

دراسة تجريبية للتغيرات البعدية الناتجة عن عملية التقسية الكلية للمحاور الدليلية والجلب المستعملة بصناعة القوالب

رولا قراجة*

(تاريخ الإيداع 24 / 11 / 2016. قُبِلَ للنشر في 19 / 3 / 2017)

□ ملخص □

تخضع معظم المكونات المستعملة بصناعة القوالب لمعالجات حرارية تتسبب بتشوهات شكلية وبعديّة ما يستدعي التشغيل اللاحق. وحيث أن التشغيل المجدي (من وجهة نظر اقتصادية) يستدعي القدرة على التنبؤ المسبق بقيم التشوهات (بحيث يتم ترك علاوات تشغيل مناسبة خلال مراحل التشغيل السابق للمعالجة) ظهرت الحاجة لأعمال بحثية تسمح بالوصول للعلاقات القائمة بين متغيرات المعالجات الحرارية المعتمدة والتشوهات الموافقة الحاصلة على أشكال وأبعاد منتجات متعددة مصنعة من خلّاط معدنية مختلفة. ضمن السياق أعلاه عالج البحث الحالي مشكلة التغيرات الحاصلة على القيم التصميمية للازواجات fits القائمة بين المحاور والجلب المستعملة بصناعة القوالب، حيث أن إخضاع تلك المنتجات للمعالجة الحرارية يتسبب بتشوهات متعددة ما يغير حالات الأزواج من الوضع الانتقالي 96/H7 إلى وضع آخر مرتبط بمتغيرات المعالجة المطبقة و بأشكال وأبعاد ومعادن المكونات. الآلية التي اعتمدت خلال العمل قامت على قياس التغيرات البعدية الحاصلة على الأقطار المتوافقة لأزواج متعددة من المحاور والجلب المصنعة من فولاذ كربوني خليطة Ck45. تشير النتائج التي تم الحصول عليها إلى وجود علاقة وثيقة بين قيم متغيرات المعالجة المطبقة وبين التغيرات الحاصلة على طبيعة الأزواج القائمة بين المحاور والجلب. إضافة لذلك، تشير تلك النتائج لوجود قيم امثلية لمتغيرات المعالجة المطبقة بحيث أن الالتزام بها خلال المعالجة يؤدي للحد من التغيرات الحاصلة على طبيعة الأزواج القائمة.

الكلمات المفتاحية: المعالجات الحرارية، التقسية الكلية، صناعة القوالب، الاستقرار البعدي، التشوهات الناتجة عن المعالجة الحرارية، الخليطة ck45، الأزواج بين المحاور والجلب، معالجة مكونات القوالب .

*ماجستير - قسم التصميم والإنتاج - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق - دمشق - سورية.

Experimental Investigation of Dimensional Changes Caused by Heat Treatments of Dowel Pins and Sleeves Used in Moulding Industry

Roula karaja*

(Received 24 / 11 / 2016. Accepted 19 / 3 / 2017)

□ ABSTRACT □

Components, which are used in moulding industry, are subjected to hardening heat treatment (HT) that causes dimensional variations (DVs), which require subsequent machining to be eliminated. Essentially, the need for the subsequent machining can be minimised (for economic reasons) if variables related to treatment process are perfectly adopted, something that needs recognised relations between HT variables and DVs. As the availability of such relations is limited to several individual cases, "that involve specific geometries and particular alloys", the need for further investigations that allow additional data to be generated was recognised. Within the above-mentioned context, the current work was initiated to address the problem of tolerance changes due to heat treatment of dowel pins and sleeves used in moulding industry. Since subjecting these products heat treatment causes multiple defects that alter cases of couples from the transitional situation $g6 / H7$ linked to the status variables treatment applied and the shapes and dimensions of the components and metals. The technique adopted during the work was based on measuring the dimensional changes occurred of internal and external diameters of a set of compatible pairs of pins and sleeves manufacturer of Ck45 alloy. The obtained results point out to the presence of optimum values of the heat treatment variables, and indicate that the adoption of these values minimizes the DVs of the dowels and sleeves and eliminates the need for the subsequent machining in order to correct the resulted fits between these components.

Keywords: Heat Treatment, Hardening, Moulding Industry, Dimensional stability, heat treatment distortion, CK45 alloy, fits between Dowels and sleeves, Heat Treatment of moulded components.

* Master, Faculty of mechanical and electrical engineering, Damascus University, Damascus, Syria.

مقدمة:

تشير المراجع العلمية الخاصة بالمعالجات الحرارية لارتباط وثيق بين قيم المتغيرات الخاصة بعمليات التفسير الكلية للخلائط الحديدية وبين التشوهات الموافقة الناتجة عن التبريد المفاجئ والتي قد تؤدي إلى انهيار المكونات الخاضعة للمعالج للانهيار كنتيجة لظهور تشققات كبيرة نسبياً [1]. من هنا ظهر الاهتمام بالأعمال البحثية الهادفة للتعرف على العلاقات القائمة بين متغيرات المعالجات الحرارية المختلفة وبين التشوهات الموافقة لمنتجات ولخلائط معدنية متعددة، ما ساعد على التوصل لنتائج مكنة من التحكم بطبيعة الكثير من تلك التشوهات من خلال الضبط الأمثل لقيم المتغيرات المرتبطة بالمعالجات المطبقة [2,3,4,5,6].

