تأثير درجة حرارة التخمير على قابلية التشكيل لصفيحة من صلب منخفض الكربون

احمد سعدون عبد العزيز
مدرس مساعد

جامعة الموصل- كلية الهندسة- قسم الهندسة الميكانيكية

الخلاصة

يتضمن هذا البحث دراسة عملية حول تأثير كل من الظروف المختلفة لعملية التخمير المسبق وكذلك عدد مراحل الكبس المستخدمة على قابلية التشكيل(الكبس) لصفيحة من صلب منخفض الكربون ذات سمك (1) ملم وذلك بسبب الاستخدامات الصناعية الشائعة لهذا النوع من الصلب في عمليات التشكيل المختلفة ومنها عملية الكبس البارد.أجريت عملية التخمير المسبق على نماذج محددة الأبعاد وأجريت مجموعة من الاختبارات عليها فلوحظ من خلال النتائج العملية حصول ازدياد في المطيلية للنماذج بسبب التخمير المسبق ، وان أفضل قابلية للكبس البارد للصفيحة تحققت عند درجة حرارة تخمير مقدارها (550)°م وبفترة زمنية للإبقاء مقدارها(12) دقيقة كما لوحظ أيضا أن إجراء الكبس البارد على مرحلتين يتخللها إجراء التخمير بالظروف أنفة الذكر يعطي قابلية كبس أفضل مقارنة باجراءه على مرحلة واحدة فقط.

"Effect of annealing temperature on the formability of low carbon steel sheet"

Ahmed S.Abdulaziz
Ass.Lecturer
Mosul University-college of engg.-Mech.Dept.

Abstract

This research include a practical study on the effect of pre-annealing in different conditions and the number of forming steps on the formability of low carbon steel sheet of thickness(10)mm which is widely used due to popular industrial uses especially in the cold pressing processes. A particular specimens were annealed at different temperatures then a set of tests were applied on these specimen. It was noticed that the annealing improve the ductility of the specimens especially the temperature that equal to 550°C with (12) minute soaking time which gave the best ability of cold pressing for the specimen . Also it was found that use of two steps of cold pressing with annealing between improve the formability of the specimen as compared with the single step of cold pressing.

Key words :annealing , steel , forming , cold pressing , ductility.

Introduction مقدمة:

إن عمليات التشكيل على البارد كالدرفلة والسحب والكبس تجرى عادة على المعادن والسبائك التي سبق لها وان شكلت على الساخن ،وعادة ما تمثل المرحلة النهائية للإنتاج ويمكن أن يتمثل تأثير التشكيل على البارد في تشويه الحبيبات وجعلها تأخذ شكلا طوليا في اتجاه الانفعال الرئيسي فتقل المطيلية وتزداد الصلادة وبالتالي حدوث ما يسمى بالتصلد الانفعالي[1] ومن عمليات التشكيل التي تجرى للصلب منخفض الكربون الكبس البارد[2] .إن التشكيل على البارد يزيد من كثافة الانخلاعات كما يقلل من قابليتها على الحركة وهذا يعني وجود حاجة إلى تسليط اجهادات أعلى لإحداث خضوع للمعدن وهذه تعتبر من المعضلات الرئيسة في عمليات تشكيل المعادن على البارد مثل سحب الأسلاك حيث عند تقليل قطر السلك إلى حد يؤدي معه الاستمرار بأجراء السحب إلى حصول فشل (كسر) والذي يمكن تلافيه بإدخال عملية التخمير بين مراحل التشكيل أي ما يسمى (inter pass anneal) والتي تسمح باستعادة الخواص وخاصة المطيلية [3] ويمكن التعبير عن قابلية المعدن للتصلد الانفعالي رياضياً بما يسمى بمعامل التصلد الانفعالي الذي له أهمية كبيرة في عمليات تشكيل المعادن حيث يعطي تصور واضح عن سلوك المعدن في منطقة التشويه المنتظم وهي المنطقة المحددة بين نقطة الخضوع ومقاومة الشد القصوى وذلك من خلال المعادلة التالية التي تعبر في العديد من المعادن عن منطقة التشويه المنتظم في منحني الإجهاد الحقيقي-الانفعال الحقيقي.

$$\sigma = k\,\varepsilon^{n} \qquad \ldots\ldots(1)$$

حيث أن:

σ : الإجهاد الحقيقي

ε : الانفعال الحقيقي

k : معامل المقاومة(strength coefficient)

n : معامل التصلد الانفعالي [4]

وتتراوح قيمة هذا المعامل للصلب ما بين (0.5-0.2) وحسب نوع الصلب [5].ولأجل الاستمرار بإجراء التشكيل على البارد كعملية الكبس البارد للصفائح فأن تليين المعدن يصبح أمرا هاما وضروريا ويتم ذلك بأجراء عملية التخمير حيث تحدث في أثناء هذه العملية تغييرات في بنية المعدن ففي درجات الحرارة المنخفضة نسبيا تتم إزالة الاجهادات المتخلفة والمتولدة نتيجة التشكيل البارد مع حدوث تغير طفيف في الصلادة [1]، يعقبها حدوث إعادة تبلور والتي تحدث عادة بدرجات حرارة تقدر بنسبة (40%) من درجة الانصهار [2] فتحل حبيبات جديدة محل الحبيبات المشوهة ويحدث تليين للمعدن، ثم تبدأ الحبيبات الجديدة بالنمو (النمو الحبيبي) وذلك بارتفاع درجة حرارة التخمير[1].وفي بعض الدراسات والبحوث السابقة اذكر أن الباحث [6] استخدم حسابات نظرية بطريقة العناصر المنتهية(FEM) لحساب قيم كل من الإجهاد الحقيقي والانفعال الحقيقي ولعينات من معادن مختلفة أما الباحث[4] فقد درس تأثير قيمة معامل التصلد الانفعالي على قابلية التشكيل للصفائح المعدنية حيث استنتج من خلال نتائجه العملية انه كلما ازدادت قيمة المعامل كلما تحسنت استطالة النموذج المعدني، الباحث[8] انصب بحثه على دراسة تأثير التسخين المسبق لمعادن مسبوكة على الخواص الميكانيكية وعلى قابلية التشكيل لصفيحة معدنية فوجد أن معامل التصلد الانفعالي ومعدل الانفعال التصلدي يعتبران السائدان والشائعان وفي الدرجات الواطئة كما لاحظ أن قيمة معامل التصلد الانفعالي تزداد بازدياد درجة حرارة التخمير فتتحسن قابلية التشكيل تبعا لذلك.أما تأثير سمك الصفيحة فقد تم دراسته من قبل الباحث [10] حيث اختار صفيحة صلب نوع (IFSteel) وبأسماك متعددة (0.6,0.9,1.2&1.6) ملم واستنتج من النتائج العملية أن هذا النوع من الصلب يمتلك قابلية جيدة للتشكيل والصفيحة ذات السمك الاكبر(1.6) ملم هي الأفضل في التشكيل من بقية الصفائح. المؤلف[11] تطرق أيضا إلى أهمية معامل التصلد الانفعالي وتأثيره البالغ على قابلية التشكيل للصفيحة المعدنية وبين أن المعادن ذات الشبكة الفراغية من نوع السداسي المكتظ (HCP) تمتلك معامل واطئ لكنه يرتفع للمعادن من نوع المكعب متمركز الجسم (BCC)وبصورة خاصة للمعادن من نوع متمركز الوجه (FCC) ، وأن المعادن التي تمتلك معامل تصلد انفعالي واطئ القيمة لها استجابة ضعيفة للتشكيل على البارد كما اهتم المؤلف بدراسة العلاقة بين التركيب ألمجهري وبين اجهادات التشكيل المتخلفة حيث بين أن الحبيبات تستطيل باتجاه التشكيل وحسب نسبة التشكيل المنجزة. وفي هذا البحث تم دراسة تأثير المعاملات الحرارية (التخمير) وتأثيرها على قابلية التشكيل أو الكبس للصفائح المعدنية وبالأخص لصفيحة من نوع صلب منخفض الكربون بسمك(1) ملم من خلال إجراء تجارب عملية لنماذج مخمرة بظروف تخمير مختلفة كما تم دراسة تأثير عدد مراحل الكبس على قيمة عمق التكور الناتج وذلك لإكمال ومواكبة الجهود المنصبة ولتحقيق التكامل العلمي في هذا المجال .

