الجمهورية العربية السورية
جامعـــة دمشـــق
كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية
قسم التصميم الميكانيكي



دراسة التشوهات الناتجة
عن عملية المعالجة الحرارية للفولاذ الكربوني

Study of the distortion resulted during Treatment of Carbon Steel

دراسة أعدت لنيل درجة الماجستير في علم المواد وهندستها

إعداد الطالبة : رولا قراجة

إشـــراف

د . محمد مازن يعقوب
(مشرفاً علمياً)
دكتور في قسم التصميم الميكانيكي

د. نورس درويش
(مشرفاً مشاركاً)
دكتور في مركز الدراسات والبحوث العلمية

2012/2011

بسم الله الرحمن الرحيم

"وأنزلنا الحديد فيه بأسٌ شديدٌ ومنافع للنّاس"

[النحل، الآية 25]

صدق الله العظيم

الإهداء

إلى كل قلم يكتب في سبيل نشر العلم

أهدي عملي هذا

شكر وتقدير

لا يسعني بعد أن منّ الله تعالى عليّ بإتمام هذه الرسالة إلا أن أتقدم بالشكر الجزيل لكلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية .جامعة دمشق .وأعضاء هيئتها التدريسية الأفاضل وكل من ساهم في إتمام هذه الدراسة، وأخص بالذكر أستاذي الفاضل **الدكتور محمد مازن يعقوب** .أستاذاً في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية .جامعة دمشق . (المشرف العلمي على الرسالة) والذي لم يدّخر جهداً في إبداء توجيهاته ونصائحه للخروج بالرسالة بأفضل وضع، كما أتقدم بالشكر العميم للأستاذ **الدكتور نورس درويش**. مدير بحوث في مركز الدراسات والبحوث العلمية .(المشرف المشارك) الذي غمرني بواسع علمه في مجمل جوانب الرسالة، كما وأخص بوافر الشكر والعرفان الأساتذة الكرام في قسم علم المواد وهندستها على ما قدموه من معلومات قيمة خلال دراستي للماجستير ساهمت في بلورة فكرة الأطروحة، وأخص بالذكر من ساعدني بالعملي السيد زهير ترباقي وأتقدم كذلك بالشكر الجزيل للأساتذة الكرام الذين تفضلوا بقبول المشاركة في مناقشة هذه الرسالة:

1. الدكتور خليل عزيمة مدرس في كلية الهندسة والميكانيكية والكهربائية .
2. الدكتور محمد فتحي غنمة مدرس في كلية الهندسة والميكانيكية والكهربائية .
3. الدكتور محمد مازن يعقوب مدرس في كلية الهندسة والميكانيكية والكهربائية .

داعيةً المولى عز وجل أن يجزي الجميع خير الجزاء

	العنـــــوان Title	الصفحة Page
	الباب الأول: الدراسة النظرية	**1**
	الفصل الأول: مقدمة في المعالجات الحرارية	**2**
1ـ	مقـدمـة	**3**
1ـ1	تعريف المعالجة الحرارية.	3
1ـ2	أهداف وفوائد المعالجة الحرارية.	4
1ـ3	أهمية المعالجة الحرارية.	5
1ـ4	الخلائط القابلة للمعالجة الحرارية	5
	الفصل الثاني: مراحل المعالجة الحرارية	7
2ـ1	مراحل المعالجة الحرارية:	8
2ـ1ـ1	التسخين.	8
2ـ1ـ2	الإبقاء في درجة حرارة معينة.	8
2ـ1ـ3	التبريد.	9
2ـ2	أنواع المغاطس المستعملة:	9
2ـ2ـ1	الماء.	9
2ـ2ـ2	الزيوت المعدنية.	9
2ـ2ـ3	الهواء المضغوط.	10
2ـ2ـ4	أحواض الأملاح المصهورة.	10
	الفصل الثالث: أهم طرق المعالجة الحرارية	11
3ـ	المعالجات الحرارية لخلائط الفولاذ الكربوني	12
	معالجات التطرية وإعادة التجانس البلوري	12
3ـ1	إزالة الإجهادات.	12
3ـ1ـ1	إعادة التبلور.	13
3ـ1ـ2	التطرية التنسيقية.	14
3ـ1ـ3	التنسيق.	14
3ـ1ـ4	الإحماء الانتشاري.	14

	الفصل الرابع: **ميكانيزم التقسية للفولاذ الكربوني**	16
4ـ1	تقسية الفولاذ الكربوني وتتضمن:	17
4ـ1ـ1	تأثير الكربون.	18
4ـ1ـ2	تأثير درجة حرارة التقسية	19
4ـ1ـ3	سرعة التبريد	20
4ـ2	أوساط التبريد وأنواعها	24
4ـ3	مراحل التقسية	25
	الفصل الخامس: **مشاكل المعالجات الحرارية**	28
5ـ1	المشكلات الناتجة من التقسية في القطع المعالجة حرارياً.	29
5ـ2	كيفية اختيار السقاية وفاعليتها	
5ـ2ـ1	الماء.	30
5ـ2ـ2	زيوت التقسية.	33
5ـ2ـ3	الهواء.	35
5ـ2ـ4	حمامات الملح	35
5ـ3	العوامل المؤثرة في معدلات التقسية	35
5ـ3ـ1	التقليب والتدوير.	35
5ـ3ـ2	درجة حرارة وسط السقاية.	36
5ـ3ـ3	حالة السطح	37
5ـ3ـ4	كمية وسط التبريد	39
5ـ3ـ5	زمن التبريد الكلي.	40
5ـ3ـ6	حجم المشغولة وكتلتها.	40
5ـ4	بعض مشكلات المعالجات الحرارية	42
5ـ5	تشققات التقسية وتشوهاتها	48
5ـ5ـ1	تأثير التصميم في التشوهات والعيوب	49
5ـ5ـ2	نوع الفولاذ وعلاقته بمشكلات التقسية	50
5ـ6	أساليب (تقنية) المعالجة الحرارية	50
5ـ6ـ1	العوامل المؤثرة في تشوه القطع المعالجة حرارياً	50
	الفصل السادس: **دراسات سابقة**	59

6 ــ 1	التشوهات في الشكل والحجم لفولاذ العدة	60
6ــ 2	التشوهات في الشكل والحجم للفولاذ الخلائطي	65
	البَاب الثَّاني: الدراسة العملية	67
	الفَصل الأوَّل: التجهيزات والمواد المستخدمة	68
1ــ	التجهيزات والمواد المستخدمة في البحث	69
1ــ2	التجهيزات المستخدمة في البحث	69
1ــ2ــ1	الفرن المستخدم	69
1ــ2ــ2	المجهر الضوئي	70
1ــ2ــ3	جهاز قياس القساوة Rockwell Hardness Tester	71
1ــ2ــ 4	جهاز التحليل الطيفي Spectro ma	72
1ــ3	المواد المستخدمة	73
1ــ4	الأدوات المستخدمة	73
	الفَصل الثَّاني: النتائج العملية والمناقشة	75
2ــ1	دراسة الفولاذ CK45	77
2ــ1ــ1	دراسة التغيرات الحجمية والقطرية للفولاذ CK45	80
2ــ1ــ2	دراسة القساوة وارتفاع درجة الحرارة	80
2ــ1ــ3	التشوه في الشكل	84
2ــ1ــ4	دراسة البنية الميتالوغرافية	86
2ــ2	دراسة الفولاذ الكربوني CK60	88
2ــ2ــ1	دراسة القساوة وارتفاع درجة الحرارة	88
2ــ2ــ2	التشوه في الشكل	93
2ــ2ــ3	دراسة البنية الميتالوغرافية	93
2ــ3	استخدام برنامج الــ Mat Lab للحصول على قيمة تقريبية للتشوه	95
	الفَصل الثَّالث: الاستنتاجات والتوصيات	97
	الاستنتاجات	98
	توصيات ومقترحات	100
	المــراجــع	101
	Abstract	102

