

Naučno-stručni časopis

YU ISSN 0352-678X

PROCESNA TEHNIKA

Broj 2-3
Jun-oktobar
2004.
Godina
20.



GLAVNI I ODGOVORNI UREDNIK

(Editor-in-chief)

Prof. dr Martin Bogner, dipl. inž.,
Mašinski fakultet, Beograd

UREĐIVAČKI ODBOR

(Editor's Associates)

Martin Bogner (Mašinski fakultet), Beograd;
Vladeta Buljak (Institut „Mihajlo Pupin“), Beograd;
Miodrag Isailović (MUP Srbije), Beograd;
Radoje Kremzer (Viessmann), Beograd;
Radimir Miličević (Zavod za zavarivanje), Beograd;
Miodrag Stojiljković (Mašinski fakultet), Niš;
Radivoje Topić (Mašinski fakultet), Beograd

REDAKCIONI ODBOR

(Editorial Board)

Vladimir Bijelović (Vrbasgas), Vrbas; Martina Bogner (Zavod za zavarivanje), Beograd; Danijel Bulik (SM inženjering), Zrenjanin; Zagorka Čeperković (Interklima), Vrnjačka Banja; Mirko Đurić (MGM inženjering), Beograd; Dobrivoje Filipović (Bikozin), Šabac; Jovan Filipović (Fakultet organizacionih nauka), Beograd; Mijo Hmara (Vital), Vrbas; Slobodan Jakovljević (Jugointrop), Beograd; Zoran Jovanović (IMI International), Beograd; Čaba Kern (CIM Gas), Subotica; Goran Kolić (Airtrend-Gobrid), Beograd; Robert Kovač (Helir, Kikinda - Marketinfo YU), Kikinda; Čeda Kuburić (Gas Ruma), Ruma; Miomir Nikolić (Zdravlje), Leskovac; Natalija Paunović (GB Ganz), Budimpešta, Mađarska; Slobodan Pejčković (FilterFrigo), Beograd; Aleksandar Petrović (Mašinski fakultet), Beograd; Gordana Petrović (Dijamant), Zrenjanin; Ilija Pili-pović (Mašinoprojekt - Koprivica), Beograd; Nebojša Radonjić (Terminig), Beograd; Slobodan Ristić (Viša tehnička mašinska škola), Beograd; Tomica Ružičić (Jugopetrol), Beograd; Dragan Simonović (WILO), Beograd; Mladen Stojiljković (Mašinski fakultet), Niš; Slobodan Stošić (MIP - Procesna oprema), Čuprija; Branislav Todorović (Mašinski fakultet), Beograd; Vojislav Todrović (Delta inženjering), Beograd; Vojislav Glođović (Beogradske elektrane), Beograd; Biserka Švarc (Partner inženjering), Beograd; Jovan Udicki (Energetika), Kikinda; Aleksandar Veg (Mašinski fakultet), Beograd

Rukopisi se ne vraćaju

Časopis „Procesna tehnika“
izlazi tromesečno: marta, juna
oktobra i decembra

Računarski slog: „Kcapūēū V“, Beograd

Štampa: „Reporter“, Sopot

Na osnovu mišljenja Ministarstva za nauku,
tehnologije i razvoj Republike Srbije, broj 413-
00-1468/2001-01 od 29. oktobra 2001, časopis
„Procesna tehnika“ je oslobođen plaćanja po-
reza na promet robe na malo, kao publikacija
od posebnog interesa za nauku.

PROCESNA TEHNIKA

Broj 2-3. Jun-oktobar 2004. Godina 20 • Nr 2-3. June-October 2004. Volume 20th

Sadržaj • Contents

I. MEHANIČKE I HIDROMEHANIČKE OPERACIJE I APARATI

1. SAVREMENI SISTEMI ZA ODSISAVANJE VAZDUHA IZ KONDENZATORA TERMOENERGETSKIH POSTROJENJA
Prof. dr Slobodan Laković i Mirjana Laković 13
2. STRUJANJE RAZREĐENOG GASA U KANALIMA MIKRO- I NANO- RAZMERA
Prof. dr Vladan D. Đorđević 18
3. VENTURIJEV APARAT INTEGRISAN SA PLOČASTIM RAZMENJIVAČEM TOPLOTE
Dr Georgi Trombev, mr Cvete Dimitrieska, mr Risto Ristevski 21
4. MOBILNA BALANS-MAŠINA - NOVI KONCEPT U INDUSTRIJSKOJ PRIMENI
Prof. dr Aleksandar Veg i Goran Šiniković 23
5. UTICAJ DIMENZIONALNIH ODNOSA KOD VENTURIJEVIH APARATA PRAVOUGAONOG POPREČNOG PRESEKA
Mr Cvete Dimitrieska, mr Risto Ristevski i dr Georgi Trombev 25

II. TOPLLOTNE I DIFUZIONNE OPERACIJE I APARATI

6. VENTILACIJA KUHINJSKE OPREME
Nikola Stojković 27
7. PRIKAZ PROCEDURE KONTROLE KVALITETA PROCESA SUŠENJA I PEČENJA CREPA
Marija Brković i Eleonora Desnica 31
8. ANALIZA MOGUĆNOSTI POBOLJŠANJA HLAĐENJA VODE U VLAŽNIM RASHLADNIM TORNJEVIMA
Prof. dr Dušan Golubović 34
9. KOMBINOVANA SUŠARA ZA VOĆE I POVRĆE
Mr Jelena Janevski, dr Branislav Stojanović i prof. dr Mladen Stojiljković 37
10. POVEĆANJE KAPACITETA KONVEKTIVNE SUŠARE
Prof. dr Dragiša Tolmač, mr Slavica Prvulović i Danijel Bulik 40
11. UTICAJ UDELA SLOBODNE POVRŠINE PLOČICA NA PROMENU PRITISKA NA DNU KOLONE SA VIBRACIONOM MEŠALICOM SA RAŠIGOVIM PRSTENOVIMA
Dr Ivana B. Banković-Ilić, mr Mirko Aleksić, dr V. B. Veljković, dr M. L. Lazić i dr D. U. Skala 42
12. PRIMENA KISEONIKA U ROTACIONIM PEĆIMA PRI TOPLJENJU OBOJENIH METALA
Davor Špoljarić i mr Nikola Pavlović 45
13. POSTROJENJE ZA PROIZVODNJU SMRZNutih WDG PELETA TEČNIM AZOTOM
Siniša Drobnjak, Ivan Marković i Milivoje Trifunović 46
14. SMRZAVANJE PEKARSKIH PROIZVODA PRIMENOM KRIOGENIH TEČNOSTI
Siniša Drobnjak, dr Andreas Reiter 49
15. ANALIZA REŽIMA PEČENJA U PEKARSKIM PEĆIMA VELIKOG KAPACITETA
Mr Zorana Jeli, prof. dr Miodrag Stoimenov 53
16. REZULTATI ISTRAŽIVANJA KINETIKE KONVEKTIVNOG SUŠENJA
Mr Slavica Prvulović, prof. dr Dragiša Tolmač 57
17. MATEMATIČKI MODEL SUŠENJA TELA SA PROMENOM ZAPREMINE
Gligor H. Kanevče, Ljubica P. Kanevče i Vangelče B. Mitrevski 60

