

Streszczenie pracy doktorskiej

mgr inż. Józefa Raka

pt. Numeryczna analiza procesów ciepło-przepływowych w komorze roboczej maszyny spiralnej z uwzględnieniem wpływu przecieków wzdłużnych na współczynnik wnikania ciepła

Promotor: dr hab. inż. Sławomir Pietrowicz, prof. PWr

Energetyczna obróbka gazu roboczego w zakresie mocy do 100 kW jest głównie domeną maszyn objętościowych, w tym konstrukcji spiralnych. Używane zarówno jako sprężarki (chłodnictwo i klimatyzacja), jak i rozprężarki (układy ORC, silniki pneumatyczne), maszyny spiralne posiadają cechy konstrukcyjne i metodę działania, dzięki którym efektywność wymiany ciepła z obrabianym gazem roboczym jest wysoka. Wspomaganie chłodzenia obudowy maszyny spiralnej istotnie podnosi sprawność izotermiczną realizowanej przemiany termodynamicznej. Zwiększa to niezawodność i opłacalność stosowania tych urządzeń w przemyśle. Ze względu na złożoność warunków ciepło-przepływowych wewnątrz ich komór roboczych urządzenia te są także interesującymi obiektami badań naukowych.

W związku z powyższym zbadano potencjał poprawy sprawności maszyn spiralnych na przykładzie sprężarki spiralnej z chłodzeniem czynnika roboczego realizowanego poprzez łopatki utrzymywane w stałej temperaturze, równej temperaturze wlotowej czynnika.

Następnie sformułowano tezę pracy: *Zaburzenia przepływu czynnika, wywołane przez przecieki wzdłużne, wpływają na współczynnik wnikania ciepła i procesy mieszania w komorze roboczej maszyny spiralnej, zwiększając sprawność wewnętrzną tych urządzeń.*

W celu udowodnienia tezy posłużono się autorskim modelem matematycznym, bazującym na równaniu ciągłości, zachowania pędu oraz energii w płynie lepkim i ściśliwym, uwzględniającym zmienne warunki brzegowe (poruszające się łopatki), przecieki wzdłużne czynnika pomiędzy komorami roboczymi i wymianę ciepła czynnika ze ścianami bocznymi komory. Model ten zaimplementowano w programie wykorzystującym metodę objętości skończonej. W czasie analiz numerycznych badano wpływ parametrów geometrycznych maszyny, prędkości obrotowej, ciśnienia wylotowego i zastosowanego gazu na współczynnik wymiany ciepła dla trzech wariantów konfiguracyjnych: z dwiema łopatkami adiabatycznymi, z jedną łopatką o stałej temperaturze oraz dwiema łopatkami o stałej temperaturze. Analizy wykazały, że w bezpośrednim pobliżu punktów styku spiral występuje wyraźnie rozróżnialny obszar zaburzonego przepływu czynnika, co lokalnie intensyfikuje proces wymiany ciepła.

Bazując na modelu sprężarki spiralnej sformułowano ogólne wytyczne do obliczania współczynnika wnikania ciepła w komorze roboczej maszyny objętościowej, uwzględniające podział komory na strefy, zależnie od charakteru przepływu. Niestety sposób działania rzeczywistej maszyny wyklucza bezpośrednią weryfikację eksperymentalną wyników otrzymanych na drodze analiz numerycznych. Zakładając, że w maszynie spiralnej chwilowe zmiany położenia, kształtu i średnich parametrów ciepło-przepływowych są niewielkie, opracowano i zbudowano specjalny układ pomiarowy. Stanowisko badawcze składało się z hermetycznego cylindra, wewnątrz którego umieszczono mieszkadło eliptyczne tworzące z wewnętrzną ścianą cylindra zastępczą komorę roboczą, oraz zamontowanego źródła ciepła odpowiadającemu chwilowemu ciepłu sprężania w rzeczywistej maszynie. Wyniki analiz numerycznych pokazały, że pola prędkości, ciśnienia i temperatury gazu wewnątrz badanej komory zastępczej są analogiczne do tych, obserwowanych w maszynie spiralnej.

Głównym elementem stanowiska badawczego był układ do pomiaru współczynnika wnikania ciepła do ścian cylindra pomiarowego o średnicy 140 mm , chłodzonego wodą o stałej temperaturze $11\text{ }^{\circ}\text{C}$ oraz dwa wymienne mieszadła eliptyczne o wymiarach półosi małej ($b_I = 100\text{ mm}$ i $b_{II} = 120\text{ mm}$). Przeprowadzono serię badań doświadczalnych z wykorzystaniem powietrza i dwutlenku węgla traktowanych jako czynnik roboczy o zmiennym ciśnieniu w przedziale $1 \div 5\text{ bar}$. Napęd mieszadeł stanowił silnik prądu stałego o prędkości obrotowej regulowanej w zakresie $1200 \div 3000\text{ obr/min}$, a jako źródło mocy cieplnej zastosowano grzałkę elektryczną z mocą maksymalną 75 W . Na stanowisku mierzono temperatury ścian cylindra i gazu, a także gęstość strumienia ciepła przekazywanego do płaszcza chłodzącego, co pozwoliło na wyznaczenie współczynników wnikania ciepła dla konkretnych parametrów cieplnych i geometrycznych oraz eksploatacyjnych. Wyniki pomiarów pozytywnie zweryfikowały poprawność zaproponowanego modelu matematycznego.

W dysertacji wykazano przydatność opisanych modeli numerycznych do przewidywania warunków cieplnych i przepływowych w komorze roboczej maszyn spiralnych oraz rozszerzono stosowalność tego modelu do innych maszyn, bazujących na podobnym sposobie realizacji zmiany objętości komory roboczej. Dowiedziono słuszności tezy badawczej o niezaniechanym wpływie przecieków wzdłużnych w komorze roboczej maszyny spiralnej na sprawność wewnętrzną tego typu urządzeń.