الملخص

هذه الأطروحة هي في دراسة تأثير عملية التقسية والإرجاع على أبعاد القطع المعالجة وشكلها وبالتالي استنتاج بارامترات المعالجة الحرارية المثلى لنوعين من الفولاذ الكربوني CK45 /CK60 والتي تسبب أقل تغير في أبعاد القطع المعالجة وذلك من خلال دراسة تأثير هذه البارامترات في النسب المئوية للأطوار الفولاذية للقطع وفي التغيرات البعدية لها وبالتالي تؤدي إلى التقليل من تغير أبعاد القطع عن أبعادها التصميمية للحصول على الحد الأدنى من التغير البعدي، وبالتالي تقليل عمليات التشغيل النهائية على القطع المراد تجميعها غلى أكبر حد ممكن وتدارك هذا التغير خلال التصميم، وخاصة علاوة التشغيل المتروكة لتصحيح الخطأ الناتج عن المعالجة الحرارية، وبالتالي تقليل زمن الجلاخة بعد المعالجة.

واعتمدت بدراستي على ثلاث مناهج توصلت بنتيجتها إلى بناء منظومة من المعلومات الأكاديمية حول الموضوع وتجميع معلومات عن ماهية الاسلوب المطبق في المعامل وبعدها إجراء التجارب العلمية لإسقاطها على الواقع العملي.

واشتملت الدراسة على قسمين:

- **القسم الأول: قسم الدراسة النظرية والمتكون من الفصول التالية.**
- الفصل الأول: وهو عبارة عن مقدمة تعرضت فيها إلى المفاهيم الأساسية القائمة عليها عملية المعالجة الحرارية وأهميتها.
- الفصل الثاني: خصصته للحديث عن أهم أنواع المعالجة الحرارية وأقسامها.
- الفصل الثالث: خصصته للحديث عن ميكانيزم عملية التقسية
- الفصل الرابع: المعالجة الحرارية للفولاذ الكربوني
- الفصل الخامس: المشكلات التي تواجه المعالجة الحرارية وكيفية تجنبها
- الفصل السادس: دراسات سابقة لعدة أنواع من فولاذ العدة والفولاذ الخلائطي

- **القسم الثاني: الدراسة التطبيقية**

تحدثت فيه عن مواد وأجهزة الاختبار المستخدمة في الفصل السابع ثم قمت بإجراء اختبارات والمتمثلة بتصنيع مجموعة من الجلب والمحاور المستخدمة في عملية إغلاق القوالب (صب وسكب) من نوعين من المعدن CK45 /CK60 وثم إجراء عمليات القياس اللازمة لهذه القطعة بعد تشغيلها وتطبيق المعالجة الحرارية المناسبة لها بعدة درجات حرارة. ثم القيام بعمليات القياس مرة أخرى وإجراء عملية تصوير ميتالوغرافي وتدوين النتائج ومناقشتها في الفصل الثامن. وفي نهاية الرسالة وضعت ملحقاً توضيحاً لبعض النقاط الواردة ضمن الرسالة ويليها قائمة بالمصادر والمراجع المستخدمة ثم ملخصاً للرسالة باللغة الإنكليزية.

والله ولي التوفيق

ـ تمهيـد:

إشكالية الموضوع"studying Cause":

تواجه المعالجات الحرارية وخصوصا عمليات التقسية والإرجاع للقطـع الفولاذيـة مشكلات عديدة من أهمها:

القطع (التواء – تقوس – الثني)

تغيرات في أبعاد القطع (انكماش التمدد)

– التشققات الناشئة عن التبريد المفاجئ (Quench Cracking)

هذه المشكلات تنشأ غالباً نتيجة أما الإجهادات الداخلية أو/و التغيرات الطورية الناتجـة عن المعالجة الحرارية للقطع المستخدمة

أن التغير في أبعاد القطع الناتجة عن المعالجة الحرارية يؤدي في معظم الأحيان إلـى تغير الإزواج الخلوصي بين القطع المتداخلة وهذا بدوره يسبب عدم تداخل القطع المصـممة مع بعضها بعد المعالجة.

لذلك يجب الأخذ بعين الاعتبار التغيرات الحاصلة نتيجة المعالجة الحرارية عند تصميم القطع المتداخلة بازواج خلوصي لتقليل عمليات التشغيل النهائية (جلاخة) بعد عملية المعالجة الحرارية.

هـدف البحث "Purpose":

استنتاج بارامترات المعالجة الحرارية (تقسية وإرجاع) المثلى لأنواع مختلفـة مـن الفولاذ والتي تسبب أقل تغير في أبعاد القطع المعالجة وذلك من خلال دراسـة تـأثير هـذه البارامترات على النسب المئوية للأطوار الفولاذية للقطع وعلى التغيرات البعدية لهذه القطع

والبارامتر المتغير هو درجة حرارة تحول التسخين الأوستينيتي.

منهجية البحث "Searching Plan":

اعتمدت في دراستي على ثلاث مناهج نستوضحها فيما يلي:

1. المنهج الاستقرائي (Inductive Protocol): ذلك بجمع وتتبع الدراسات والنصـوص والكتب والمقالات المتوافرة في المكتبات العامة أو في مواقع على الشـبكة العنكبوتيـة

لتحقيق المعلومات الأكاديمية المتعلقة بالموضوع والمتمثلة بالدراسة النظرية (Theoretical Study) والتي تشمل:

- أهم طرق المعالجة الحرارية للفولاذ الكربوني.
- ميكانيزم عملية التقسية للفولاذ الكربوني.
- المشكلات العامة في المعالجة الحرارية وكيفية تجنبها.
- دراسة عن التشوه في الشكل والأبعاد لعدة أنواع من الفولاذ.

2. المنهج الإحصائي (Statistic Protocol): وذلك بجمع البيانات والمعلومات من الواقع العملي لإسقاطها في ضوء الدراسة النظرية ونتائج التجارب العلمية.
3. المنهج التحليلي والاستنباطي (Synthesis and Detective Protocol): وذلك من خلال إجراء التجارب العملية للوصول إلى النتائج المضمنة في هدف البحث وإسقاطها على الواقع العملي، هذه التجارب تطبق باتباع تسلسل محدد لعدة نقاط تبدأ باختيار نوع الفولاذ المستخدم في تصنيع الجلب والمحاور في قوالب الصب واختيار الأبعاد حسب معيار الـ DME الألماني المستخدم في تصميم القوالب يليها إجراء الاختبارات المحددة ثم مناقشة نتائجها.