ضمن السياق أعلاه عمل الباحث [2] Hardin على دراسة هدفها التعرف على العلاقة بين نوع سائل التبريد المستعمل (زيت، ماء) ضمن دورة تقسية كلية وبين التغيرات الحاصلة على الأبعاد الخاصة بحلقات مصنعة من الخليطين 4140 و 8620. تؤكد النتائج التي تم الحصول عليها على أن الأقطار الخارجية للحلقات المبردة بالماء تزداد بمقدار 33% بينما تتخفض الأقطار الداخلية بمقدار 49%. أما بخصوص الحلقات المبردة بالزيت فتؤكد النتائج المستخلصة على أن أقطارها الخارجية تزداد بمقدار 39% بينما تتخفض الأقطار الداخلية بنسبة 35%، حيث تنطبق النسب أعلاه على الحلقات المصنعة من الخليطين وبغض النظر عن الأبعاد المطلقة.

أما الباحث [3] C. H. Surberg وزملاؤه فقد عملوا على تطوير الإجراءات التقليدية الخاصة بمعالجة فولاذ العدة AISi D2 والتي تتضمن على مرحلة تقسية تحت الخلاء ومن ثم التعريض المتكرر لدورات إرجاع وذلك بهدف الوصول لإجرائية معدلة تضمن تحقيق ثباتيه بعدي اعلى للمكونات الخاضعة للمعالجة. وبنتيجة العمل أعلاه، تم إثبات الحاجة لتعديل الإجراءات التقليدية، وأن التعديل الأمثل "الذي يضمن اعلى ثباتيه بعدي ممكنة" يتضمن إضافة مرحلة تبريد عميق -150°C deep cold at تنفذ بين مرحلتي التقسية والإرجاع. أما فيما يخص العلاقة بين طبيعة وقيم متغيرات المعالجة الحرارية وبين الثباتيه البعدي لمنتجات مصنعة من بعض خلائط الألمنيوم فقد درست من قبل الباحث Z. Hong، الذي برهن من خلال البحث [4] على أن استبدال الإجراءات التقليدية الخاصة بالمعالجة الحرارية لخلائط الألمنيوم بأخرى قائمة على معالجة Cryogenic يضاعف الثباتيه البعدي للمنتجات المصنعة من الخليطة 2A11. أما فيما يتعلق بالتغيرات البعدي الحاصلة بنتيجة التقسية لأجسام قوالب سكب مصنعة من خليطة الفولاذ JIS SKD61 فقد درست من قبل الباحث [5] S. H. Yeh، الذي توصل لنتيجة مفادها بأن الثباتيه البعدي لمنتجات الخليطة الخاضعة للتقسية ممكنة التحقيق إن وصلت درجة حرارة الإرجاع Tempering Temperature للقيمة 500°C . أما بخصوص العلاقة بين درجة حرارة التقسية وبين التغيرات البعدي الحاصلة على جلب نظامية مصنعة من خليطة الفولاذ EN353 ومعالجة بالكربنة ومن ثم التلدين و أخيرا التقسية فقد بحثت من قبل السيد [6] M.Sahna الذي توصل لنتيجة مفادها أن الثباتيه البعدي الأفضل تتحقق عند التقسية بحرارة 760°C ، حيث قيمة التغير البعدي الأعظمي المسجل تصل لـ $3\mu\text{m}$. أما بخصوص ما قام به الباحث [7] Vernon C. Potter فقد عمل هو وزملاؤه على تطوير إجراءات تصنيع خاصة معتمدة على تقانة تعدين المساحيق، ما سمح بالاستغناء الكامل عن الحاجة لتقانة المعالجات الحرارية مع ضمان القدرة على إنتاج مكونات مطابقة من حيث الثباتيه البعدي و القساوة العالية والقدرة على مقاومة حمولات الصدم.

أهمية البحث وأهدافه:

وفقاً لما أتيح لفريق العمل الحالي الاطلاع عليه، فإن كافة الأبحاث العلمية التي تناولت الموضوع أعلاه لم تنطرق للتشوهات الحاصلة كنتيجة لتقسية المحاور والجلب المستخدمة بصناعة القوالب Dowel pins and sleeves و المصنعة من خليطة الفولاذ الكربوني ck45، وهذا ما حرص فكرة البحث الحالي الهادف لما يلي:

1. تحديد العلاقة بين درجة حرارة التقسية و تشوهات الشكل والوضع للمحاور والجلب الموافقة المصنعة بموجب مرجعية خاصة معتمدة من قبل شركة DME (شركة DME ، وهي موردا أساسيا للعملاء في جميع أنحاء العالم الذين يعملون في صناعة القوالب ، هي واحدة من أكبر ISO 9001 المصنعين والموزعين من الأدوات وأنظمة التحكم، ومكونات قوالب صناعة البلاستيك)، علماً بأن تلك الشركة تصنع منتجاتها أعلاه من خلائط متعددة أهمها الخليطة ck45، وتتجها بأبعاد عيارية وتسامحات H7 للجلب و g6 للمحاور.

2. تحديد درجة حرارة التقسية المرتبطة بالحدود الدنيا من التغيرات الحاصلة على الأزواج الاسمية H7/g6، ما يحد من الحاجة لعمليات التشغيل اللاحق بهدف التخلص من التشوهات الناتجة عن المعالجة والعودة بالأزواج لقيمتها الاسمية.

