

## The Effect of Chemical Composition of Materials on the Values of Engineering Stresses Emerging in Metal Connections with Fire

Dr. Mouhanad Faez Nasra\*

(Received 5 / 2 / 2020. Accepted 3 / 6 / 2020)

### □ ABSTRACT □

In this research, the finite element theory has been applied to orthogonal joints consisting of a permissible and a column that were linked together by bolts and nuts, by relying on three-dimensional design programs, the most important of which was CATIA V5 in order to know the behavior of this type of joints at elevated temperatures in the event of fire or Heat source. This type of joint was chosen because it is used extensively in most metal installations. This research focuses on understanding the effect of the properties of materials from which the nerve and the plate can be chosen on the behavior of the connections used with increasing temperatures and determines the breakdown of each joint at each type of material proposed in this research. The materials were chosen from different mixtures and entered to the program interface accurately in order to calculate the resulting stresses in the link at each case accompanying each temperature starting from the ambient temperature of 20 ° C to 1600 ° C and all cases were compared with each other to know the differences in stress values Emerging and determining which materials have withstood and endured more, after installing all other parameters of the link so that the understanding of the effect of the plate and the nerve becomes clearer on the stress values. The IPE 240 studied connection is made up of eight screws with a diameter of 22 mm and a thickness of a plate of 15mm, with the presence of a reinforcement nerve with a thickness of 30mm and an angle of inclination of 50 °.

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

---

\* Researcher, Syria.

## تأثير التركيب الكيميائي للمواد على قيم الاجهادات الهندسية الناشئة في الوصلات المعدنية بوجود الحريق

د. مهند فائز نصره\*

(تاريخ الإيداع 5 / 2 / 2020. قُبِلَ للنشر في 3 / 6 / 2020)

### □ ملخص □

في هذا البحث تم تطبيق نظرية العناصر المنتهية على وصلات متعامدة مكونة من جائز وعمود تم ربطهما مع بعضهما بواسطة براغي وصواميل وذلك بالاعتماد على برامج التصميم ثلاثية الأبعاد والتي كان أهمها CATIA V5 بهدف معرفة سلوك هذا النوع من الوصلات عند درجات حرارة مرتفعة في حال تعرضها للحرائق أو المصدر الحراري. وتم اختيار هذا النوع من الوصلات كونه يستخدم بكثرة في معظم المنشآت المعدنية. يركز هذا البحث على فهم تأثير خواص المواد التي يمكن أن يتم اختيار العصب والصفيحة منها على سلوك الوصلات المستخدمة مع ارتفاع درجات حرارة ويحدد انهيار كل وصلة عند كل نوع من المواد المقترحة في هذا البحث. اختيرت المواد من خلاط مختلفة وإدخلت إلى واجهة البرنامج بدقة من أجل حساب الاجهادات الناشئة في الوصلة عند كل حالة من الحالات المرافقة لكل درجة حرارة ابتداء من درجة حرارة الوسط المحيط 20 درجة مئوية حتى 1600 درجة مئوية وتمت مقارنة جميع الحالات مع بعضها البعض لمعرفة الفروقات في قيم الاجهاد الناشئة وتحديد أي المواد صمدت وتحملت أكثر وذلك بعد تثبيت كافة البارامترات الأخرى للوصلة كي يصبح فهم تأثير الصفيحة والعصب أوضح على قيم الاجهادات. الوصلة المدروسة من النوع IPE 240 مكونة من ثمانية براغي بقطر 22mm وسماكة صفيحة 15mm وبوجود عصبي تقوية بسماكة 30mm و زاوية ميلان 50°.

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

\* باحث، سورية.

**مقدمة:**

تعتبر عملية تثبيت العوارض مع بعضها البعض بواسطة البراغي عند تركيب المنشآت وتجميعها من أكثر الطرق انتشارا في العالم وخاصة بعد أن أثبتت التجارب وجود معوقات في عملية ربطها بواسطة اللحام ولا سيما صعوبة ائصال معدات اللحام الى الطوابق العالية مثلا أو ماشابه من ظروف أخرى وكذلك وجود عيوب في البنية البلورية للمواد نتيجة لتعرض مناطق الوصل إلى درجات حرارة مرتفعة أثناء عملية اللحام تتسبب بإبقاء عيوب داخلية ستكون بداية للتشققات والانهييار الذي قد يكون كارثة في بعض الحالات. وتعتبر الوصلات التي تعتمد على البراغي في التثبيت كوصلات مقاومة للعزم، وياتت تستخدم كبديل للصفائح الملحومة كليا المستخدمة في الإطارات والجسور المعدنية، تتكون هذه الوصلات عموما من صفيحة ملحومة على نهاية العارضة ومثبتة ببراغي على العارضة الأخرى التي تسمى بالعمود. ومما لاشك فيه فإن السلوك الميكانيكي والحرائق لهذه الوصلات يؤثر بشكل مباشر على الاجهادات والقوى الداخلية الناشئة والتشوه الكلي للبنية.

