IRAQI Academic Scientific Journals
Al-Rafidain Engineering Journal (AREJ)
Vol.24, No.1, October 2019, pp. 7-17
ISSN (Print) 1813-0526;
ISSN (Online) 2220-1270

تحليل الإجهادات لأنواع مختلفة من ريش المرحلة الأولى للتوربين الغازي في محطة المنصور الغازية

د.صباح محمد جميل علي
استاذ

سهى هاشم احمد محمود
مدرس مساعد
Suhahashim98@gmail.com

قسم الهندسة الميكانيكية- كلية الهندسة - جامعة الموصل

استلم: 2018-9-24 قبل: 2019-1-24

الملخص

تعتبر الريش من الاجزاء المهمة والباهضة الثمن في التوربينات الغازية حيث تعاني ريش المرحلة الاولى من الفشل وتشير اغلب الدراسات الى إن (50%) من حوادث فشل وتكسر ريش التوربين الغازي لا يمكن تحديد سببه بدقة لكثرة المتغيرات المؤثرة في حصول هذه الظاهرة, يهدف البحث الى دراسة تحليل الاجهادات على ريش المرحلة الاولى من التوربين الغازي في محطة المنصور الغازية في مدينة الموصل, تم استخدم تقنية برنامج (AUTO CAD) في رسم الريشة بالقياسات الدقيقة, حيث اخذت ثلاث حالات للريش الاولى الحقيقية الموجودة صلدةومجوفة والثانية مجوفة الجنيح كليا والثالثة صلدة كليا في ايجاد اجهادات الشد الناتجة من قوة الطرد المركزي ثم المقارنة بينهم حيث تم استخدام تقنية برنامج (AUTOCAD) في ايجاد المساحات العرضية للريشة عند كل مستوي بالنسبة لاطوال معينة ومتساوية ومحددة لايجاد علاقة بين المساحة العرضية عند كل مستوي مع ارتفاعه على طول الريشة, وبعدها استخدم تقنية برنامج (MATLAB) في ايجادمعادلة بين المساحة عند كل ارتفاع على طول الريشة ثم ايجاد معادلة قوة الطرد المركزي الخاصة لكل تصميم من الريش المستخدمة في الدراسة, كما استخدم في هذا البحث تقنية برنامج (ANSYS) في تحليل الاجهادات ولحالات متعددة , وجد إن افضل تصميم في الوقت الحاضر هو تصميم الريشة والتي تتكون من جزء صلد وجزء مجوف وذلك لضمان اقل نسبة إجهاد ممكنة تتعرض لها الريشة .

الكلمات الداله :

تحليل الاجهادات, التوربين الغازي, ريش المرحلة الاولى

https://rengj.mosuljournals.com
Email: alrafidain_engjournal@umosul.edu.iq

==========

1. المقدمة

تعتبر الريش من اهم الاجزاء واغلاها ثمنا في التوربينات الغازية ،ونظرا لحدوث عدد من الانهيارات في ريش التوربين في محطة المنصور الغازية حيث تتعرض لتأكل حراري وتكوين طبقة من الاوكسيد موزعة على طول الريشة, وتعرية ,وتنقرات, وكذلك حدوث عملية زحف في السبيكة وقد توضح في الاستطالة المتكونة في الريشة مما يسبب تماس الجزء العلوي للريشة مع غطاء التوربين العلوي. وتعد مناطق الفشل هذه بمثابة مناطق تركز الاجهادات وخاصة عند وجود اي اهتزاز ضمن الريش ولاسيما في هذه المنطقة ,وعادة مايضبط عمل هذه الريش لتجنب العمل في منطقة الرنين التي تسبب اجهادات عالية وغير متوقعة وتكون هذه الاجهادات مركبة من الاجهادات الناتجة عن قوى الطرد المركزي,وهذه الاجهادات كانت السبب الكبيرة والمسيطرة في حدوث انواع كثيرة من الفشل ووجود هذه الانواع من الاجهادات كافيا لحدوث فشل وتكسر ريش المرحلة الاولى من التوربين الغازي,مما ادى بالضرورة تحليل الاجهادات التي تتعرض لها ريش المرحلة الاولى, وايجاد توزيع الاجهادات على امتداد طول الريشة.

تعتبرمحطة المنصور الغازية الموجودة في منطقة المنصور في الجانب الأيمن من مدينة الموصل, وهي احدى المحطات المرتبطة بشبكة كهرباء الموصل المنطقة الشمالية للعراق تأسست هذه المحطة سنة 1976 , تحتوي المحطة اربع وحدات غازية نوع(Frame-5) يابانية المنشأ نوع هيتاشي سعة كل منها (20MW) تعمل على الغازالطبيعي وزيت الغاز.

صنعت ريش المرحلة الاولى في التوربين الغازي موديل (FRAME -5) من سبيكة (Inconel 738

صنعت ريش المرحلة الاولى في التوربين الغازي موديل (FRAME -5) من سبيكة (Inconel 738 nickel based alloy) اساسها النيكل وكما في الشكل (1), وان الشركة المصنعة لريش المرحلة الاولى شركة GE الامريكية (General Electric Company), وهي من السبائك التي تتميزبالمقاومة والمتانة والقوى العالية عند درجات الحرارة العالية .

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

شكل رقم (1) يوضح اسم السبيكة للريشة الحقيقية IN-738

جدول رقم (1) يوضح الخواص الميكانيكية والفيزيائية لسبيكة(Inconel738) المستخدم في صناعة ريش المرحلة الأولى للتوربين الغازي[1],[2],[5]

DINSITY	Poisson's ratio	Thermal conductivity	Tensile yield strength (MPa)	Modulus of Elasticity
8110 Kg / m³	0.3	11.6 *10⁻⁶K⁻¹	980	175 GPa

تناول العديد من الباحثين وفي دراسات مختلفة القوة المؤثرة على هذه الريش وتحليل الاجهادات واسباب فشل ريش التوربين الغازي في مختلف محطات توليد الطاقة ,كما نلاحظ وجود العديد من الدراسات التي اكدت إن نقاوة الوقود والهواء المنقى في عملية الاحتراق وكذلك تحسين تصميم الريش لتجنب الاجهادات غير المتوقعة واستخدام سبائك مقاومة لدرجات حرارة عالية ومقاومة لانواع التآكل هذه العوامل هي الخط الدفاعي الاول لمنع حدوث الفشل.

