

Study the Effect of Plate and Nerve Type on the Behavior of Metal Joints in Fire Conditions

Dr. Mouhanad Faez Nasra*

(Received 27 / 10 / 2019. Accepted 15 / 1 / 2020)

□ ABSTRACT □

The study in this research will be on the metal joints used in metal structures by testing a number of different materials for the elements used to connect the beams with each other, with the help of the method of finishing elements 3D and CATIA V5 program. Column when exposed to virtual loads and simulators expose joints to fire. This article provides a detailed analysis of the effect of material type on the stresses produced by examining the effect of the change of material of the link elements (nerve and plate) on the values of stress resulting to the degree of collapse. The elements were selected from several materials and mixtures consisting of different chemical elements where the stresses arising after the design and modeling of each link for each cell with a different nerve and plate were calculated by the presence of temperatures from the ambient temperature to the melting point of the studied mixtures. Type of material and chemical elements While all other parameters of the link (dimensions, shape, type of connection, fixation conditions, and ...) have been fixed to understand the effect of plate type and nerve on the stress values arising in the link where there are many other factors that may affect stress values such as more than P load and the occurrence of internal cracks in the metal resulting from operations etc

Keywords: Finite Element Method, CAD, Fire Analysis in Metal Structure.

*Researcher, Syria.

دراسة تأثير نوع مادة الصفيحة والعصب على سلوك الوصلات المعدنية في ظروف الحريق

د. مهند فائز نصره*

(تاريخ الإيداع 27 / 10 / 2019. قُبِلَ للنشر في 15 / 1 / 2020)

□ ملخص □

الدراسة في هذا البحث ستكون على الوصلات المعدنية المستخدمة في المنشآت المعدنية وذلك عبر اختبار عدد من المواد المختلفة للعناصر المستخدمة في ربط العوارض مع بعضها البعض بمساعدة طريقة العناصر المنتهية ثلاثية الأبعاد وبرنامج CATIA V5. تم في هذا البحث دراسة سلوك وصلات من نوع جوائز - عمود عند تعرضها لحمولات افتراضية ومحاكات تعرض الوصلات للحريق. تقدم هذه المقالة تحليلاً تفصيلاً لتأثير نوع المواد على الاجهادات الناتجة عبر دراسة تأثير تغير مواد عناصر الوصلة (العصب و الصفيحة) على قيم الاجهاد الناتج حتى درجة الانهيار. اختيرت العناصر من عدة مواد و خلائط مكونة من عناصر كيميائية مختلفة حيث تم حساب الإجهادات الناشئة بعد تصميم ونمذجة كل وصلة لكل خالة مع مادة عصب وصفيحة مختلفة بوجود درجات الحرارة اعتباراً من درجة حرارة الوسط المحيط حتى درجة انصهار الخلائط المدروسة. في هذه المقالة المتغير الوحيد كان نوع المادة والعناصر الكيميائية في حين تم تثبيت كافة البارامترات الأخرى للوصلة (الأبعاد_الشكل_نوع الوصلة_شروط التثبيت و...) وذلك ليكون فهم تأثير نوع الصفيحة والعصب أوضح على قيم الإجهادات الناشئة في الوصلة حيث توجد عوامل عديدة أخرى قد تؤثر على قيم الاجهادات كوجود أكثر من نوع للحمولة و حدوث تشققات داخلية في المعدن ناتجة عن عمليات التشغيل إلخ....

الكلمات المفتاحية: طريقة العناصر المنتهية ، وصلة عارضة إلى عمود، وصلات البراغي، سلوك الوصلات المعدنية.

* باحث، سورية.

مقدمة:

انتشرت الوصلات التي تعتمد البراغي للتثبيت بدلا من اللحام بكثرة بعد خمسينات القرن الماضي حيث باتت تعتبر النوع الأكثر استخداما في الإطارات والجسور المعدنية ومزالق السفن والملاعب الرياضية وغيرها...، تعتبر الوصلات من نوع جائر -عمود من أكثر الوصلات شيوعا في حالات التثبيت بالبراغي حيث يتم تثبيت الصفائح على العارضة المسبقة الصنع باللحام ثم يتم تثقيها بأبعاد البراغي التي ستستخدم في التثبيت ثم تجمع مع العارضة الأخرى التي تدعى العمود والتي تحمل نفس عدد الثقوب والأبعاد وتصنف هذه الوصلات على أنها نصف صلبة .

أجريت دراسات عديدة على هذا النوع من الوصلات أغلبها اعتمد الطرق التحليلية الحاسوبية باستخدام نظرية العناصر المنتهية وبعضها اعتمد مقارنة النتائج التحليلية التي تعطىها عملية المحاكات على الحاسب مع النتائج التجريبية المخبرية وبعضها الآخر اعتمد على التجارب المخبرية رغم صعوبة عملية محاكاة الحريق في المخابر والهدف الأساسي لهذه الدراسات والأبحاث الوصول إلى فهم أعمق لسلوك الوصلات عند تعرضها إلى الأحمال الحرارية بوجود درجات الحرارة المختلفة حيث قام الباحث S. Spyrou و آخرون بدراسة نماذج مختلفة ومحاكاة تعرضها للحريق وحصلوا على أشكال الانهيار ومخططات الفشل تجريبيا وقارن بين المخططات التي حصل عليها من الدراسة الرياضية

