

Spis treści

Od Autora	11
Wykaz oznaczeń	13
1. Rury stalowe bez szwu – charakterystyka ogólna	17
1.1. Produkcja rur bez szwu	17
1.2. Klasyfikacja stalowych rur bez szwu	23
1.2.1. Rury wiertnicze	24
1.2.2. Rury kotłowe	30
1.2.2.1. Zapotrzebowanie na energię	30
1.2.2.2. Konwencjonalne kotły parowe	31
1.2.2.3. Stale – ferrytyczne i austenityczne oraz stopy stosowane na rury kotłowe	36
1.2.3. Rury przewodowe	47
1.2.4. Rury konstrukcyjne	47
1.2.5. Rury ze stali i stopów odpornych na korozję, żaroodpornych	51
1.3. Materiał wsadowy do wytwarzania rur bez szwu	55
1.3.1. Wymagania ogólne	55
1.3.2. Jakość wlewków z ciągłego odlewania stali	56
1.4. Metody produkcji rur bez szwu	59
1.4.1. Charakterystyka ogólna	59
1.4.2. Wybór metody wytwarzania	61
Literatura	63
2. Wytwarzanie grubościennych tulei rurowych w skośnych walcarkach dziurujących	67
2.1. Ogólna charakterystyka procesu	67
2.2. Warunki kinematyczne procesu walcowania skośnego	74
2.2.1. Składowe wektorów prędkości walca i metalu	75
2.2.2. Metody wyznaczania współczynników prędkości	80
2.2.3. Badania doświadczalne współczynników prędkości	82

2.2.4. Wpływ czynników walcowniczych na współczynniki prędkości	84
2.3. Podanie metalu w walce – skok linii śrubowej	88
2.4. Parametry geometryczne kotliny walcowniczej	90
2.4.1. Warunki odkształcenia	91
2.4.2. Opis analityczny stref odkształcenia	92
2.4.3. Powierzchnia styku metalu z narzędziami roboczymi	96
2.5. Prędkość odkształcania	98
2.6. Skręcenie warstw metalu przy walcowaniu skośnym	98
2.6.1. Analityczny opis skręcenia	99
2.6.2. Symulacja komputerowa parametrów skręcania	102
2.6.3. Wyniki doświadczenia parametrów skręcania	105
2.7. Odkształcenia w procesie skośnego walcowania dziurującego	106
2.7.1. Odkształcenia podstawowe	107
2.7.2. Odkształcenia dodatkowe	108
2.7.3. Badania doświadczenia wielkości odkształceń	110
2.7.4. Badania rozkładu odkształceń w procesie dziurowania	112
2.8. Symulacja procesu dziurowania metodą elementów skończonych	116
2.8.1. Model I – sztywno-plastyczny	117
2.8.1.1. Pole prędkości i funkcjonal mocy	118
2.8.1.2. Symulacja komputerowa modelu	122
2.8.2. Model II – termoplastyczny	125
2.8.2.1. Pole prędkości i funkcjonal mocy	125
2.8.2.2. Dyskretyzacja modelu metodą elementów skończonych	128
2.9. Siły występujące w procesie walcowania w walcarkach skośnych	132
2.9.1. Nacisk jednostkowy	132
2.9.2. Rozkład nacisku jednostkowego w kotlinie walcowniczej	133
2.9.3. Siły tarcia na powierzchniach styku z narzędziami roboczymi	135
2.9.4. Nacisk całkowity i moment walcowania	137
2.10. Dziurowanie w walcarkach skośnych półwyrobów ze stali stopowych i stopów	139
2.10.1. Wpływ technologicznych parametrów procesu dziurowania na jakość tulei rurowych	139
2.10.2. Parametry siłowe występujące przy dziurowaniu stali stopowych i stopów	147
2.11. Kalibrowanie narzędzi roboczych	151
2.11.1. Kalibrowanie walców roboczych	151
2.11.2. Kalibrowanie główek dziurujących	155
2.11.3. Kalibrowanie prowadnic tarczowych Dieschera	162
2.12. Konstrukcja skośnych walcarek dziurujących	163
Literatura	168