ومن البحوث والدراسات التي تناولت هذا الموضوع هي البحوث التالية :

قام الباحث (A.Thakker, واخرين) (2001) [7] بتحليل الاجهادات لنوعين من الاجهادات الناتجة من قوة الطرد المركزي والقوة الايروديناميكية الناتجة من جريان الغازات الحارقة لنوعين من تصاميم ريش التوربين الغازي الاولى مجوفة والاخرى صلبة عند قيمتين من السرع الزاوية الاولى rad/s 36.65 والثانية عند(194rad/s) بطريقة العناصر المحددة باستخدام برنامج (ANSYS) وتم المقارنة بقيم اجهادات فون مايسيس ,وقيم الاجهاد الرئيسي الاعظم وقيم الانفعال الرئيسي الاعلى للنوعين من ريش التوربين الغازي .

ودرس الباحث (A.Patil, واخرون)(2009) [8]فشل ريشة توربين المرحلة الثانية تمت دراستها بالفحص الميكانيكي والمعدني للريشة التي فشلت. الريشة مصنوعة من سبيكة (Inconel738LC) حيث كانت المحركات التوربينية في الخدمة لحوالي 73500 ساعة قبل فشل الريشة .

واظهرت الفحوصات إن النقر الذي حدث على سطوح الريشة وكانت هناك ادلة في درجات الكلل على السطح المكسور وان التغيرات الهيكلية الدقيقة ليست تغيرات حرجة نتيجة لعمل الريشة عند درجات حرارة عالية وقد وجد إن الشق(Crack)يبدأ بتآكل ساخن التي روجها الكلل واخيرا ونتيجة لانخفاض مساحة المقطع العرضي تم الانتهاء بالكسر وقد استخدمت عملية حسابية تحليلية بطريقة العناصر المحددة لتحد يد الاجهادات الثابتة بسبب قوة الطرد المركزي الضخمة ثم قيمت الخواص الديناميكية لريش التوربينات بطريقة العناصر المحددة ببرنامج (ANSYS) والتحليل الرقمي.

واكد الباحث (ArashRahmani)(2013) [9] إن فشل ريش التوربيناتيعتبرمن المشاكل الاكثر في صناعة توليد الطاقة,وان الاهتزازات في حالة الرنين في الريش دورا اساسيا من بين اليات الفشل المختلفة وهو موضوع العديد من الاعمال البحثية واشار الباحث إن تحليل ريش المرحلة الاولى في التوربين وايجاد الترددات الطبيعية وانماط الاهتزازات في ظروف مختلفة وهذا كان سبب في تكوين نموذج ثلاثي الابعاد وبطريقة العناصر المحدودة (F.E.) وباستخدام(ANSYS) استنادا على ظروف الاختبار التجريبي تم الحصول على الترددات الطبيعية التجريبية فأظهرت النتائج اتفاق مقبول بين النتائج التجريبية وبين تحليل العناصر المحدودة وباستخدام (accelerometer) وقد وجد إن الفرق بين القيم الحسوبة (F.E.) وبين القيم المقاسة بالتجربة 6.8% وتعتبر نسبة مقبولة.

وكما قام العديد من الباحثين بدراسة تحليل الإجهادات وفحص فشل ريش التوربين الغازي بالفحص المعدني والتحليلي وكما يلي

قام الباحث (ArifSugianto)(2005) [10] بدراسة فشل ريشة توربين في المرحلة ذات الضغط العالي وذلك من خلال الدراسة المعدنية والتحليل الاجهادي لريشة قد فشلت من سبيكة اساسها النيكل (DSR142) وكان عمر المحرك التوربيني بحدود 60382 ساعة .

ونظرا لفشل الريشة التي الحقت اضرار بالمحرك التوربيني بشدة ,بدأت الدراسة بالفحص البصري الدقيق لسطح الشفرة تليها التصوير للسطح المكسور ,ثم الدراسات المجهرية ,والتحليل الكيميائي . إن التحليل المفصل لجميع العناصر لها الاثر على كشف الفشل وهي فقدان عنصر الالومنيوم من الطلاء بسبب الاكسدة.

عرض (الدكتور اركان حسين الطائي, واخرون)(2007) [11] طريقة تصميم ريش توربين بخاري ذي الضغط المنخفض, هذه الريش تتعرض الى انواع مختلفة من الاحمال والتي تؤدي الى انواع مختلفة من الاجهادات ,مثل اجهاد الشد والانحناء التي تنتج عن احمال قوى الطرد المركزي وجريان البخار على التوالي, إن قوى الطرد المركزي تمثل احد المشاكل التي تواجه مصممو الريش, احد الطرق للتعامل مع هكذا مشكلة هو بأستخدام ريش ذات مساحة مقطع متتغيرة او ريش ملوية ذات مساحة مقطع ثابتة اومتغيرة .