المواد وطرق العمل: Materials And Experimental Work

تم تقسيم الجزء العملي إلى عدة مراحل وكالاتي:

1-تهيئة المادة الخام:اختيرت صفيحة من صلب منخفض الكربون (غير مغلون) وبسمك(1)ملم تم شراؤها من الأسواق المحلية وذلك لأجل تصنيع نماذج البحث وفحصت الخواص الميكانيكية للصفيحة وتعذر إجراء فحص التحليل الكيماوي لها لعدم توفره.

2-تهيئة النماذج:وهي على نوعين هما نماذج فحص الشد والمصنعة حسب المواصفة (ASTM 370A)ونماذج اختبار الكبس البارد وهي مربعة الشكل أبعادها(100)مم لكل جانب لتلاءم القالب المستخدم للكبس ثم صنفت النماذج إلى مجاميع لأجل إجراء المراحل اللاحقة من البحث وهي المعاملات الحرارية والاختبارات ودراسة خصائص كل مجموعة على حدة ،الجدول(1) يبين الأسلوب المتبع في تصنيف نماذج البحث.

3-المعاملات الحرارية:اختير مدى من درجات الحرارة يتراوح ما بين (500°م و 650°م) وذلك بالاعتماد أصلا على درجة حرارة إعادة التبلور للصلب[2] وذلك لانجاز عملية التخمير للنماذج وباستخدام فرن كهربائي نوع (electric muffle furnace).الجدول(1) يبين أسلوب التخمير المتبع.

جدول(1): تصنيف وأسلوب التعامل الحراري المتبع لمجاميع النماذج

رمز النموذج	درجة حرارة التخمير/°م	فترة الإبقاء/دقيقة
A	As received	------
B	550	12
C	600	12
D	650	12

4-فحص الشد: اجري فحص الشد باستخدام جهاز الشد نوع (wolpert) وذلك لتحديد الخواص الميكانيكية لكل مجموعة من النماذج حيث يتم تثبيت النموذج بشكل عمودي بين الفكوك المسطحة ثم يسلط الحمل من خلال صمام هيدروليكي وتدون بعدها القراءات بين الحمل المسلط والاستطالة الحاصلة للنموذج وحتى حصول الكسر فيتم إيقاف الجهاز واستخراج النموذج من الفكوك وتعاد العملية لكل نموذج.

5-فحص الصلادة:اجري الفحص لجميع النماذج وذلك للاستدلال على التغير الحاصل للخواص للنماذج وباستخدام جهاز نوع (universal brooks inspection equipment) وبأسلوب روكويل(HRF) والمستخدم عادة لفحص الصلادة للصفائح المعدنية المخمرة حيث يعاير الجهاز أولا بواسطة نماذج معايرة لتحديد الخطأ الصفري للجهاز ثم يوضع النموذج ويسلط حمل أولي باستخدام أداة تغلغل قياسية وهي كرة من الصلب المقسى بقطر(16/1 انج) ثم يسلط الحمل الرئيسي فيصبح الحمل الكلي(60kgf) ثم يتم اخذ نتيجة الفحص .

6-اختبار الكبس:اجري هذا الاختبار باستخدام قالب يتكون من نصفين علوي وسفلي مع خرامة نصف كروية حيث يثبت النموذج فوق الجزء السفلي للقالب ويوضع الجزء العلوي فوق النموذج أي يصبح النموذج بين نصفي القالب اللذان يربطان باستخدام مثبتات، بعدئذ توضع الخرامة داخل القالب ويسلط الحمل على النموذج باستخدام جهاز الانضغاط نوع(wolpert) وبدون تزييت وبعد اكتمال عملية الكبس وحصول تكور بشكل كامل للنموذج وبدون حصول أي كسر يتم إيقاف الكبس واستخراج النموذج المشكل من داخل القالب يعقبها قياس عمق التكور للنموذج باستخدام ميكروميتر قياس الأعماق دقته (1%) والتقنية المستخدمة في هذا الاختبار تناظر ما يسمى باختبار اريكسن الذي يستخدم لفحص ومعرفة قابلية الصفيحة للتشكيل بالكبس أو بالسحب العميق بشكل مباشر وسريع حيث يوضع النموذج المعدني ايضا في قالب ويتم تسليط الحمل بواسطة مكبس حتى يكتمل تكور النموذج وقبل حصول الكسر فيتم تسجيل عمق التكور والذي تؤخذ قيمته بواسطة متحسس الكتروني.