مع المخططات التجريبية وتوصل الباحثون إلى موديل رياضي يوضح سلوك هذه الوصلات عند درجات الحرارة المرتفعة. [1] قام الباحث Block و آخرون بدراسة سلوك الوصلات في درجات حرارة الحريق حيث اعتمد الباحثون على نموذج النابض بعد اشتقاق مصفوفة الصلابة وادخال النتيجة في نموذج العناصر المنتهية غير الخطية لطريقة فولكان [2] . أجرى الباحث Wang و آخرون دراسة تجريبية على اربع عينات من وصلات جائر - عمود من الشكل H باستخدام الفرن وقام بدراسة تأثير اعصاب التقوية و سماكة الصفيحة على مقاومة الحريق وقد وضع نموذج رياضي يصف الحالات المدروسة [3] .

قدم الباحث Michal Strejček و آخرون بدراسة سلوك وصلة من نوع جائر -عمود تجريبياً عند تعرضها للحريق وذلك للتأكد من الموديل الرياضي وبينت النتائج انخفاض واضح في خصائص المواد وسوكها ولوحظ وجود قوة محورية عالية عند درجات الحرارة العالية وبالتالي تغير كبير في مخططات العزم - دوران [4] . حصلت الباحثة Santiago وآخرون على نموذج رياضي يحاكي سلوك الوصلات المعدنية في الحريق من البداية حتى الانهيار وبينت الدراسة جميع الخطوات التي تمر بها هذه الوصلات وتأثير الارتفاع في درجات الحرارة العابرة على الزمن وعلاقة ذلك بتغيير القوى المطبقة على الوصلات وتعطي هذه الدراسة ارشادات يجب أن تؤخذ بالاعتبار عند تصميم الوصلات المعدنية [5] .

أهمية البحث وأهدافه:

إن الهدف الاساسي من الدراسة هو البحث عن نوع المادة الأفضل الذي يمكن أن نختار منه عناصر الوصلة المستخدمة في الرباط بين العوارض (الصفيحة والعصب) عبر تصميم ونمذجة ومحاكاة وصلات ضمن منشآت معدنية بعد اختيارها من مواد و خلائط عديدة وحساب الإجهادات الناشئة في الوصلة لكل حالة من الحالات عند درجات حرارة مختلفة ابتداء من درجة حرارة الوسط المحيط حتى درجة انصهار الخلائط المدروسة ويتم تثبيت كافة البارامترات الأخرى للوصلة كي يصبح فهم تأثير نوع مادة الصفيحة والعصب أوضح على قيم الإجهادات الناشئة في عناصر الوصلة .

طرائق البحث ومواده:

بعد إجراء عملية تصميم العوارض وإدخال الأبعاد المرجعية والموصفات الفيزيائية والميكانيكية والكيميائية للمتغير الأساسي (مادة العصب والصفحة) تأتي عملية النمذجة الحاسوبية والمحاكاة الرقمية باستخدام نظرية العناصر المنتهية وبالاعتماد على برنامج CATIA V5 وبعد ذلك تبدأ عملية تحليل نتائج المحاكاة وتسجيل القيم والمقارنات على مخططات لتوضيح الفرق بقيم الاجهاد الناشئ بين جميع الحالات وكذلك توضح التغير الحاصل الناتج عن تغير مادة الصفحة والعصب والغرض الاساسي من ذلك هو تمييز أي المواد ستعطي أفضل أداء وقدرة تحمل أكبر عند درجات حرارة مرتفعة. جميع العينات كانت متشابهة في البارامترات ومختلفة بنوع المادة فقط حيث كانت مؤلفة من صفحة مثقبة وملحومة على عارضة وتربط مع العمود بواسطة ثمانية براغي. الاختبارات أجريت على ستة أنواع من المواد المختلفة تم فيها حساب الإجهادات الناشئة في الوصلة لكل حالة من الحالات ابتداء من درجة حرارة الوسط المحيط حتى درجة انصهار الخلط المدروسة.

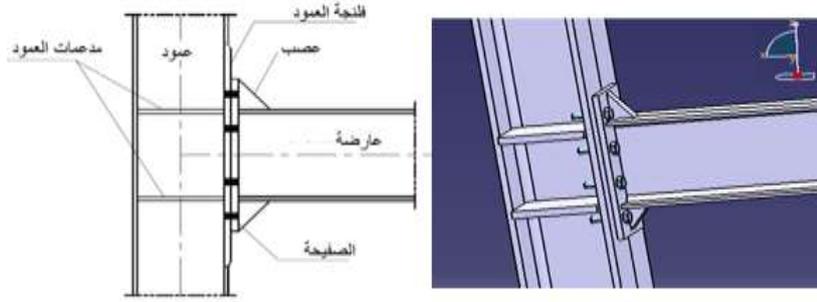
النتائج والمناقشة:**1. نموذج العناصر المنتهية ثلاثي الأبعاد**

نموذج عناصر منتهية ثلاثي الذي تم الحصول عليه للوصلة يسمح في تطوير طرق ربط أفضل للصفحة الملحومة على العارضة مع العمود واختيار البارامترات المثالية (عدد براغي - ابعاد صفحة...) من جهة ويعطي مرونة عالية في تغيير المدخلات الأساسية للعناصر بوجود بيئة حرارية تحاكي تعرض الوصلات للحرق وتعطي نتائج تحليلية لقيم الاجهاد الناشئة في كل عنصر ويسمح بحساب قيم الانتقالات بين العقد تباعا من جهة أخرى .
النموذج تم تصميمه على برنامج [6] CATIA V5 حيث يحاكي الوصلات مع صفائح المثبتة ببراعي بوجود الحمل الحرارية. الجدول رقم 1 يبين مواصفات الجائز و العمود.