3. Wytwarzanie grubościennych tulei rurowych w prasach	174
3.1. Ogólna charakterystyka procesu	174
3.2. Stan naprężeń i odkształceń oraz płynięcie metalu przy przebijaniu	179
3.2.1. Stan naprężeń i odkształceń przy przebijaniu	179
3.2.2. Kinematyka płynięcia metalu przy przebijaniu	180
3.3. Wypełnienie matrycy prasy przebijającej	184
3.4. Parametry siłowe przy przebijaniu	185
3.4.1. Opis analityczny parametrów siłowych	185
3.4.2. Wpływ kształtu przebijaka na siły przebijania i płynięcie metalu	190
3.5. Narzędzia dla pras przebijających	192
3.6. Wytwarzanie grubościennych tulei rurowych w prasowalcarce	198
Literatura	200
4. Walcowanie tulei rurowych w skośnych walcarkach wydłużających	203
4.1. Ogólna charakterystyka walcarek	203
4.2. Mechanizm odkształcania i zmniejszania różnościennosci poprzecznej tulei	207
4.2.1. Mechanizm odkształcania w procesie wydłużającego walcowania skośnego	207
4.2.2. Czynniki walcownicze wpływające na różnościennosc poprzeczną tulei rurowych	208
4.3. Zależności kinematyczne, geometryczne i siłowe procesu wydłużania	211
4.3.1. Wpływ wybranych czynników walcowniczych na współczynniki prędkości	211
4.3.2. Rozkład kątów skręcenia warstw metalu	213
4.3.3. Symulacja stanu odkształcenia i rozkładu umocnienia w procesie wydłużania	215
4.3.4. Wpływ warunków pracy trzpienia walcowniczego na parametry siłowe podczas wydłużania	218
4.4. Kalibrowanie narzędzi odkształcających	222
4.4.1. Kalibrowanie walców roboczych	222
4.4.2. Kalibrowanie główek roboczych	224
4.4.3. Kalibrowanie liniałów prowadzących	225
4.5. Walcarki wydłużające Accu-Roll	228
4.6. Walcarki wydłużające z napędzanymi walcami prowadzącymi	231
4.7. Trójwalcowe walcarki wydłużające Assela	235
4.7.1. Ogólna charakterystyka procesu i typów walcarek	235
4.7.2. Podstawowe zależności geometryczne procesu walcowania rur w walcarce Assela	240

4.7.3. Zastosowanie metody górnej oceny do analizy procesu wydłużania tulei w walcierce Assela	245
4.7.3.1. Równania mocy	248
4.7.3.2. Wyniki obliczeń parametrów energetycznych i ich analiza	253
4.7.4. Wady kształtu końców rur	255
4.7.4.1. Warunki utraty stateczności – wskaźnik trójkątowania końców rur	255
4.7.4.2. Wyniki pomiarów i obliczeń trójkątowania końców rur	257
4.7.5. Współczesne walcownie Assela	259
Literatura	264
5. Produkcja rur w walcowniach pielgrzymowych	268
5.1. Ogólna charakterystyka procesu	268
5.2. Aparat podający	272
5.3. Parametry geometryczne i kinematyczne walcowania pielgrzymowego	277
5.4. Kalibrowanie walców pielgrzymowych	286
5.4.1. Dobór wymiarów walców pielgrzymowych	286
5.4.2. Kalibrowanie wykroju walców pielgrzymowych	286
5.4.3. Analityczne metody obliczania kształtu krzywek ataku walców pielgrzymowych	290
5.5. Siła nacisku metalu na walec i moment walcowania pielgrzymowego	294
5.6. Rozwiązania linii technologicznych do walcowania pielgrzymowego	297
Literatura	303
6. Produkcja rur w walcowniach przepychowych	305
6.1. Ogólna charakterystyka procesu	305
6.2. Parametry kinematyczne procesu przepychania	311
6.3. Parametry geometryczne procesu przepychania w wykrojach walcowych	312
6.3.1. Rozkład odkształceń w poszczególnych wykrojach walcowych	313
6.3.2. Parametry geometryczne wykrojów walcowych	316
6.4. Kalibrowanie narzędzi roboczych walcarek przepychowych	320
6.4.1. Usytuowanie narzędzi roboczych przy przepychaniu rur	320
6.4.2. Analityczny opis kształtu trójwalcowych wykrojów owalnych	321
6.4.3. Walce robocze walcarki przepychowej	324
6.4.4. Trzpienie przepychowe	325
6.5. Siły przy przepychaniu rur	327
6.5.1. Metoda Löpr.anna do opisu sił przepychania	328
6.5.2. Metoda Kreulischa do opisu sił przepychania	330
6.5.3. Wyniki obliczeń i pomiarów parametrów siłowych	334
6.6. Rozwiązania linii technologicznych walcowni przepychowych	337
Literatura	340