تم دراسة ست حالات في هذا البحث احداها ريشة ذات مساحة مقطع ثابتة تستخدم للمقارنة والخمس الاخرى ذات مساحة مقطع متغيرة وذي انحناءات مختلفة, وان نقصان المقطع يؤدي الى نقصان كتلة الريشة مما يؤدي الى تقليل الاجهادات المركزية, وقد تم التأكد من اداء هذه الحالات ثم تم بعدها استخدام النتائج لتصميم ريشة ثابتة الاجهاد والتي تم مقارنتها لثلاث مواقع من ريش التوربين ووجد إن الاداء مقنعا.حيث إن اجهاد الشد الناتج من قوى الطرد المركزي:

$$\sigma cf = \rho\omega^2[(Rr.Lb + Lb^2/2) - (1-At/Ar).(Rr.Lb)/2 + Lb^2/3)]$$

حيث إن σcf :اجهاد الشد الناتج من قوى الطرد المركزي, At: مساحة مقطع الريشة عند قمة الريشة . Ar :مساحة مقطع الريشة عند جذر الريشة Lb: طول الريشة . Rr:نصف قطر محور الدوار.

اكدالباحثون(P.V.Krishnakanth,واخرون)(2013) [12] إن مقاومة ريش التوربين الغازي للاستطالة من الاعتبار الرئيسي في التصميم لانهم اخضعوا الى قوى الطرد المركزي المحوري .حيث يتعامل هذا البحث مع النوع الاول من اجهاد الطرد المركزي الذي يؤثر على الريشة نتيجة السرعة الزاوية العالية والاجهاد الحراري على معدن الريشة, وان تحليل ريشة التوربين يشمل بشكل رئيسي التحليل الهيكلي والحراري والتحليل يتغير تحت ظروف الحالة الثابتة المستقرة.(steady state) ببرنامج (ANSYS), الدراسة

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

اجريت على ثلاث مواد (Ni155,Hastealloy X,Inconel625) استعمل 95 عنصر في تحليل العناصر المحدودة (F.E.) الهيكلي والحراري لريشة دوار توربين غازي . واكدت النتائج إن اعلى استطالة ودرجات حرارة عند قسم رأس الريشة واقل استطالة واختلاف في درجات الحرارة في جذر الريشة وان اعلى اجهاد وانفعال لوحظ عند جذور ريشة التوربين على طول اسطح جذور الريشة للمعادن الثلاثة حيث لوحظ إن درجات الحرارة والاجهاد الحراري تقل في سبيكة (Inconel625) ولكن لها خصائص افضل مقارنة بالمعدنين الاخرين.

حساب قوى الطرد المركزي للريشة الصلدة والمجوفة:

اخذت ريشة حقيقية في التوربين الغازي من نوع (Frame 5), تكون ريشة التوربين ذي جزئين صلدة ومجوفة حيث إن الحالتين الاخرتين ذات ابعاد متساوية بالتفصيل مع الحالة الاولى وهي الحالة الحقيقية حيث تكون صلدة من جذر الريشة الى حد ارتفاع (42.912mm) ومن هنا يبدأ التجويف الى ارتفاع (95mm), حيث نلاحظ انه عند ارتفاع (42.912mm) المساحات تبدأ بالنقصان بدرجة عالية .

تم اخذ (21) مستوي متساوي الارتفاع ببرنامج (AUTOCAD)حيث إن المسافة بين المستويات يكون (4.768mm) كما في الشكل (2) ثم ايجاد قيم المساحات العرضية لكل مقطع حيث لوحظ إن المساحة على طول الريشة تبدأ بالنقصان التدريجي ولكن بعد ارتفاع(42.912mm) يبدأ التجويف فتقل المساحات بشكل كبير وذلك بالنظربالحسبان للمصممين إن الاجهاد على طول الريشة يكون اقل ولهذا تكون المساحات قليلة اي اكثر اقتصاديا من ناحية تقليل المعدن اي تقليل من كلفة المعدن حيث إن الريشة ملوية وذات مساحات مقطع مختلفة,وبأستخدام برنامج (MATLAB) يمكن الحصول على معادلة كعلاقة لمساحة المقاطع المستخرجة ببرنامج (AUTOCAD)مع الاحد والعشرون ارتفاع على طول الريشة وايجاد علاقة خطية بين المساحة والارتفاع للمنطقة الصلدة وللمنطقة المجوفة بادخال القيم الموضحة في الجدول التالي ببرنامج (MATLAB) وكما يلي:

معادلة المنطقة الصلدة:

$$A(z) = -3.014Z + 833.8 \quad (1)$$

معادلة المنطقة المجوفة :

$$A(z) = -0.3344Z + 413.4 \quad (2)$$

حيث أن Z = اي ارتفاع من قاعدة الجنيح

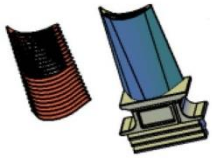
جدول رقم (2) يوضح المساحات المستخرجة ببرنامج AUTOCAD لكل ارتفاع على طول الريشة الحقيقية

الارتفاع (mm)	المساحات ببرنامج الاوتوكاد (mm^2)
0	834.7314
4.768	819.0554
9.536	803.7222
14.304	788.7069
19.072	774.0129
23.84	759.6391
28.608	745.5839
33.378	731.90001
38.144	718.451
42.912	705.3656
47.68	397.1567
52.448	395.7377
57.216	394.2813
61.984	392.7824
66.752	391.2451
71.52	389.671
76.288	388.0539
81.056	386.3989
85.824	384.7205
90.592	382.9677
95	381.3463

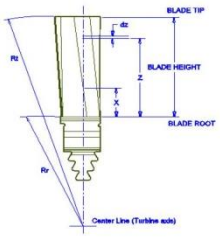
ويمكن حساب قوى الطرد المركزي للريشة الحقيقية من المعادلة الآتية:

$$Fc = mr\omega^2 \quad (3)$$

حيث أن m = كتلة الريشة, ω = السرعة الزاوية, r = نصف قطر الدوران.