Results And Discussion النتائج والمناقشة:

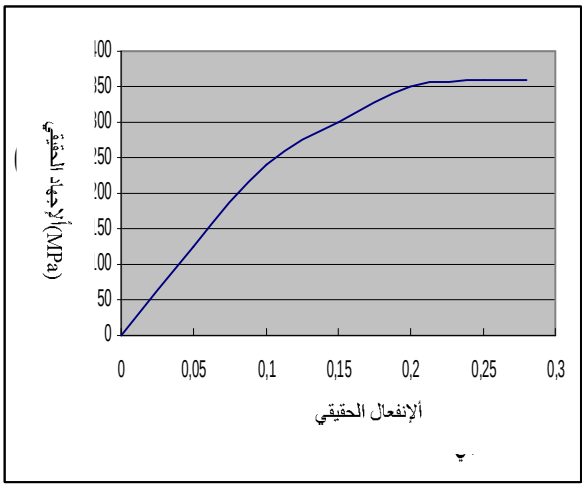
استخدم برنامج (Microsoft excel) فقط لمعالجة وتحليل النتائج العملية لغرض معالجة نتائج الاختبارات لجميع النماذج ، ولم تستخدم في البحث أية برامج نظرية أو رقمية اخرى وذلك لوفرة البيانات العملية والتي تساعد كثيرا في توضيح سلوك النماذج ومن ثم بناء الاستنتاجات بشكل مميز ، وعليه تم تقسيم المناقشة إلى عدة محاور وكالاتي:

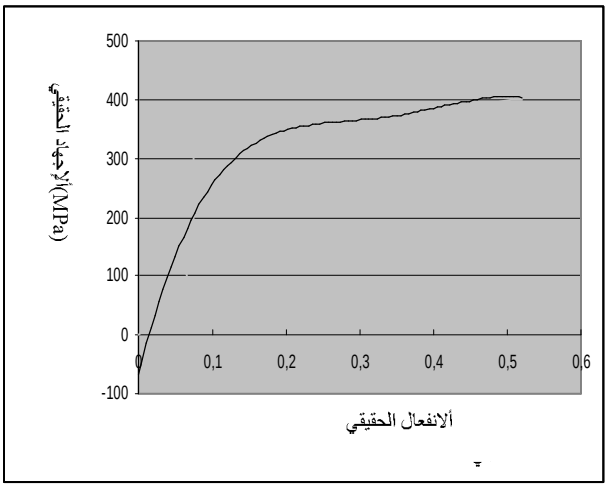
1-مناقشة نتائج فحص الشد:رسمت العلاقة بين الإجهاد الحقيقي والانفعال الحقيقي للنموذج الأصلي (A) وكما في الشكل (1) وتم حساب معامل التصلد الانفعالي للنموذج(0.3)تقريباً ، وثبتت النتائج في الجدول رقم(2) والذي يمكن أن نلاحظ من خلاله وجود تأثير كبير لعملية التخمير على الاستطالة الناتجة بفعل إجهاد ألشد وأن الاستطالة (وهي دالة للمطيلية) تكون أعلى بكثير للنماذج المخمرة عما هو عليه للنموذج الأصلي (غير مخمر/A) وان اكبر استطالة من بين النماذج المخمرة هي للنموذج (B) والذي بلغت استطالته الضعف تقريبا مقارنة بالنموذج الأصلي مما يدل على وجود تأثير كبير للتخمير المسبق على الخواص الميكانيكية للصفيحة(المطيلية بالتحديد) كونها تزيل من الاجهادات المتخلفة من التشكيل البارد للصفيحة وتعيد الحبيبات إلى وضعها المتوازن فتتحسن بالتالي المطيلية وتصبح إمكانية السحب أفضل. الشكل رقم (2) يوضح مقارنة منحنيات الشد للنموذج (B) حيث نلاحظ التحسن الحاصل في المطيلية للنموذج المخمر (B) مقارنة بالشكل السابق اي للنموذج الأصلي.