7. Produkcja rur w walcowniach automatycznych	343
7.1. Ogólna charakterystyka procesu	343
7.2. Parametry geometryczne kotliny odkształcenia	345
7.3. Parametry prędkościowe w kotlinie odkształcenia	347
7.4. Warunki chwytu podczas walcowania w wykrojach	350
7.5. Siły działające na narzędzia odkształcające	352
7.6. Technologia produkcji rur w walcowniach automatycznych	356
7.6.1. Ciąg technologiczny walcowni automatycznej	356
7.6.2. Konstrukcja walcarki duo automatycznej	358
7.6.3. Narzędzia robocze walcarki duo automatycznej	361
7.7. Nowe linie technologiczne walcowni automatycznych	363
Literatura	367
8. Produkcja rur w walcowniach ciągłych	369
8.1. Ogólna charakterystyka procesu	369
8.2. Odkształcanie rury podczas walcowania na trzpieniu	377
8.3. Parametry kinematyczne procesu ciągłego walcowania rur	380
8.4. Płynięcie materiału w procesie ciągłego walcowania rur	382
8.4.1. Płynięcie materiału przy stałej prędkości trzpienia	382
8.4.2. Metodyka obliczania parametrów płynięcia materiału	386
8.4.3. Przykładowe wyniki obliczeń parametrów płynięcia materiału	389
8.5. Zastosowanie metody elementów skończonych do analizy procesu walcowania rur na trzpieniu	390
8.6. Model powierzchni styku przy walcowaniu na trzpieniu swobodnym	395
8.7. Siły występujące podczas walcowania rur na trzpieniu	397
8.7.1. Średni nacisk jednostkowy	397
8.7.2. Siła nacisku metalu na walec	402
8.7.3. Siła nacisku metalu na trzpień	404
8.7.4. Moment obrotowy w klatce	406
8.8. Kalibrowanie walców walcarki ciągłej	406
8.9. Narzędzia robocze walcarek ciągłych	412
8.9.1. Walce robocze walcarek ciągłych	412
8.9.2. Trzpienie walcownicze walcarek ciągłych	413
8.10. Konstrukcja klatek walcarek ciągłych	417
8.11. Rozwiązania linii technologicznych z walcarkami ciągłymi	424
8.12. Warunki automatyzacji walcowni ciągłych rur	435
8.12.1. Ogólna charakterystyka systemu automatyzacji	435
8.12.2. Konfiguracja układu automatycznego sterowania komputerowego w ciągłej walcowni rur firmy Nippon Kokan	436
8.12.3. System komputerowego sterowania w ciągłej walcowni rur firmy Nippon Steel	437
Literatura	438

9. Wyciskanie rur	443
9.1. Ogólna charakterystyka procesu	443
9.2. Płynięcie metalu podczas wyciskania rur	447
9.3. Stan naprężenia i odkształcenia przy wyciskaniu rur	451
9.3.1. Wyciskanie rur w matrycy stożkowej	451
9.3.2. Wyciskanie rur w matrycy płaskiej	453
9.4. Siły podczas wyciskania rur	456
9.5. Proces technologiczny wyciskania rur ze stali i stopów	459
9.5.1. Podstawowe parametry technologiczne procesu wyciskania rur	459
9.5.2. Schematy technologiczne układów do wyciskania rur	462
9.5.3. Operacje technologiczne procesu wyciskania rur	464
9.6. Konstrukcja narzędzi do wyciskania rur	469
9.7. Smary szklane i krystaliczne	473
9.8. Przykłady technologii wyciskania rur	476
9.8.1. Wyciskanie rur ze stali i stopów specjalnych	476
9.8.2. Technologia wytwarzania rur metodą wyciskania proszków	485
Literatura	487
 10. Walcowanie redukcyjne rur z naciągiem	 490
10.1. Ogólna charakterystyka procesu	490
10.2. Parametry technologiczne procesu redukowania rur	498
10.2.1. Zmiana grubości ścianki, względnego naciągu i wydłużeń jednostkowych	498
10.2.2. Określenie prędkości obrotowej walców	505
10.3. Kalibrowanie walców walcarki redukcyjnej	510
10.3.1. Metodyka kalibrowania wykrojów walców	510
10.3.2. Zjawisko pogrubionych końców rur	514
10.3.3. Zjawisko poligonizacji wewnętrznej rur	516
10.4. Parametry siłowe procesu redukowania rur z naciągiem	524
10.4.1. Siła nacisku metalu na walec	525
10.4.2. Średni nacisk jednostkowy	525
10.4.3. Naprężenie uplastyczniające	527
10.4.4. Moment obrotowy walca	529
10.4.5. Metoda Eriklinecowa do opisu momentu obrotowego walca	530
10.5. Systemy sterowania procesem walcowania rur w walcarkach redukcyjnych	532
10.5.1. Systemy napędowe walcarek redukcyjnych z naciągiem	533
10.5.2. Technika pomiarowa i modelowanie procesu redukowania	536
10.5.3. Funkcje wykonawcze systemu sterowania według SMS Meer	537