طرائق البحث ومواده:

1. متغيرات المعالجة الحرارية بتقانة التقسية الكلية:

تتفد أعمال التقسية الحرارية الكلية للخلائط الحديدية على مرحلتين، الأولى منهما معروفة بتسمية التقسية Hardening بينما تعرف الثانية بتسمية الإرجاع Tempering، ووفقاً للمراجع المختصة [1] تتفد المرحلتين أعلاه على التتابع حيث يتم ذلك بمرجعية الدوريتين الحراريتين المبينتين بالشكلين (1) و(2). وحيث أن المتغيرات المدرجة بالشكلين أعلاه كافية لتوصيف المراحل الثلاثة الخاصة بدورة التقسية والمراحل المكافئة الخاصة بدورة الإرجاع فمن الطبيعي أن يتم البحث عن العلاقات التي تربط بين قيم تلك المتغيرات وبين الأهداف الجاري العمل على تحقيقها (بالعمل الحالي، إيجاد العلاقة بين قيم بعض تلك المتغيرات والتغيرات الحاصلة على طبيعة الأزواج H7/g6 Fit). وحيث أن العمل الحالي تعامل مع معظم متغيرات الدوريتين الحراريتين أعلاه على أنها ثوابت من خلال افتراض القيود التالية فالمتغير الوحيد المتبقي والمأخوذ بالاعتبار بالعمل الحالي هو T_1 (وفق ما ذكر عند الحديث عن أهداف العمل الحالي). أما بخصوص حدود القساوة المستهدفة من خلال تطبيق دورتي المعالجة أعلاه فقد حددت بالمجال 45 to 55 HRC.

$$.Ts = T_f = T_6 = 25^\circ\text{c} \bullet$$

$$.t_2 - t_1 = 20 \text{ min} \bullet$$

$$\{(T_1 - Ts)/(t_1 - t_0)\} = 1.4^\circ\text{c/sec} \bullet$$

$$\{(T_4 - Ts)/(t_4 - t_0)\} = 1.4^\circ\text{c/sec} \bullet$$

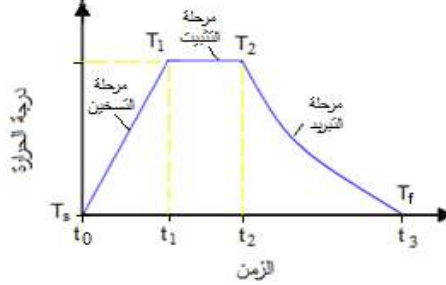
$$.T_1 = T_2 \bullet$$

$$.T_4 = T_5 = 200^\circ\text{c} \bullet$$

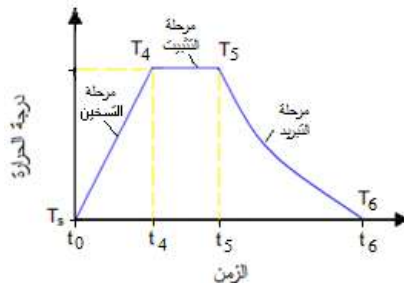
$$.t_5 - t_4 = 2 \text{ Hours} \bullet$$

• $\{(T_2-T_1)/(t_3-t_2)\}=380^\circ\text{C}/\text{sec}$ (كتحصيل حاصل ناتج عن التغطيس السريع بحمام ماء درجة حرارته الابتدائية 25°C وخاضع للتبريد المستمر).

• $\{(T_5-T_6)/(t_6-t_5)\}=5^\circ\text{C}/\text{sec}$ (كتحصيل حاصل ناتج عن التبريد الطبيعي بالهواء الطلق الساكن).



T_s و t_0 حرارة المحيط والزمن لحظة بدء المعالجة، T_1 و t_1 الحرارة والزمن عند نهاية مرحلة التسخين، T_2 و t_2 الحرارة والزمن عند نهاية مرحلة التثبيت، T_f و t_3 الحرارة والزمن عند نهاية مرحلة التبريد
الشكل (1): مخطط تمثيلي للدورة الخاصة بمرحلة التقسية



T_s و t_0 حرارة المحيط والزمن لحظة بدء المعالجة، T_4 و t_4 الحرارة والزمن عند نهاية مرحلة التسخين، T_5 و t_5 الحرارة والزمن عند نهاية مرحلة التثبيت، T_6 و t_6 الحرارة والزمن عند نهاية الإرجاع
الشكل (2): مخطط تمثيلي للدورة الخاصة بمرحلة الإرجاع

2. المواد والتجهيزات والعينات المستخدمة بالبحث الحالي:

2.1، المواد الأولية:

أخذت المواد الأولية التي استخدمت لتصنيع العينات الخاصة بالبحث الحالي من قضبان مبرومة مصنعة من الخليطة Ck45. ويهدف التأكد من مطابقة التركيب الكيميائي للقضبان للتركيب النظامي للخليطة Ck45 تمت الاستعانة بجهاز تحليل طيفي نوع Spectro max حيث تم الحصول على النتائج المدرجة بالجدول (1)، والتي تؤكد المطابقة إن قورنت بالتركيب المعطى بالمرجع [8].