﴿البَاب الأَول﴾

الدراسة النظرية

﴿ الفَصل الأوَّلَ ﴾

مقدمة في المعالجات الحرارية

1ــ مقــدمة (Introduction) :

1 ــ1 تعريف المعالجة الحرارية:

إن الغاية من المعالجات الحرارية بصورة عامة هــي الــتحكم بــالخواص الفيزيائيــة والميكانيكية للقطع المعدنية وذلك دون إحداث أي تغيير في شكلها أو تركيبها الكيميائي.

ويتم الحصول على هذه النتيجة بإعطاء القطعة المعدنية كمية من الحرارة تم أخذها منها حسب برنامج زمني معين[1].

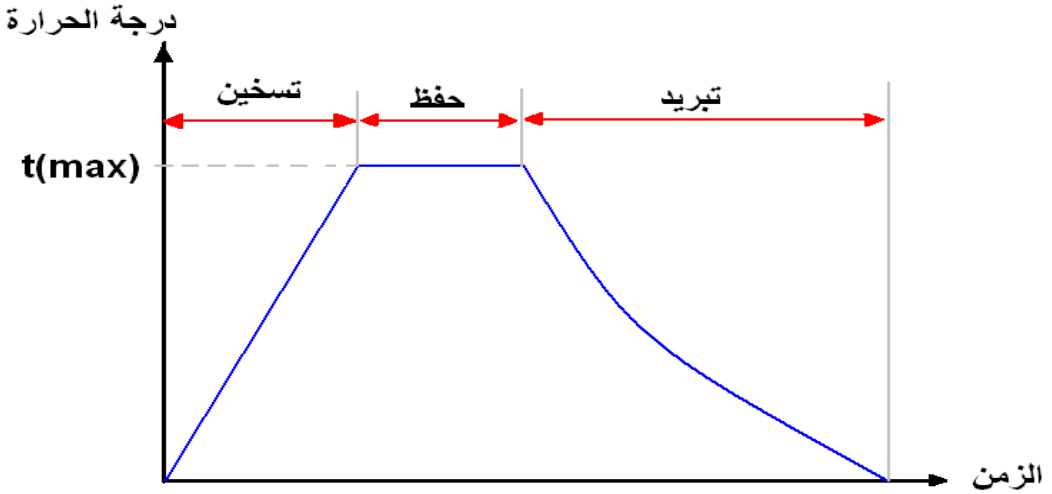
وخلال هذه العملية تتغير بنية القطعة البلورية، أو بالأحرى تتغير أشكال الهياكل الشبكية وينتج ذلك تغير في الخواص الفيزيائية والميكانيكية.

وفيما يلي نوضح المراحل الأساسية التالية والمبينة بالشكل رقم (1 ــ 1).

1 ــ تسخين بمعدل محدد للوصول إلى درجة حرارة معينة.

2 ــ الاحتفاظ بالجزء المعالج عند درجة الحرارة المناسبة (Soaking التشريب الحراري) لفترة زمنية كافية حتى تصل كامل القطعة إلى درجة الحرارة المذكورة.

3 ــ التبريد بمعدل محدد وتعتبر هذه الخطوة من الخطوات الأساسية المحددة لخواص القطعة المعالجة.



نظام المعالجة الحرارية البسيطة

الشكل (1 ــ 1) دورة للمعالجات الحرارية

1ــ 2 أهداف وفوائد المعالجة الحرارية:

بما أن المعالجات الحرارية تهدف إلى تحسين خواص الفلزات والسبائك فيمكن إيجـــاز أغراضها بصورة عامة فيما يلي:

1 ــ زيادة القساوة ورفع المقاومة الميكانيكية.

2 ــ تحسين المطيلة، ورفع المتانة.

3 ــ تطرية المادة وتليينها لتسهيل عمليات التشكيل التالية ، أو لتسهيل عمليات القطع.

وفي حالات خاصة يضاف إلى فوائد المعالجات الحرارية الأهداف التالية:

1 ــ إزالة الإجهادات الداخلية الناتجة عن التشغيل بالآلات، أو من الحدادة، أو الصب.

2 ــ إزالة أي آثار للتشكيل على البارد.

3 ــ الحصول على حجم حُبيبي منتظم [2].

1ـ 3 أهمية المعالجة الحرارية:

لا يمكن تصور الحياة الصناعية، وما ستكون عليه التطبيقات المختلفة للمواد الفلزية واستخداماتها إذا لم يكن بالإمكان تغيير خواصها والتحكم فيها بالمعالجات الحرارية المختلفة، فبدون المعالجة الحرارية ما كان لكثير من الصناعات العصرية المتقدمة أن تقوم لها قائمة، ومن أمثلة الصناعات التي تعتمد اعتماداً كبيراً على المعالجات الحرارية: صناعة السيارات، وصناعة الطائرات، والصناعات الفضائية، وغيرها الكثير؛ وباختصار: فإن تقدم البشرية ونهضتها، بل ورفاهيتها، لا يمكن أن تصل إلى ما وصلت إليه الآن ما لم يتم التعرف على المعالجات الحرارية، وكيفية استخدامها، للتحكم في خواص المواد الفلزية؛ ومن أبسط الأشياء التي تذكر في هذا الصدد الشفرات الفولاذية حادة النصل التي لا يمكن توافرها إلا من خلال المعالجة الحرارية، وبدون هذه الشفرات الدقيقة لا يمكن إجراء العمليات الجراحية الناجحة بالدقة المعروفة الآن [3].

1ـ 4 الخلائط القابلة للمعالجة الحرارية:

تستجيب جميع أنواع المعادن والخلائط المعدنية لبعض أنواع المعالجات الحرارية استجابات مختلفة فيما بينها، وبالتالي تتأثر الخواص النهائية لكل معدن، ومن أمثلة ذلك، إن أي فلز أو سبيكة يمكن أن يطرى ويلين من خلال دورة مناسبة من التسخين والتبريد (وهذا ما يسمى بالتلدين).

وعلى نقيض ذلك فإن السبائك يمكن أن تقسى وترفع مقاومتها الميكانيكية من خلال معالجة حرارية ذات ترتيب معين، بينما الفلزات النقية لا تصلح للمعالجة الحرارية من وجهة النظر العملية. [1].

وبالتالي نجد أن أكثر السبائك الحديدية القابلة للمعالجة الحرارية (هو الفولاذ الكربوني أو الخلائطي) ونستنتج أنه من أحد أهم المواد القابلة للمعالجة حرارياً؛ ويرجع ذلك إلى:

1 ــ استجابة معظم أنواع الفولاذ، سواء أكانت كربونية أو خلائطية لكثير من أنواع المعالجة الحرارية، وكل سبيكة من هذه السبائك تستجيب ــ على الأقل ــ لواحد أو أكثر من المعالجات الحرارية.

2 ــ يمثل الفولاذ النسبة الأكبر من المواد الصناعية المستخدمة في التطبيقات المختلفة، حيث تصل نسبة الفولاذ إلى أكثر من 80% من مجموع المواد الفلزية المستخدمة صناعياً.

3 ــ يمكن التحكم بالمقاومة الميكانيكية للفولاذ بنوعيه وزيادتها إلى عدة درجات مقارنةً مع نفس أنواع السبائك الغير حديدية [3].