18. KOTAO OD 58 MW VISOKOG STEPENA KORISNOSTI
Igor Delikladić 63
19. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA IZ
PRENOSA TOPLOTE I SUPSTANCIJE PRILIKOM
KONVEKTIVNOG SUŠENJA DRVETA
*Dr Aleksandar Dedić, dr Duško Salemović i
dr Aleksandar Petrović* 67
20. GLAVNI MAŠINSKI PROJEKAT PROMENE
HIDRAULIKE NA VRELOVODNIM
KOTLOVIMA FIRME "ĐURO ĐAKOVIĆ" SNAGE
2 X 35 MW I 58 MW
Ivan Dragović 70
21. PRIKAZ I ANALIZA OSNOVNIH NAČINA
KRETANJA MATERIJALA I AGENSA SUŠENJA
Prof. dr Radivoje M. Topić i Goran R. Topić 74
22. PAD PRITISKA NA NEOKVAŠENIM
GRAVITACIONIM DISTRIBUTERIMA
TEČNOSTI SA SITASTIM PODOM
Mr Pavle I. Andrić 78
23. ANALIZA UTICAJA POLOŽAJA SEGMENTNE
PREGRADE NA TERMOSTRUJNE
KARAKTERISTIKE DOBOŠASTOG
RAZMENJIVAČA TOPLOTE
*Mr Mića Vukić, Goran Vučković, dr Nenad Radojković,
dr Gradimir Ilić i dr Žarko Stevanović* 83
24. MODELIRANJE PRENOSA TOPLOTE I MATERIJE U
OROŠAVAJUĆIM RAZMENJIVAČIMA TOPLOTE
*Goran Vučković, mr Mića Vukić, dr Gradimir Ilić,
dr Nenad Radojković i dr Žarko Stevanović* 87
25. UTICAJ NAGIBA STAKLA NA OBJEKTIMA NA
VODI NA BILANS TOPLOTE
SUNČEVOG ZRAČENJA
Dr Dimitrije Lilić 92
26. NUMERIČKO MODELIRANJE PRENOSA TOPLINE
U ZAGRIJAČU ZRAKA LJUNGSTRÖMOVOG TIPA
*Dr Sandira Alagić, prof. dr Sead Delalić i
prof. dr Izet Alić* 96
27. SNAGA MEŠANJA NJUTNOVSKE TEČNOSTI U
REAKTORU SA VIBRACIONOM MEŠALICOM
*Mr Olivera S. Stamenković, I. S. Stamenković,
dr Ivana B. Banković-Ilić, dr M. L. Lazić,
dr V. B. Veljković i dr D. U. Skala* 100

III. KONSTRUKCIJE I POMOĆNA OPREMA U PROCESNOJ INDUSTRIJI. ZAVARIVANJE

28. UTICAJ PARAMETARA ZAVARIVANJA
NA KVALITET ŠAVNIH CEVI
*Dr Miodrag Arsić, mr Žilve Šarkochević,
Vujadin Aleksić i Z. Anđelković* 104
29. PRORAČUN STABILNOSTI LINIJSKIH NOSAČA
NA POVIŠENIM TEMPERATURAMA
Nikola Kadić i dr Žarko Stevanović 108
30. ODREĐIVANJE TROŠKOVA ELEKTROLUČNIH
POSTUPAKA ZAVARIVANJA
Dušan Jovanić, dr Radivoje Milić, i Andraš Herold 112
31. ODREĐIVANJE RASTOJANJA IZMEĐU
POKRETNIH OSLOKACA CEVOVODA
Prof. dr Martin Bogner i Miodrag Stanković 116

IV. TRANSPORTNI PROCESI I OPREMA. HIDRAULIČKI I PNEUMATIČKI TRANSPORT.

32. OCENA EKONOMIČNOSTI KONTINUALNE
REGULACIJE PROTOKA PROMENOM
BROJA OBRTAJA VENTILATORSKOG KOLA
I ZAKRETANJEM LOPATICA SPROVODNOG
APARATA CENTRIFUGALNIH VENTILATORA
VELIKE SNAGE
*Jasmina Bogdanović-Jovanović, mr Saša Milovanović i
prof. dr Božidar Bogdanović* 121

33. AERODINAMIČKO DIZAJNIRANJE VENTILATORA
DIMNIH PLINOVA PRIMJENOM 3D CFD
Dr Izet Alić, prof. dr Sead Delalić, dr Sandira Alagić 125
34. ODREĐIVANJE OPTIMALNOG NAPORA
VENTILATORA POTREBNOG DA SPREČI PRODOR
ŠTETNIH MATERIJA U ČISTE PROSTORE
Dr Slobodan B. Rackov, dr Slobodan M. Ristić 129
35. EJEKTORSKI PUMPNI AGREGATI –
POVEZIVANJE EJEKTORA I PUMPI
*Doc. dr Aleksandar Petrović, dr Ljubomir Petrović i
doc. dr Aleksandar Dedić* 132
36. AKUMULACIONI BOJLERI ZA
SANITARNU TOPLU VODU
Dragutin Dimitrijević 135

V. RACIONALNO GAZDOVANJE ENERGIJOM I GORIVIMA. ENERGETSKA EFIKASNOST POSTROJENJA PROCESNE INDUSTRIJE. SAGOREVANJE BIOMASE U POSTROJENJIMA PROCESNE INDUSTRIJE.

37. ENERGETSKA EFIKASNOST PARNOG KOTLA U
KOJEM SAGOREVAJU BRIKETI MRKOG UGLJA
Dr Milanče Mitovski 143
38. MALI REZERVOARI ZA SKLADIŠTENJE TNG
Mr Vladeta Buljak i Dejan Simonović 147
39. RAZVOJ OPREME ZA PROIZVODNJU
PELETA OD BIOMASE
*Dr Dragan Tucaković, dr Titoslav Živanović,
dr Ljubiša Brkić, dr Dragoslava Stojiljković,
mr Vladimir Jovanović i Antonije Stojanović* 150
40. RADNI PARAMETRI LOŽIŠTA
ZA SAGOREVANJE PELETA
*Dr Branislav Stojanović, mr Jelena Janevski,
dr Mladen Stojiljković, mr Dejan Mitrović* 153
41. FAKTORI KOJI UTIČU NA KINETIKU
SAGOREVANJA BRIKETA
*Prof. dr Dragan Mitić, dr Emina Mihajlović i
mr Batić Milanović* 156
42. VREME PALJENJA I SAGOREVANJA
KAMINSKIH BRIKETA
Dr Emina Mihajlović i prof. dr Dragan Mitić 160

VI. ZAŠTITA ŽIVOTNE SREDINE

43. FIZIČKO, HEMIJSKO I BIOLOŠKO
PROCESIRANJE KOMUNALNOG OTPADA
Dr Slobodan Stojković 163
44. SADRŽAJ VOLATILNIH ORGANSKIH JEDINJENJA
U RADNOJ SREDINI GRAFIČKE INDUSTRIJE
Dr Jelena S. Kiurski i mr Miljana Đ. Prica 166
45. TEHNO-EKONOMSKI I EKOLOŠKI EFEKTI
POBOLJŠANJA KVALITETA LIGNITSKOG UGLJA
ZA UPOTREBU U TERMOELEKTRANAMA
Dejan D. Randić i mr Dragoslav R. Randić 168

VII. O VODAMA

46. REŠENJE DOVODA VODE OD IZVORIŠTA
DO REZERVOARA U FABRICI VODE KOMPA NIJE
"SIMPO" U TOPLOM DOLU (VLASINA)
*Prof. dr Božidar Bogdanović, prof. dr Gradimir Ilić i
Jasmina Bogdanović-Jovanović* 172
47. PROBLEMI U VODOVODNIM MREŽAMA
IZAZVANI MRTVIM TAČKAMA U
POJEDINIM DEONICAMA
Miodrag Stanojević i Dragan Svrkota 175
48. SMANJENJE SADRŽAJA PRIRODNIH
ORGANSKIH MATERIJA U VODI ANJONSKIM
JONOIZMENJIVAČKIM SMOLAMA
Mr Danijela Jašin, dr Mile Klašnja i Veselin Mulić 178