الجدول (1): التركيب الكيميائي للخليطة المستعملة

العنصر	Al	Mo	Ni	Cr	S	P	Mn	Si	C	Fe
النسبة المئوية	0.0071	0.03	0.093	0.072	0.015	0.0005	0.88	0.225	0.442	النسبة الباقية

وللتأكد من أن المادة الأولية المستعملة بتصنيع العينات غير خاضعة لأي معالجة مسبقة تم اللجوء لقياس القساوة والتي تبين أن قيمتها الوسطية من مرتبة HRC 25 ما يؤكد أن المادة الأولية التي استخدمت لم تخضع لأي معالجات مسبقة.

2.3 التجهيزات المستخدمة:

- فرن معالجة حرارية معايير حديثاً طراز Degussa GKR، بالمواصفات التالية:
 - ✓ ثلاثي الأطوار، استطاعة 20KW.
 - ✓ من النوع المجهز بوشائح تسخين كهربائية.
 - ✓ كتيب ومجهز بمراوح داخلية مسؤولة عن تحقيق تجانس حراري من مرتبة 2°C.
 - ✓ درجة حرارة تسخينه الأعظمية 1100°C.
 - ✓ مجهز بدارة تحكم تسمح بتطبيق دورات حرارية متعددة المراحل بدقة 10°C.
- جهاز قياس قساوة روكويل Micro Hardness معايير حديثاً، نموذج MH-100Z من إنتاج شركة Sinowon.

- ميكرومتريين داخلي وخارجي بدقة 0.001mm لقياس أقطار العينات قبل وبعد المعالجة.

1.1 التفاصيل الخاصة بالعينات المصنعة:

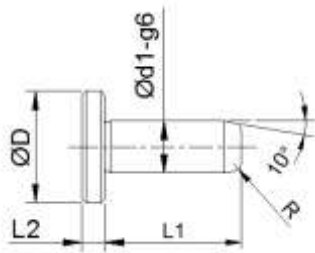
تم ضمن سياق العمل بالبحث الحالي تصنيع عشرة مجموعات من عينات الجلب والمحاور حيث حقق ذلك باستخدام آلات تشغيل مبرمجة، وتم بمرجعية المواصفة المعتمدة لدى شركة DME، التي توصي بضرورة التقيد بالمعطيات التصميمية المقدمة بالشكلين (3 و 4) وبالقيم البعدية المدرجة بالجدولين (2 و 3). بعد الانتهاء من التصنيع نظفت العينات ثم أخضعت لأعمال قياس تفصيلي ما سمح بالتأكد من المطابقة البعدية، وحال الانتهاء من ذلك، حفظت العينات بأكياس بلاستيكية مزودة بمواد ماصة للرطوبة ومرقمة وفق نظام مكون من خانتين تمثل الأولى منهما رقم المجموعة التي تنتمي لها العينة بينما تمثل الثانية رقم العينة ضمن المجموعة، (ما يعني أن العينة رقم 2.1 هي الجلبة الأولى بالمجموعة الثانية من العينات، بينما العينة 8.4 هي المحور الرابع بالمجموعة الثامنة من العينات). وبعد ذلك أخضعت كافة العينات لإجراءات تقسية كلية وفق الدورتين الحراريتين المبينتين بالشكلين (1 و 2) وفق خطط المعالجة المفصلة بالجدول (4) من الفقرة التالية.

الجدول (2): الأبعاد الاسمية لعينات الجلب المصنعة

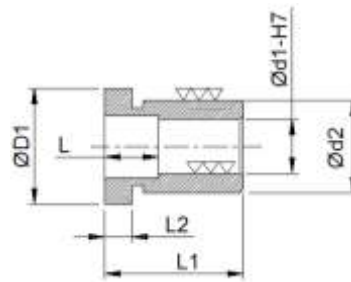
عدد العينات	الأبعاد الاسمية للجلب (مم)				رقم مجموعة العينات
	L1 ±0.2	φD1 ±0.2	φd2 ±0.2	φd-H7	
10	20	24	20	10 +0.015	1
5	30	34	30	15 +0.018	2
5	40	44	40	20 +0.021	3
5	50	56	50	25 +0.021	4
5	60	66	60	30 +0.021	5

الجدول (3): الأبعاد الاسمية لعينات المحاور المصنعة

عدد العينات	الأبعاد الاسمية للمحاور (مم)			رقم مجموعة العينات
	L1 ±0.2	φD ±0.2	φd1-g6	
10	50	14	10 -	6
5	75	20	15 -	7
5	100	25	20 -	8
5	125	35	25 -	9
5	150	40	30 -	10



الشكل (4): التصميم الخاص بالمحاور المصنعة



الشكل (3): التصميم الخاص بالجلب المصنعة

3. خطة المعالجة الحرارية للعينات المصنعة:

وفقاً لما هو مبين بالجدول (4)، صنفت العينات المطلوب معالجتها لمجموعات من أزواج الجلب والمحاور حيث ضمت كل مجموعة محور واحد وجلبة موافقة له من حيث القيمة الاسمية للقطر d_1 . من بين المجموعات أعلاه عولجت مجموعات الأزواج من 1 و حتى 5 (المتطابقة من حيث القيم الاسمية للأبعاد) بحيث أخضعت لدورات معالجة متطابقة ما ساعد على تقييم جودة الاختبارات المنفذة من وجهة نظر إحصائية (تقييم الانحرافات المعيارية للنتائج المسجلة وبالتالي تحديد جودة الاختبارات المنفذة). أما فيما يتعلق بباقي مجموعات الأزواج فعولجت وفقاً للقيم البعدية ولقيم متغيرات المعالجة المدرجة بالجدول (4)، حيث تم تنفيذ ذلك بهدف تحري تأثير درجة حرارة المعالجة على طبيعة الإزواج Fits القائم بين أزواج المحاور والجلب المختلفة.