الجدول 1: مواصفات الجائز والعمود

سماعة الصفحة	عرض الصفحة	أبعاد المقطع	
12	200	240	الجائز
12	250	240	العمود

تم اختيار البيئة الثنائية و البيئة الثلاثية الأبعاد كما في الشكل رقم 1 لتصميم ومحاكات العناصر المكونة للوصلة (العارضة، العمود، الألواح، والبراغي).



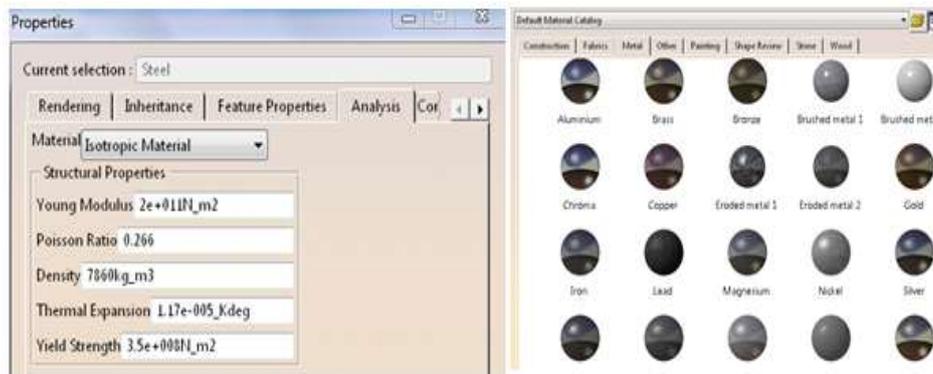
الشكل 1 : شكل النموذج المدروس

بعد أن أخذت أبعاد العوارض والصفيحة تم رسم و تصميم النموذج ومن ثم ادخلت من قائمة Apply Material جميع المواصفات الميكانيكية والكيميائية للقطع المكونة للوصلة في كل حالة على حدى و هو مبين بالشكل 2 و يبين الجدول 2 المواصفات الميكانيكية للمواد المستخدمة في الوصلة المدروسة .

الجدول 2 : المواصفات الميكانيكية لمواد القطع الهندسية المكونة للوصلة المدروسة

المادة	إجهاد الخضوع MPa	المعامل الحراري $1/C$	معامل يونغ GPa
الفولاذ- الجانز ،العمود ،الصفيحة	454 - 322	12×10^{-6}	197
الفولاذ- البراغي	600 - 480		

في هذه الفقرة سيتم اختيار مادة الصفيحة والعصب من عدة مواد و خلائط مختلفة وحساب الإجهادات الناشئة في الوصلة لكل حالة من الحالات عند درجات حرارة مختلفة ابتداء من درجة حرارة الوسط المحيط حتى درجة انصهار الخلائط المدروسة والتي يتراوح مجالها بين 1400 إلى 1600 درجة مئوية



الشكل 2 كيفية اختيار مادة القطع الهندسية ومواصفاتها الميكانيكية

وذلك بعد تثبيت كافة البارامترات الأخرى للوصلة كي يصبح فهم تأثير الصفيحة والعصب أوضح على قيم الإجهادات حيث أن عوامل عديدة قد تؤدي إلى سلوك مختلف لهذه الوصلات منها الإجهادات المركبة و الحمل الحراري

والتشوهات الناجمة عن عمليات التنقيب إلخ... تم دراسة وصلة **IPE 240** مكونة من ثمانية براغي بقطر 22mm وسماكة صفيحة 15mm وبوجود عصبي تقوية بسماكة 30mm و زاوية ميلان 50° . ويوضح الجدول (3-4) المواد التي تم دراستها و البالغ عددها ست مواد.

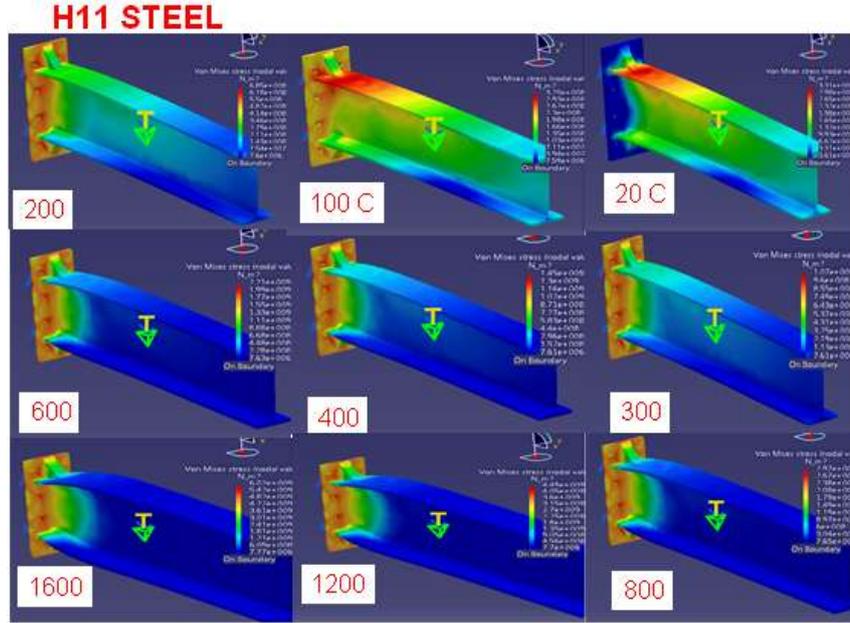
الجدول 3 : المواصفات الميكانيكية لمادة الصفيحة والعصب في الوصلة المدروسة