49. ODREĐIVANJE TEHNIČKIH KARAKTERISTIKA AERACIONIH SISTEMA PRI AERACIJI OTPADNIH VODA IZ RAFINERIJE ULJA
Prof. dr Miroslav Stanojević, mr Stojan Simić i mr Dejan Radić 181

VIII. MODELIRANJE, SIMULACIJA, VOĐENJE I KONTROLA PROCESA

50. MODEL ZA ODREĐIVANJE SASTAVA PRODUKATA GASIFIKACIJE BIOMASE PREMA JEDNAČINAMA MATERIJALNOG I TOPLOTNOG BILANSA
Prof. dr Vladan Karamarković, mr Rade Karamarković i mr Miljan Marašević 185
51. PROGRAMSKI SISTEMI ZA SIMULACIJU I OPTIMIZACIJU RADA TERMOENERGETSKIH POSTROJENJA
Mr Dejan Mitrović, dr Dragoljub Živković i dr Predrag Rašković 188
52. SIMULACIJA POGONSKOG STANJA LOŽIŠTA ENERGETSKOG KOTLA NA UGLJENI PRAH
Dr Srđan Belošević, dr Miroslav Sijerčić, prof. dr Simeon Oka, prof. dr Ljubiša Brkić i prof. dr Titoslav Živanović 191
53. PRORAČUN TERMODINAMIČKIH VELIČINA STANJA VODENE PARE PRIMENOM METODE IAPWS-IF97
Dr Dragoljub Živković, mr Dejan Mitrović i Predrag Živković 195
54. MODALNA ANALIZA MINIJATURNIH STRUKTURA
Goran Šiniković i prof. dr Aleksandar Veg 198
55. IDEJNO REŠENJE POSTROJENJA ZA VAKUUMSKO UPARAVANJE
Dr Lato Pezo, mr Mirjana Stanković, Sava Hranisavljević, mr Aca Jovanović, dr Branislav Simonović 200
56. MATEMATIČKI MODEL PROCESA TOPLJENJA PRŽENCA PRI PRERADI SULFIDNIH KONCENTRATA BAKRA
Aleksandra Milosavljević, Boran Milićević i dr Radisav Stolić 203
57. STANDARDIZACIJA U PNEUMATICI
Prof. dr Dragana Šešlija 206

IX. SPECIFIČNOSTI PREHRAMBENE INDUSTRIJE

58. POGONSKI SISTEM ZA OSTVARIVANJE LAMINACIJE PRI KONTINUALNOM PROTOKU TESTANE TRAKE U PROIZVODNJI TVRDOG KEKSA I KREKERA
Mr Raša Andrejević i prof. dr Miodrag Stoimenov 210
59. MAŠINA ZA SECKANJE PEČURKI
Prof. dr Sotir Panovski i Slavčo Risteovski 213
60. SAVREMENE METODE KOJE SE MOGU PRIMENJIVATI U TEHNOLOGIJI KONDITORSKE PROIZVODNJE
Dragana Bošković i prof. dr Zoran Radojević 214

61. TEHNOLOŠKI KONCEPT PRERADE OTPADNIH MATERIJALA IZ MLEKARSKE INDUSTRIJE
Mr Miroslav Živić, dr Mirjana Pavlović, mr Sanja Ostojić, Zdenka Filipović-Rojka, mr Stanislava Gorjanović i Sava Hranisavljević 217

X. SPECIFIČNOSTI PROCESA ZA PROIZVODNJU I PRERADU METALA I NEMETALA.

62. KORIŠĆENJE AZOTA ZA STVARANJE ZAŠTITNE ATMOSFERE U TEHNOLOŠKIM PROCESIMA
Mr Nikola Pavlović 222
63. LUŽENJE SFALERITA IZ PB-ZN-CU-FE SULFIDNOG KONCENTRATA SUMPORNOM KISELINOM U PRISUSTVU NATRIJUM-NITRATA
Mr Miroslav Sokić, mr Nataša Vučković, mr Branislav Marković, mr Vladislav Matković i dr Željko Kamberović 223
64. PROCES TRODIMENZIONALNOG ŠTAMPANJA U FUNKCIJI IZRADE TOPLJIVIH MODELA U POSTUPKU PRECIZNOG LIVENJA
Aleksandar Rajić i Spasoje Erić 226
65. RECIKLAŽA OTPADNE HARTIJE I PROIZVODNJA PAPIRNE AMBALAŽE
Aleksandar Đolović i Nenad Gajić 230
66. MERENJE I BILANSIRANJE KREČNE PEČI PRI SAGOREVANJU KOMADNOG UGLJA
Dr Branislav Repić, mr Marina Jovanović, Rastko Mladenović, dr Borislav Grubor i mr Nenad Crnomarković 233
67. ISPITIVANJE HEMIZMA HLOROVANJA BAKAR(I)-SULFIDA KALCIJUM-HLORIDOM U PRISUSTVU KISEONIKA
Mr Branislav Marković, mr Miroslav Sokić, mr Nataša Vučković i mr Vladislav Matković 237
68. LUŽENJE BAKAR(I)-SULFIDA SUMPORNOM KISELINOM U PRISUSTVU NATRIJUM-NITRATA
Mr Nataša Vučković, mr Miroslav Sokić, mr Branislav Marković i mr Vladislav Matković 240
69. INDUKCIJNA POSTROJENJA ZA PRERADU METALA U TEČNOM STANJU
Dr Zoran Janjušević, mr Zoran Karastojković i Zoran Stakić 243
70. ANALIZA PROCESA OČVRŠĆAVANJA LIVA ALUMINIJUMSKE LEGURE
Zoran Marković i prof. dr Boško Rašuo 246

XI. ODRŽAVANJE U PROCESNOJ INDUSTRIJI

71. ODREĐIVANJE OPTIMALNE PERIODIČNOSTI PREVENTIVNOG ODRŽAVANJA DELOVA TEHNIČKIH SISTEMA PRIMENOM VIŠEKRITERIJUMSKE OPTIMIZACIJE
Prof. dr Božidar V. Krstić 252
72. BITNIJI ASPEKTI PRIMENE BENCHMARKINGA U ODRŽAVANJU
Mr Silvana Angelevska, prof. dr Tome Jolevski i dr Zore Angelevski 256

**INDEKS AUTORA RADOVA
PISANIH ZA 18. KONGRES O PROCESNOJ INDUSTRIJI
– „PROCESING 2004“
(„Procesna tehnika“ br. 2–3/2004)**

Alagić, Sandira (str. 96, 125)
Aleksić, Mirko (str. 40)
Aleksić, Vujadin (str. 104)
Alić, Izet (str. 96, 125)
Anđelković, Z. (str. 104)
Andrejević, Raša (str. 210)
Andrić, Pavle I. (str. 78)
Angelevska, Silvana (str. 256)
Angelevski, Zore (str. 256)
Arsić, Miodrag (str. 104)

Banković-Ilić, Ivana B. (str. 40, 100)
Belošević, Srđan (str. 191)
Bogdanović, Božidar (str. 121, 172)
Bogdanović-Jovanović, Jasmina (str. 121, 172)
Bogner, Martin (str. 116)
Bošković, Dragana (str. 214)
Brkić, Ljubiša (str. 150, 191)
Brković, Marija (str. 31)
Bulik, Danijel (str. 40)
Buljak, Vladeta (str. 147)

Crnomarković, Nenad (str. 233)

Dedić, Aleksandar (str. 67, 132)
Delalić, Sead (str. 96, 125)
Delikladić, Igor (str. 63)
Desnica, Eleonora (str. 31)
Dimitrieska, Cvete (str. 21, 25)
Dimitrijević, Dragutin (str. 135)
Dragović, Ivan (str. 70)
Drobnjak, Siniša (str. 46, 49)

Đolović, Aleksandar (str. 230)
Đorđević, Vladan D. (str. 18)

Erić, Spasoje (str. 226)