والشكل (3) يبين مقدار الاستطالة الحاصلة بفعل إجهاد ألشد للنماذج حيث نلاحظ أن أفضل نموذج هو(B) أي النموذج المخمر بدرجة حرارة مقدارها (550°C) وان الاستطالة تقل بالنسبة لدرجات حرارة التخمير الأخرى كما يتضح من الشكل وجود درجة حرارة حرجة(مثلى) للتخمير ينبغي معرفتها لكل نوع من الصفائح المعدنية لكي تصبح عملية التخمير ذات كفاءة كبيرة وهذه هي الغاية الرئيسية من البحث وهذا يتفق مع باحثون أخر كالباحث [9] الذي استنتج من خلال نتائجه العملية أيضا وجود درجة حرارة مثلى للتخمير المصاحب للتشكيل وربما يعود هذا إلى أنه بازدياد درجة حرارة التخمير تحصل ظاهرة النمو الحبيبي باعتبارها المرحلة الأخيرة من مراحل التخمير وهي مرحلة غير مرغوب بها ويفضل عدم الوصول إليها بالنسبة للنماذج المزمع تشكيلها على البارد وهذا ما تم ملاحظته للنماذج(C,D) .

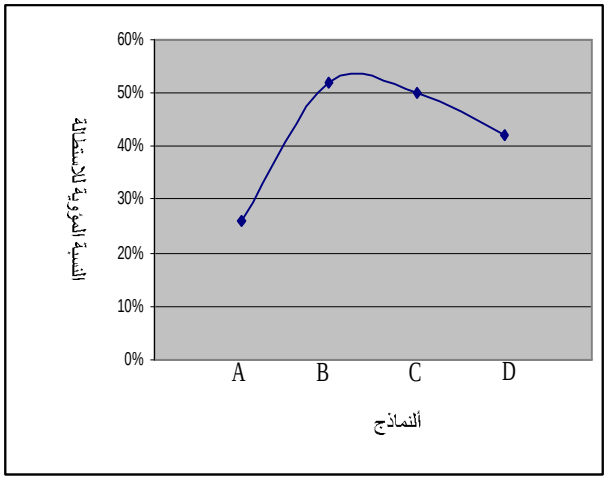
جدول(2):نتائج الاستطالة الحاصلة للنماذج نتيجة لإجهاد الشد

النموذج	A	B	C	D
%للاستطالة	%26	%52	%50	%42

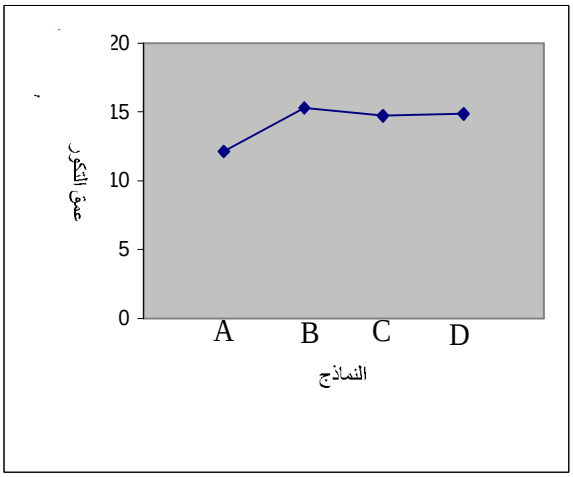




شكل(1): منحني الشد للنموذج(A) شكل(2):منحني الشد للنموذج(B)



شكل (3):نسبة الاستطالة المئوية للنماذج



شكل(4):مقارنة عمق التكور للنماذج

2-مناقشة نتائج الصلادة:الجدول رقم(3) يبين نتائج فحص الصلادة لجميع النماذج حيث انخفضت الصلادة لجميع النماذج المخمرة عما هي عليه للنموذج الأصلي وهذا يدل على حصول عملية التخمير بشكل جيد للنماذج ويمكن الاستدلال أيضا على حصول التخمير للنماذج وذلك من خلال فحص التركيب ألمجهري ولكن تعذر الحصول على نتائج مرضية حيث غالبا ما تظهر الصورة المجهرية مشوهة وغير واضحة وهذا الامر تكرر لعدة انواع من الصفائح المعدنية ولهذا تم الاعتماد على الخواص الميكانيكية ومنها الصلادة في تقييم النتائج ،ومن الملاحظ من النتائج العملية أن الصلادة قلت للنماذج التي تم تخميرها على العكس من المطيلية(أي الاستطالة) للنماذج التي زادت للنماذج المخمرة وبأجراء مقارنة بسيطة بين النموذج الأصلي(A) والنموذج الأفضل (B) يتبين بوضوح العلاقة العكسية بين المطيلية والصلادة لهذين النموذجين.