نوع المادة	معامل يونغ Gpa	حد الخضوع Mpa
H11Steel	195	475
LC Steel	194	359
MC Steel	200	300
ST 37	320	230
ST 52	480	345
ST 235	364	198

2- نمذجة ومحاكاة الوصلة المدروسة وفق المواد المختارة

بعد عملية نمذجة الوصلة تم توليد شبكة العناصر المنتهية لها واختير نوع الشبكة المناسب في كل منطقة من مناطق الوصلة واعتمدت الشبكات الناعمة في مناطق تركيز الاجهادات ونقاط الاتصال والشبكات الأخرن في المناطق الأقل تعرضاً للاجهاد (اطراف العارضة والعمود) وذلك عند كل نوع مادة من المواد على حدى أما المحاكات الحرارية فتمت من برنامج الكاتيا من تعليمة Temperature field اعتبارا من درجة حرارة المحيط 20°C ، 100°C ، 200°C ، 300°C ، 400°C ، 600°C ، 800°C ، 1200°C ، 1600°C وحسبت الإجهادات المتولدة (الناشئة) في الوصلة المدروسة عند كل حالة.

المادة الأولى المختبرة كانت من النوع **H11 Steel** حيث تم إدخال جميع المواصفات الميكانيكية والكيميائية الخاصة بهذا النوع على بيئة البرنامج CATIA V5. يبين الشكل 4 الإجهادات الناشئة في الوصلة عند درجات حرارة مختلفة متزايدة بعد اجراء عملية المحاكاة.



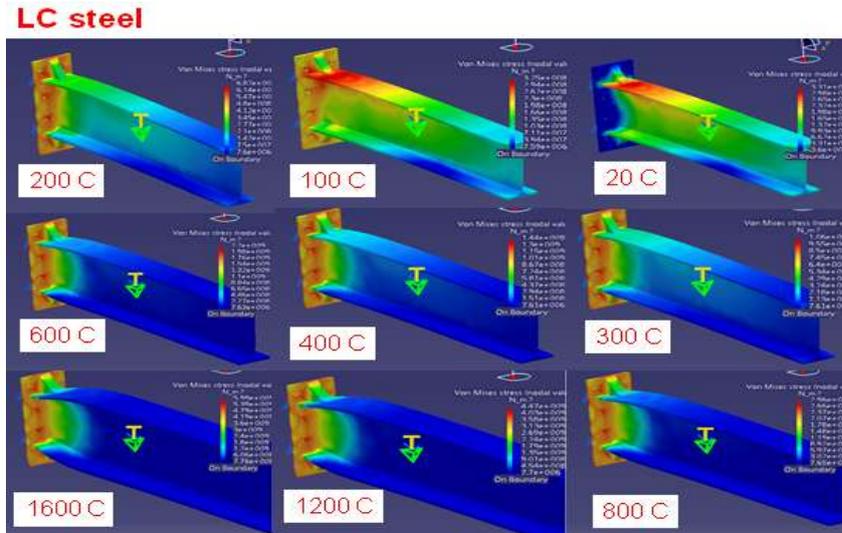
الشكل 4: توزيع الإجهادات الناشئة في الوصلة عند درجات حرارة متزايدة للمادة H11 Steel



الشكل 5 : قيم الإجهادات الناشئة في الوصلة عند درجات حرارة متزايدة للمادة H11 Steel

الشكل 5 يبين جميع قيم الإجهادات الناشئة في الوصلة بعد تطبيق درجات حرارة متزايدة على الوصلة ذات العصب والصفيحة من نوع **H11 Steel** حيث بلغت أعلى قيمة للإجهادات الناشئة $485 \text{ e}^7 \text{ N/m}^2$ عند درجة حرارة 1600°C وخفض قيمة للإجهادات الناشئة كانت $1.77 \text{ e}^7 \text{ N/m}^2$ عند درجة حرارة 20°C ويلاحظ أن قيمة الإجهادات زادت بشكل كبير بعد 800°C .

المادة الثانية كانت من النوع **LC Steel** وتم إدخال جميع المواصفات الميكانيكية و الكيميائية للمادة المذكورة على بيئة البرنامج CATIA V5 حيث يبين الشكل 6 الإجهادات الناشئة في الوصلة عند درجات حرارة مختلفة متزايدة .