Filipović-Rojka, Zdenka (str. 217)

Gajić, Nenad (str. 230)
Golubović, Dušan (str. 34)
Gorjanović, Stanislava (str. 217)
Grubor, Borislav (str. 233)

Herold, Andraš (str. 112)
Hranisavljević, Sava (str. 200, 217)

Ilić, Gradimir (str. 83, 87, 172)

Janevski, Jelena (str. 37, 153)
Janjušević, Zoran (str. 243)
Jašin, Danijela (str. 178)
Jeli, Zorana (str. 53)
Jolevski, Tome (str. 256)
Jovanić, Dušan (str. 112)

Jovanović, Aca (str. 200)
Jovanović, Marina (str. 233)
Jovanović, Vladimir (str. 150)

Kadić, Nikola (str. 108)
Kamberović, Željko (str. 223)
Kanevče, Gligor H. (str. 60)
Kanevče, Ljubica P. (str. 60)
Karamarković, Rade (str. 185)
Karamarković, Vladan (str. 185)
Karastojković, Zoran (str. 243)
Kiurski, Jelena S. (str. 166)
Klašnja, Mile (str. 178)
Krstić, Božidar V. (str. 252)

Laković, Mirjana (str. 13)
Laković, Slobodan (str. 13)
Lazić, M. L. (str. 40, 100)
Lilić, Dimitrije (str. 92)

Marašević, Miljan (str. 185)
Marković, Branislav (str. 223, 237, 240)
Marković, Ivan (str. 46)
Marković, Zoran (str. 246)
Matković, Vladislav (str. 223, 237, 240)
Mihajlović, Emina (str. 156, 160)
Milanović, Batić (str. 156)
Milić, Radivoje (str. 112)
Milićević, Boran (str. 203)
Milosavljević, Aleksandra (str. 203)
Milovanović, Saša (str. 121)
Mitić, Dragan (str. 156, 160)
Mitovski, Milanče (str. 143)
Mitrevski, Vangelče B. (str. 60)
Mitrović, Dejan (str. 153, 188, 195)
Mladenović, Rastko (str. 233)
Mulić, Veselin (str. 178)

Oka, Simeon (str. 191)
Ostojić, Sanja (str. 217)

Panovski, Sotir (str. 213)
Pavlović, Mirjana (str. 217)
Pavlović, Nikola (str. 45, 222)
Petrović, Aleksandar (str. 67, 132)
Petrović, Ljubomir (str. 132)
Pezo, Lato (str. 200)
Prica, Miljana Đ. (str. 166)
Prvulović, Slavica (str. 40, 57)

Rackov, Slobodan B. (str. 129)
Radić, Dejan (str. 181)
Radojević, Zoran (str. 214)
Radojković, Nenad (str. 83, 87)
Rajić, Aleksandar (str. 226)
Randić, Dejan D. (str. 168)
Randić, Dragoslav R. (str. 168)

Rašković, Predrag (str. 188)
Rašuo, Boško (str. 246)
Reiter, Andreas (str. 49)
Repčić, Branislav (str. 233)
Risteovski, Risto (str. 21, 25)
Risteovski, Slavčo (str. 213)
Ristić, Slobodan M. (str. 129)

Salemović, Duško (str. 67)
Sijerčić, Miroslav (str. 191)
Simić, Stojan (str. 181)
Simonović, Branislav (str. 200)
Simonović, Dejan (str. 147)
Skala, D. U. (str. 40, 100)
Sokić, Miroslav (str. 223, 237, 240)
Stakić, Zoran (str. 243)
Stamenković, I. S. (str. 100)
Stamenković, Olivera S. (str. 100)
Stanković, Miodrag (str. 116)
Stanković, Mirjana (str. 200)
Stanojević, Miodrag (str. 175)
Stanojević, Miroslav (str. 181)
Stevanović, Žarko (str. 83, 87, 108)
Stoimenov, Miodrag (str. 53, 210)
Stojanović, Antonije (str. 150)
Stojanović, Branislav (str. 37, 153)
Stojiljković, Dragoslava (str. 150)
Stojiljković, Mladen (str. 37, 153)
Stojković, Nikola (str. 27)
Stojković, Slobodan (str. 163)
Stolić, Radisav (str. 203)
Svrkota, Dragan (str. 175)

Šarkočević, Živče (str. 104)
Šešlija, Dragan (str. 206)
Šiniković, Goran (str. 23, 198)
Špoljarić, Davor (str. 45)

Tolmač, Dragiša (str. 40, 57)
Topić, Goran R. (str. 74)
Topić, Radivoje M. (str. 74)
Trifunović, Milivoje (str. 46)
Trombev, Georgi (str. 21, 25)
Tucaković, Dragan (str. 150)

Veg, Aleksandar (str. 23, 198)
Veljković, V. B. (str. 40, 100)
Vučković, Goran (str. 83, 87)
Vučković, Nataša (str. 223, 237, 240)
Vukić, Mića (str. 83, 87)

Živanović, Titoslav (str. 150, 191)
Živić, Miroslav (str. 217)
Živković, Dragoljub (str. 188, 195)
Živković, Predrag (str. 195)

PROCESING 2004

održava se pod patronatom
Ministarstva za nauku i zaštitu životne sredine
Republike Srbije

GENERALNI POKROVITELJ

Mašinski fakultet, Beograd

SPONZORI

Airtrend – Gobrid	Beograd
„Banat“	Nova Crnja
CIM GAS	Subotica
IMI International	Beograd
„Interklima“	Vrnjačka Banja
„Marketinfo“	Šalgotarjan, Mađarska

POČASNI ODBOR

Toplica Đorđević	Skupština opštine, Niš
Jovan Filipović	Fakultet organizacionih nauka, Beograd
Aleksandar Gajić	Mašinski fakultet, Beograd
Vojislav Glodović	Beogradske elektrane, Beograd
Zoran Jovanović	IMI International, Beograd (potpredsednik Odbora)
Goran Knežević	Skupština opštine Zrenjanin
Livo Laslo	„Marketinfo“, Šalgotarjan, Mađarska
Miloš Nedeljković	Mašinski fakultet, Beograd (predsednik Odbora)
Gordana Petrović	„Dijamant“, Zrenjanin
Miodrag Stojiljković	Mašinski fakultet, Niš
Jovan Udicki	„Energetika“, Kikinda
Borislav Umićević	„Banat“, Nova Crnja
Zdravko Umićević	NIS Naftagas – Pogon za proizvodnju NTG, Elemir

PROGRAMSKI ODBOR

Martin Bogner	Mašinski fakultet, Beograd (predsednik Odbora)
Vladeta Buljak	Institut „Mihajlo Pupin“, Beograd
Mijo Hmara	„Vital“, Vrbas
Radimir Milićević	Zavod za zavarivanje, Beograd
Aleksandar Petrović	Mašinski fakultet, Beograd
Miroslav Stanojević	Mašinski fakultet, Beograd
Radivoje Topić	Mašinski fakultet, Beograd

ORGANIZACIONI ODBOR

Vladimir Bijelović	„Vrbasgas“, Vrbas (predsednik Odbora)
Martin Bogner	Mašinski fakultet, Beograd
Danijel Bulik	„SM inženjering“, Zrenjanin
Vesna Mikić	Zavod za izgradnju, Novi Sad
Milorad Milovančević	Mašinski fakultet, Beograd
Stevo Parojčić	IMI International, Beograd (potpredsednik Odbora)
Mladen Stojiljković	Mašinski fakultet, Niš
Dragomir Šamšalović	SMEITS, Beograd
Aleksandar Veg	Mašinski fakultet, Beograd

ORGANIZATOR

Savez mašinskih i elektrotehničkih inženjera i tehničara Srbije (SMEITS),
Kneza Miloša 7a/II, 11001 Beograd
Poštanski pregradak 648.
Tel. 011/3230-041, tel./faks 3231-372
Tekući račun broj 255-0007430101000-55
E-mail: smeits@eunet.yu