شكل(2) يوضح الريشة الصلدة والمجوفة ومستوياتها (21) مستوي



شكل (3) يوضح الابعاد المستخدمة في حساب قوة الطرد المركزي

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

اذااخذنا شريحة متناهية في الصغر (dz) على طول المنطقة الصلدة فأن قوة الطرد المركزي المؤثرة على هذه الشريحة هي وكما في الشكل (3):

$$dcf = dm \cdot \omega^2.(Rr+Z) \quad (4)$$

$$dm = \rho A(Z)\, dz \quad (5)$$

وبتعويض معادلة (5) في معادلة (4) ينتج:

$$dcf = \rho.\omega^2.(Rr+Z).A(Z).dz \quad (6)$$

وبتكامل معادلة (6) ينتج:

$$cf = \rho\omega^2 \int_x^{Lb} A(z) * (Rr + Z)dZ \quad (7)$$

حيث إن:

نصف قطر عمود الدوران Rr = 60cm

نعوض معادلة المساحة للمنطقة الصلدة (1)بالمعادلة (7) مع حل و تكامل المعادلة ينتج التالي

$$cf = \rho\omega^2 * 10^{-6} \int_x^{lb} (-3.014Z + 832.8) * (0.6 + Z)dz \quad (8)$$

وبعدحل وايجاد تكامل معادلة(8)ينتج معادلة قوة الطرد المركزي للمنطقة الصلدة تكون كالاتي:

$$cf = \rho\omega^2 * 10^{-6}(1.00466X^3 - 415.4958X^2 - 499.68X + 22.2073) + fc \quad (9)$$

cf : قوة الطرد المركزي (centrifugal force)

ρ : كثافة معدن الريشة $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$

X(mm) : أي ارتفاع من جذر الريشة الى قمة الريشة

fc: (N) قوة الطرد المركزي عند بداية المنطقة المجوفة عند أرتفاع(42.912)

اما اشتقاق قانون قوى الطرد المركزي للمنطقة المجوفة يكون كالاتي :

وبتعويض معادلة المساحة للمنطقة المجوفة(2)بالمعادلة (7) ينتج عن هذا التعويض:

$$cf = \rho\omega^2 * 10^{-6} \int_x^{lb} (-0.3344Z + 413.4)(0.6 + Z)d \quad (10)$$

حيث إن حدود التكامل يكون من ارتفاع (47.68mm) الى قمة الريشة عند ارتفاع (95mm)

$$cf = \rho\omega^2 * 10^{-6} \int_x^{0.095} (-0.3344z^2 + 412.8Z + 248.04)dz \quad (11)$$

وبعد حل وايجاد تكامل معادلة(11) ينتج معادلة قوى الطرد المركزي للمنطقة المجوفة:

$$cf = \rho\omega^2 * 10^{-6} (0.11146X^3 - 206.4X^2 - 248.04X + 25.426) \quad (12)$$

نموذج لحساب اجهاد الشد على كل نقطة على طول الريشة:

يمكن حساب اجهاد الشد للمنطقة الصلدة والمنطقة المجوفة على طول الريشة حسب المعادلة التالية:

$$\sigma t(x) = \frac{Fc(x)}{A(x)} \quad (13)$$

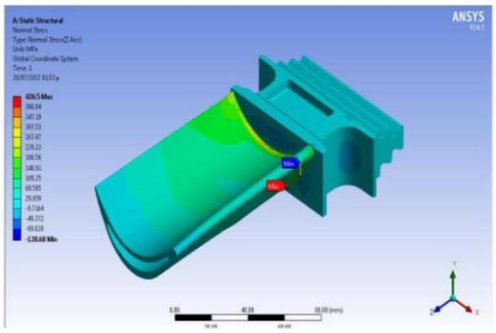
$\sigma t(x)$: اجهاد الشد عند كل نقطة على طول الشريحة, $Fcf(x)$: قوى الطرد المركزي عند كل نقطة على طول الريشة, A (x) : مساحة مقطع العرضيلأي شريحة على طول الريشة .

يمكن ايجاد اجهاد الشد للمنطقة الصلدة من المعادلة التالية:

$$\sigma t(X) = \frac{\rho\omega^2 * 10^{-6}}{10^{-6} * (-3.014X + 832.8)} * [1.00466X^3 - 415.4958X^2 - 499.68X + 22.2073] + fc \quad (14)$$

يمكن ايجاد اجهاد الشد للمنطقة المجوفة من المعادلة التالية

$$\sigma t(X) = \frac{\rho\omega^2 * 10^{-6} *}{10^{-6} * (-0.3344X + 413.4)} * [0.11146X^3 + 206.4X^2 - 248.04X + 25.426] \quad (15)$$



شكل (4) يوضح تمركز اجهاد الشد للريشة الحقيقية

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

جدول(3)
يوضحقوةالطردالمركزيللريشةالحقيقيةوتطابقاجهادالشدبالحلالريا ضياتيوببرنامج (ANSYS) للريشةالحقيقية

الارتفاع (X)	قوى الطرد المركزي (N)	الإجهاد ببرنامج ANSYS (MPa)	الإجهاد بالطريقة الرياضياتية (MPa)	نسبة الخطأ المئوية%
0	58.149	149.500	142	5.01%
4.768	55.446	131.49	135.4	2.8%
9.536	52.415	125.130	128	2.24%
14.304	50	118.000	122	3.27%
19.072	47.186	112.240	115.23	2.45%
23.84	44.186	105.700	108.412	2.5%
28.608	41.42	99.098	101.16	2.038%
33.378	38.71	92.439	94.545	2.227%
38.144	35.83	85.721	87.5	2.033%
42.912	32.95	78.927	80.49	1.94%
47.68	30.05	72.071	73.38	1.78%
52.448	27.132	65.144	66.26	1.116%
57.216	24.18	58.152	59.05	1.52%
61.984	21.2	51.085	51.749	0.247%
66.752	18.21	43.944	44.47	1.183%
71.52	15.191	36.720	37.1	1.011%
76.288	12.136	29.427	29.64	0.718%
81.056	9.1	22.054	22.165	0.5%
85.824	5.996	14.597	14.645	0.327%
90.592	2.8	7.0547	7.057	0.6%
95	0	0.000	0.000	0%

