danych dotyczących materiału na wanny i zgodności wykonania z warunkami technicznymi	112
9.3. Analiza systemu ogrzewania	112
9.4. Analiza szybkości korozji wanny i ocena temperatury naroża.....	115
9.5. Wnioski	115
10. Przypadek P3. Korozja i perforacja wanny w pobliżu dna.....	117
10.1. Analiza stanu wanny po awarii	117
10.2. Badanie składu chemicznego blachy.....	119
10.3. Badania mikroskopowe	119
10.4. Analiza wyników badań materiałowych	120
10.5. Analiza temperatury kąpieli cynkowej i spalin w strefie grzewczej	120
10.6. Wnioski z analizy rozkładu temperatury w strefie grzewczej i kąpieli cynkowej	123
10.7. Wniosek końcowy	124
11. Przypadek P4. Korozja wanny w narożu przy dnie	125
11.1. Analiza stanu wanny po awarii	126
11.2. Analiza składu chemicznego pobranych wiórów	127
11.3. Analiza zapisów rozkładu temperatury	129
11.4. Podsumowanie wyników badań	130
11.5. Wnioski	132

12. Przypadek P5. Nieszczelności wanny cynkowniczej w narożu.....	133
12.1. Analiza stanu wanny po wycofaniu z eksploatacji.....	133
12.2. Wyniki badań	136
12.3. Analiza wyników badań	139
12.4. Wnioski	140
13. Przypadek P6. Pęknięcie wanny w narożu przy dnie	141
13.1. Analiza stanu wanny po awarii	141
13.2. Badanie własności mechanicznych stali.....	142
13.3. Badanie składu chemicznego materiału wanny.....	144
13.4. Badania makroskopowe i mikroskopowe charakteru pęknięcia.....	145
13.5. Analiza procesu zmian temperatury w czasie nagrzewania i eksploatacji.....	147
13.6. Analiza stanu naprężeń w wannie	149
13.7. Podsumowanie wyników badań	153
14. Przypadek P7. Pęknięcia wanny w narożach ścian długich przy dnie.....	155
14.1. Analiza stanu wanny po awarii	155
14.2. Metalograficzne badania makroskopowe i mikroskopowe charakteru pęknięcia.....	158
14.3. Analiza wyników badań mikroskopowych	161
14.4. Badanie własności mechanicznych materiału wanny.....	162
14.5. Analiza zmian temperatury w wannie podczas nagrzewania przy uruchamianiu wanny	167
14.6. Analiza sposobu układania kształtek cynku w wannie.....	171
14.7. Analiza stanu naprężeń w narożach wanny.....	173
14.8. Analiza wyników obliczeń	173
14.9. Wnioski	178
14.10. Podsumowanie	180
15. Przypadek P8. Pęknięcie wanny w narożach pionowych.....	181
15.1. Analiza stanu wanny po awarii	181
15.2. Analiza procesu nagrzewania wanny	185
15.3. Analiza przyczyn pęknięcia wanny z wykorzystaniem metody MES.....	189
15.4. Badanie mechanizmu pęknięcia wanny.....	192
15.5. Wnioski	196
15.6. Podsumowanie	196
16. Przypadek P9. Pękanie tygli do odsrebrzania ołowiu.....	198
16.1. Wizja lokalna, analiza charakteru pęknięć i zmian temperatury w procesie rafinacji	198
16.2. Badania mikroskopowe	201
16.3. Badanie pęknięć w elektronowym mikroskopie skaningowym	203
16.4. Podsumowanie wyników badań	207
16.5. Wnioski	209
17. Przypadek P10. Pękanie tygli do próżniowej destylacji ołowiu.....	210
17.1. Wizja lokalna i analiza rozmieszczenia pęknięć	210
17.2. Badania makroskopowe	210
17.3. Badania mikroskopowe	211
17.4. Analiza wyników badań.....	216

17.5.	Analiza stanu naprężeń w tyglu obliczona metodą MES	218
17.6.	Podsumowanie	224
18.	Przypadek P11. Pękanie tygla stożkowego do rafinacji ołowiu	226
18.1.	Wizja lokalna, analiza rozmieszczenia pęknięć i rozkładu temperatury w procesie rafinacji	226
18.2.	Badania makroskopowe i mikroskopowe.....	228
18.3.	Badanie pęknięć i mikroanaliza składu chemicznego faz na granicach ziaren	230
18.4.	Podsumowanie wyników badań	234
18.5.	Wnioski	235
19.	Literatura	237