UTICAJ PARAMETARA ZAVARIVANJA NA KVALITET ŠAVNIH CEVI

Dr Miodrag Arsić, dipl. inž. maš., "Goša Insitut", Beograd,
mr Živče Šarkočević, dipl. inž. maš.,
Fabrika šavnih cevi, Uroševac,
Vujadin Aleksić, dipl. inž. maš., i
Z. Anđelković, dipl. inž. maš., "Goša Institut", Beograd

Kvalitet zavarenih spojeva u procesu proizvodnje zavarenih cevi definiše se karakteristikama koje cevi moraju posedovati da bi zadovoljile određene zahteve, što se postiže sprovođenjem programa kontrole svih tehnoloških operacija u izradi ovakve cevi. Izbor parametara zavarivanja zavisi pre svega od vrste osnovnog materijala i njegove debljine, postupka i tehnologije zavarivanja. U radu je prikazan uticaj parametara zavarivanja na zateznu čvrstoću i udarnu žilavost spiralno i uzdužno zavarenih šavnih cevi, izrađenih od čelika X60. Spiralno zavarene cevi izrađuju se zavarivanjem pod praškom (EPP), a uzdužno zavarene visokofrekventnim postupkom (VF). Prikazani su i rezultati proračuna koeficijenata korelacije za tri parametra zavarivanja (jačina struje, napon, brzina zavarivanja).

Ključne reči: šavne cevi; parametri zavarivanja; pokazatelji kvaliteta; koeficijent korelacije

INFLUENCE OF WELDING PARAMETERS ON THE WELDED TUBES QUALITY

Welded joints quality in production of welded tubes is defined by tubes characteristics which must comply with specific requirements, which is achieved by controlling all technological operations during the production of tube. The selection of welding parameters primarily depends on basic material type, its thickness, welding process and technology. The influence of welding parameters on tensile strength and impact toughness of spiral and longitudinal welded tubes made from X60 steel is presented. Spiral welded tubes are produced by submerged arc welding (EPP), and longitudinal welded tubes are produced by high frequency welding (VF). Calculation results of correlation coefficient for three welding parameters (current, voltage, welding speed) are presented.

Key words: welded tubes; welding parameters; quality indicators; correlation coefficient

Uvod

Savremene tehnologije omogućuju kontinuiranu proizvodnju cevi sa spiralnim i uzdužnim šavom, pri čemu je osnovna težnja da se ostvari brzina zavarivanja jednaka brzini formiranja cevi. Mašine za kontinuiranu proizvodnju spiralno zavarenih cevi uglavnom su konstruisane za automatsko zavarivanje pod praškom, a mašine

za poluautomatsku i automatsku proizvodnju uzdužno zavarenih cevi za visokofrekventno kontaktno zavarivanje i indukciono zavarivanje. Izbor parametara zavarivanja je značajan i za razradu sistema upravljanja kvalitetom jer se njihovom promenom značajno menja kvalitet zavarenih spojeva.

Proces zavarivanja cevi pod praškom

Tehnološki proces kontinuirane proizvodnje i kontrole spiralno zavarenih šavnih cevi u fabrici šavnih cevi SARTID [1, 2] sastoji se u sledećem. Posle poprečnog spajanja trake, traka na svom putu prolazi kroz sistem valjaka za ravnanje, kako bi se obezbedila što bolja priprema, a da se pri tome ne smanjuje njena debljina. Napuštajući valjke za ravnanje traka dolazi do glavnih pogonskih valjaka. Da bi se dobila traka konstantne širine koja je u ovom postupku proizvodnje bitna, i zbog toga što krajevi trake mogu biti oštećeni ili se mogu pojaviti uključci koji bi prouzrokovali dobijanje zavarenog spoja lošeg kvaliteta, krajevi trake se obrezuju sa strane po 15 mm.

Da bi se dobio ravnomeran šav i da bi bilo manje unošenja toplote, ivice trake se moraju pripremiti za zavarivanje. U tu svrhu postavljena su kopirna glodala sa obe strane trake, koja obaraju ivice pod uglom od 4 do 12 stepeni i vrše pripremu ivica trake. Tako pripremljena traka dolazi do uređaja za oblikovanje trake u cev.

Na prednjem delu nosača gornje garniture rolni nalazi se glava za zavarivanje cevi sa unutrašnje strane, a neposredno iza nje postavljen je kalibrator unutrašnjeg prečnika cevi.

Elektrodna žica za zavarivanje dovodi se elektromotorima koji su postavljeni, za unutrašnje zavarivanje na zadnjem delu nosača gornje garniture rolni, dok za spoljašnje zavarivanje na samom postolju na kome je postavljena i glava za spoljašnje zavarivanje. Prašak za zavarivanje dovodi se na mesto zavarivanja pod pritiskom komprimovanog vazduha.

Na izvesnom rastojanju od glave za spoljašnje zavarivanje postavljen je ultrazvučni uređaj kojim se kontroliše kvalitet šava i zone uticaja toplote. Na izlazu iz postrojenja nalazi se uređaj za gasno rezanje cevi na traženu dužinu. Isečena cev određene dužine nastavlja svoj put ka izlaznom delu postrojenja gde je prihvata prihvatno-silazni most, koji je predaje na prvi rolgang kao gotovu cev.

Nakon istresanja cev dolazi na vizuelnu kontrolu na kojoj se definišu uočene greške. Cevi sa uočenom greškom šalju se na ručnu doradu koja se izvodi E postupkom. Cevi na kojima nije primećena greška kao i popravljene cevi šalju se na rendgensko snimanje X-zracima na mestima koja su predviđena za kontrolu cevi. Posle rendgenske kontrole, cevi na kojima su otkrivene nedopustive greške vraćaju se na ručnu doradu, a kvalitetne cevi se upućuju na strug radi obrade krajeva, gde se krajevi pripremaju za zavarivanje u procesu montaže.

Posle obrade krajeva, cevi se upućuju na hidrostatičko ispitivanje na hidaruličnoj presi. Pritisak zavisi od standarda izrade, kvaliteta osnovnog materijala, debljine materijala i nazivnog prečnika cevi. Prema API Std 5LS ispitni pritisak se izračunava po obrascu:

$$p = (20R_{eH} \cdot s) / D \text{ bar} \quad (1)$$

gde su:

- R_{eH} - napon tečenja, MPa,
- s - nazivna debljina materijala, mm,
- D - nazivni prečnik cevi, mm.

Tako ispitane cevi šalju se na završnu kontrolu koja na osnovu prikupljenih podataka o međufaznoj kontroli i na osnovu njene krajnje kontrole daje konačnu ocenu o kvalitetu i dimenzijama cevi.

Izbor parametara zavarivanja uglavnom zavisi od vrste i debljine osnovnog materijala. Od njihovog izbora zavisi kvalitet zavarenog spoja i poprečni presek šava (penetracija, širina i nadvišenje šava).

Osnovni parametri postupka EPP zavarivanja su:

- jačina struje,
- gustina struje,
- prečnik elektrodne žice,
- napon luka,
- brzina zavarivanja,
- položaj stuba luka,
- nagib žice i radnog dela.

Proces visokofrekventnog zavarivanja cevi

Primenom visokofrekventne (VF) struje za zavarivanje, brzina oblikovanja u uređajima za kontinualnu proizvodnju uzdužno zavarenih cevi dostiže 50 m/min. Ostvarivanje velikih brzina zavarivanja, uz zadovoljenje sve strožih zahteva u pogledu kvaliteta šavnih cevi, moguće je jedino ako se poznaje uticaj niza faktora, počev od kvaliteta osnovnog materijala, do fine regulacije režima zavarivanja.