أبحاث عديدة تم إجراؤها بالطرق التحليلية والتجريبية على الوصلات ذات الصفائح والبراغي وذلك لتحديد طرق وآليات فهم أعمق يمكن أن تسهم في التنبؤ السلوكي للوصلات في حال تعرضها للحريق والتوجه الأساسي لهذه الأبحاث يهدف للوصول إلى مخططات العزم - دوران ودرجات الحرارة لأنواع مختلفة من الوصلات حيث قام الباحث S. Spyrou وآخرون في عام 2004 بإجراء تجارب مهمة على الوصلات حيث أخضع العينات للاختبارات التجريبية والتحليلية بهدف التحقق والتدقيق في سلوك وصلات المنشآت المعدنية عند درجات حرارة مرتفعة وقام بدراسة نماذج متعددة للوصلات المعدنية على الحريق وحدد نمط الفشل لكل نموذج على حدى وقام بعد العملية التحليلية للنماذج بالتحقق منها تجريبيا وقارن بين المخططات التي حصل عليها من الدراسة الرياضية مع المخططات التجريبية وتمكن من استنتاج موديل رياضي يوضح سلوك هذه الوصلات عند درجات الحرارة المرتفعة. [1]

الباحث Block و آخرون قدموا دراسة مهمة لسلوك الوصلات على الحريق حيث قاموا بداية باشتقاق مصفوفة الصلابة معتمدا على نموذج النابض وادخل النتيجة بنموذج العناصر المنتهية غير الخطية لطريقة فولكان حيث يساعد هذا النموذج بالتنبؤ بمخططات العزم دوران للوصلات المعدنية عند درجات الحرارة المرتفعة. [2]

الباحث J. Ding قام بعرض النتائج التجريبية لسلوك الوصلات من نوع جائر-عمود المستخدمة في المنشآت المعدنية تحت تأثير الحريق وقام بعدة اختبارات وتم في كل اختبار تطبيق القوى و الأحمال وتعرض المنشأة لظروف حريق قياسية واستنتج أن الوصلات المستخدمة في الدراسة جعلت الجائر أكثر فاعلية في التحمل والوقت والحرارة اللازمة للفشل أعلى بكثير من تلك التي تم الحصول عليها في حالة الاتحناء الصافي [3]

قدم الباحث Michal Strejček و آخرون دراسة تجريبية لسلوك وصلة جائر وعمود مثبتين بالبراغي على الحريق بغرض التحقق من نتائج الموديل الرياضي حيث بينت النتائج تدهور في خصائص المواد والحصول على قوة محورية عالية عند درجات الحرارة العالية وهذا بدوره أثر بشكل كبير على استجابة العزم - دوران لهذه الوصلات كما يبدو جليا في المخططات التي تم الحصول عليها من التجارب. [4]

قدمت الباحثة ALDINA S و آخرون نموذج رياضي للتنبؤ بسلوك الوصلات المعدنية على الحريق وصولا للفشل وبينت المراحل التي تمر بها هذه الوصلات عند درجات الحرارة المرتفعة وتشمل المنهجية التي قدمتها الباحثة دراسة تأثير تغير الحرارة العابرة الناتجة عن الحريق على الزمن وكيف يؤثر ذلك على تغيير القوى المطبقة على الوصلات

وتعطي هذه المنهجية ارشادات و توجيهات لأخذها بعين الاعتبار عند تصميم الوصلات المعدنية وخصوصا عند درجات الحرارة المرتفعة.[5]

قام الباحث F.A.Simões بتطبيق كودات التصميم لمقاومة الحريق للمنشآت على عنصر مفرد يخضع لظروف الحريق القياسية ويقدم البحث تقريراً عن مشروع بحثي تعاوني ( الشد ومتانة الوصلات الفولاذية في المنشآت المعدنية تحت ظروف النار الحقيقية) بين الجامعات مختلفة يتضمن برنامج تجريبي للتحقق من سلوك منشأة معدنية كاملة مؤلفة من ثمانية طوابق تحت ظروف الحريق ضمن نطاق واسع وتهدف إلى فحص تطور درجة الحرارة في مختلف العناصر الإنشائية لهذه المنشأة والتوزع الديناميكي للقوى فيها وسلوك كل من الصفائح و الجوائز والأعمدة[6].

### أهمية البحث وأهدافه:

إن الهدف الاساسي من هذا البحث دراسة تأثير مادة العصب والصفيحة على السلوك والمتانة للوصلات المكونة من جائز-عمود والمثبتة بواسطة براغي ودراسة سلوك الانهيار لهذه المواد عبراختيار مادة الصفيحة والعصب من عدة مواد و خلائط مختلفة تحتوي على عناصر كيميائية مختلفة وبالتالي تقديم فهم أكبر لتأثير تركيب العناصر على مقاومة المواد المختارة أثناء تعرضها لدرجات حرارة مختلفة وإمكانية التنبؤ بسلوك الوصلات التي يتم ربطها بواسطة الصفيحة والعصب بعد تثبيت كافة البارامترات الأخرى للوصلة كي يصبح فهم تأثير الصفيحة والعصب أوضح على قيم الإجهادات الناشئة حيث أن عوامل عديدة قد تؤدي إلى سلوك مختلف لهذه الوصلات منها الإجهادات المركبة و الحمل الحراري والتشوهات الناجمة عن عمليات التنقيب إلخ.

### طرائق البحث ومواده:

يعتمد هذا البحث على المنهجية العلمية الحاسوبية باستخدام النمذجة والمحاكاة من خلال رسم وتصميم الوصلات المدروسة والتي ستخضع للاختبار على برنامج CATIA V5 ثم اجراء عملية التحليل المناسبة بعد اختيار الشبكات الفراغية الملائمة لكل منطقة من مناطق الوصلة واختيار الشبكات الأنعم في المناطق التي تتركز بها للإجهادات حرصا على دقة النتائج وتبدأ الشبكة بالخشونة كلما ابتعدنا عن منطقة تركيز الاجهادات ومن ثم تحليل نتائج التي حصلنا عليها لكل حالة ومحاكاة تعرض هذه الوصلات للإجهاد والحرارة وصولا الى الأداء الافضل للوصلة ذات المادة الأفضل بعد مقارنة جميع الحالات بعضها البعض.