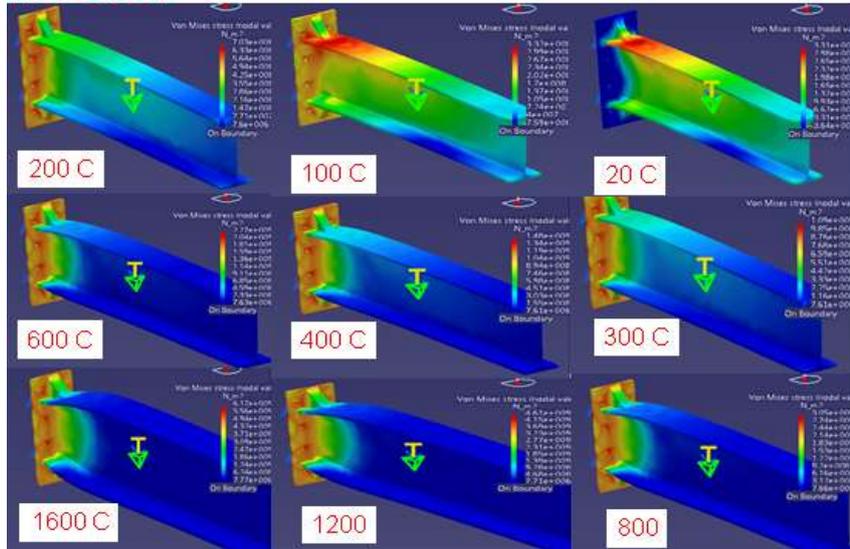
الشكل 6: توزيع الإجهادات الناشئة في الوصلة عند درجات حرارة متزايدة للمادة LC Steel



الشكل 7: قيم الإجهادات الناشئة في الوصلة عند درجات حرارة متزايدة للمادة LC Steel

الشكل 7 يبين جميع قيم الإجهادات الناشئة في الوصلة عند درجات حرارة متزايدة لوصلة ذات صفيحة وعصب من لمادة LC Steel حيث بلغت أعلى قيمة للإجهادات الناشئة $482 \text{ e}^7 \text{ N/m}^2$ عند درجة حرارة 1600°C وخفض قيمة للإجهادات الناشئة كانت $1.77 \text{ e}^7 \text{ N/m}^2$ عند درجة حرارة 20°C . نلاحظ أن قيمة الإجهادات زادت بشكل كبير بعد 800°C . تم اختيار المادة الثالثة من النوع MC Steel وإدخال جميع المواصفات الميكانيكية و الكيميائية للمادة المذكورة على بيئة البرنامج CATIA V5 حيث يبين الشكل 8 الإجهادات الناشئة في الوصلة عند درجات حرارة مختلفة متزايدة.

MC steel

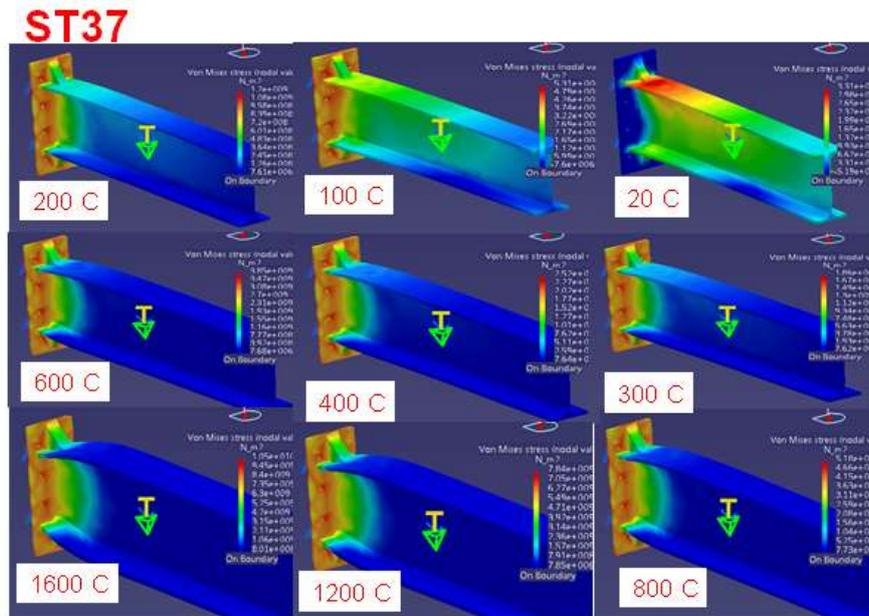


الشكل 8: توزيع الإجهادات الناشئة في الوصلة عند درجات حرارة متزايدة للمادة MC Steel



الشكل 9: قيم الإجهادات الناشئة في الوصلة عند درجات حرارة متزايدة للمادة MC Steel

الشكل 9 يبين قيم الإجهادات في الوصلة عند درجات حرارة متزايدة لحالة وصلة ذات عصب وصفيحة من نوع مادة MC Steel حيث بلغت أعلى قيمة للإجهادات الناشئة $497 \text{ e}^7 \text{ N/m}^2$ عند درجة حرارة 1600C° وانخفضت قيمة الإجهادات الناشئة كانت $1.77 \text{ e}^7 \text{ N/m}^2$ عند درجة حرارة 20C° . نلاحظ ان قيمة الإجهادات زادت بشكل كبير بعد 800 C° . المادة الرابعة كانت من النوع ST37 وإدخال جميع المواصفات الميكانيكية و الكيميائية للمادة المذكورة على بيئة البرنامج CATIA V5 ويبين الشكل 10 الإجهادات الناشئة في الوصلة عند درجات حرارة مختلفة متزايدة .