الجدول (4): التفاصيل الخاصة بالخطة المعتمدة للمعالجة

رقم مجموعة الأزواج	أرقام العينات ضمن مجموعة الأزواج	القيمة الاسمية ل d_1	قيمة المتغير T_1 (°C)	قيم باقي متغيرات المعالجة
1	1.1 و 6.1	10	810	مدرجة بالفقرة (2) أعلاه
2	1.2 و 6.2			
3	1.3 و 6.3			
4	1.4 و 6.4			
5	1.5 و 6.5			
6	1.6 و 6.6	10	810	
7	2.1 و 7.1			
8	3.1 و 8.1			
9	4.1 و 9.1			

	830	30	10.1 و 5.1	10
		10	6.7 و 1.7	11
		15	7.2 و 2.2	12
		20	8.2 و 3.2	13
		25	9.2 و 4.2	14
		30	10.2 و 5.2	15
	850	10	6.8 و 1.8	16
		15	7.3 و 2.3	17
		20	8.3 و 3.3	18
		25	9.3 و 4.3	19
		30	10.3 و 5.3	20
	870	10	6.9 و 1.9	21
		15	7.4 و 2.4	22
		20	8.4 و 3.4	23
		25	9.4 و 4.4	24
		30	10.4 و 5.4	25
	890	10	6.10 و 1.10	26
		15	7.5 و 2.5	27
		20	8.5 و 3.5	28
		25	9.5 و 4.5	29
30		10.5 و 5.5	30	

4. النتائج المسجلة:

حال الانتهاء من تنفيذ خطة المعالجة المعتمدة تم إخضاع العينات لأعمال تنظيف كامل من اثار زيوت وسوائل التبريد بواسطة سوائل التنظيف المعدنية ومن ثم نفذت الاختبارات الخاصة بتحديد القساوات والقياسات اللازمة لتقييم التغيرات الحاصلة على الأزواج H7/g6. وللتأكد من الحصول على نتائج ذات بعد إحصائي نفذت الاختبارات الخاصة بتحديد القساوات بعشرة مواقع من كل عينة ثم حسبت المتوسطات لكل مجموعة عينات على حدا (بعد استبعاد النتائج المرتبطة بانحرافات اعلى من ضعفي الانحرافات المعيارية المحسوبة)، أما فيما يخص قساوة العينات فقد قيست بمرجعية الإجراءات التي توصي بها المراجع المختصة بما في ذلك دليل استخدام جهاز قياس القساوة المستخدم، حيث يقدم الجدول (5) النتائج المستخلصة. وبنفس الطريقة نفذت أعمال القياس الخاصة بالأقطار d1-g6 و d1-H7 بمواقع متعددة من كل عينة، وعولجت النتائج أخذين بعين الاعتبار أن القيمة الاصغرية المقاسة لمحور ما تمثل قطره بعد المعالجة والقيمة الأكبر المقاسة لجلبة محددة تمثل قطر تلك الجلبة بعد المعالجة، ويقدم الجدول (6) النتائج المستخلصة.

الجدول (5): نتائج قياس القساوة للعينات المعتمدة

القطر d1-g6 محاور		رقم المجموعة	القطر d1-H7 جلب		رقم المجموعة
الانحراف المعياري	متوسط القساوة HRC		الانحراف المعياري	متوسط القساوة HRC	
1.224	52	6	1.870	52.5	1
1.581	50	7	1.816	49.6	2

1.923	49.2	8	1.949	50.6	3
1.303	46.2	9	2.083	46.6	4
1.140	47.6	10	1.923	45.2	5

الجدول (6): نتائج قياس أقطار العينات بعد المعالجة

d1-h7	رقم العينة	d1-g6	T ₁ (°C)	رقم العينة
10.063	6.1	9.897	810	1.1
10.058	6.2	9.998		1.2
10.052	6.3	10.012		1.3
10.055	6.4	9.986		1.4
10.076	6.5	10.015		1.5
10.025	6.6	10.021	810	1.6
10.058	6.7	9.997	830	1.7
10.030	6.8	10.031	850	1.8
10.019	6.9	10.032	870	1.9
10.270	6.10	10.012	890	1.10
15.013	7.1	14.991	810	2.1
15.021	7.2	15.021	830	2.2
15.005	7.3	15.004	850	2.3
14.996	7.4	14.996	870	2.4
14.988	7.5	15.005	890	2.5
20.070	8.1	19.991	810	3.1
20.012	8.2	20.015	830	3.2
20.040	8.3	20.040	850	3.3
20.024	8.4	20.014	870	3.4
19.985	8.5	19.990	890	3.5
25.133	9.1	25.004	810	4.1
25.119	9.2	25.119	830	4.2
25.011	9.3	25.011	850	4.3
25.003	9.4	25.003	870	4.4
24.996	9.5	25.037	890	4.5
30.185	10.1	29.999	810	5.1
30.178	10.2	29.968	830	5.2

30.128	10.3	29.918	850	5.3
29.950	10.4	29.740	870	5.4
30.113	10.5	29.903	890	5.5

مناقشة النتائج:

تؤكد النتائج المدرجة بالجدول (5) على أن القيم المتوسطة للقساوات الخاصة بكافة العينات الخاضعة للمعالجة تقع ضمن المجال المستهدف للقساوة (45 to 55 HRC) وبالتالي فالمجال المعتمد لقيم المتغير T_1 (From 810 to 890°C) مناسب ويتوافق مع أهداف البحث الحالي. أما فيما يتعلق بقيم الانحرافات المعيارية المدرجة بالجدول (5) فهي صغيرة نسبياً ما يؤكد على التكرارية العالية للنتائج المسجلة وما يدل على الالتزام الكامل بالإجراءات الافتراضية للمعالجة الحرارية وعلى الحالة الفنية الجيدة للتجهيزات المستعملة.

