

Sposób modyfikacji kształtu żebra przepływowego wymiennika ciepła

Przedmiotem wynalazku jest sposób modyfikacji kształtu żebra przepływowego wymiennika ciepła.

Każda maszyna elektryczna podczas pracy nagrzewa się i może pracować bezpiecznie poniżej dopuszczalnej temperatury pracy uzwojenia. Ponieważ po przekroczeniu dopuszczalnej temperatury pracy następuje uszkodzenie izolacji uzwojenia maszyny, przebicie elektryczne i w konsekwencji uszkodzenie maszyny. Dlatego zapewnienie bezpiecznej pracy wiąże się z koniecznością odprowadzenia strumienia ciepła (Q) wytworzonego podczas pracy maszyny. Do odprowadzenia strumienia ciepła (Q) stosuje się wymienniki ciepła, które powinny cechować się wysoką sprawnością, niezawodnością działania, niskimi kosztami produkcji, kompaktowością oraz małymi gabarytami. W celu spełnienia możliwie jak najwięcej powyższych wymogów budowane są np. wymienniki ciepła z powierzchniami uźebrowanymi, które dodatkowo mogą wykorzystywać zjawisko konwekcji wymuszonej.

W przepływowym uźebrowanym szczelinowym wymienniku ciepła (Fig. 1) ważnym aspektem jest uzyskanie maksymalnej intensyfikacji wymiany ciepła pomiędzy obiektem chłodzonym (np. powierzchnią stojana silnika lub prądnicy) a płynem chłodzącym. Płynem chłodzącym mogą być wszelkiego rodzaju/typu zarówno ciecze jak i gazy (tzw. płyny). Jednym ze sposobów intensyfikacji wymiany ciepła jest zastosowanie wymuszonego przepływu płynu chłodzącego (tzw. konwekcji wymuszonej). Płyn chłodzący dostarczany jest do komory zasilającej (4) skąd przepływa (od strony prawej do lewej) przez przestrzeń międzyżebrą oraz szczelinę pierścieniową (s – Fig. 2a) wyznaczoną przez korpus zewnętrzny (2) wymiennika ciepła. Transfer ciepła odbywa się od zewnętrznej powierzchni stojana maszyny do wewnętrznej powierzchni (6) wymiennika, o średnicy wewnętrznej (D_w) odbywa się na drodze przewodzenia ciepła. Strumień ciepła (Q) przekazywany do korpusu wewnętrznego (1) z żebrami (3) i jest odbierany przez przepływający płyn chłodzący przepływający przez wymiennik ciepła. Zastosowanie powierzchni uźebrowanych (rozwiniecie powierzchni wymiany ciepła) to

kolejny sposób intensyfikacji wymiany ciepła w wymiennikach. Należy zaznaczyć, że żebro podczas przepływu płynu chłodzącego przez wymiennik ciepła stanowi przegrodę która ma zasadniczy wpływ na przebieg linii prądu (5) płynu chłodzącego (Fig. 1) oraz charakter wymiany ciepła. Z jednej strony żebro zwiększa powierzchnię wymiany ciepła, a z drugiej stanowi dodatkowy opór podczas przepływu płynu chłodzącego (zmniejsza prędkość przepływu płynu i powoduje większe zużycie mocy elektrycznej przez pompę układu chłodzenia). Skojarzenie kształtu żebra (3) oraz wielkości kanału (s) przepływu płynu ma zasadniczy wpływ na rodzaj przepływu płynu (np. laminarny, mieszany, burzliwy tzw. turbulentny) i stopień intensyfikacji wymiany ciepła. Podstawowymi parametrami służącymi do opisu powierzchni żebrowanych (Fig. 2a) jest: wysokość żebra (h), podziałka (p) powierzchni uźebrowanej, grubość żebra (g), odległość pomiędzy żebrami (t) oraz promień zaokrąglenia nasady żebra (r), który w większości rozwiązań konstrukcyjnych wymienników jest niewielki lub równy zero (Fig. 2b). Prosta konstrukcja żebra (Fig. 2b) powoduje, że przepływ płynu chłodzącego jest zaburzany (linie prądu rozkładają się nierównomiernie w przestrzeni chłodzącej). Skutkiem czego jest nierównomierne omywanie płynem chłodzących powierzchni wymiennika ciepła oddających ciepło do chłodziwa (przepływającego płynu). Wówczas mamy do czynienia z nierównomiernym rozkładem temperatury na powierzchni wymiennika oraz powstawaniem nierównomiernych naprężeń cieplnych w wymienniku. Ponadto przy chaotycznym rozkładzie linii prądu występują większe straty ciśnienia w wymienniku ciepła przy jednoczesnym zmniejszeniu prędkości przepływu płynu. Wraz ze wzrostem prędkości przepływu płynu chłodzącego przez wymiennik rośnie intensyfikacja wymiany ciepła a wraz ze wzrostem oporów przepływu (spadków ciśnienia) intensyfikacja ciepła maleje. Dlatego jednym z kluczowych wymagań stawianym dla przepływowych wymienników ciepła jest uzyskanie wysokich prędkości przepływu płynu przy jednoczesnym minimalnym spadku ciśnienia podczas przepływu płynu chłodzącego.