4 ــ يدخل الفولاذ بنوعيه بنسبة ((80%)) من مجموع المواد المعدنية المستخدمة صناعياً، ويمكن والحصول على خواص مختلفة له من خلال معالجة حرارية متعددة .

ورغم أهمية سبائك الفولاذ في الاستجابة للمعالجة الحرارية، إلا أن هناك عدداً من سبائك الفلزات غير الحديدية التي تستجيب للمعالجة الحرارية، ومن أهمها سبائك الألمنيوم، والنحاس، والنيكل، والمغنزيوم، التيتانيوم.

﴿ الفَصْلُ الثَّاني ﴾

مراحل المعالجة الحرارية

2ـ1 مراحل المعالجة الحرارية:

يراعى أن جميع عمليات المعالجات الحرارية للفولاذ قائمة على أساس تحول الأوستينت أو تفككه، أي أن نواتج تحولات الأوستينت ـ كمّاً ونوعاً ـ هي العمل المتحكم والمنظم للخواص الفيزيائية والميكانيكية لأي فولاذ معالج [5].

2ـ 1 ـ1 التسخين: عند معدل تسخين محدد (Heating at specific rate):

وهي بطبيعة الحال نفس الخطوة المتبعة عند معالجة الفولاذ حرارياً، حيث يسخن الفولاذ إلى درجة حرارة معينة، وتكون درجة حرارة المعالجة، في هذه الحالة، في مدى درجة الحرارة الحرجة أو أعلى منها قليلاً، وذلك لضمان تكون الأوستينت، ويراعى في جميع الحالات أن يكون معدل التسخين إلى درجة الحرارة المطلوبة سريعاً إلى حد ما، ولكن يجب ألا يكون سريعاً جداً، لأن التسخين السريع جداً يمكن أن يؤدي إلى:

a. عدم انتظام التمدد الحجمي في القطعة، وبالتالي يؤدي ذلك إلى عدة مشاكل كالتشوه ويمكن أن يؤدي أحياناً إلى تشققها.

b. في حالة معالجة الفولاذ ذي الإجهادات الداخلية العالية الناتجة عن التشكيل على البارد، فلا بد من التسخين ببطء مقارنة بالفولاذ الخالي من الإجهادات، وذلك لتجنب التشوه أو الاعوجاج، لأن النوع الأول سريع التأثير بالإجهادات الحرارية [5]

2 ـ1ـ2 الإبقاء عند درجة حرارة معينة (Soaking):

هي درجة حرارة التشريب الحراري التي تحدد نوعية التحول في التركيب البنائي للفولاذ المعالج، كما أنها تحدد أيضاً اكتمال الاتزان أو عدم اكتماله مع العلم أن العامل الاقتصادي يتطلب أن يكون زمن التشريب قصيراً قدر الإمكان.

وللحصول على أفضل النتائج، فلا يجب التسخين ـ بأي حال من الأحوال ـ إلى درجة حرارة أعلى من اللازم.

2 ــ1ــ3 التبريد (Quenching):

يجب أيضاً التحكم في معدل التبريد لأنه العامل الأساسي المؤثر في التركيب البنائي النهائي، وبالتالي تحديد الخواص، ويحدد معدل التبريد طبقاً لنوع الخواص المطلوبة، وتكون معدلات التبريد بالصور التالية:

a. معدل تبريد بطيء جداً، وهو مهم وأساسي للوصول إلى حالة الاتزان، ويكون ذلك مطلوباً في حالة التلدين. ويجري عملية تبريد في الفرن أو في الأغلفة، كما تتم أيضاً في حالة معالجة المراجعة الحرارية، ويجري التبريد عندئذ في الهواء.

b. معدل تبريد متوسط ينتج عنه بنية بلورية متجانسة، وهو معدل مفضل في حالة معالجة مشاكل التشقق

c. معدل تبريد سريع جداً ويستخدم عندما نريد الاحتفاظ بالتركيب البنائي المتكون عند درجات الحرارة العالية ــ التشريب ــ كما في حالات التقسية [4].

2 ــ 2 ــ أنواع المغاطس المستعملة في المعالجة الحرارية:

2ــ2ــ1 الماء:

ويفضل الماء الجاري أما الماء الساكن إما يحرك أو يتم تحريك القطعة أثناء تغطيسها فيه، والهدف من التحريك هو إزالة الطبقة الرقيقة من بخار الماء التي سرعان ما تغلف القطعة عند تغطيسها وتشكل حولها عازلاً أقل ناقليه وقدرة على امتصاص الحرارة من الماء كما أن التحريك يجعل القطعة بتلامس مستمر مع الأجزاء التي لا تزال باردة من الوسط المبرد دون الاعتماد على ناقليه هذا الوسط.

ويستعمل الماء في حال الفولاذ الفحمي وخصوصاً الفقير بالفحم، كما يضاف للماء نسبة قليلة من ملح الطعام أو أملاح أخرى وذلك لزيادة سرعة تبريده.

2 ــ2ــ2 الزيوت المعدنية:

ويشترط في زيوت التبريد أن تتمتع بشروط خاصة منها أن تكون قليلة اللزوجة في درجة حرارة الاستعمال وأن تكون ذات درجة حرارة عالية.

تستعمل الزيوت لتبريد بعض أنواع الفولاذ السبائكي الذي تكون نسبة العناصر فيه متوسطة، أو الكربوني الغني بالكربون.

2 ــ2ــ3 الهواء المضغوط:

ويستعمل في تبريد بعض أنواع الفولاذ السبائكي الغني بالعناصر السبائكية كالفولاذ السريع المستعمل في صنع العدد القاطعة والذي يحتوي على نسبة كبيرة من التنغستين وغيره من أنواع الفولاذ السبائكي [4].

2 ــ2ــ4 أحواض الأملاح المصهورة:

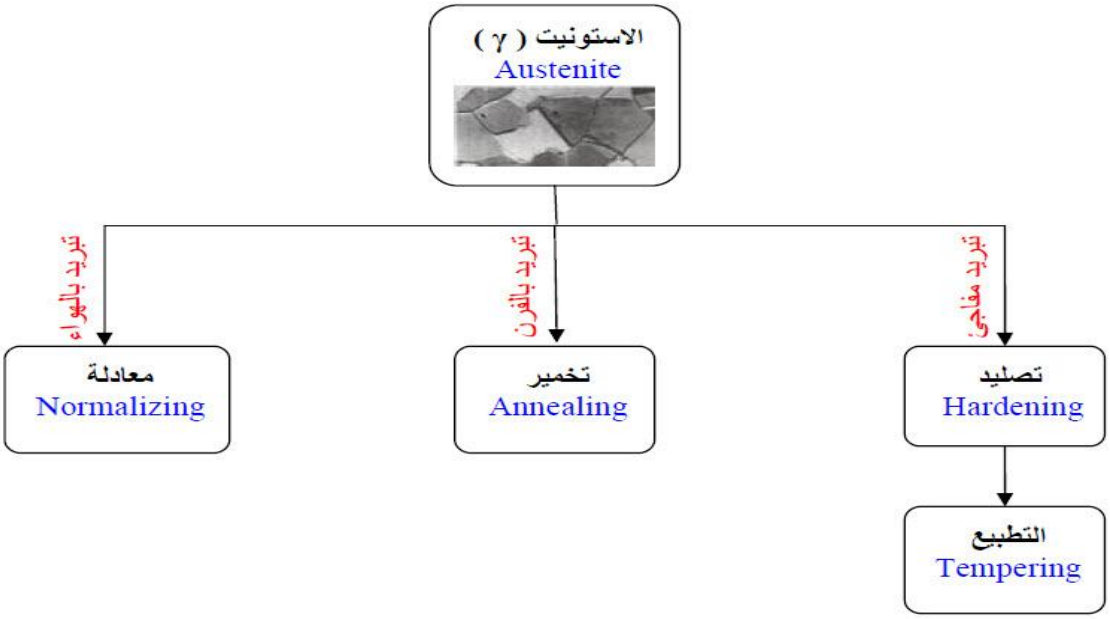
تتراوح درجة حرارة الأحواض المستعملة لهذه الغاية بين C(600-200) مئوية وتستعمل لأنواع الفولاذ الخلائطي الغني بالعناصر السبائكية أي نفس الأنواع تقريباً التي يستعمل معها الهواء المضغوط إلا أن أحواض الأملاح هذه تفضل على تلك لأن تأثير التبريد في أحواض الملح يكون متساوياً من كافة الجهات بالنسبة للقطعة المراد تبريدها بينما في حال التبريد بالهواء المضغوط فإنه يكون شديداً من الجهة التي يضغط منها الهواء، وأقل شدة في الجهات الأخرى هذا من جهة ،ومن جهة أخرى فإن الأملاح تحمي سطح المعدن من التأكسد[4].

﴿ الفَصل الثَّالث ﴾

أهم طرق المعالجة الحرارية

3ـ أهم المعالجات الحرارية للفولاذ الكربوني :

تضم هذه التسمية عدداً من العمليات الحرارية التي تجري على الفولاذ للتحكم بخواصه الميكانيكية وبنيته البلورية، وتختلف هذه العمليات باختلاف الخواص الميكانيكية والبنية الصلبة المراد الحصول عليها من جهة، وتركيب الفولاذ وبنيته الأساسية من جهة أخرى وأهم أنواع المعالجات الحرارية التي تجري على الفولاذ هي التالية والمبينة بالشكل (3-1):



الشكل (3-1) أنواع المعالجات الحرارية التي تجري على الفولاذ [5]

3ـ 1 معالجات التطرية وإعادة التجانس البلوري:

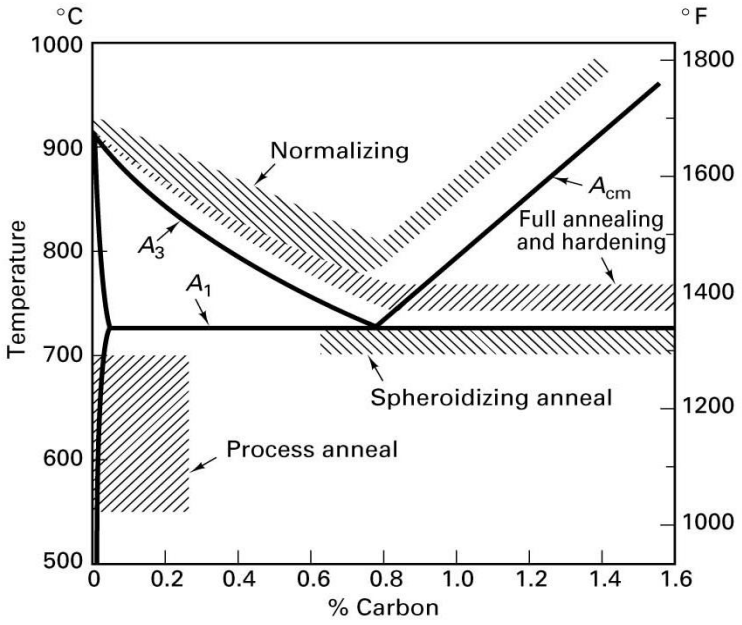
وتتنوع أشكال المعالجة الحرارية حسب الغاية المرجوة منها وحسب الخواص النهائية المطلوبة للمعدن وهي كالتالي:

3 ـ 1ـ 1 إزالة الإجهادات: (Stress relieving):

تتعرض القطع المشكلة ميكانيكياً ((على الساخن وعلى البارد)) أثناء تشكيلها لقوى معينة ويكون تأثير هذه القوى غالباً على سطح القطعة المشكلة مما يسبب وجود نوع من الإجهادات التي قد تسبب تشوهاً في شكل القطعة من جهة وتحد من قابليتها للتشغيل من جهة أخرى.

لإزالة مثل هذه الإجهادات يجب معالجة القطعة حرارياً بتسخين هذه القطع إلى درجة حرارة مناسبة وإبقائها فترة زمنية تختلف باختلاف سماكة القطعة المعالجة ثم تبرد ببطء إلى درجة الحرارة العادية.

يجب أن تبقى درجة الحرارة دون درجة (723c°) ودرجات الحرارة المستعملة في هذه الطريقة تتراوح بين C° (650 – 500) [7].



الشكل رقم (3ــ 2) جزء من منحني الاتزان الحراري للحديد ــ كربون موضحاً به درجات الحرارة الحرجة ومناطق المعالجة الحرارية المختلفة: الإرجاع، والتلدين، والتكوير[7]

3 ــ 1ــ2 إعادة التبلور:

إن التشكيل الميكانيكي وخصوصاً التشكيل البارد لقطع الفولاذ يشوه شكل البلورات بحيث تتكسر وتستطيل باتجاه التشكيل من جهة، ومن جهة أخرى فإن خواصها الميكانيكية تتغير نتيجة للتشكيل،(حيث أن القطعة تصبح قاسية وقليلة القابلية للتشكيل) فتتحول إلى بنية متجانسة وحجم حبيبات متناسق، ولإصلاح قابلية التشكيل هذه تعالج القطع حرارياً بما يسمى الإحماء البلوري وتعتمد هذه الطريقة على إحدى خواص المعدن المشكل على البارد وهي أنه حول البلورات المشوهة تنشأ بذور جديدة للتبلور يمكن إعادة تبلور البنية حول هذه البذور إذا أتيحت لها الفرص المناسبة والبلورات الجديدة لم تعد مشوهة أو متطاولة بل تقريباً متجانسة الأبعاد في مختلف الاتجاهات [6].

إن درجة الحرارة اللازمة لعملية إعادة التبلور تتعلق كما ذكرنا بمقدار التشكيل وتتراوح غالباً بين(500- 600) درجة مئوية.

3ـ 1ـ 3 التطرية: (Annealing)

إن الغاية من التطرية جعل بنية الفولاذ أطرى ما يمكن دون تغير نوعية البنية وذلك لتسهيل عمليات التشكيل أو التشغيل اللاحقة.

وتتم التطرية في الأفران المناسبة وذلك بتسخين القطعة إلى ما دون الدرجة A_1 أي إلى درجة حرارة تتراوح ما بين (700 و650) درجة مئوية حيث يتم إبقاؤها لفترة تتعلق بسماكة القطعة ثم تبرد تبريداً بطيئاًو بهذه العملية تتحطم صفائح السمنتيت الموجودة في البرليت وتتحول إلى حبيبات ناعمة.