Uticaj zavarivačkog sklopa [1, 2], u kome se izvodi zavarivanje, ima poseban značaj za kvalitet cevi. Nakon formiranja u uređaju za kontinualno oblikovanje, cev ulazi u zavarivački sklop približavanjem stranica (krajeva) cevi pod uglom α . Tako se formira prorez koji počinje od odstojnog prstena, a završava u zavarivačkom sklopu, gde se stranice formirane cevi približavaju, zagrevaju i spajaju. Pri tome istiskivanje zagrejanog materijala treba da bude što manje, posebno sa unutrašnje strane cevi. Proces unutrašnjeg i spoljašnjeg istiskivanja uslovljen je načinom tečenja materijala i početnog kontakta stranica, a na njegovu veličinu značajan uticaj ima postupak zavarivanja, veličina cevi i kvalitet osnovnog materijala.

Značajna uloga zavarivačkog sklopa je i u sprečavanju pojave toplih prslina obezbeđenjem što manjih zaostalih napona u zavarenoj cevi. To se postiže kalibracijom valjaka, čime se ostvaruje pravilan kontakt stranica cevi.

Deformacija cevi sastoji se od plastičnih deformacija zagrejanih stranica i elastičnih ili elastoplastičnih deformacija čitavog ostalog (hladnog) dela cevi.

Ukupna sila valjaka u zavarivačkom sklopu sastoji se od sile potrebne za plastičnu deformaciju stranica cevi i sile potrebne za elastičnu ili elastoplastičnu deformaciju oblikovane cevi. Odnos sila elastičnih i plastičnih deformacija cevi u zavarivačkom sklopu zavisi od odnosa debljine zida i prečnika cevi. Za tankozidne cevi može da se uzme u obzir samo sila za plastične deformacije, dok za debelozidne treba uzeti u obzir i silu potrebnu za elastične ili elastoplastične deformacije.

Pojava toplih prslina posebno je izražena u proizvodnji tankozidnih šavno zavarenih cevi srednjih prečnika od čelika povišene čvrstoće. Zbog većeg napona tečenja ovih čelika, nakon izlaska iz zavarivačkog sklopa nastaju veliki zaostali naponi, koji mogu da uslove pojavu toplih prslina.

Unutrašnje istiskivanje materijala u znatnoj meri zavisi od vremena za koje se obavlja proces zavarivanja, tj. vremena plastičnog deformisanja zagrejanih krajeva stranica, vremena formiranja potrebne strukture zavarenog spoja i vremena hlađenja zavarenog spoja do temperature ispod koje nema opasnosti od stvaranja toplih prslina.

Prilikom određivanja temperature zavarivanja treba zadovoljiti uslov da temperatura u momentu izlaza iz zavarivačkog sklopa bude dovoljno niska, da bi se obezbedila zadovoljavajuća čvrstoća zavarenog spoja.

Brzina zavarivanja utiče na plastične deformacije, pritisak na stranicama cevi, debljinu oksidnog sloja na zagrejanim površinama i istiskivanje materijala. Posledice veće brzine zavarivanja su manje plastične deformacije, manji pritisak na stranicama cevi pre završetka formiranja zavarenog spoja, manja oksidacija zagrejanih površina, manje istiskivanje materijala i manja zona uticaja toplote (ZUT), jer je kraće vreme prostiranja toplote po dubini stranica.

Prema tome, za dobijanje kvalitetnog zavarenog spoja potrebna je što veća brzina zavarivanja. Međutim, brzina zavarivanja iznad kritične vrednosti izaziva tople prsline.

Pri izboru brzine zavarivanja neophodno je uzeti u obzir i karakteristike osnovnog materijala, tolerancije širine i debljine ulazne trake.

Brzina hlađenja zavarenog spoja može da se podese promenom zapremine zagrejanog materijala, odnosno izborom struje zavarivanja preme veličini cevi. Za dobijanje kvalitetnog zavarenog spoja potrebno je međusobno usklađivanje temperature zavarivanja, pritiska i vremena zavarivanja.

Osnovni parametri visokofrekventnog zavarivanja su:

- temperatura zagrevanja,
- vreme zagrevanja,
- jačina struje,
- napon,
- brzina zavarivanja,
- frekvencija,
- temperatura žarenja.

Kontrola kvaliteta zavarenih cevi

Na kvalitet zavarenih spojeva utiču mnogi faktori koji delujući kao sistemski ili slučajni, mogu dovesti do slabijeg ili neodgovarajućeg kvaliteta zavarenih spojeva, pri čemu se pod slabijim odnosno neodgovarajućim kvalitetom podrazumeva jedno odstupanje ili više njih.

Obezbeđenje kvaliteta zavarenih spojeva u procesu proizvodnje šavnih cevi postiže se sprovođenjem programa kontrole svih tehnoloških operacija u izradi svake cevi. Međutim, tehnika automatizacije procesa u izradi cevi ne omogućuje da se predvide vrednosti svih faktora, za koje se zna da utiču na proces zavarivanja i kvalitet zavarenih spojeva (temperatura, napon, brzina zavarivanja), zato što su međusobno zavisni.

Na osnovu normi standarda API Std 5LS i API 5CT urađeni su program i planovi kontrole. Programom kontrole predviđeni su:

- kontrola osnovnog i dodatnog materijala,
- kontrola svake tehnološke operacije u procesu proizvodnje,
- kontrola ispravnosti zavarivačkih uređaja,
- stalna kontrola parametara zavarivanja,
- kontrola elemenata žleba u toku njegove izrade,
- kontrola hemijskog sastava,
- vizuelna i dimenziona kontrola zavarenih spojeva,
- kontrola mera i oblika,
- ultrazvučna kontrola,
- radiografska kontrola.

Plan završne kontrole spiralno i uzdužno zavarenih cevi prikazan je u tabeli 1.

Uticaj parametara zavarivanja na zateznu čvrstoću i žilavost zavarenog spoja šavnih cevi

Sigurnost šavnih cevi zavisi od niza karakteristika vezanih za konstrukciju, osnovni materijal, tehnologiju izrade i eksploatacijske uslove. Da bi se procenila sigurnost zavarenih spoja šavnih cevi potrebno je izvršiti ispitivanja kojima se određuju pre svega njegove mehaničke i tehnološke karakteristike (ispitivanje zatezne čvrstoće, žilavosti, tvrdoće, otpornosti prema savijanju).

Rezultati ispitivanja zatezanjem i ispitivanja udarne žilavosti

Epruvete za ispitivanje zavarenog spoja zatezanjem urađene su prema ASTM A370, a ispitivanja udarne žilavosti izvršena su standardnim postupkom po API 5LS. Udarne žilavost je određena korišćenjem epruvete sa V zarezom. Ispitivanja u pravcu normalnom na pravac šava (NW) izvedena su na epruvetama pripremljenim od uzoraka iz dva procesa proizvodnje spiralno i uzdužno zavarenih cevi od mikrolegiranog čelika X 60. Rezultati ispitivanja su navedeni u tab. 2 i tab. 3.