ويهدف المعالجة الإحصائية للقياسات المأخوذة على مجموعات الأزواج من 1 وحتى 5 فقد تم اتباع المنهجية التي يوصي بها المرجع [9]، والتي تتضمن حساب لقيم المتوسطات وللانحرافات المعيارية الموافقة إضافة لحساب الفروقات بين القيم الاسمية المقاسة والقيم المتوسطة الموافقة، وبحيث تعتبر القيم الاسمية المرتبطة بفروقات تزيد عن قيم الانحرافات المعيارية الموافقة شاذة ويجب أن تستبعد من بين النتائج المسجلة لأنها تخفض حد الثقة Confidence limit بتلك النتائج. بتطبيق المنهجية أعلاه على النتائج الخاصة بأقطار أزواج العينات المعنية تم الحصول على النتائج المدرجة بالجدولين (7 و 8) والتي تشير لعدم وجود نتائج شاذة وتؤكد على ارتفاع حد الثقة بها نظراً لعدم تجاوز أي من قيم الفروقات لقيمة الانحراف المعياري. و حيث أن نتائج التجارب المرتبطة بحدود ثقة عالية تدل على جاهزية عالية بالتجهيزات والأدوات المستعملة وعلى دقة بتطبيق الإجراءات المتبعة (ما يضمن القدرة على الضبط الدقيقة للمتغيرات المرتبطة بالعمل التجريبي المنفذ) فالنتائج المدرجة بالجدولين (7 و 8) تدل على دقة بتفويض تجارب البحث الحالي وعلى جاهزية عالية بالتجهيزات والأدوات المستعملة، وهذا يتطابق مع ما تم استنتاجه عند مناقشة النتائج المرتبطة بقيم القساوات المقاسة.

الجدول (7): الحسابات الإحصائية لنتائج عينات المحاور

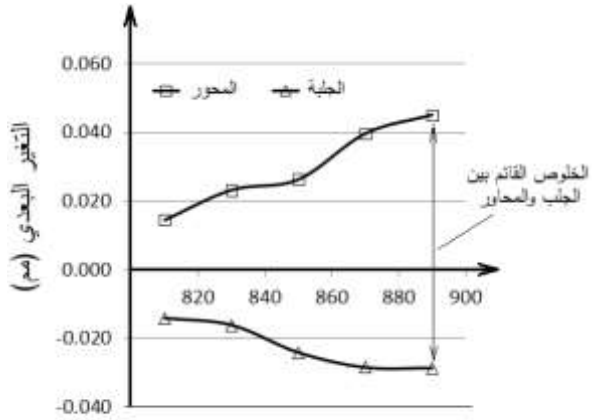
رقم العينة	القطر المقاس	المتوسط (mm)	الانحراف المعياري	فرق القطر المقاس عن المتوسط
1.1	9.897	9.982	0.0487	-0.085
1.2	9.998			0.016
1.3	10.012			0.033
1.4	9.986			0.004
1.5	10.015			0.033

الجدول (8): الحسابات الإحصائية لنتائج عينات الجلب

رقم العينة	القطر المقاس	المتوسط (mm)	الانحراف المعياري	فرق القطر المقاس عن المتوسط
6.1	10.063	10.060	0.009	0.003
6.2	10.058			-0.002

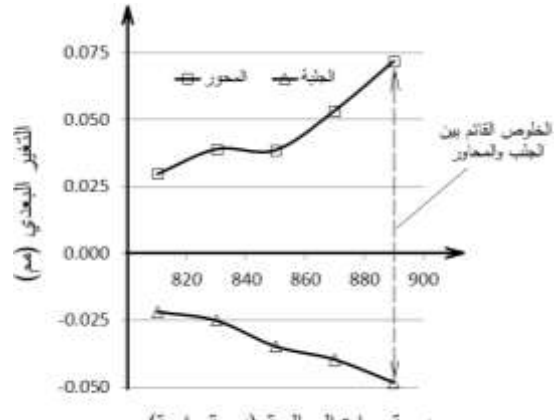
-0.008			10.052	6.3
-0.005			10.055	6.4
0.016			10.076	6.5