حساب قوى الطرد المركزي للريشة المجوفة:

تم اخذ حالة ثانية فيما اذا كانت الريشة مجوفة كليا على طول الجنيح وبنفس قياسات التجويف في الحالة الاولى مع نفس نوع السبيكة, والسرعة الزاوية, ونصف قطر عمود الدوران اي نفس الظروف والعوامل الحقيقية, بادخال قيم المساحات المستخرجة ببرنامج (AUTOCAD) مع الاحد والعشرون ارتفاع على طول الريشة وكما موضح في الجدول رقم (4) يتم استخراج معادلة خطية بادخال القيم الموضحة في الجدول التالي ببرنامج (MATLAB) وكما ياتي:

$$(X) = -0.2819X + 409.5 \quad (16)A$$

جدول رقم (4) يوضح المساحات المستخرجة ببرنامج AUTOCAD لكل ارتفاع على طول الريشة المجوفة

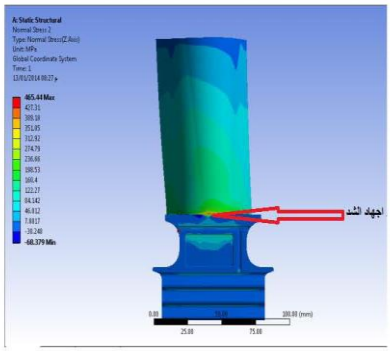
طول الريشة (mm)	قيم المساحات من برنامج (AUTO CAD)
0	409.18
4.768	419.28
9.536	428.16
14.304	435.81
19.072	442.28
23.84	447.51
28.608	451.53
33.378	454.33
38.144	455.91
42.912	456.31
47.68	459.75
52.448	453.41
57.216	450.14
61.984	445.66
66.752	439.95
71.52	433.01
76.288	424.89
81.056	415.45
85.824	404.97
90.592	393.26
95	381.32

معادلة قوى الطرد المركزي في أي نقطة على طول الريشة:

$$Fcf = \rho\omega^2 * 10^{-6} [0.0939X^3 - 204.605X^2 - 245.4X + 25.16] \quad (17)$$

إجهاد الشد على كل نقطة على طول الريشة المجوفة :-

$$\sigma t(x) = \frac{\rho\omega^2 * 10^{-6}}{(-0.2819X + 409.5) * 10^{-6}} * [0.0939X^3 - 204.605X^2 - 245.4X + 25.16] \quad (18)$$



شكل (5) يوضح تمركز إجهاد الشد للريشة المجوفة

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

جدول رقم(5) يوضحقوى الطرد المركزي للريشة المجوفة وتطابق اجهاد الشد للريشة المجوفة بالطريقة الرياضياتية وببرنامج(ANSYS)

الارتفاع (mm)	قوة الطرد المركزي (kN)	الإجهاد بالطريقة الرياضياتية (MPa)	الإجهاد ببرنامج ANSYS (MPa)	نسبة الخطأالمئوية %
0	87.58	104.92	104.19	0.696%
4.768	81.8567	99.947	100.45	0.5%
9.536	76.088	94.673	94.625	0.0507%
14.304	70.2747	89.102	88.864	0.01
19.072	64.415	83.2247	83.22471	0.00001%
23.84	58.5119	77.03	76.669	0.00361%
28.608	52.5628	70.554	70.298	0.0036%
33.378	46.5685	63.626	63.697	0.0011%
38.144	40.529	56.412	57.164	1.315%
42.912	34.4445	48.83	49.333	1.019%
47.68	31.334	78.89	80.808	2.37%
52.44	28.27	71.437	73.038	2.19%
57.216	25.184	63.87	65.191	2.026%
61.752	22.075	56.202	57.269	1.86%
66.752	18.9439	48.42	49.266	1.717%
71.52	15.79	40.522	41.169	1.571%
76.288	12.614	32.51	32.992	1.46%
81.056	9.169	24.36	24.724	1.472%
85.824	6.1945	16.101	16.363	1.6%
90.592	2.951	7.705	7.9041	2.518%
95	0	0	0	0%

حساب قوى الطرد المركزي للريشة الصلدة:

حالة ثالثة عندما تكون ريشة التوربين صلدة ذات ابعاد متساوية مع الحالة الاولى وتؤثر عليها نفس الظروف الحقيقية فيمكن اشتقاق قانون قوى الطرد المركزي,جدول رقم (6) يوضح المساحات المستخرجة ببرنامج AUTOCAD والارتفاعات الموضحة على طول الريشة لاستخراج المعادلة التالية بادخال القيم الموضحة في الجدول التالي ببرنامج MATLAB.

$$A(Z)= 0.007537Z^2 - 3.383Z +835.5 \quad (19)$$

جدول رقم (6) يوضح المساحات المستخرجة ببرنامج AUTOCAD والارتفاعات على طول الريشة

Hight	AREA in (AUTOCAD)mm²
0	834.73
4.768	819.0554
9.536	803.722
14.304	788.7069
19.072	774.0129
23.84	759.6391
28.608	745.5839
33.378	731.9
38.144	718.451
42.912	705.3656
47.68	691.7479
52.448	678.7232
57.216	666.0655
61.984	654.7019
66.752	642.326
71.52	631.1697
76.288	620.1619
81.056	610.3236
85.824	600.6116
90.592	591.3037
95	583.3123

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

معادلة قوى الطرد المركزي في أي نقطة على طول الريشة:

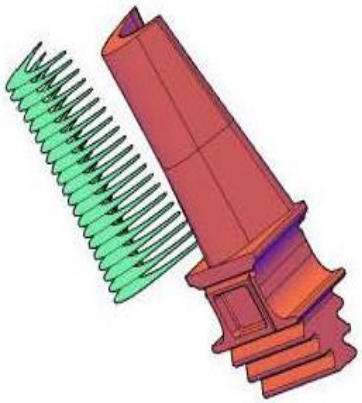
$$]Fc = \rho\omega^2 * 10^{-6} [- 1.88425 * 10^{-3} * X^4 + 1.126 X^3 – 416.735X^2 - 501.3X + 51.3764 \quad (20)$$