3 ـ 1ـ 4 التطرية التنسيقية:

أي التطرية مع إعادة التوازن بين البلورات وتوحيد شكلها وتتبع هذه الطريقة بصورة خاصة لتطرية البنية البرليتية الخشنة الحبيبات التي تزداد خشونة حبيباتها أثناء عملية إعادة التبلور.

ولهذه الغاية تسخن القطعة إلى ما فوق A_3 بحوالي 20 ـ 30 ْ حيث تترك لبضعة دقائق ثم تبرد إلى ما دون A_1 حيث يتم إبقاؤها في درجة حرارة تتراوح بين C(650 و550) لمدة من ساعتين إلى ست ساعات وذلك كي نضمن تحول البرليتالصفائحي إلى برليت حبيبي، ثم تبرد إلى درجة الحرارة العادية تبريداً بطيئاً.

3ـ 1ـ 5 التنسيق: Normalizing

إن التنسيق أبسط المعالجات الحرارية وتتلخص هذه العملية بتسخين القطعة المراد تنسيقها إلى ما فوق A_3 بقليل وتركها بحيث تتساوى درجة الحرارة في مقطع القطعة ثم تركها تبرد تلقائياً في هواء ساكن [8].

3ـ 1ـ 6 الإحماء الانتشاري:

إن الغاية من هذه العملية هي إزالة عدم التجانس الكيميائي ضمن البنية وذلك بالعمل على توزيع ذرات العناصر السبائكية بشكل منتظم في بنية الفولاذ ذلك لأنه أثناء تجمد الفولاذ تكون نسبة العناصر السبائكية في البلورات الأولية أقل منها في المحلول السائل الباقي وبالتالي أقل منها في البلورات الثانوية مما يسبب عدم تجانس في التركيب الكيميائي للبنية.

ولجعل القطعة متجانسة كيميائياً يجب تسخينها إلى درجة حرارة تصبح فيها ذرات العنصر السبائكي قادرة على الانتقال داخل القطعة من بلورة إلى أخرى أي حيث تصبح سرعة الانتشار كافية لتعديل أو إزالة عدم التجانس الكيميائي هذا. وتختلف حسب مقدار التجانس المطلوب الحصول عليه من جهة وحجم بلورات أو حبيبات القطعة المسموح بها من جهة أخرى كما تختلف باختلاف العنصر السبائكي المراد توزيعه في البنية ودرجة الحرارة حوالي الـ 1000 م° أما الفترة اللازمة للإبقاء في درجة الحرارة فتتراوح بين بضع ساعات وبضعة أيام [8].

﴿ الفَصل الرَّابع ﴾

ميكانيزم التقسية للفولاذ الكربوني

4ـ 1 تقسية الفولاذ الكربوني:

يتم كما ذكرنا سابقاً أن رفع القساوة والمقاومة الميكانيكية للفولاذ الكربوني والسبائكي من خلال تسخين القطع المعالجة في التركيب الأوستينيتي والاحتفاظ عند هذه الدرجة ثم التبريد بأحد وسائل التبريد التي تم ذكرها سابقاً [4].

نحصل على التركيب البنية المارتنسيتية القاسية عند استخدام التبريد السريع الذي هو أقسى البنى في الفولاذ.

مع الأخذ بعين الاعتبار أن الفولاذ عالي القساوة غالباً ما يكون عرضة للتقصف الزائد أو ارتفاع في التقصف، وعلى مهندس التصميم أو مهندس المعادن الذي يقترح أسلوب المعالجة الحرارية أن يحاول الوصول إلى الحالة المثالية الذي يجمع بين أقصى قساوة ممكنة وأقصى متانة ممكنة أيضاً. وأفضل حل مثالي لهذه المعضلة يمكن أن يحقق من العلاقة: قساوة عالية ومتانة مقبولة من خلال عملية التقسية يليها عملية إرجاع. هناك ثلاث شروط لعملية التقسية:

1 ــ محتوى كربوني مناسب في الفولاذ السبائكي لتكوين المارتنسيت.

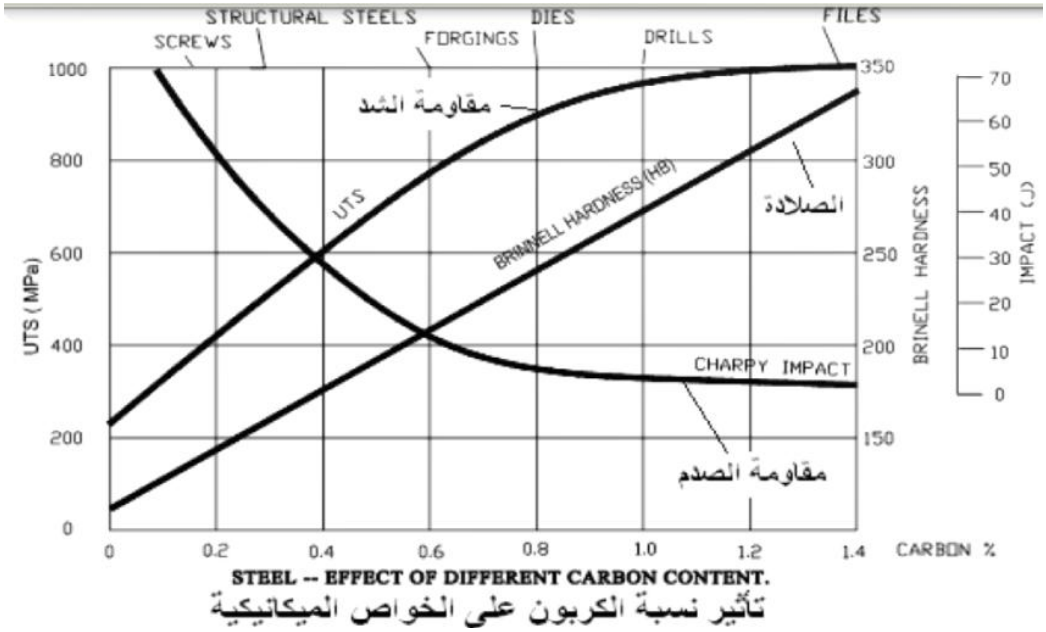
2ــ التسخين لدرجة الحرارة الصحيحة مع إعطاء القطع المعالجة الزمن الصحيح للوصول إلى التشريب الحراري الصحيح بحيث يتحول كامل التركيب البنائي إلى الحالة الأوستينيتية.

3 ــ معدل تبريد سريع بما فيه الكفاية، للحصول على البنية المارتنسيتية المقساة [8].