Wychodząc naprzeciw powyższym wymaganiom zaproponowano modyfikacje geometrii wierzchołków żeber (7) zarówno po stronie powierzchni napływowej (Fig. 3) oraz odpływowej (Fig. 4). Odpowiednia geometria profilu żebra umożliwia redukcję spadku (strat) ciśnienia przy zachowaniu wysokiej prędkości przepływu przy możliwie równomiernym rozkładzie pola temperatury i naprężeń termicznych na powierzchni wymiennika ciepła. Ponadto modyfikacja wierzchołków powierzchni żebra znacznie obniża koszty wykonania w odniesieniu do modyfikacji wykonanej na całej wysokości (h).

Przedmiotem wynalazku jest sposób modyfikacji żebra przepływowego wymiennika ciepła, który modyfikuje się poprzez:

- fazowanie krawędzi napływowej, kąt (k) zawarty między powierzchnią wierzchołka żebra (7) a styczną do powierzchni utworzonej przez szerokość fazy (b) zawsze wynosi 45° ;
- nierównomiernego ukosowania wartość kąta jest w zakresie $0 \leq k < 90^\circ$, zakres zmian parametru (c) wynosi $0 \leq c \leq g$, natomiast parametru (d) jest w przedziale $0 \leq d \leq h$.
- zaokrąglenie krawędzi żebra promieniem R.

Sposób, gdzie szczególny przypadek to $c = d$.

Sposób, gdzie modyfikuje się powierzchnię odpływową i napływową.

Sposób, gdzie modyfikuje się za pomocą promienia (R).

Opis Figur:

Fig.1 – przedstawia przekrój wzdłuż wymiennika ciepła: 1 – korpus wewnętrzny, 2 – korpus zewnętrzny, 3 – żebro, 4 – komora zasilająca, 5 – linie strugi (prądu) płynu chłodzącego, 6 – powierzchnia wewnętrzna wymiennika ciepła, 7 – wierzchołek żebra, 8 – nasada (podstawa) żebra; ϕD_w – średnica wewnętrzna, ϕD_z – średnica zewnętrzna, Q – strumień ciepła

Fig.2 – przedstawia wymiennik ciepła z powierzchnią uźebrowaną: a) parametry geometryczne powierzchni uźebrowanej; s – szczelina/kanal przepływu płynu chłodzącego, t – szerokość między żebrami, p – podziałka żeber, h – wysokość żebra, r – promień u nasady żebra; b) przykładowy przebieg linii prądu przy opływie żebra prostego (bez modyfikacji profilów napływowych i odpływowych żebra).

Fig.3 – przedstawia fragment uźebrowanego wymiennika ciepła: 1 – korpus wewnętrzny, 2 – korpus zewnętrzny, 3 – żebro; oraz kształt profilu napływowego żebra: a) zaokrąglony wypukły, b) zaokrąglony wklęsły, c) fazowany, d) ukosowany nierównomiernie.

Fig.4 – przedstawia kształt profilu odpływowego żebra wymiennika ciepła: a) zaokrąglony wypukły, b) zaokrąglony wklęsły, c) fazowany, d) ukosowany nierównomiernie.

Fig.5 – przedstawia przykładowe kombinacje wykonania profilu żebra wymiennika ciepła: a) ukosowany nierównomierne z napływem zaokrąglonym wklęsłym, b) ukosowany nierównomierne z napływem zaokrąglonym wypukłym, c) ukosowany nierównomierne z napływem ukosowanym równomiernie, d) ukosowany nierównomierne z obu stron żebra.

Fig.6 – przedstawia przykładowe konstrukcja wykonania powierzchni uzebrowanej wymiennika ciepła: a) żebra ukosowane nierównomierne z powierzchnią napływową zaokrągloną wypukłą, b) ukosowane nierównomierne z obu stron żebra.

Fig.7 – przedstawia fragment wymiennika ciepła z żebrami zaokrąglonymi wypukłymi z powierzchnią napływową ukosowaną nierównomierne wraz z zaznaczonymi przykładowymi trajektoriami linii prądu płynu chłodzącego.

Wynalazek ilustruje następujący przykład wykonania , niestanowiący jego ograniczenia.