اجهاد الشد على كل نقطة على طول الريشة الصلدة:

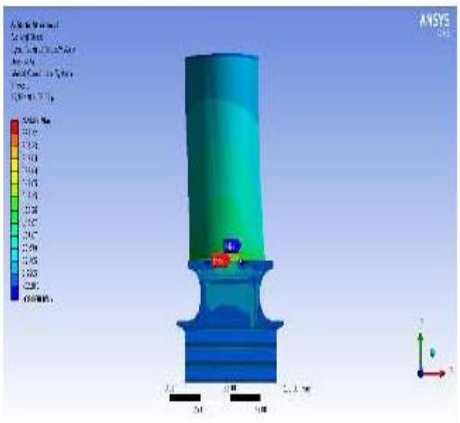
$$\sigma t(X) = \frac{\rho\omega^2 * 10^{-6}}{10^{-6} * (0.007537X^2 - 3.383X + 835.5)} * [-1.88425 * 10^{-3}X^4 + 1.126X^3 - 416.735X^2 - 501.3X + 51.3764] \quad (21)$$

جدول رقم (7) يوضح قوى الطرد المركزي للريشة الصلدة وتطابق اجهاد الشد الناتج بالطريقة التحليلية وببرنامج(ANSYS) للريشة الصلدة

الارتفاع (mm)	**قوى الطرد المركزي(kN)**	الإجهاد بالطريقة الرياضياتية (MPa)	الإجهاد ببرنامج ANSYS (MPa)	نسبة الخطأالمئوية%
0	119	142.429	143.25	0.57%
4.768	113.26	138.199	137.06	0.824%
9.536	107.67	133.93	136.65	1.99%
14.304	102.033	129.376	130.78	1.07%
19.072	96.35	124.528	124.69	0.129%
23.84	90.62	119.373	122.36	2.44%
28.608	84.859	113.909	115.72	1.56%
33.378	78.909	107.949	108.78	0.7639%
38.144	73.190	102.017	101.67	0.34%
42.912	67.291	95.555	94.403	1.205%
47.68	61.347	88.737	86.941	2.02%
52.44	55.359	81.55	79.267	2.79%
57.216	49.328	73.998	71.349	3.57%
61.752	43.549	66.453	63.715	4.12%
66.752	37.133	57.726	54.764	5.13%
71.52	30.9709	48.996	46.106	5.89%
76.288	24.764	39.859	37.206	6.65%
81.056	18.514	30.31	28.065	7.406%
85.824	12.219	20.34	18.888	7.13%
90.592	5.882	9.95	7.0174	4.72%
95	0	0	0	0%

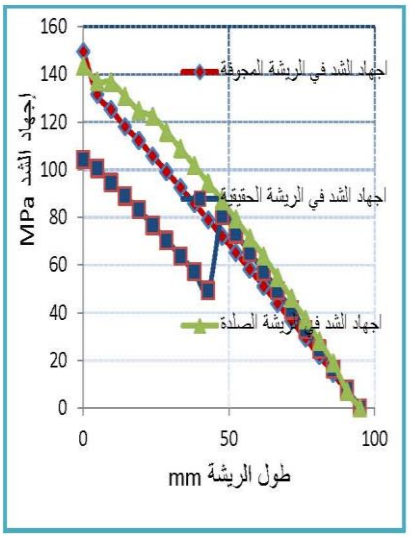


شكل (6) الريشة الصلدة و مسقط الريشة الصلدة الى (21) مقطع

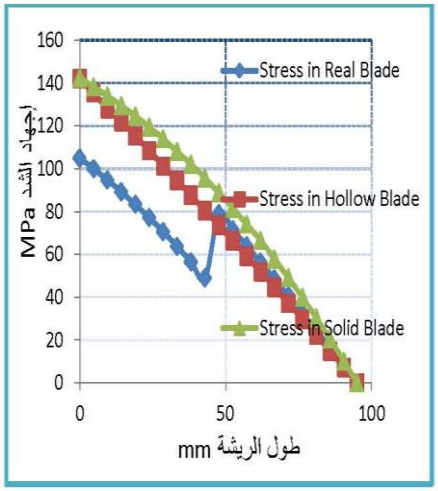


شكل (7) يوضح تركز اجهاد الشد للريشة الصلدة

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com



شكل رقم (8) يوضح مقارنة إجهاد الشد ببرنامج (ANSYS)



شكل رقم (9) مقارنة إجهادالشد بالطريقة الرياضياتية

حساب القوى الناتجة عن الغازات الحارقة:-

من اجل حساب معامل انخفاض درجة الحرارة(Temp. ψ) يمكن استخدام المعادلة coefficient drop التالية:[13],[14],[15]

$$\text{Temp.Cofficent drop}(\psi) = \frac{2cp\Delta To}{U^2} \quad (22)$$

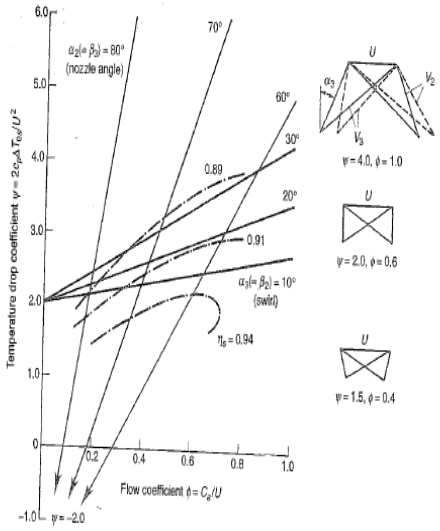
$$U = \omega * R(\text{average}) \quad (23)$$