وسنناقش كل عامل من العوامل الثلاثة شيء من التفصيل فيما يلي:

4 ــ1 ــ 1 تأثير الكربون:

إن العامل الأول والرئيس في عملية التقسية هو كمية الكربون في الفولاذ فلا أن تحتوي السبيكة على كمية كافية منه حيث يعد الكربون أهم عنصر سبائكي في الحديد، وهو الذي ينظم في تغير الخواص الميكانيكية، فهو مؤثر قوي في كل من القساوة والمقاومة الميكانيكية. وبالتالي فإن الكربون يرفع مقاومة الفولاذ للحت والبري والكحت. ورغم أن معظم سبائك الفولاذ الكربوني يمكن تقسيتها إلا يظهر تأثير التقسية في السبائك إلا إذا وصلت نسبة الكربون في السبيكة إلى 0.35% وهذا موضح بالشكل التالي (4-1) [8]:



الشكل رقم (4 ــ 1) تأثير نسبة الكربون في رفع صلادة الفولاذ الكربوني في حالتيه المارتنسيتية والبرليتية

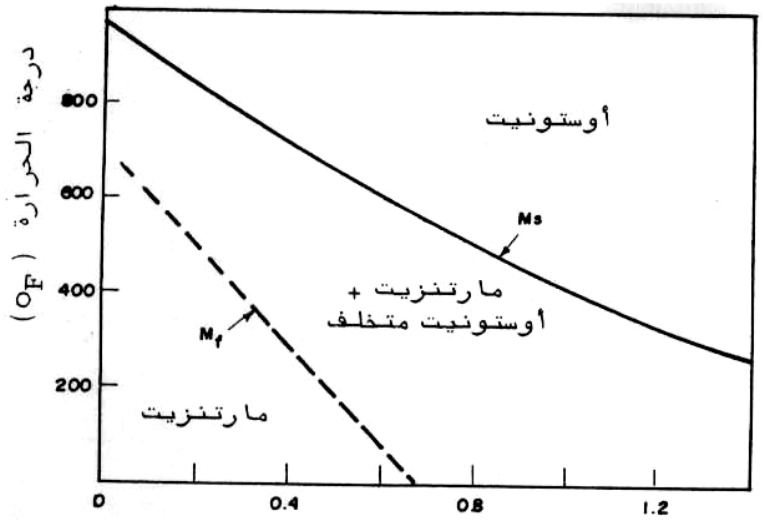
تعتمد قساوة المارتنسيت على نسبة الكربون في السبيكة وتصل القساوة إلى أقصى رقم لها وهو(66 HRC) وذلك للفولاذ المحتوي على 0.6% كربون.

عند زيادة نسبة الكربون على القيمة المذكورة، فإنها لا تؤثر بصورة ملموسة على القساوة. ولكن عند استخدام جهاز فيكرز الأكثر حساسية من جهاز روكويل (لأنه يستخدم الهرم الحاد مقارنة بالشكل المخروطي المستدير في روكويل) يظهر استمرار زيادة القساوة مع زيادة نسبة الكربون حتى 1.2%.

تأثير الكربون ليس في رفع القساوة فقط وإنما له دور في درجة حرارة نهاية التحول المارتنسيتي (M_F) للفولاذ ذو نسبة 0.6% كربون وبالتالي فإن الفولاذ بعد المعالجة سوف

يحتفظ بجزء من الأوستنيت لأن درجة حرارة نهاية التحول المارتنسيتي (M_F) تصبح أقل من درجة حرارة الغرفة.

وبالتالي المنحني رقم (4 ــ 2) يبين تأثير نسبة الكربون في درجات حرارة كبداية التحول المارتنسيتي ونهايته في سبائك الحديد ــ كربون.



الشكل (4-2) تأثير نسبة الكربون في درجة حرارة بداية ونهاية التحول المارتنسيتي لخلائط الحديد-كربون [8]

4 ــ 1ــ 2 تأثير درجة حرارة التقسية:

تعد درجات حرارة التقسية الشرط الثاني اللازم لنجاح التقسية، ويتمثل هذا الشرط في تسخين القطعة إلى درجة حرارة التقسية الصحيحة المتفق عليها.

يؤدي التسخين إلى درجة حرارة أعلى كثير من درجة الحرارة الحرجة إلى ازدياد في حجم حبيبات الأوستنيت ويؤدي هذه بدوره إلى زيادة كبيرة في عمق التقسية [9].

وعند تقسية القطع الضخمة مثل: لقم الحدادة أو الطرق.. إلخ التي تتطلب أعماقاً أكبر لطبقة التقسية، يتم وضع القطع الضخمة في الفرن لزمن مدروس وأطول من القطع الصغيرة حتى تصل كامل أجزاء القطع إلى درجة الحرارة المطلوبة، وبالتالي نحصل على تقسية منتظمة على كامل أبعاد القطعة وبالعمق المطلوب، ويساعد ذلك في التأكد من انتظام التقسية السطحي ووصولها إلى أعماق كبيرة. وعند تقسية اللقم والقوالب الصغيرة رقيقة المقطع، يجري تسخينها إلى درجات حرارة قريبة لدرجات الحرارة الحرجة، أي أن القطع كبيرة الحجم تسخن عادة إلى درجات حرارة على الجانب الأعلى من المدى وتعطي المعالجات

الحرارية بالصورة المذكورة نتائج مرضية. ويحتفظ بقطع الفولاذ عند درجة حرارة التحول الأوستينيتي وتسمى هذه المرحلة باسم التشريب الحراري.

وللحد من أية فرصة لحدوث التشققات أثناء تسخين القطع المركبة أو المقاطع الضخمة من الفولاذ عالي السبائكية أو فولاذ العدد، ويوصى بإجراء تسخين مسبق (Preheating) لهذه القطع قبل تسخينها إلى درجات حرارة معالجة التحول الأوستينتي. ويجري التسخين المسبق للفولاذ ببطء وبانتظام حتى الوصول إلى درجة حرارة أقل بقليل من درجة حرارة التحول الأوستينتي.

يهدف التسخين المسبق إلى ما يلي:

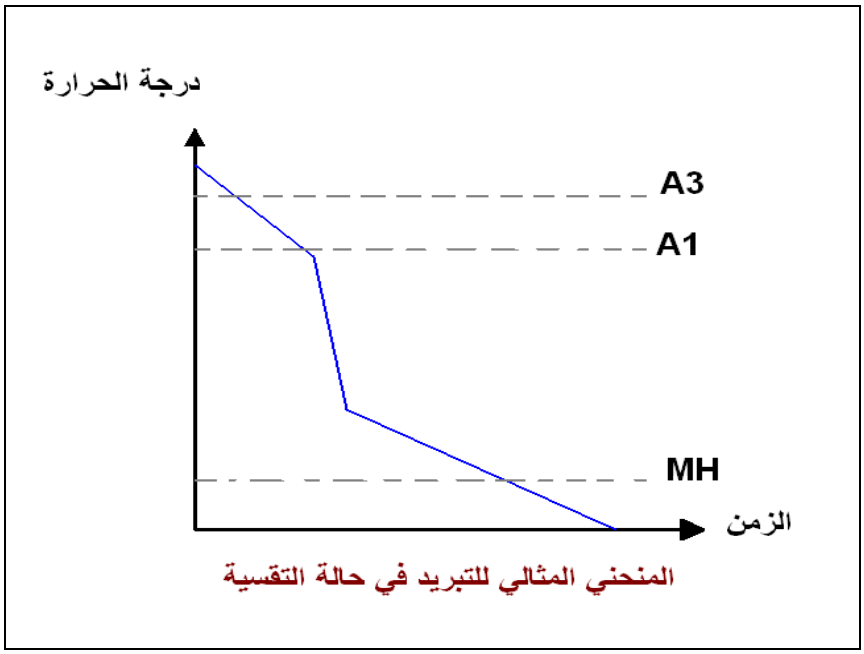
a. الحد من الصدمات الحرارية، والتقليل من إمكانية حدوثها نظراً إلى أن التسخين يكون بصورة تدريجية وليس فجائية. ومن المعروف أن الصدمات تحدث دائماً في القطع الباردة إذا وضعت مباشرة في أفران التقسية، حيث تعرض القطع فجأة لدرجات حرارية عالية، وتخفيض الصدمات الحرارية مفيد في التقليل من التشوهات الزائدة أو الفتل أو التشققات أو الحد من وقوعها.