تمت دراسة عينات مكونة من صفيحة تصل بين الجائز والعمود بواسطة ثمانية براغي واختيرت مادة الصفيحة والعصب من عدة مواد و خلائط مختلفة وتم حساب 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.

## النتائج والمناقشة:

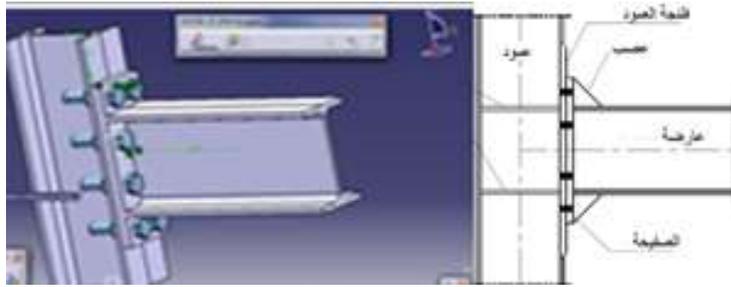
### 1. نموذج العناصر المنتهية ثلاثي الأبعاد

في هذه المقالة تم العمل على تطوير نموذج عناصر منتهية ثلاثي الأبعاد تم تصميمه بشكل يحاكي الوصلات المنتشرة بكثرة في المنشآت المعدنية عن طريق محاكاة اتصال الصفيحة بالعمود بواسطة الصفيحة والبراغي. لقد تم بناء النموذج على برنامج CATIA V5 [7] لمحاكاة وصلات الصفائح المثبتة ببراعي تحت تأثير الأحمال الحرارية والجدول رقم 1 يبين مواصفات الجائز والعمود.

الجدول 1 : مواصفات الجائز والعمود

سماكة الصفيحة mm	عرض الصفيحة mm	أبعاد المقطع mm	
12	200	240	الجائز
12	250	240	العمود

جميع القطع رسمت في البيئة التثائية و البيئة الثلاثية الأبعاد كما في الشكل رقم 1

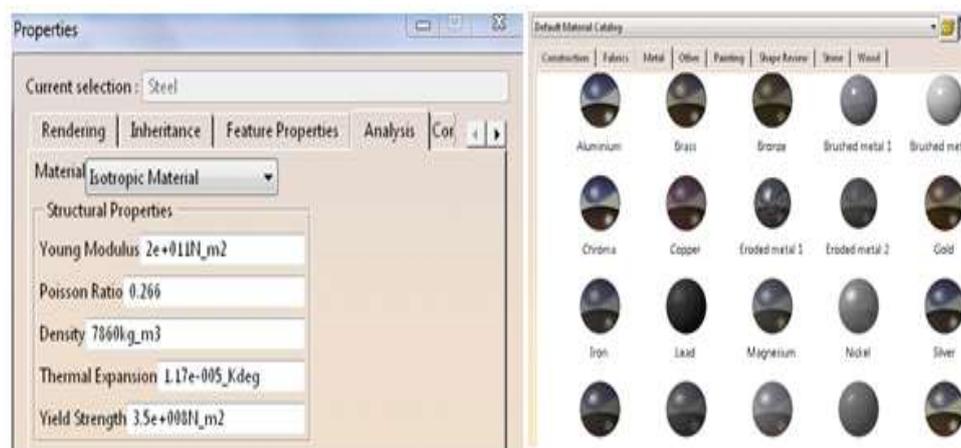


الشكل 1 : شكل النموذج المدروس

بعد رسم و تصميم النموذج الثلاثي الابعاد تم ادخال المواصفات الميكانيكية لمادة كل قطعة من القطع المكونة للوصلة من قائمة Apply Material كما 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

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



الشكل 2 كيفية اختيار مادة القطع الهندسية ومواصفاتها الميكانيكية

تم اختيار مادة الصفيحة والعصب من عدة مواد و خلائط مختلفة وحسبت 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 وذلك بعد تثبيت كافة البارامترات الأخرى للوصلة كي يصبح فهم تأثير الصفيحة والعصب أوضح على قيم الإجهادات كما ذكرنا سابقاً، 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 المواد التي تم دراستها و البالغ عددها ست مواد.

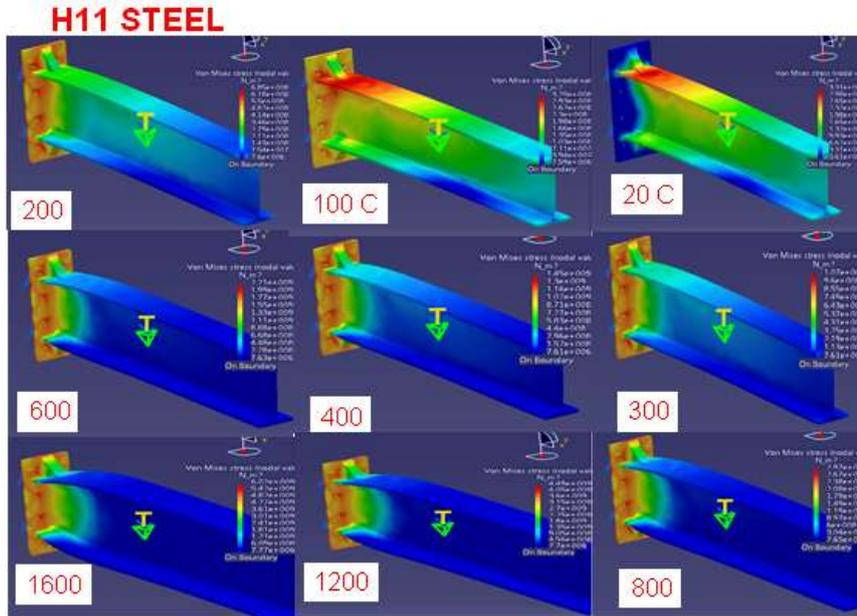
الجدول 3: المواصفات الميكانيكية لمادة الصفيحة والعصب في الوصلة المدروسة