حيث إن R(average) = معدل المسافة من مركز الدوار الى قمة الريشة.

$$R(\text{average}) = (Lb + Rr) / 2 = 0.34$$

$$\omega = \frac{2\pi N}{60} \quad (24)$$

$$186 \text{ m\s} = \mathbf{U} = \frac{\mathbf{2\pi * 5100 * 0.3475}}{\mathbf{60}}$$



شكل (10) يوضح رد فعل التصميم عند0.5

حيث إن الحرارة النوعية عند الضغط الثابت(cp) للغازات الحارقة في تساوي Cp =1.147 kJ⁄kg.K
ومن المعلومات العملية التي حصلنا عليها من محطة المنصور الغازية:

درجة حرارة الغازات الخارجة من غرفة الاحتراق
To = 549C°

درجة حرارة الغازات عند الدخول الى الريشةT1=530C°

وان درجة حرارة الغازات الخارجة من الريشة T2=510C°

ΔTo = To-T2(25)
ΔTo = 549-510 = 39

تعوض هذه القيم في المعادلة(21)وينتج:-

$$\frac{2*1.147*1000*39}{186^2} = 2.6\Psi =$$

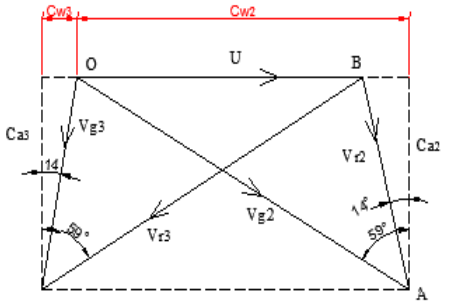
المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

$$\Lambda=\frac{T1-T2}{To-T2} \qquad (26)$$

يمكننا تعويض قيمة ψ في مخطط شكل(11) من اجل استخراج قيمة Φ(Flow coefficient) وذلك بتسقيط قيمةψ مع زاوية *المنفذ*(α2) نستخرج قيمة(Φ) والتي تساوي (0.7) .

ومن خلال *مراجعة مخططات الشركة اليابانية*(Hitachi) المصنعة للتوربين الغازي في محطة المنصور في محافظة نينوى وجد ان زاوية المنفذ α2 (Nozzle) = (59°), وزاوية α1= 0 زاوية خروج الغازات من غرفة الاحتراق من نوع الجريان المحوري(Axial flow)

$$130\text{m/s(Axial velocity)} = =\frac{Ca}{U}\Phi(26)$$



شكل (11) يوضح مثلث السرع

في حالة (Axial flow gas turbine) وعند (Degree of reactionΛ) =0.5 تكون الزوايا كما يلي:

α2==59°β3

α3= B2

Tanβ2 + Tanβ3 = (cpΔT$_0$) / Uca(28) β2= 14°

ومن المعلومات العملية التي حصل عليها من محطة المنصور الغازية كمية الغاز الداخل الى التوربين والتي تساوي (320Ton/hr).

يضرب الغاز بقوة على الريشة بزاوية α2 ولكن هذه القوة تتحلل الى قوتين قوة محورية (Axial Force) وقوة مماسية(Tangentional Force) وفي حالة (Axial flow gas turbine) إن القوة المهيمنة من تأثير تدفق الغازات الحارقة هي القوة المماسية لان قيمة القوة المحورية مساوية للصفر وكما يلي :

ومن مثلث السرع (Velocity Diagram)الموضح في الشكل(11) يمكن حساب محصلة سرعة الطاقة والتي تكون بأتجاه سرعة دوران الريشة :

Cw = Cw1 + Cw2

$$Ft = m^{o}(Cw1 + Cw2) \qquad (29)$$

Ft = 22110N

Ftblade = Ftotal/120 = 184N

$$|Fa| = m^{o}|(Ca2-Ca3)| \qquad (30)$$

Ca2 = Ca3

اذن Fa = 0 ولهذا تهمل هذه القوة وكذلك في الكثير من البحوث لانها قيمة مساوية للصفر.

المناقشة:

ان الاستنتاجات التي يمكن استخلاصها من هذه الدراسة كانت كالاتي:

1- قوة الطرد المركزي هي القوة المهيمنة والمسيطرة وتبلغ اضعاف القوة الناتجة عن جريان الغازات الحارقة حيث تبلغ القوة المماسية الناتجة من جريان الغازات الحارقة (Tangential Force) لكل ريشة من ريش المرحلة الاولى(184N) وان القوة المحورية (Axial Force) لكل ريشة (0N) .

2- إجهادات الشد الناتجة عن قوى الطرد المركزي للريشة الحقيقية أقل من إجهادات الشد الناتجة من قوى الطرد المركزي للحالتين المفترضتين، حيث يبلغ عند جذر الريشة بالطريقة الرياضياتية(104.29 MPa)، وببرنامج (ANSYS) (104.19MPa)، ومقدار قيمة الفرق بين القراءتين (0.73)، وإن نسبة التطابق (99.3%)، وعند قمة الريشة بالطريقتين (0)لأن نسبة التطابق (100%), وإن إجهاد الشد الناتج من قوى الطرد المركزي للريشة المجوفة بالطريقة االرياضياتية (142 MPa) وببرنامج(ANSYS(149.5MPa)، وتبلغ قيمة الفرق بين القراءتين (0821)، ونسبة التطابق (99.43%)، وعند قمة الريشة بالطريقتين (0)، ونسبة التطابق (100%), و إجهاد الشد عند الجذر في حالة الريشة الصلدة بالطريقة الرياضياتية(142.429 MPa) وببرنامج (ANSYS)(143.25MPa)، ويبلغ قيمة الفرق بين القيمتين (0.821)، ونسبة التطابق (99.43%)، وعند قمة الريشة بالطريقتين (0)، ونسبة التطابق (100%), وهذا يُعلل كون الريشة الحقيقية هي الأفضل من ناحية تصميم ريش التوربين الغازي لهذا النوع من السبيكة من حيث تقليل إجهادات الشد.