10.5.4. Zastosowanie systemu CARTA w technologii walcowania redukcyjnego	542
10.5.5. Konfiguracja systemu zarządzania procesem technologicznym i planowania procesu technologicznego	544
10.5.6. Funkcje wykonawcze systemu sterowania według firmy Kocks	547
10.6. Rozwiązania konstrukcyjne walcarek redukcyjnych z naciągiem firmy SMS Meer	550
10.6.1. Charakterystyka napędu walcarek	550
10.6.2. Budowa walcarki redukcyjnej	551
10.6.3. Nowoczesna konstrukcja klatek walcarki redukcyjnej	552
10.7. Rozwiązania konstrukcyjne walcarek redukcyjnych z naciągiem firmy Kocks	554
10.7.1. Charakterystyka napędu walcarek	554
10.7.2. Budowa walcarki redukcyjnej	554
10.7.3. Walcarka redukcyjna PSM dokładnego kalibrowania	556
Literatura	558
11. Wytwarzanie rur precyzyjnych na zimno	563
11.1. Charakterystyka ogólna	563
11.2. Metody ciągnięcia rur	564
11.2.1. Technologia ciągnięcia rur precyzyjnych	567
11.2.2. Oleje reaktywne do ciągnięcia	567
11.2.3. Ciągarki i narzędzia stosowane w procesie ciągnięcia	569
11.3. Walcowanie na zimno rur bez szwu w walcarkach pielgrzymowych	569
11.3.1. Charakterystyka ogólna	569
11.3.2. Walcowanie rur na zimno w walcarkach pielgrzymowych	571
11.3.3. Kalibrowanie narzędzi roboczych	577
11.3.4. Charakterystyka techniczna walcarek pielgrzymowych	581
Literatura	587
12. Wykończanie i kontrola jakości rur bez szwu	589
12.1. Wykończanie rur bez szwu	589
12.2. Obróbka cieplna rur	591
12.3. Prostowanie rur	596
12.4. Obcinanie i fazowanie końców rur	597
12.5. Badania nieniszczące rur	598
12.5.1. Badania szczelności	598
12.5.2. Metoda prądów wirowych	599
12.5.3. Metoda ultradźwiękowa	600
12.5.4. Metoda magnetyczna	602
12.5.5. Metoda magnetyczno-proszkowa	603
12.5.6. Badania penetracyjne	604

12.6. Pomiar grubości ścianek na gorąco	604
12.7. Badania technologiczne	605
12.8. Połączenia rur wiertniczych	606
12.8.1. Typy połączeń rur wiertniczych	606
12.8.2. Rozwiązania konstrukcyjne połączeń rur wiertniczych	607
12.8.3. Produkcja rur wiertniczych w kraju	612
12.9. Antykorozyjne zabezpieczanie rur	615
12.9.1. Rodzaje powłok antykorozyjnych	615
12.9.2. Metody cynkowania rur	615
12.9.3. Powłoki aluminiowe	617
12.9.4. Powłoki cementowe	617
12.9.5. Powłoki z tworzyw sztucznych	618
Literatura	620