نوع المادة	معامل يونغ Gpa	حد الخضوع Mpa
H11Steel	195	475
LC Steel	194	359
MC Steel	200	300
ST 10	315	217
ST 45	460	330
ST 20	356	198

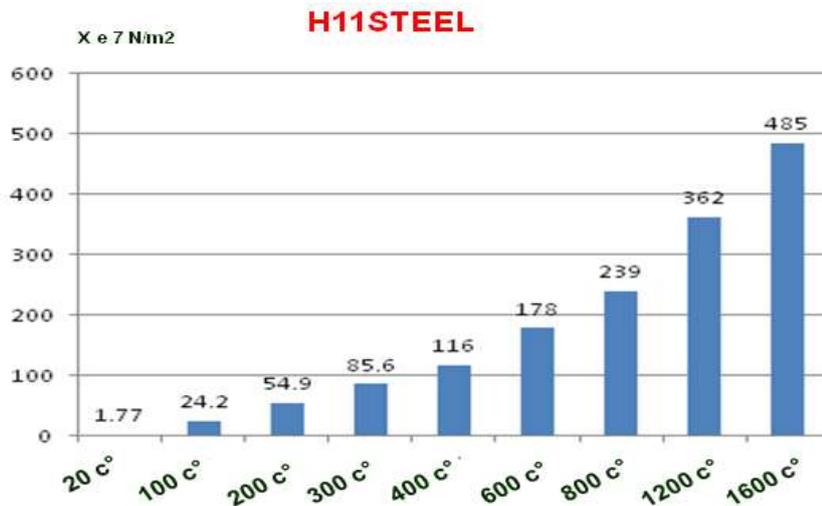
## 2- نمذجة ومحاكاة الوصلة المدروسة وفق المواد المختارة

تمت نمذجة الوصلة المدروسة على برنامج CATIA V5 و تم توليد شبكة العناصر المنتهية وفق كل حالة من الحالات السابقة و طبقت الحملات الحرارية باستخدام تعليمة Temperaturefield اعتباراً من درجة حرارة الوسط 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.

تم اختيار المادة الأولى التي كانت من النوع **H11Steel** وإدخال جميع المواصفات الميكانيكية والكيميائية للمادة المذكورة على بيئة البرنامج CATIA V5. تبين الاشكال 4 و5 و6 و7 و8 و9 الإجهادات الناشئة في الوصلة عند درجات حرارة مختلفة متزايدة [8].

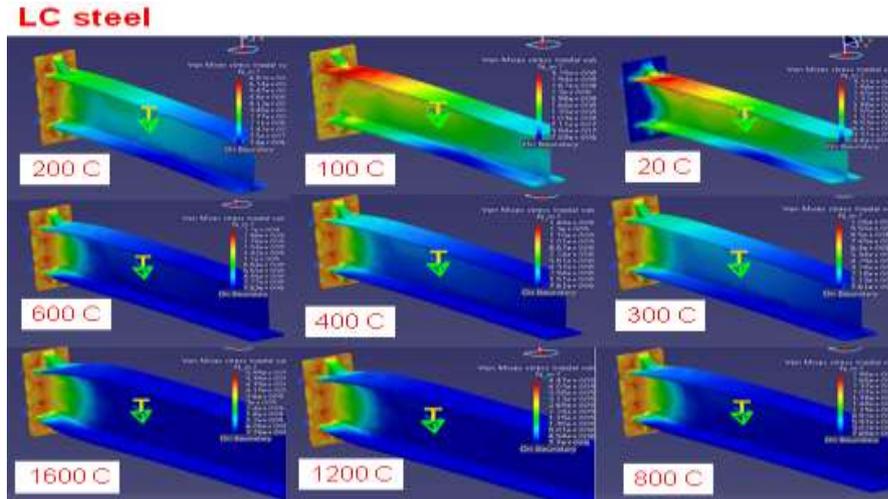


الشكل 4: توزيع الإجهادات الناشئة في الوصلة عند درجات حرارة متزايدة للمادة H11Steel

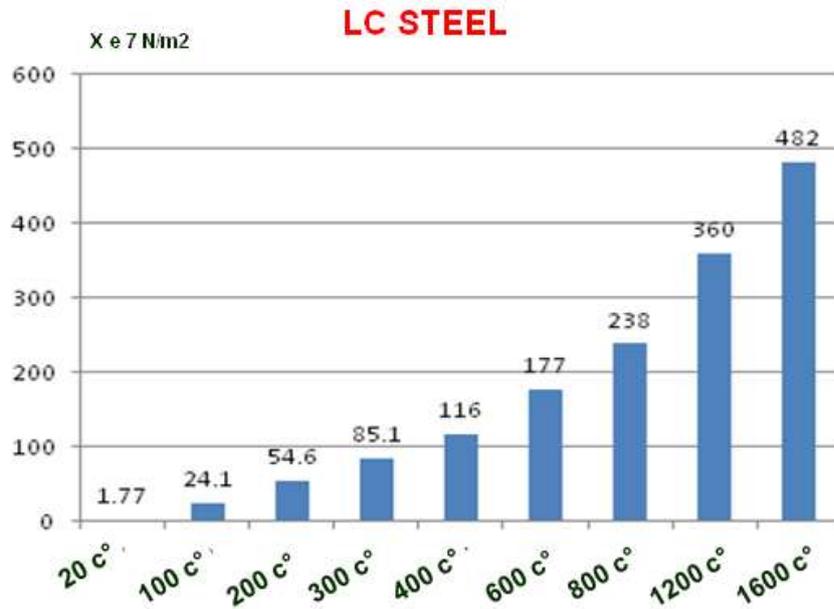


الشكل 5: قيم الإجهادات الناشئة في الوصلة عند درجات حرارة متزايدة للمادة H11 Steel