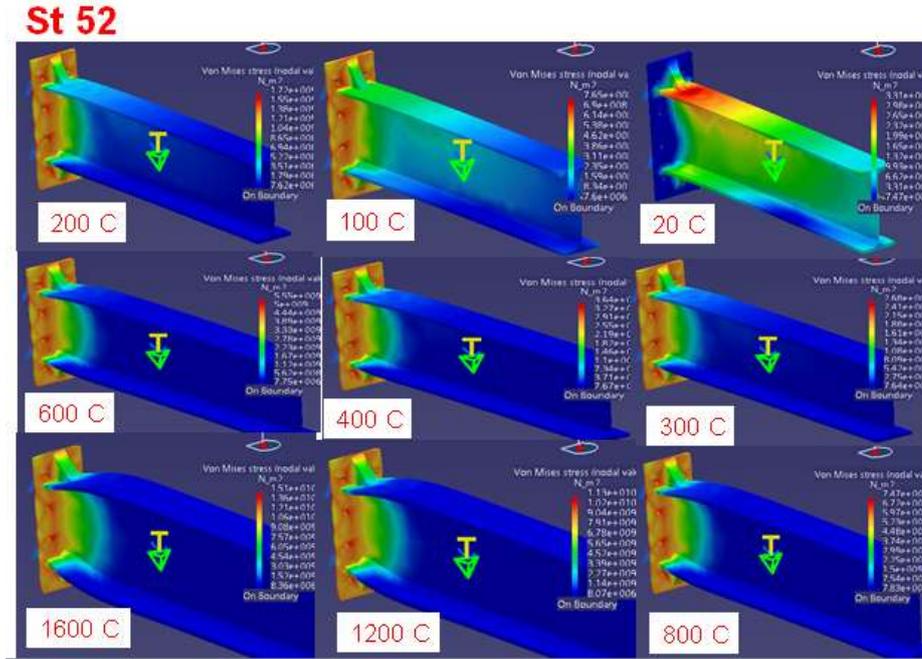


الشكل 10: توزيع الإجهادات الناشئة في الوصلة عند درجات حرارة متزايدة للمادة ST37

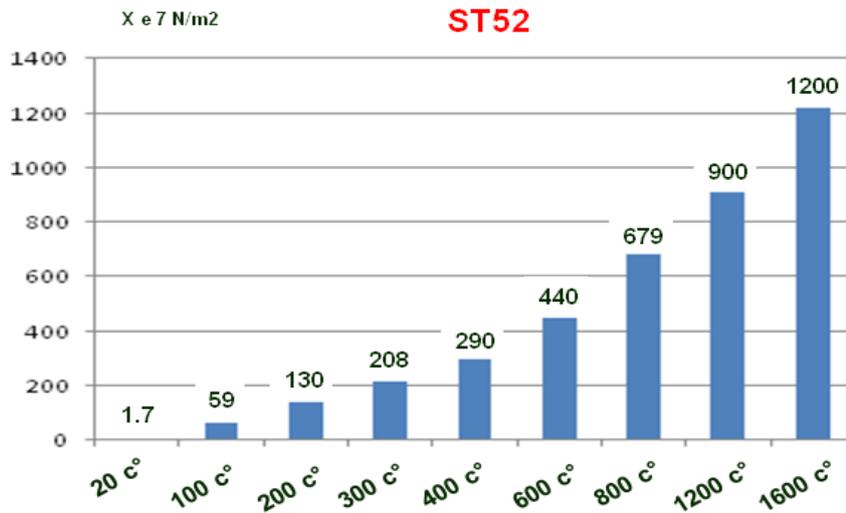


الشكل 11: قيم الإجهادات الناشئة في الوصلة عند درجات حرارة متزايدة للمادة ST37

يبين الشكل 11 قيم الإجهادات في الوصلة عند درجات حرارة متزايدة لمادة ST37 حيث بلغت أعلى قيمة للإجهادات الناشئة $839 \text{ e}^7 \text{ N/m}^2$ عند درجة حرارة 1600C° وانخفض قيمة للإجهادات الناشئة كانت $1.7 \text{ e}^7 \text{ N/m}^2$ عند درجة حرارة 20C° ، نلاحظ أن قيمة الإجهادات زادت بشكل كبير بعد 800C° . المادة الخامسة كانت من النوع ST52 وإدخال جميع المواصفات الميكانيكية و الكيميائية للمادة المذكورة على بيئة برنامج CATIA V5 حيث يبين الشكل 12 الإجهادات الناشئة في الوصلة عند درجات حرارة مختلفة متزايدة .