Razmatrani parametri zavarivanja za EPP postupak:

I proizvodni proces		II proizvodni proces	
Jačina struje:	590 A	Jačina struje:	660 A
Napon:	27,5 V	Napon:	28 V
Brzina zavarivanja:	1,4 m/min	Brzina zavarivanja:	1,5 m/min

Tabela 1. Plan završne kontrole spiralno i uzdužno zavarenih cevi

Red. br.	Karakteristika	Odgovorna osoba	Režim kontrolisanja	Metoda/ šifra	Oprema		Krit. prihv.	Dok. za zapise
					Naziv	Šifra		
1.	Kontrola šava	Završni kontrolor	Svaka cev	Vizuelno	–	–	OB.031	OB036
2.	Kontrola osnovnog materijala	Završni kontrolor	Svaka cev	Vizuelno	–	–	OB.031	OB036
3.	Kontrola obrade krajeva cevi	Završni kontrolor	Svaka cev	Vizuelno	–	MO53	OB.031	OB036
4.	Kontrola krajeva fazete	Završni kontrolor	Svaka cev	Metrološki	Šablon	MO53	OB.031	OB131
5.	Kontrola denivelacije	Završni kontrolor	Svaka cev	Metrološki	Dubinomer	MO2	OB.031	OB131
6.	Kontrola prečnika	Završni kontrolor	Svaka cev	Metrološki	Dijametralna pantljička	MO	OB.031	OB131
7.	Merenje dužne	Završni kontrolor	Svaka cev	Metrološki	Čelična pantljička	MO47	OB.031	OB036
8.	Kontrola debljine zida	Završni kontrolor	Svaka cev	Metrološki	Palmer mikrometar	MO	OB.031	OB036
9.	Kontrola pravosti cevi	Završni kontrolor	Svaka cev	Metrološki	Čelična žica dubinomer	MO2	OB.031	OB131
10.	Kontrola ovalnosti cevi	Završni kontrolor	Svaka cev	Metrološki	Kljunasto merilo	MO	OB.031	OB131
11.	Kontrola nadvišenja šava	Završni kontrolor	Svaka cev	Metrološki	Dubinomer	MO2	OB.031	OB131

Razmatrani parametri zavarivanja za VF postupak:

I proizvodni proces		II proizvodni proces	
Jačina struje:	24 kA	Jačina struje:	23 kA
Napon:	12 kV	Napon:	12,5 kV
Brzina zavarivanja:	15,5 m/min	Brzina zavarivanja:	12 m/min

Tabela 2. Rezultati ispitivanja zatezne čvrstoće i udarne žilavosti cevi – EPP postupak zavarivanja

Položaj epruvete (oznaka)	Srednja vrednost zatezne čvrstoće na $t = 20^{\circ}\text{C}$ R_m (N/mm ²)	Žilavost (J)				
		20°C	0°C	-10°C	-20°C	-40°C
NW (I post. zav.)	659	132,4	106,6	75,5	44,2	22,16
NW (II post. zav.)	626	134,0	119,0	90,5	62,3	27,16

Tabela 3. Rezultati ispitivanja zatezne čvrstoće i udarne žilavosti cevi – VF postupak zavarivanja

Položaj epruvete (oznaka)	Srednja vrednost zatezne čvrstoće na $t = 20^{\circ}\text{C}$ R_m (N/mm ²)	Žilavost (J)			
		20°C	0°C	-20°C	-40°C
NW (I post. zav.)	721	21,6	18,4	14,5	12,4
NW (II post. zav.)	743	23,2	18,8	14,8	

Rezultati ispitivanja zatezne čvrstoće šava navedeni u tab. 2 i 3 pokazali su da je vrednost zatezne čvrstoće zavarenog spoja na cevima izrađenim VF postupkom zavarivanja veća za 10–15% od vrednosti zatezne čvrstoće zavarenog spoja cevi izrađene EPP postupkom, zavisno od parametara zavarivanja.

Ispitivanja udarne žilavosti pokazala su u osnovi da materijal X60 zavaren VF postupkom ima nisku žilavost zavarenog spoja, što ograničava njegovu primenu. Materijal X60 zavaren EPP postupkom može se koristiti za važnije cevovode do temperature od -20°C , s tim da parametri zavarivanja omogućće blaži režim zavarivanja kojim bi se dobila manja čvrstoća i tvrdoća zavarenog spoja, a veća žilavost.

Korelacija parametara zavarivanja i pokazatelja mehaničkih karakteristika

Uticaj parametara zavarivanja na kvalitet zavarenih spojeva šavnih cevi treba uzeti u obzir ne samo pri post-

vljanju i analizi procesa zavarivanja, već i za razradu uređaja za zavarivanje, kontrolno-merne i regulacione opreme. Uticaj pojedinih parametara procesa zavarivanja može se izraziti koeficijentom korelacije sa pokazateljima kvaliteta. U tom slučaju to su zatezna čvrstoća i žilavost zavarenog spoja.

U praksi se često sreću pojave sa dve slučajne promenljive veličine i one se prikazuju u dvodimenzionalnom koordinatnom sistemu. Za veći broj promenljivih dobija se skup veličina čija se međusobna zavisnost može, uz izvesna uprošćenja, predstaviti kao statistička povezanost ili korelacija.

Ako je X_{ij} uticaj jednog od parametara zavarivanja a Y_{kj} pokazatelj kvaliteta zavarenog spoja, tada za seriju eksperimenata važi jednakost:

$$\|Y_{kj}\| = \varphi \|X_{ij}\| \quad (2)$$

gde su:

φ – linearna funkcija koja povezuje uticaj parametara zavarivanja i pokazatelja kvaliteta zavarenog spoja,

i – redni broj promenljive (parametra zavarivanja), $i = 1, 2 \dots n$,

j – redni broj ispitivanja i -tog parametra, $j = 1 - N$,

k – redni broj pokazatelja kvaliteta zavarenog spoja.

Koeficijent korelacije R_{jk} karakteriše uticaj i -te promenljive (parametra zavarivanja) na pokazatelj kvaliteta Y_k . Što je njegova vrednost veća, to je veći uticaj tog parametra na kvalitet zavarenih spojeva. Određuje se izrazom:

$$R_{jk} = \frac{\sum_{j=1}^N (X_{ij} - \bar{X}_i)(Y_{kj} - \bar{Y}_k)}{\sqrt{S_{X_i} \cdot S_{Y_k}}}$$

gde su:

$$\bar{X}_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N X_{ij} \quad \text{i} \quad \bar{Y}_k = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N Y_{kj}$$

– srednje vrednosti promenljivih:

$$S_{X_i}^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{j=1}^N \Delta X_{ij}^2; \quad S_{Y_k}^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{j=1}^N \Delta Y_{kj}^2$$

– disperzija promenljivih:

$$\Delta X_{ij} = X_{ij} - \bar{X}_i; \quad \Delta Y_{kj} = Y_{kj} - \bar{Y}_k$$

S obzirom da na kvalitet zavarenih spojeva utiču odstupanja parametara zavarivanja od optimalnih vrednosti, to su ona i korišćena pri proračunu korelacije pokazatelja kvaliteta i parametara zavarivanja.

Za analizu su korišćeni rezultati ispitivanja uzoraka zavarenih spojeva cevi izrađenih EPP i VF postupkom zavarivanja. Odabrani parametri zavarivanja X_i su: srednje vrednosti jačine struje, napona i brzine zavarivanja napred razmatranih procesa proizvodnje. Za granice dozvoljenih odstupanja usvojene su razlike parametara zavarivanja između dva razmotrena procesa proizvodnje (tab. 4). Rezultati proračuna koeficijenata korelacije razmatranih parametara zavarivanja navedeni su u tab. 5 i 6.