يبين الشكل 5 قيم الإجهادات الناشئة في الوصلة عند درجات حرارة متزايدة لمادة من نوع **H11 Steel** حيث بلغت أعلى قيمة للإجهادات الناشئة  $485e7 \text{ N/m}^2$  عند درجة حرارة  $1600\text{C}^\circ$  وانخفضت قيمة للإجهادات الناشئة كانت  $1.77 e 7 \text{ N/m}^2$  عند درجة حرارة  $20\text{C}^\circ$  ويلاحظ أن قيمة الإجهادات زادت بشكل كبير بعد  $800 \text{C}^\circ$ . تم اختيار المادة الثانية من النوع **LC Steel** وإدخال جميع المواصفات الميكانيكية والكيميائية للمادة المذكورة على بيئة البرنامج CATIA V5 حيث يبين الشكل 6 الإجهادات الناشئة في الوصلة عند درجات حرارة مختلفة متزايدة.



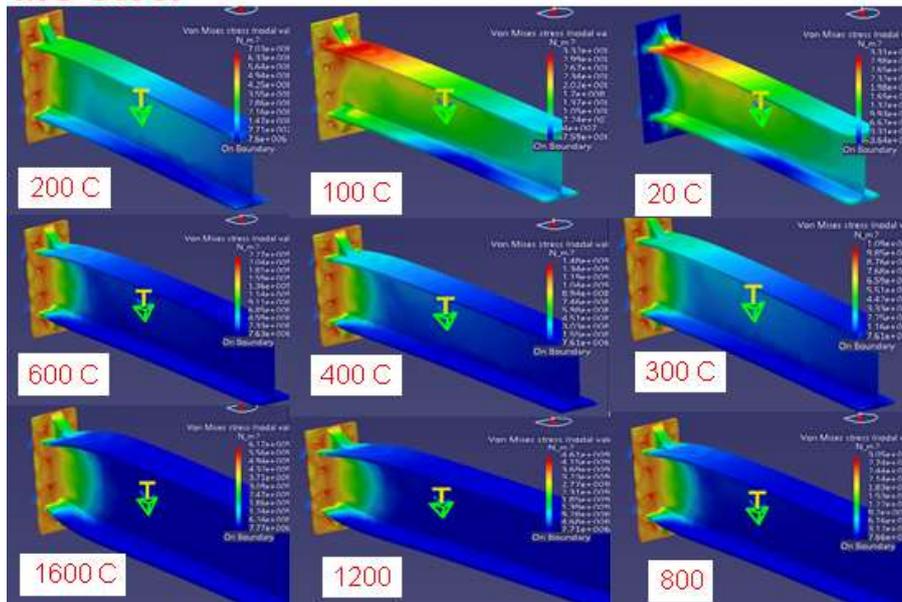
الشكل 6: توزيع الإجهادات الناشئة في الوصلة عند درجات حرارة متزايدة للمادة LC Steel



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

يبين الشكل 7 قيم الإجهادات الناشئة في الوصلة عند درجات حرارة متزايدة لمادة من نوع LC Steel حيث بلغت أعلى قيمة للإجهادات الناشئة  $482 \times 10^7 \text{ N/m}^2$  عند درجة حرارة  $1600^\circ\text{C}$  وخفض قيمة للإجهادات الناشئة كانت  $1.77 \times 10^7 \text{ N/m}^2$  عند درجة حرارة  $20^\circ\text{C}$ . نلاحظ أن قيمة الإجهادات زادت بشكل كبير بعد  $800^\circ\text{C}$ . 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

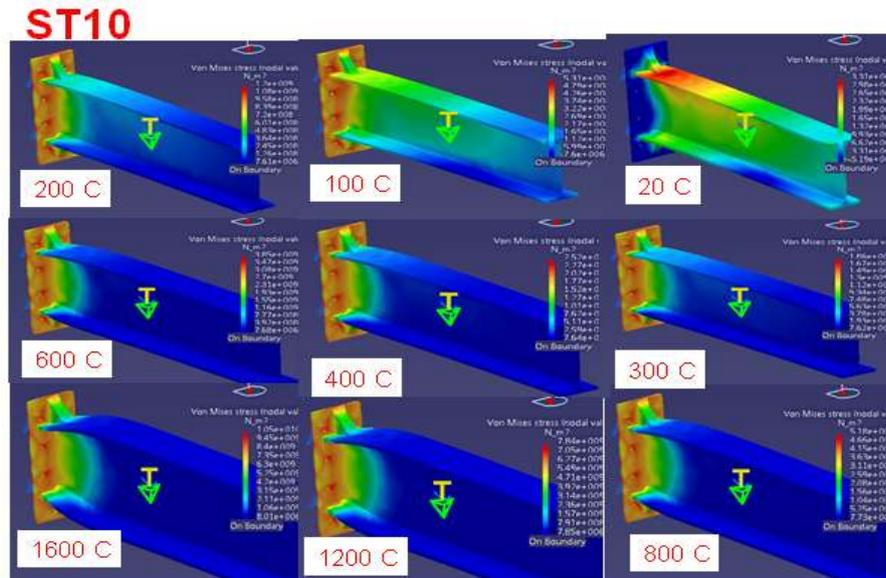


الشكل 8: توزيع الإجهادات الناشئة في الوصلة عند درجات حرارة متزايدة للمادة MC Steel