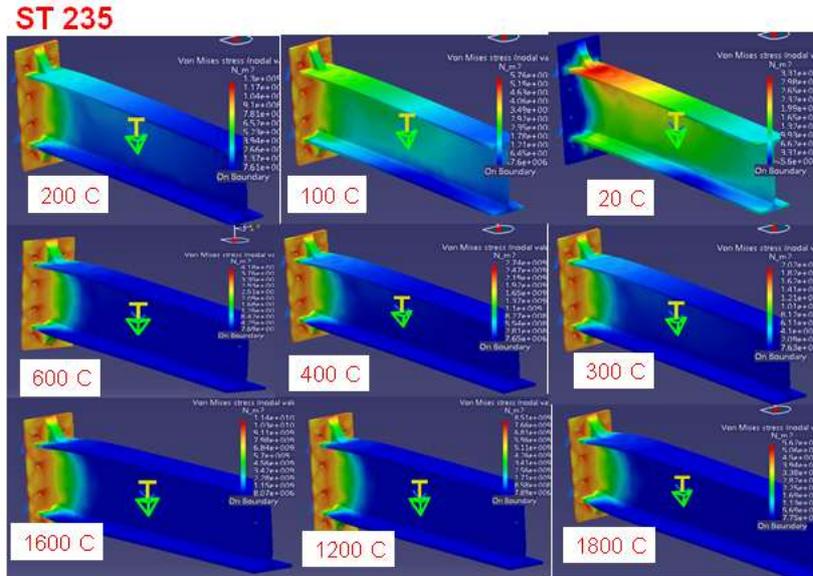


شكل 12: توزيع الإجهادات الناشئة في الوصلة عند درجات حرارة متزايدة للمادة ST52

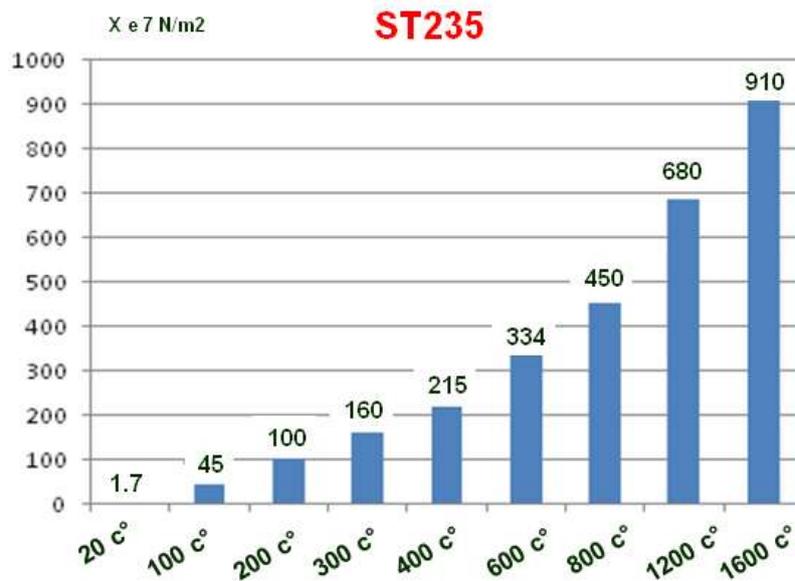


الشكل 13: قيم الإجهادات الناشئة في الوصلة عند درجات حرارة متزايدة للمادة ST52

يبين الشكل 13 قيم الإجهادات الناشئة في الوصلة عند درجات حرارة متزايدة لمادة **ST52** حيث بلغت أعلى قيمة للإجهادات الناشئة $1200 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ عند درجة حرارة 1600°C وأخفض قيمة للإجهادات الناشئة كانت $1.7 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ عند درجة حرارة 20°C و نلاحظ أن قيمة الإجهادات زادت بشكل كبير بعد 400°C . تم اختيار المادة السادسة من النوع **ST235** وإدخال جميع المواصفات الميكانيكية و الكيميائية للمادة المذكورة على بيئة البرنامج CATIA V5 حيث يبين الشكل 14 الإجهادات الناشئة في الوصلة عند درجات حرارة مختلفة .



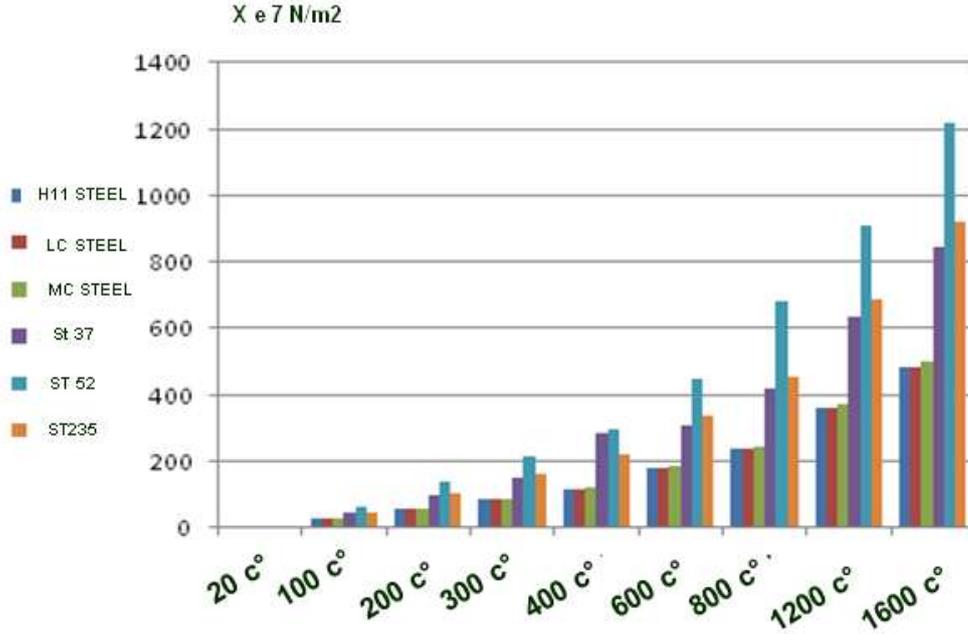
شكل 14: توزيع الإجهادات الناشئة في الوصلة عند درجات حرارة متزايدة للمادة ST235