ولتقديم النتائج المرتبطة بمجموعات الأزواج من 6 وحتى 30 بشكل يسمح بالوصول لاستنتاجات معبرة فقد تم اللجوء لعرضها على شكل منحنيات بيانية تربط التغيرات البعدية المسجلة (الفروق بين قيم الأقطار ما بعد المعالجة وما قبلها) كتابع لدرجة حرارة المعالجة للمحاور والجلب المتوافقة من حيث القيم الاسمية للقطر d_1 ، حيث تم التوصل للمنحنيات المبينة بالشكل (6). تشير تلك المنحنيات لتغير حالات الأزواج الخاصة بالمحاور والجلب الخاضعة للمعالجة الحرارية من وضع انتقالي H7/g6 إلى وضع تداخلي حيث نتج ذلك عن زيادة أقطار المحاور وانخفاض الأقطار الداخلية للجلب وذلك بغض النظر عن القيم الاسمية للأقطار d_1 وعن درجة الحرارة المطبقة خلال المعالجة T_1 . أما فيما يتعلق بتأثير درجة الحرارة على قيم التداخلات الحاصلة بين المحاور والجلب الموافقة فيشير الشكلان (1/6) و (2/6) لزيادة ملحوظة بقيمة التداخل الحاصل بين الجلب والمحاور ذات الأقطار الاسمية من $\varnothing 10\text{mm}$ وحتى $\varnothing 15\text{mm}$ مع زيادة درجة حرارة المعالجة، وبالتالي فدرجة الحرارة الأنسب (المتوافقة مع تغيرات اصغرية على قيم الأقطار d_1) تساوي للقيمة 810°C . أما الأشكال (3/6) و (4/6) و (5/6) فتشير إلى انخفاض قيمة التداخل الحاصل بين الجلب والمحاور ذات الأقطار الاسمية $\varnothing 20\text{mm}$ و $\varnothing 25\text{mm}$ و $\varnothing 30\text{mm}$ مع زيادة درجة حرارة المعالجة حيث يستمر ذلك حتى الوصول للقيمة الاصغرية عند درجة الحرارة 870°C وبالتالي يوصى بتنفيذ معالجات التقسية الكلية عند تلك الدرجة للأقطار أعلاه. وبالعودة للحديث عن علاوات التشغيل التي يجب تركها بهدف التشغيل اللاحق بعد المعالجة فتؤكد النقاشات أعلاه عدم الحاجة له بالحالة المدروسة حيث أن التشغيل اللاحق الهادف لإعادة الأزواج للحالة الانتقالية يمكن أن ينفذ على الزيادة الحاصلة بأقطار المحاور والانخفاض الحاصل بالأقطار الداخلية للجلب. أما فيما يتعلق بإمكانية تجاوز الحالة لعمليات التشغيل اللاحق فتشير النتائج المقدمة بالشكل (6) إلى قيام تلك الإمكانية من إنتاج محاور بأقطار أصغر من القيم الاسمية المفترضة و جلب بأقطار داخلية اكبر من القيم المفترضة حيث تحدد القيم المطلوبة لذلك من قيم التغيرات البعدية الحاصلة على تلك الأقطار بنتيجة المعالجة.



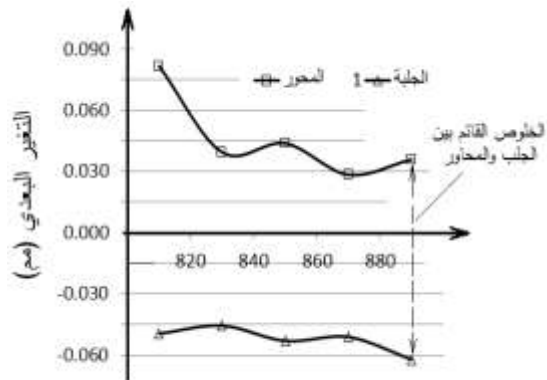
درجة حرارة المعالجة (درجة مئوية)

15mm القطر الاسمي (2/5)



درجة حرارة المعالجة (درجة مئوية)

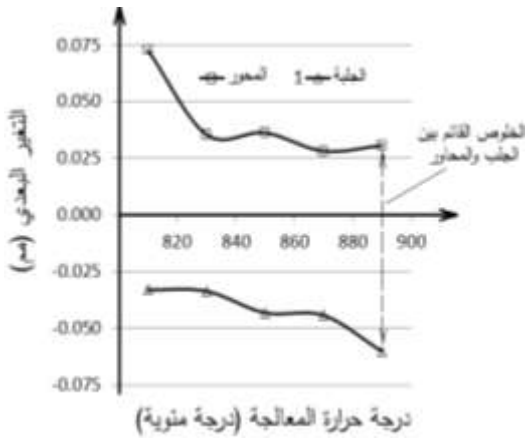
10mm القطر الاسمي (1/5)



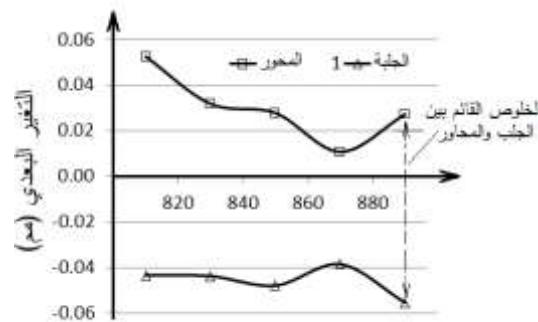
درجة حرارة المعالجة (درجة مئوية)

20mm القطر الاسمي (3/5)

25mm القطر الاسمي (4/5)



درجة حرارة المعالجة (درجة مئوية)



درجة حرارة المعالجة (درجة مئوية)

30mm القطر الاسمي (5/5)

الشكل (5): التغيرات البعدية الحاصلة على العينات من 6 وحتى 30 كتابع لدرجة حرارة المعالجة

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

ما يمكن استنتاجه من النتائج المقدمة بالبحث الحالي ينحصر بما يلي:

1. المعالجة الحرارية الكلية المطبقة وفقا للدورات المعتمدة بالبحث الحالي تضمن رفع قساوة المكونات المصنعة من الخليطة CK45 للقيم المستهدفة (من 48 إلى 52HRC) وذلك بغض النظر عن درجة حرارة المعالجة طالما أنها تقع بالمجال من 810 إلى 890°C.
2. المعالجة الحرارية الكلية للمحاور والجلب المصنعة من الخليطة CK45 تؤدي لتغيير حالات الأزواج بين المحاور والجلب من الوضع الانتقالي المناسب لصناعة القوالب H7/g6 اللي وضع تداخلي وذلك للأقطار الاسمية التي تتراوح بين 10 و 30mm.
3. تزداد قيم التداخل الحاصل بين الجلب والمحاور ذات الأقطار الاسمية 10mm و 15mm مع زيادة درجة حرارة المعالجة، ما يشير إلى ضرورة تنفيذ المعالجات الحرارية عند القيمة الأدنى للحرارة أي عند $T_1=810^\circ\text{C}$.
4. تنخفض قيم التداخل الحاصل بين الجلب والمحاور ذات الأقطار الاسمية 20mm و 25mm و 30mm مع زيادة درجة حرارة المعالجة حيث يستمر ذلك حتى الوصول لقيمة التداخل الأصغر عند درجة الحرارة 870°C وبالتالي يوصى بتنفيذ معالجات التقسية الكلية عند تلك الدرجة للأقطار أعلاه.
5. لا ضرورة لترك علاوات تشغيل اضافية على الأقطار الداخلية للجلب ولا على الأقطار الخارجية للمحاور حيث أن المعالجات الحرارية تخفض قيمة الأولى وتزيد قيمة الثانية ما يسمح بتنفيذ أعمال التشغيل اللاحق على تلك التغييرات بالأقطار.
6. يمكن الاستفادة من نتائج البحث العالي لإنتاج ومعالجة محاور وجلب لا تحتاج لعمليات انهاء لاحقة حيث يتم ذلك عن طريق انتاج محاور بأقطار أصغر من القيم الاسمية المفترضة وجلب بأقطار خارجية أصغر من القيم المفترضة وينفذ ذلك بقيم تحدد من خلال دراسة نتائج الاختبارات المقدمة من البحث الحالي.

التوصيات :

تم في البحث السابق دراسة مشكلة التغييرات الحاصلة على القيم التصميمية للازواجات fits القائمة بين المحاور والجلب المستعملة بصناعة القوالب، حيث أن إخضاع تلك المنتجات للمعالجة الحرارية يتسبب بنتشوهات متعددة ما يغير من حالات الأزواج بحيث يتم تحقيق قيمة علمية مضافة تساعد في تمكين وتحسين صناعة هذا النوع من القطع المستخدمة في صناعة القوالب وبالتالي التقليل من عمليات التشغيل المستخدمة ومنه اطالة في عمر الآلات المستخدمة والتقليل من الهدر في المواد الاولية المستخدمة والحصول على قطع تلبى الغرض المطلوب منها من حيث القساوة المطلوبة ومن حيث الأزواجات المطالب بها وفي الختام نوصي :

-التعمق في دراسة تأثير المتغيرات الاخرى المؤثرة على الأزواجات الاخرى.

-دراسة أزواجات اخرى من اجل تعميم النتائج على كامل قياسات الجلب والمحاور المستخدمة في صناعة

القوالب.

المراجع:

- [1] TOTTEN. G. E. BATES, C. E. ; CLINTON, N. A. "*Handbook of Quenchants and Quenching Technology*", ASM International Park, OH, 1993.
- [2] HARDIN. R. A.; BECKERMAN, M. C. "*Simulation of Heat Treatment Distortion*", The University of Low, Chicago, America.
- [3] SURBERG, C. H. STRATTON P.; LINGENHOLE, K. "The Effect of Some Heat Treatment Parameters on the dimensional Stability of AISi D2", Cryogenics, Vol. 48, Issues 1-2, 2008, PP 42-47.
- [4] HONG, Z. JUNJIE W.; HIA, G. "*Effect of Cryogenic Treatment on Dimensional Stability of Al Alloy 2A11*", Hot Working Technology, Issue 20, 2009.
- [5] SHU-HUNG YEH, LIU-HO CHIU, "*Relative Dimensional Change Evaluation of Vacuum Heat-Treated JIS SKD61 Hot-Work Tool Steels*", Journal of Materials Engineering and Performance, Vol. 23, Issue 6, 2014, PP 2075-2082.
- [6] SAHANA, M. CHOWDHARY, K. N. SATHEESHA, K. S. "*Effect of Hardening Temperature and Stabilization on Case Hardened Steel*", National Conference on Advances in Mechanical Engineering Science, 2016.
- [7] VERNON C. POTTER, W. BRIAN JAMES. ; THOMAS F. MURPHY, "*Improved Dimensional Control and Elimination of Heat Treatment for Automotive Parts*", Annual Powder Metallurgy Conference, Chicago, June 9-12, 1991.
- [8] ASM, International, "*Heat Treating of Steel*", Vol. 4, USA, ISBN 0-87170-379-3, 1991.
- [10] BARFORD, N. C. "*Experimental Measurements: Precision, Error and Truth*", Second edition, John Wiley & Sons, 1987.