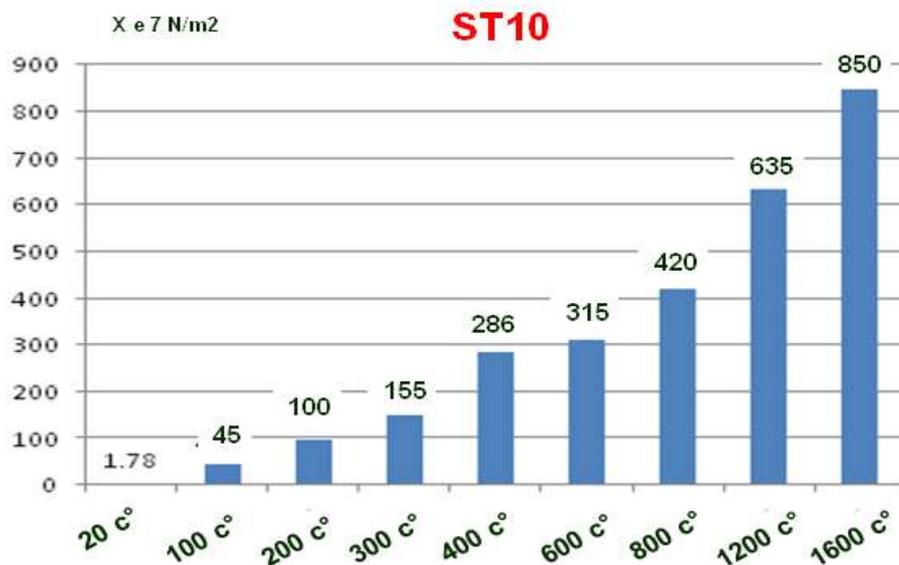


الشكل 9: قيم الإجهادات الناشئة في الوصلة عند درجات حرارة متزايدة للمادة MC Steel

يبين الشكل 9 قيم الإجهادات في الوصلة عند درجات حرارة متزايدة لمادة MC Steel حيث بلغت أعلى قيمة للإجهادات الناشئة  $497 \times 10^7 \text{ N/m}^2$  عند درجة حرارة  $1600^\circ\text{C}$  وانخفضت قيمة للإجهادات الناشئة كانت  $1.77 \times 10^7 \text{ N/m}^2$  عند درجة حرارة  $20^\circ\text{C}$ . نلاحظ أن قيمة الإجهادات زادت بشكل كبير بعد  $800^\circ\text{C}$ . المادة الرابعة كانت من النوع ST10 وإدخال جميع المواصفات الميكانيكية والكيميائية للمادة المذكورة على بيئة البرنامج CATIA V5 وبين الشكل 10 الإجهادات الناشئة في الوصلة عند درجات حرارة مختلفة متزايدة.

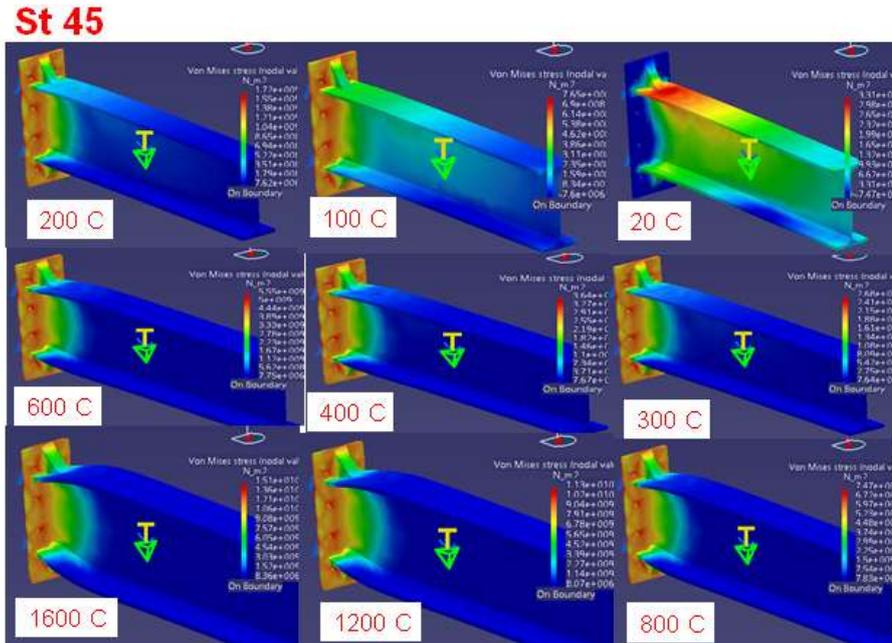


الشكل 10: توزيع الإجهادات الناشئة في الوصلة عند درجات حرارة متزايدة للمادة ST10



الشكل 11: قيم الإجهادات الناشئة في الوصلة عند درجات حرارة متزايدة للمادة ST10

يبين الشكل 11 قيم الإجهادات في الوصلة عند درجات حرارة متزايدة لمادة ST10 حيث بلغت أعلى قيمة للإجهادات الناشئة  $850 \times 10^7 \text{ N/m}^2$  عند درجة حرارة  $1600^\circ\text{C}$  وانخفض قيمة للإجهادات الناشئة كانت  $1.7 \times 10^7 \text{ N/m}^2$  عند درجة حرارة  $20^\circ\text{C}$ ، نلاحظ أن قيمة الإجهادات زادت بشكل كبير بعد  $800^\circ\text{C}$ . المادة الخامسة كانت من النوع ST45 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 .