Tabela 4. Srednje vrednosti parametara za EPP i VF postupak zavarivanja

Naziv	Oznaka parametra	Postupak	Vrednost
Jačina struje	X_1	EPP	625 A
		VF	23,5 kA
Napon	X_2	EPP	28 V
		VF	12,5 kV
Brzina zavarivanja	X_3	EPP	0,5 m/min
		VF	14 m/min

Tabela 5. Korelacija parametara zavarivanja i pokazatelja kvaliteta za EPP postupak

Broj ispitanih uzoraka	Parametri zavarivanja			Pokazatelji kvaliteta	Koeficijent korelacije R_{jk}		
	I (A)	U (V)	v (m/min)		X_1	X_2	X_3
40	625	28	1,45	Zatezna čvrstoća	0,76	0,61	0,56
				Udarne žilavost	0,84	0,70	0,58

Tabela 6. Korelacija parametara zavarivanja i pokazatelja kvaliteta za VF postupak

Broj ispitanih uzoraka	Parametri zavarivanja			Pokazatelji kvaliteta	Koeficijent korelacije R_{jk}		
	I (kA)	U (kV)	v (m/min)		X_3	X_2	X_1
54	23,5	12,5	14	Zatezna čvrstoća	0,52	0,50	0,42
				Udarne žilavost	0,67	0,66	0,22

Na osnovu rezultata proračuna zaključuje se da od razmatranih parametara zavarivanja najveći uticaj na zateznu čvrstoću i udarnu žilavost spiralno zavarenih cevi ima jačina struje, a zatim napon, dok najmanji uticaj ima brzina zavarivanja. Kada su u pitanju uzdužno zavarene cevi, na zateznu čvrstoću najviše utiče brzina zavarivanja, zatim napon, a najmanji uticaj ima jačina struje. Na udarnu žilavost najviše utiče jačina struje, zatim brzina zavarivanja, a najmanji uticaj ima napon.

Uočljivo je da su koeficijenti korelacije razmatranih parametara zavarivanja i udarne žilavosti veći od koeficijenta korelacije parametara zavarivanja i zatezne čvrstoće. To znači da odstupanja od optimalnih parametara zavarivanja imaju veći uticaj na udarnu žilavost zavarenog spoja nego na zateznu čvrstoću.

Zaključak

Poređenjem rezultata vidi se da je zatezna čvrstoća šava veća u VF postupku zavarivanja od EPP postupka za 10–15%, zavisno od parametara zavarivanja. Udarne žilavost šava zavarenog EPP postupkom daleko je veća od udarne žilavosti šava zavarenog VF postupkom, bez obzira na parametre zavarivanja, što ukazuje da osnovni materijal zavaren VF postupkom ima znatno slabije deformacione karakteristike, odnosno ima veću sklonost ka krtom lomu te se tako izrađene cevi ne mogu upotrebiti za važne cevovode.

Rezultati proračuna koeficijenata korelacije za razmatrane parametre zavarivanja ukazuju da parametri za-

varivanja imaju veći uticaj na udarnu žilavost zavarenog spoja nego na zateznu čvrstoću, za oba postupka zavarivanja i da u EPP postupku zavarivanja najveći uticaj na zateznu čvrstoću šava ima jačina struje, a u VF postupku zavarivanja najveći uticaj ima brzina zavarivanja.

Literatura

- [1] Šarkočević, Ž., *Analiza uticaja grešaka u zavarenim spojevima na ponašanje šavnih cevi od čelika poviše-*

ne čvrstoće, magistarski rad, Mašinski fakultet, Beograd, 1999.

- [2] Arsić, M., *Izbor čelika za izradu šavnih cevi*, međunarodna konferencija "Zavarivanje 2001", Beograd, 2001, časopis "Zavarivanje i zavarene konstrukcije", br. 1, 2002.

PROCESNA
TEHNIKA

STRUČNI RAD • ENGINEERING PAPER

UDK 624.014.2

BIBLID 0352-678X (2004) 20:2-3 p. 108-112

PRORAČUN STABILNOSTI LINIJSKIH NOSAČA NA POVIŠENIM TEMPERATURAMA

Nikola Kadić, dipl. inž. maš., i
dr Žarko Stevanović, dipl. inž. maš.,
Institut za nuklearne nauke "Vinča",
Laboratorija za termotehniku i energetiku, Beograd

Osnovni zadatak ovog rada bio je analiza uticaja temperaturnih opterećenja na elemente konstrukcije, i to u sprezi sa problemom gubitka stabilnosti kao osnovnim problemom istraživanja u ovom radu. Kao izlazne podatke dobili smo kritične sile gubitka stabilnosti elemenata strukture, zavisno od radne temperature, a sve to posredno preko uticaja temperature na karakteristike materijala. Kada se problem stabilnosti spregne sa problemom rada strukture u uslovima povišenih temperatura, dobijamo jedan novi problem. Kako povišena temperatura utiče na karakteristike samog materijala, taj se uticaj indirektno prenosi i na elemente same konstrukcije. U radu su korišćene postojeće metode strukturalne analize i metod konačnih elemenata – metod pomeranja. Posebna pažnja je poklonjena metodu konačnih elemenata.

Ključne reči: metod konačnih elemenata; stabilnost linijskih nosača; povišena temperatura

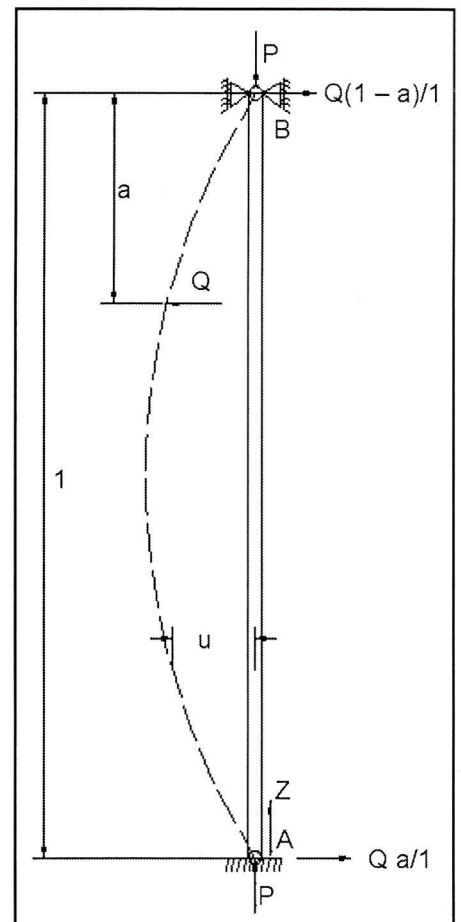
CALCULATION OF COLUMN STABILITY AT HIGH TEMPERATURES

The basic aim of this paper was to analyze the influence of temperature loads on the structure elements, coupled with the problem of stability loss as a basic problem of this research. Output data were critical forces of the structure elements' stability loss depending on operating temperature, all indirectly through the temperatures effects on material characteristics. When the stability problem is coupled with the structure operation problem at high temperatures, a new problem occurs. As high temperatures effect the material characteristics, this effect is indirectly transferred to the structure elements. The existing methods of the structural analysis and finite element method were used in the paper. A special attention was paid to the finite element method.

Key words: finite element method; column stability; high temperature

1. Uvod

Sam problem gubitka stabilnosti davno se nametnuo u tehnici. Kako je u mašinskoj tehnici jedan od glavnih problema optimizacija mase strukture, neminovna je pojava takozvanih laganih elemenata. Ti lagani elementi su u slučaju pritisnih opterećenja podložni gubitku stabilnosti, odnosno izvijanju. Mašinske konstrukcije na osnovu svoje primene obiluju ovakvim elementima, tako da taj problem postaje veoma ozbiljan. Elementi opterećeni na taj način predstavljaju veoma osetljive tačke strukture, pa su ovakve analize od velikog značaja i za samo konstruisanje. Kada se problem stabilnosti spregne sa problemom rada strukture u uslovima povišenih temperatura, dobija se jedan nov problem. Kako povišena temperatura utiče na karakteristike samog materijala, taj se uticaj indirektno prenosi i na elemente same konstrukcije. Osnovni zadatak ovog istraživanja biće upravo analiza uticaja temperaturnih opterećenja na elemente konstrukcije, i to u sprezi sa problemom gubitka stabilnosti kao osnovnim problemom istraživanja u ovom radu. Kao izlazne podatke dobićemo kritične sile gubitka stabilnosti elemenata strukture zavisno od radne temperature, a sve to po-



Slika 1. Greda opterećena pritisnom i poprečnom silom