جدول(3):نتائج فحص الصلادة

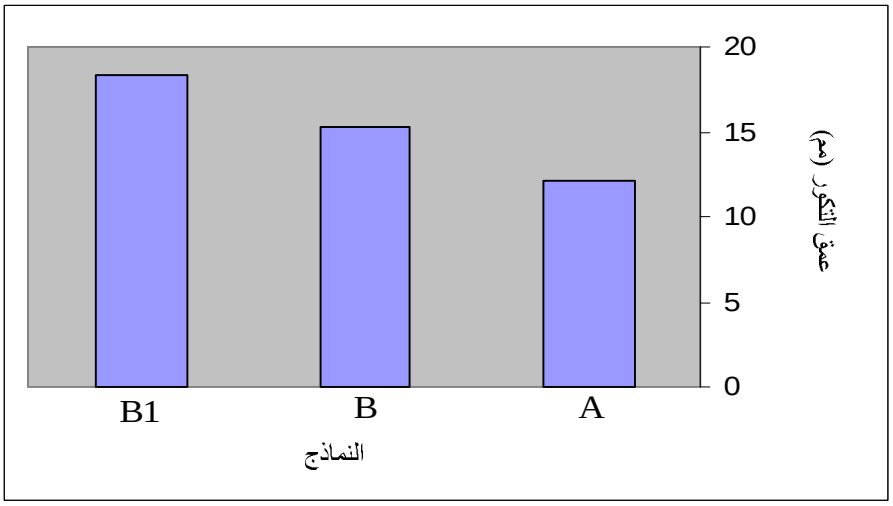
النموذج	A	B	C	D
الصلادة	95	92	90	87

3-مناقشة نتائج الكبس:الجدول رقم (4) يبين نتائج عملية الكبس البارد للنماذج حيث نلاحظ وجود تحسن كبير وملحوظ في قابلية النماذج المخمرة على الكبس (قابلية التشكيل) بشكل افضل بكثير من النموذج الأصلي(A) وان أفضل النماذج هو النموذج (B) وهذه النتائج تتفق مع نتائج فحص الشد حيث ان أفضل النماذج هو النموذج (B) ايضا .الشكل(4) يمكن ان نلاحظ من خلاله وجود تأثير كبير وواضح لعملية التخمير على قابلية النماذج للكبس وفي هذا السياق اود ان اذكر انه توجد عدة طرق تستخدم في قياس قابلية الصفيحة للتشكيل مثل طريقة منحني حد التشكيل (FLD) والذي يعطي تصور واضح عن الانفعالات الحاصلة للنموذج تحت ظروف التشكيل المختلفة حيث يوضح حدود النجاح والفشل من خلال أخذ عدد معين من النماذج واختبارها ثم رسم المنحني الخاص بالصفيحة المعدنية أما في هذا البحث فقد استخدمت تقنية تشبه إلى حد كبير ما يسمى باختبار اريكسن والذي يفيد في إعطاء تصور سريع ومباشر عن قابلية النماذج للكبس او السحب العميق وتحت مختلف الظروف(تزييت ، جاف، أشكال مختلفة من الخرامات ،...الخ) حيث تسجل قراءة عمق التكور مباشرة بدون إجراء عملية القياس التقليدية بواسطة متحسس الكتروني كما تسجل قيمة الحمل المسلط .