Przykładowo, powierzchnia napływowa (powierzchnia żebra na którą w pierwszej kolejności kierowany jest płyn chłodzący) żebra (Fig. 3) może zostać zmodyfikowana przez zaokrąglenie wypukłe (Fig. 3a) lub wklęsłe (Fig. 3b) krawędzi napływowej żebra promieniem (R). Maksymalna wartość promienia (R) może być równa grubości żebra (g), a minimalna jest równa zero. W przypadku gdy $0 < R \leq g$ na wierzchołu żebra wystąpi cylindryczna powierzchnia o szerokości (a). Szerokość można obliczyć z równania: $a = g - R$. Skojarzenie powierzchni powstałej na skutek zaokrąglenia promieniem (R), powierzchni cylindrycznej o szerokości (a) z powierzchnią wewnętrzną korpusu zewnętrznego (2) tworzy efekt niesymetrycznej dyszy zbieżnej (Fig. 3a) i rozbieżnej (Fig. 3b). Dysze zbieżne i rozbieżne często w literaturze nazywane są odpowiednio konfuzorem i dyfuzorem. Zatem przez zmianę wartości (R) można regulować wartość ciśnienia i prędkości przepływu płynu chłodzącego (zgodnie z równaniem Bernoulliego). Wielkość parametrów (R i a) ściśle zależą od grubości żebra (g) oraz wielkości wymiennika ciepła (np. średnic D_w i D_z , wysokości żebra h itd. – Fig. 1 i Fig. 2a).

Na Fig. 3c i Fig. 3d przedstawiono odpowiednio modyfikacje powierzchni odpływowej żebra (powierzchnia przeciwległa/równoległa do powierzchni napływowej

żebra) polegającą za fazowaniu i nierównomiernym/niesymetrycznym ukosowaniu powierzchni natarcia żebra. W przypadku fazowania krawędzi napływowej (Fig. 3c), kąt (k) zawarty między powierzchnią wierzchołka żebra (7) a styczną do powierzchni utworzonej przez szerokość fazy (b) zawsze wynosi 45° . Jest to szczególnie przypadkiem rozwiązania (Fig. 3d), który występuje gdy $c = d$. W przypadku ukosowania nierównomiernego wartość kąta jest w zakresie $0 \leq k < 90^\circ$. Zakres zmian parametru (c) wynosi $0 \leq c \leq g$, natomiast parametru (d) jest w przedziale $0 \leq d \leq h$. Podobnie jak w przypadku modyfikacji za pomocą promienia (R) pokazanych na (Fig. 3a i Fig. 3b) tak w przypadku modyfikacji powierzchni napływowej na pomocą ukosowania tworzy się efekt dyszy zbieżnej.

Podobne modyfikacje można wykonać na powierzchni odpływowej żebra, co zaprezentowano na Fig. 4, co również skutkuje wytworzeniem efektu dyszy. W celu uzyskania optymalnych parametrów przepływu płynu chłodzącego po obu stronach żebra zaleca się stosowanie wykonanie modyfikacji powierzchni odpływowej i napływowej żebra (Fig. 5). Zastosowanie modyfikacji obu powierzchni żebra powoduje powstawanie dwóch dysz rozbieżnej i zbieżnej, które mogą w pewnym sensie stanowić dyszę de Lavalą (dysza de Lavalą jest symetryczna, a w naszym przypadku mamy do czynienia z wersją niesymetryczną – wycinek dyszy de Lavalą). Przykładowe konfiguracje modyfikacji powierzchni napływowych i odpływowych żebra pokazano na Fig. 6. W rozwiązaniu konstrukcyjnym pokazanym na Fig. 6a na powierzchni napływowej zastosowano zaokrąglenie promieniem (R) wypukłym, a na powierzchni odpływowej ukosowanie nierównomierne. Natomiast modyfikację polegającą na niesymetrycznym ukosowaniu powierzchni napływowej i odpływowej żebra przedstawiono na Fig. 6b. W rozwiązaniach zaprezentowanych na Fig. 6 zastosowano zaokrąglenie nasady żebra promieniem (r), który jest równy ($t/2$ – Fig. 2a). Wartość promienia zaokrąglenia może zmieniać się w zakresie $0 \leq r \leq t/2$. Odpowiednia modyfikacja powierzchni (powierzchni odpływowej i napływowej) oraz nasady żebra pozwala uzyskać optymalne rozkład linii prądu (Fig. 7) płynu chłodzącego, które omywają praktycznie wszystkie powierzchnie wymiennika ciepła przy zachowaniu minimalnych: strat ciśnienia, różnic gradientów temperatury w wymienniku, naprężeń termicznych przy możliwie maksymalnej intensyfikacji wymiany ciepła. Zaprezentowane powyżej rozwiązania modyfikacji powierzchni żebra cechuje kompaktowość, redukcja masy wymiennika ciepła przy jednoczesnej prostocie wykonania.