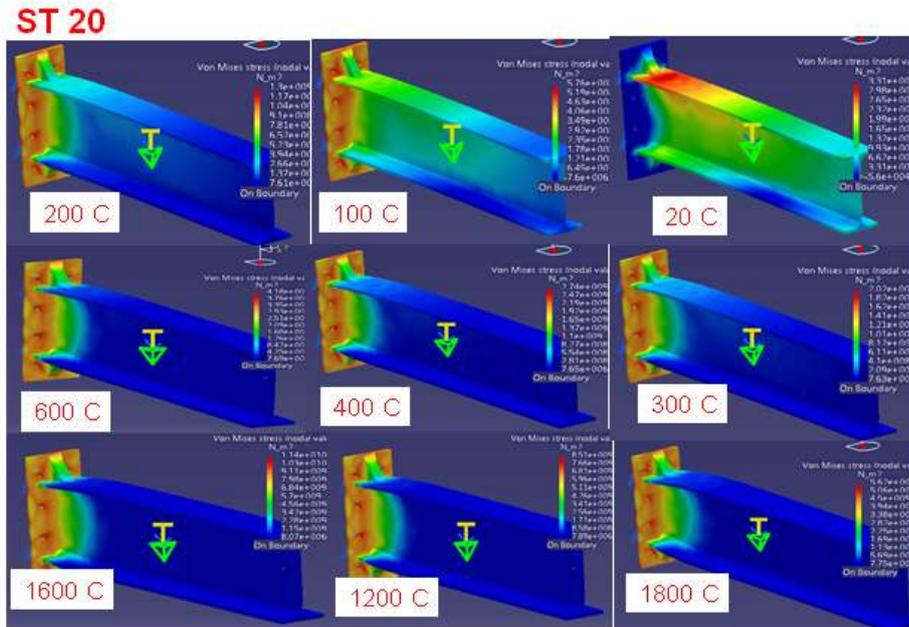


شكل 12: توزيع الإجهادات الناشئة في الوصلة عند درجات حرارة متزايدة للمادة ST45

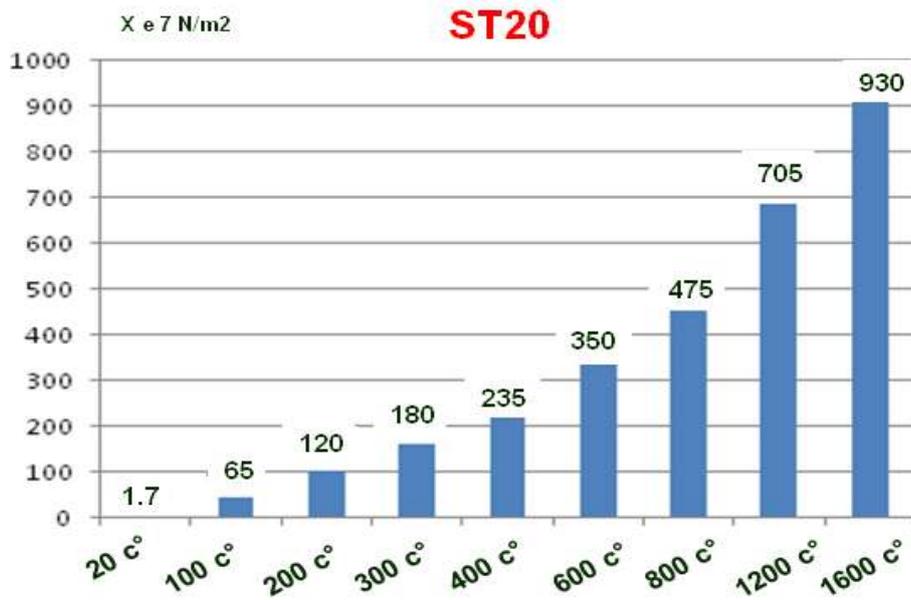


الشكل 13: قيم الإجهادات الناشئة في الوصلة عند درجات حرارة متزايدة للمادة ST45

يبين الشكل 13 قيم الإجهادات الناشئة في الوصلة عند درجات حرارة متزايدة للمادة ST45 حيث بلغت أعلى قيمة للإجهادات الناشئة  $1220 \times 10^7 \text{ N/m}^2$  عند درجة حرارة  $1600^\circ\text{C}$  وأخفض قيمة للإجهادات الناشئة كانت  $1.7 \times 10^7 \text{ N/m}^2$  عند درجة حرارة  $20^\circ\text{C}$  و نلاحظ أن قيمة الإجهادات زادت بشكل كبير بعد  $400^\circ\text{C}$ . تم اختيار المادة السادسة من النوع ST20 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 .