جدول(4):نتائج عمق التكور الحاصل للنماذج

النموذج	A	B	C	D	B1
عمق التكور/مم	12.16	15.34	14.73	14.90	18.3

4-مناقشة عدد مراحل الكبس:بعد التوصل من النتائج العملية إلى إمكانية تحديد الظروف المثلى للتخمير(درجة حرارة 550°C ، زمن إبقاء 12min) بالنسبة لهذه الصفيحة اجري الكبس البارد على نموذج جديد تم ترميزه بالرمز (B1) أي انه نموذج تم تخميره بنفس الظروف المتبعة للنموذج (B) لكنه يختلف عنه في طرية اجراء اختبار الكبس البارد حيث اجري له الكبس على مرحلتين ومن ثم مقارنة النتائج بالنموذج الأفضل من بين النماذج جميعا وهو بالتحديد النموذج (B) فتبين وجود فرق كبير في قابلية الكبس بينهما حيث ازداد عمق التكور للنموذج الجديد (B1) بمقدار(20%) ، وعليه لو تم مقارنة النموذج الجديد (B1) بالنموذج الأصلي (A) فانه يمكن ملاحظة الفرق بوضوح أكثر حيث حدث تحسن كبير جدا في عمق التكور بينهما وبحدود(50%) ، وعليه انصب الاهتمام بدراسة ومقارنة سلوك الحالات الأفضل للنماذج أي النموذج(B) والنموذج الأصلي (A) والنموذج المطور(B1) فقط أما البقية فلا تمثل الحالات المثلى للظروف المؤثرة على الكبس البارد .الشكل رقم (5) يوضح هذه المقارنة.



شكل(5):مقارنة قابلية الكبس البارد لنماذج مختارة

ومن مقارنة نتيجة فحص الشد ونتيجة اختبار الكبس للنماذج الثلاثة الاخيرة (A,B,B1) فأنه يمكن ملاحظة التشابه في السلوك حيث أن النموذج الأصلي (A) هو الأسوأ من ناحية المطيلية(الاستطالة) في اختبار الشد ومن ناحية اختبار قابلية الكبس (أي عمق التكور) أيضا بينما نجد أن النموذج (B) هو الأفضل للاختبارين انفي الذكر كما نجد أيضا حصول تباين في السلوك للنماذج (C,D) ولهذا انحصرت المقارنة بين النماذج الافضل (B,B1) كونها تمثل الدرجة الحرارية المثلى للتخمير والنموذج الاصلي.

Conclusions: الاستنتاجات:

بالاعتماد على النتائج العملية المستحصلة من هذا البحث فأن الاستنتاجات الرئيسة يمكن إيجازها تباعا كما يلي:

1-توجد أهمية كبيرة لإجراء التخمير المسبق لصفائح الصلب منخفض الكربون عند إجراء الكبس البارد.

2- اختيار مدى من درجات الحرارة(550-650)°م لإجراء التخمير للنماذج يعتبر مفيد لاجراء عملية الكبس البارد .

3-اختيار درجة حرارة للتخمير مقدارها(550)°م وزمن إبقاء(12)دقيقة لصفيحة صلب بسمك(1) مم يعتبر الظروف المثلى للتخمير الذي يسبق الكبس البارد.

4-إجراء الكبس البارد على مرحلتين يتخللها إجراء التخمير حسب الظروف الموضحة في (3) يعطي قابلية للكبس اكبر بكثير مما لو اجري بمرحلة واحدة فقط.

References: المصادر:

[1]:د.حسين باقر رحمة الله،"مبادئ هندسة المعادن والمواد"،مطبعة جامعة الموصل،1986.
[2]:R.A.Higgins,"engineerimg metallurgy part I", the English universities press ltd.,1973.
[3]:EP4A.IA Mats&Min.Sci-CourseE,"Mechanical behavior of solids".
[4]: Taylan Altan,"the importance of n value in sheet metal forming", stamping journal,oct.2001.
[5]: Work hardening from wikipidia,the free encyclopedia/internet/30 april2007..
[6]: Yun ling,"uniaxial true stress – strain after necking" Amp journal of technology vol.5 June 1996
[7]:Z.Marciniak ,"Mechanics of sheet metal forming" Butter worth-Heinemann, oxford,2002.
[8]:M.Aghaie-Khafri,"the effect of preheating on the formability of AL-Fe-Si alloy sheet", journal of materials proceeding technology,2005(38-43).
[9]:Dr.Ravi Kumar," formability of galvanized interstitial tree steel sheets", journal of material processing technology,2006(225-237).
[10]:R.Narayanasamy,"Evaluation of limiting strains",materialand design,2007(1555-1576).
[11]:Donald R.Askeland,"The science and engineering material", Stanley Thornes publishers Ltd.,United Kingdom,1998.

تم اجراء البحث في كلية الهندسة – جامعة الموصل