

STRESZCZENIE

Poprawa sprawności łopatek transonicznych w silnikach lotniczych to kluczowy aspekt projektowania. Złożona struktura przepływu, spowodowana falami uderzeniowymi i oddziaływaniem z warstwą przyścienną może prowadzić do niestacjonarnych efektów wpływających na stan dynamiczny układu, obniżenie sprawności, a także fluktuacje masowego natężenia przepływu. Wiele badań koncentruje się na wykorzystaniu innowacyjnych technik redukcji oderwania poprzez turbulizację warstwy przyściennej, co pozytywnie wpływa na stabilizację układu. Kluczowe pozostaje pytanie o wpływ lokalizacji przejścia laminarno-turbulentnego (L-T) na strukturę obszaru interakcji, czyli jak blisko fali uderzeniowej należy indukować przejście laminarno-turbulentne i redukować strefę oderwania.

W pierwszym etapie pracy poddano analizie charakterystyczne struktury przepływu w transonicznej palisadzie sprężarki w ramach modelu dwu- i trójwymiarowego, a także zbadano wpływ aktywnego sterowania przepływem na struktury w narożach kanału międzyłopatkowego.

Drugi etap koncentruje się na procesie projektowania stanowiska pomiarowego, które ma na celu odwzorowanie przepływu reprezentatywnego dla palisady sprężarki transonicznej, a w szczególności strony ssącej profilu. W tej części zaprojektowano kształt ścian sekcji pomiarowej w oparciu o linie prądu wyznaczone z przepływu w palisadzie liniowej. Przeanalizowano również wpływ położenia profili względem ścian stanowiska pomiarowego i kąta napływu na konfigurację fal uderzeniowych. Ponadto, w oparciu o obliczenia przepływu trójwymiarowego zbadano wpływ otworów wykorzystanych do sterowania przepływem w narożach.

W kolejnym etapie przedstawiono opis modelu obliczeniowego i wyniki pomiarów w laboratorium transonicznym IMP PAN. Dane eksperymentalne walidują model numeryczny, pokazując rozkład prędkości przed i za profilami, izentropową liczbę Macha, układ falowy, wizualizację gradientu gęstości i olejową w bliskiej odległości od strony ssącej dolnego profilu, rozkład ciśnienia statycznego i ślad aerodynamiczny.

W ostatnim (czwartym) etapie pracy dokonano analizy wpływu położenia elementów wymuszających przejście L-T na profilu, na przykładzie dwóch przypadków i porównaniu z danymi eksperymentalnymi. Pierwsza konfiguracja została dobrana tak, aby do wymuszenia przejścia L-T doszło jak najbliżej fali uderzeniowej celem uzyskania cienkiej turbulentnej warstwy przyściennej przed falą uderzeniową. W drugim modelu zdecydowano się na wymuszenia przejścia L-T tuż za samą krawędzią natarcia profilu, aby uzyskać turbulentną warstwę przyścienną, która może rozwinąć się na dłuższym dystansie niż ma to miejsce w konfiguracji poprzedniej. Dodatkowo, przeprowadzono analizę numeryczną, która miała na celu zbadanie wpływu wysokości stopnia na interakcję fali uderzeniowej z warstwą przyścienną. W tym celu przygotowano dwie dodatkowe geometrie, tworząc w sumie trzy warianty o różnej wysokości stopnia dla pierwszej i drugiej konfiguracji. Otrzymane wyniki porównano z przypadkiem referencyjnym.

Wnioski wskazują, że przy niewielkich rozmiarach stopnia na profilu nie obserwuje się istotnych zmian jakościowych w stosunku do przepływu referencyjnego. Zwiększenie wymiarów stopnia prowadzi do pogrubienia warstwy przyściennej przed strefą interakcji, poszerzając ślad aerodynamiczny i zmniejszając sprawność. Pozytywny wpływ wymuszenia przejścia L-T zaobserwowano tylko w jednym przypadku eksperymentalnym. Dalsze badania są potrzebne, aby lepiej zrozumieć rozbieżności między eksperymentami a symulacjami RANS. Istniejące stanowisko zaprojektowane w ramach tej pracy z powodzeniem może zostać wykorzystane do kolejnych badań.

Gdańsk, 30.05.2023