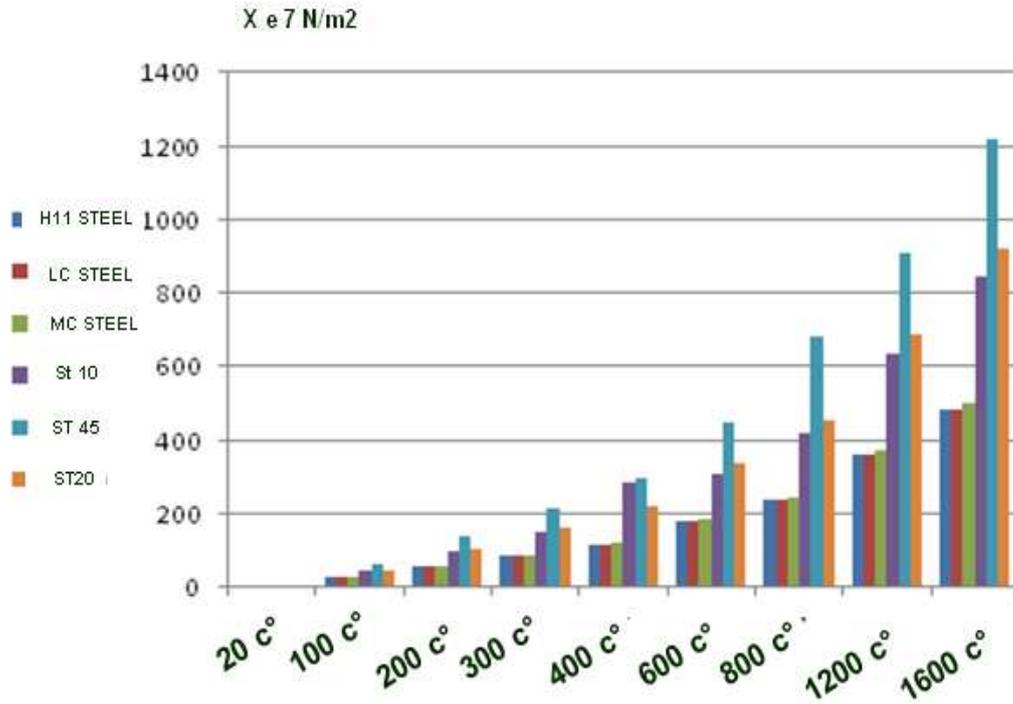


شكل 14: توزيع الإجهادات الناشئة في الوصلة عند درجات حرارة متزايدة للمادة ST20



الشكل 15: قيم الإجهادات الناشئة في الوصلة عند درجات حرارة متزايدة للمادة ST20

يبين الشكل 15 قيم الإجهادات الناشئة في الوصلة عند درجات حرارة متزايدة لمادة ST20 حيث بلغت أعلى قيمة للإجهادات الناشئة  $930 \times 10^7 \text{ N/m}^2$  عند درجة حرارة  $1600^\circ\text{C}$  وأخفض قيمة للإجهادات الناشئة كانت  $1.7 \times 10^7 \text{ N/m}^2$  عند درجة حرارة  $20^\circ\text{C}$ . نلاحظ أن قيمة الإجهادات زادت بشكل كبير بعد  $400^\circ\text{C}$ .



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

## الاستنتاجات والتوصيات:

### الاستنتاجات:

من الشكل 16 والذي يوضح مقارنة بين قيم الإجهادات الناشئة في الوصلة عند درجات حرارة مختلفة وللمواد المدروسة السابقة الذكر نستنتج:

✓ أعلى قيم للإجهادات الناشئة في الوصلة كانت عند المادة **ST45** في حين أخفض قيم للإجهادات الناشئة في الوصلة كانت عند المادة **LC Steel**.

✓ 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 60.49%.

✓ تأثير درجات الحرارة على قيم الإجهادات الناشئة كان أوضح عند المواد **ST10** ، **ST45** و **ST20**.

✓ توزع الإجهادات الناشئة في الوصلة كانت متقارب بشكل واضح بين **H11Steel** و **LC Steel** 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 43.29% من استخدام مادة **ST10** وبنسبة 17.48% من استخدام مادة **ST20**.

✓ قيم الإجهادات تزداد بشكل كبير جداً وبنسبة تصل إلى 95.2% بين درجة الحرارة 100 C° و درجة حرارة الوسط المحيط في حين تصل النسبة إلى 55.7% بين درجة الحرارة 100C° و 200C° بينما تتراوح الفروقات عند باقي درجات الحرارة بين 27% و 39% بين كل درجة والدرجة الأعلى منها أي أن المجال من 0 إلى 100C° .

- ✓ بلغ تأثير الحرارة الإجمالي على قيم الإجهادات الناشئة في الوصلة في جميع الحالات السابقة %99.4 مقارنة بقيم الإجهادات عند درجة حرارة الوسط المحيط (تأثير القوى المطبقة على الوصلة بدون حرارة).  
التوصيات:
- ✓ 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.
- ✓ نوصي إذا كان بالإمكان إجراء دراسة تحليلية مشابهة لهذه العينات على برامج هندسية أخرى مثل ANSYS او SIMULA.

## 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]J. Ding; Y.C. Wang; Experimental study of structural fire behaviour of steel beam to concrete filled tubular column assemblies with different types of joints
- [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]F.A.Simões da Silva;L.b. Moore; D.B.C. Lennon;*Experimental Behaviour Of A Steel Structure Under Natural Fire*Wald. T.C Department of Steel Structures, Slovak Technical University, Slovak Republic 2001
- [7] CATIA. users' manual. Structure Design, User's Guide Version 5 (2014)
- [8] NASRA..M.,(2019).-"Studying and evaluation the reasons of failure of joints in metal structures and finding solutions to them".,Tishreen University,., Syria,.,150p.