الشكل 15: قيم الإجهادات الناشئة في الوصلة عند درجات حرارة متزايدة للمادة ST235

يبين الشكل 15 قيم الإجهادات الناشئة في الوصلة عند درجات حرارة متزايدة لمادة ST275 حيث بلغت أعلى قيمة للإجهادات الناشئة $910 \text{ e}^7 \text{ N/m}^2$ عند درجة حرارة 1600°C وأخفض قيمة للإجهادات الناشئة كانت $1.7 \text{ e}^7 \text{ N/m}^2$ عند درجة حرارة 20°C . نلاحظ أن قيمة الإجهادات زادت بشكل كبير بعد 400°C .

يبين الشكل 16 مقارنة بين قيم الإجهادات الناشئة في الوصلة عند درجات حرارة مختلفة للمواد المدروسة السابقة الذكر ويوضح الفرق بين كل حالة وأخرى ويمكن من المخطط أن نتوصل إلى سلسلة استنتاجات توضح أفضل المواد الواجب استخدامها وأقل المواد اجهادا عند تعرضها للحرارة ونسب الاداء الأفضل بين كل مادة وأخرى.



الشكل 16: قيم الإجهادات الناشئة في الوصلة عند درجات حرارة متزايدة للمواد المدروسة

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

- (a) أعلى قيم للإجهادات الناشئة في الوصلة كانت عند المادة **ST52** في حين أخفض قيم للإجهادات الناشئة في الوصلة كانت عند المادة **LC Steel**.
- (b) بأخذ المتوسط الحسابي لقيم الإجهادات الناشئة في الوصلة عند درجات حرارة مختلفة للمادتين السابقتين تبين أن اختيار مادة الصفيحة والعصب من المادة **LC Steel** خفض قيم الإجهادات الناشئة في الوصلة بنسبة 52.94%
- (c) تأثير درجات الحرارة على قيم الإجهادات الناشئة كان أوضح عند المواد **ST37**، **ST52** و **ST235** وتوزع الإجهادات الناشئة في الوصلة كانت متقارب بشكل واضح بين **LC Steel** و **H11Steel** حيث أن الفارق لا يتجاوز 0.5% في حين أن استخدام المادة **LC steel** خفض قيم الإجهادات الناشئة في الوصلة بنسبة 3% من استخدام مادة **MC Steel** وبنسبة 38.77% من استخدام مادة **ST37** وبنسبة 41.37% من استخدام مادة **ST235**.
- (d) قيم الإجهادات تزداد بشكل كبير جداً وبنسبة تصل إلى 94.5% بين درجة الحرارة 100 C° و درجة حرارة الوسط المحيط في حين تصل النسبة إلى 55.6% بين درجة الحرارة 100C° و 200C° بينما تتراوح الفروقات عند باقي درجات الحرارة بين 25% و 35% بين كل درجة والدرجة الأعلى منها.
- (e) بلغ تأثير الحرارة الإجمالي على قيم الإجهادات الناشئة في الوصلة في جميع الحالات السابقة 94.5% مقارنة بقيم الإجهادات عند درجة حرارة الوسط المحيط (تأثير القوى المطبقة على الوصلة بدون حرارة).

التوصيات:

- (a) نوصي بإجراء دراسة تجريبية لعدد من العينات ومقارنة النتائج التجريبية مع النتائج التحليلية التي تم الوصول إليها باستخدام طريقة العناصر المنتهية على برنامج CATIA V5

(b) نوصي اذا كان بالإمكان إجراء دراسة تحليلية مشابهة لهذه العينات على برامج هندسية اخرى مثل ANSYS او SIMULA للتأكد من وثوقيه النتائج التي تم الحصول عليها من برنامج CATIA V5

References:

- [1] SPYRO S. DAVISON J.B and PLANK R. J " Experimental and analytical investigation of the 'compression zone' component within a steel joint at elevated temperatures". "Journal of Constructional Steel Research 60 (2004) 841–865.
- [2]. BLOCK F M ., BURGESS I W. " The development of a component-based connection element for endplate connections in fire". Fire Safety Journal 42 (2007) 498–506
- [3] WANG W Y , LI G Q " Experimental study and spring-component modeling of extended end-plate joints in fire ". Journal of Constructional Steel Research 63 (2007) 1127–1137
- [4] MICHAL S ., KANG-HAI T . " Behavior of column web component of steel beam-to-column joints at elevated temperatures ", Journal of Constructional Steel Research 67 (2011) 1890–1899
- [5] ALDINA S , LUIS S. " FIRE DESIGN OF BOLTED STEEL BEAM-TO-COLUMN JOINTS" Journal Constructional Steel Research, (2015) (1169-1195).
- [6] CATIA. users' manual. Structure Design, User's Guide Version 5 (2014)