3- نلاحظ في الحالات الثلاثة تركز اجهاد الشد الناتج من قوة الطرد المركزي من الجهة الخلفية عند جذر الريشة.

4- لوحظ أن أعلى قيمة للإجهاد المكافيء للريشة الحقيقية تبلغ (368.29MPa)، وهي قيمة أقل من إجهاد الخضوع ويبلغ (980MPa)؛ أي أن الريشة في موقع الأمان في المنطقة المرنة، (elastic zone) وفي حالة الريشة المجوفة فإن أعلى قيمة للإجهاد المكافيءعند قاعدة الجنيح يبلغ (520.91MPa)، وهذه القيمة أيضا أقل من قيمة إجهاد الخضوع؛ أي: أن الريشة في موقع الأمان من المنطقة المرنة، أما أعلى قيمة للإجهاد المكافيء في الريشة الصلدة عند الجهة الخلفية لقاعدة الجنيح تبلغ (1492.8MPa)، وهذه القيمة أعلى من نقطة الخضوع وإن دل على شيء يدل على أن الريشة الحقيقية هي الريشة الأفضل للعمل في هذه الظروف من سرعة دورانية، ولخصائص هذا المعدن، أما الريشة الصلدة غير مناسبة للعمل عند السرعة (5100 r.p.m)، اوعند خصائص هذا المعدن من سبيكة Inconel-738 .

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

المصادر

[1]D.Gandy, J.Shingledecker, R.Viswanathan, "Advanced Materials and Technology for Fossil Power Plant", Proceeding from conference, Sata Fe, New Mexico,USA, August3-Septemper3, 2010.

[2]Joseph R.Davis ,"Nickel ,Cobalt and their Alloys", ASM international Journal, pp.442,ISBN 978-0-87170-685-0,Jan,(2000).

[3]W. Betz ,R.Brunetaud,"HighTemperature Alloys of Gas Turbines and other Application", Part 2 , Proceeding of aconference held in Liege,Bellgium,6-9 October,1986.

[4]Website: en.Wikipedia.org, the free encyclopedia, jump to : navigation , search: Turbine blades .

[5]ShojiroOchilia,T.Khan,"Mechanical Properties of Metallic Composites",ISBN 9780824791162,Tokyo ,Japan,December 17,1993.

[6] Joseph R.Davis,"Heat – Resistant Materials",ASM international,Technology &Engneering,(2010).

[7]A.Thakker, H.B.Khaleeq,F.Hourigan and J.Jarvis,"Stress Analysis of Impulse Turbine Blades",University of Limerick,Volume1, June 17-22, Ireland, 2001.

[8] A. Patil. ,Shirsat U.M. ,"Study of failure analysis of gas turbine Blade "ISOR Journal of Engneering(IOSRJEN),PP(37-43), ISSN:2250-3021 ISBN:2878-8719 ,India,(2009).

[9]AarashRahmani , " Modal analysis of a first stage blade in ALSTOM gas turbine and comparison with experimental results " ,World of Sciences Journal, Volume3,ISSN 2307-3071,(2013).

[10] ArifSugianto , Reza Jaya Wardhana , NanangYulian , GedeKusuma Jaya Wardana ,MuchtarKarokaro , HariyatiPurwaningsih , " Failure analysis of a first high pressure turbine blade in an aero engine turbine on PK-GSG boing B747-400 "Dept. of Materials and Metallurgical Engineering ,Faculty of Industrial Technology Institute Technology Sepuluh November (ITS) ,Page(1-24), East , Java , Indonesia,(2010). .

[11] Dr.ArkanKh. Husain Al Taie, Dr.AbdulRazzaq,Eng.M.Sc.RaedAbidAl wan,"Design of a Constant Stress Steam Turbine Rotor Blade",journal of Engneering and Development ,Vol.11, No.3,ISSN 1813-7822, Baghdad, Iraq, December(2007).

[12] P.V.Krishnakanth , G. NarasaRaju, R.D.V.Prasad , P.G.Student, Assoc. Prof, Asst. Prof, M.techStudent,"Structural& thermal analysis of gas turbine blade by using F.E.M", International Journal of Scientific Research Engneering&Tecnology (IJSRET), Volume2, May, (2013).

[13] Dr.SittichaiSeangatith,"Advanced Mechanics of Materials", School of Civil Engineering, May, (2001).

[14] Tony Giampaolo ,MSME,PE, "GAS Turbine Handbook Principles and Practice "4th Edition,2005.

[15] Meherwan Pub. Boyce, "Gas Turbine Engineering", Chapter (6),Page(3-88),ISBN 978-0-12-383842-1, Fuorth Edition,(2008).

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

Stress Analysis of Different Types of Gas Turbine Blades in AL Mansour Gas Station

Dr. Sabah Mohammed Ali
Prof.

Suha Hashim Ahmed
Assist. Lecturer
Suhahashim98@gmail.com

Departement of Mechanical Engineering, University of Mosul

Abstract:
Gas turbine blades are suffering from failure, most of the studies indicate that 50% of the failure and breakage due to its complexity circumstances, The aim of this work is to analyze stresses at the first stages in AL Mansourgas power station in Mousl city, (AUTOCAD) which is computer program has been used to draw the blade at the exact measurement, where three kinds of different shapes of blades have taken, The real blade solid and hollow airfoil at the root, hollow airfoil at the root, Solid Airfoil at the root (AUTOCAD) program has been used to obtain the cross section area at any height along the blade lengths, (MATLAB) program has been used to obtain equations between cross section area and the height along the blade then determine the centrifugal force for a three blades used in this research. The study concluded that the real blades, solid and hollow is best because it garantee a minimum normal stress.

Keyword: Stress Analysis, Gas Turbines, First Stage Blades.

www.manaraa.com