

دراسة خصائص فقاعة الانفصال الصفائحية عند أعداد رينولدز منخفضة

إعداد: محمد فهد علي خان

إشراف: د. إبراهيم محمد الخضر القاضي

المستخلص

في التدفقات ذات أعداد رينولدز المنخفضة يحدث الفصل الرقائقي قبل الانتقال إلى الطبقة الحدودية المضطربة، مكوناً فقاعة فصل رقائقي (LSB). تكون فقاعة LSB على الجنيح يؤدي إلى عدم الخطية في الخصائص الديناميكية الهوائية ويؤثر سلبيًا على الأداء الديناميكي الهوائي للجناح. في هذه الدراسة، تم دراسة تأثير أرقام رينولدز المنخفضة على التدفق حول الجنيح لحل بعض سمات التدفق التي تسبب عدم الخطية في الخصائص الديناميكية الهوائية للجناح. لتحقيق هذا الهدف، تم إجراء دراسة لنهج الحلول ونماذج الاضطراب المختلفة لتقييم أدائها في التنبؤ بالخصائص الديناميكية الهوائية للجنيحات عند عدد رينولدز المنخفض. يتم حساب التدفق الثابت والعابر حول الجنيح NACA 0012 بزوايا الهجوم بمقدار خمس درجات وعدد رينولدز $Re = 50000$ باستخدام ثلاثة نماذج اضطراب هي: GEKO و ω -k- ω -Transition و γ -Re θ . تظهر المقارنة مع القياسات التجريبية أن المزيج الأمثل لنهج الحل هو URANS (RANS غير المستقرة) باستخدام نموذج ω -k- ω -Transition. تم إجراء الدراسة لأربعة أرقام رينولدز منخفضة 30000 و 50000 و 70000 و 100000 بزوايا هجوم تتراوح من 0° إلى 5° بحجم خطوة 0.25° . كشف تحليل أنماط الانسيابية وإجهاد قص الجدار وتدرج الضغط عن اقتران بين اللاخطية في معامل الرفع وخصائص فقاعة الفصل الرقائقي بما في ذلك طولها وارتفاعها وموقعها.

الكلمات المفتاحية: (أعداد رينولدز منخفضة- فقاعات الفصل الرقائقي-جنيح NACA 0012- ديناميكية الهوائية غير

خطية-تيارات مضطربة)

ON THE DEVELOPMENT OF LAMINAR SEPARATION BUBBLE AT LOW REYNOLDS NUMBER

By: Mohammed Fahad Ali Khan

Supervised By: Dr. Ibraheem AlQadi

Abstract

In low Reynolds number flows laminar separation occurs before transitioning to turbulent boundary layer, forming laminar separation bubble (LSB). When encountered on airfoils; LSB leads to nonlinearity in the aerodynamic characteristics, and it adversely affects airfoil aerodynamic performance such as increase in drag and decrease in lift. In this study, the effect of low Reynolds numbers on the flow around an airfoil is carried out to resolve some of the flow features causing the nonlinearity in airfoil aerodynamic characteristics. Toward this goal, a study of different solution-approaches/turbulence-models was carried out to assess their performance in predicting the aerodynamic characteristics of airfoils at low Reynolds number. The steady and transient flow around NACA 0012 airfoil at angle of attack $\alpha = 5^\circ$ and $Re = 50,000$ is computed using three turbulence models: GEKO, Transition- $k-kl-\omega$ and $\gamma-Re_\theta$ SST-Transition. Comparison with experimental measurements shows that the optimal combination of solution-approach/turbulence-model is URANS (Unsteady RANS) using Transition- $k-kl-\omega$ model. The study on the effect of Reynolds number was then carried out at four Reynolds numbers $Re = 30000, 50000, 70000$ and 100000 at an angle of attack $\alpha = 0^\circ$ to 5° with step size of 0.25° . Analysis of streamline patterns, wall shear stress, and pressure gradient revealed a coupling behavior between the nonlinearity in lift coefficient and the characteristics of the separation bubble including its length, height, and location.

Key words: Low Reynolds Number, Laminar Separation Bubble, NACA 0012, RANS, Nonlinear Aerodynamics