b. بدء تفاعلات التحول الأوستينتي حيث يعمل التسخين المسبق على وضع الكربيدات في صورة أفضل للذوبان بسهولة عند تعرضها لدرجات حرارة المعالجة الحرارية.

c. إزالة الإجهادات الداخلية المتولدة من تشغيل القطعة بالآلات، وغالباً ما تزال الإجهادات الداخلية عند درجات حرارة أقل من درجة حرارة الحد الأدنى، وتخلص القطع نهائياً من هذه الإجهادات قبل حدوث أي تحول في الفولاذ [9].

4ـ 1 ـ 3 معدل سرعة التبريد:

إن المتطلب الثالث والأخير اللازم للحصول على تقسية سليمة لسبائك الحديد ـ الكربون هو التبريد السريع للقطع من درجة حرارة التحول الأوستينتي. ولا بد أن يكون معدل التبريد سريعاً بما فيه الكفاية لكي يبرد الأوستنيت بصورة سريعة إلى درجة حرارة بداية التحول المارتنسيتي (أي قبل أن تكون هناك أية فرصة للبرليت الاعتيادي في التكون، نظراً إلى أن معدل التبريد الحرج للبرليت أقل من معدل التبريد الحرج يعطي فرصة لتكون البرليت)، ويتأثر معدل التبريد الحرج المطلوب للتبريد المفرط للأوستنيت بكل من نوع العناصر السبائكية في الفولاذ وكميتها، وحجم حبيبات الفولاذ، ويساعد كلا العاملين في نجاح التقسية الكاملة للفولاذ،المنحني المثالي للتبريد في حالة التقسية مبين بالشكل (4-3).

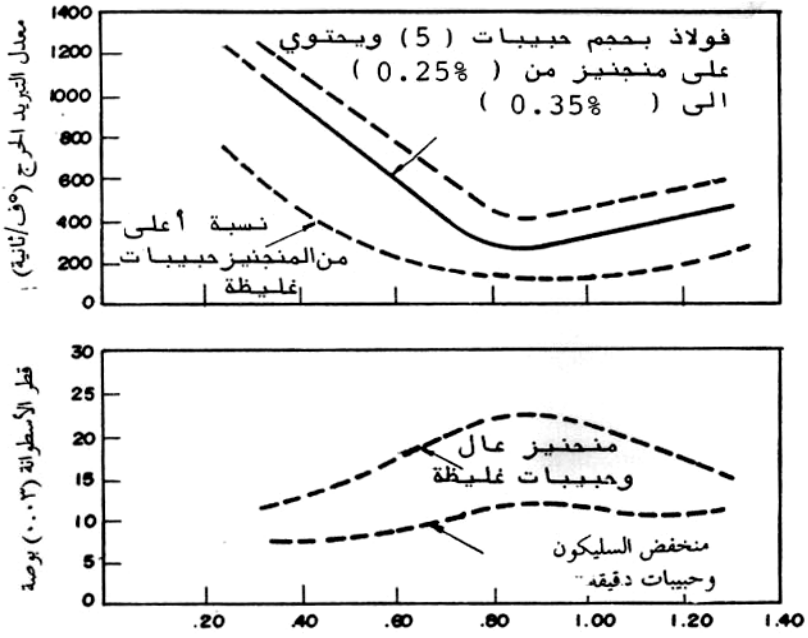


الشكل (4-3) المحني المثالي للتبريد في حالة التقسية [8]

وفيما يلي تفصيل هذين العاملين:

أ ــ تأثير العناصر السبائكية:

بوجه عام، إن تقسية الفولاذ السبائكي أكثر سهولة مقارنة بالفولاذ الكربوني، والفولاذ السبائكي يتمتع بحساسية أقل ومدى أوسع لدرجات حرارة التقسية ومعدلات السقاية، وهذا يسهل كثيراً على القائمين على المعالجة الحرارية القيام بعملية تقسية الفولاذ السبائكي والحصول على النتائج المطلوبة بصورة صحيحة مرضية [7].



الشكل رقم (4 ــ 4) الذي يبين علاقة معدل التبريد الحرج لسبائك الفولاذ الكربوني وتأثير عنصري الكربون والمنغنيز في معدل التبريد الحرج، وكذلك يبين أيضاً تأثير الحبيبات في معدلات التبريد [8].

الجدول (4 ــ 1) مقارنة بين معدلات التبريد الحرجة لكل من الفولاذ الكربوني والفولاذ النيكلي:

المحتوى الكربوني	معدل التبريد الحرج (مْ/ ثانية)	
(%)	فولاذ كربوني	فولاذ نيكلي، يحتوي على 3% نيكل
0.20	700	43
0.40	511	34
0.60	333	23
0.80	161	18
1.0	180	22
1.20	230	28

نجد أن التغير في معدلات التبريد الحرجة نتيجة إضافة النيكل مقارنة بالفولاذ الكربوني.

يسمح التغير الملحوظ في معدل التبريد الحرج، بتقسية الأجزاء الصغيرة في أوساط تقسية معتدلة مثل الزيت حتى الهواء. وعموماً يعتمد معدل التبريد الحرج في الفولاذ السبائكي ــ إلى حد كبير ــ على نوع العناصر السبائكية وكميتها.

وهكذا يمكن تقسية الفولاذ السبائكي في أوساط ذات معدل تبريد معتدل مثل حمامات الزيت أو حتى الهواء ونظراً إلى أن معدل التبريد في الزيت أبطأ من معدل التبريد في الماء أو معدل التبريد في المحلول الملحي، فإن ذلك يعني تشوهات أقل وتخفيض احتمالات التشقق عند تقسية الفولاذ السبائكي.

ب ــ تأثير حجم الحبيبات:

وجد القائمون بالمعالجات الحرارية بالرغم مكن وضع الفولاذ من نفس النوع بنفس الظروف نتائج تقسية مختلفة، وبعضها كانت أعماق التقسية مختلفة وعينات أخرى بدون قساوة وبعض البقع طرية كان السبب الرئيسي هو اختلاف حجم حبيبات الفولاذ والناتج من صبات مختلفة لذلك عمل منتجو الفولاذ على وضع كل صبة فولاذ لوحدها لأنها تختلف في كثير من الخواص مثل: قابلية التقسية، والتشوه عند التقسية.

وحجم الحبيبات المشار إليه هو حجم الحبيبات التي يحصل عليها عند تسخين الفولاذ إلى درجة حرارة التحول الأوستينتي الصحيحة ،ونمو الحبيبات ويمكن التحكم في تنظيم حجم حبيباته أثناء عمليات التصنيع من خلال التحكم في:

1 ــ درجة حرارة الصب.

2 ــ ضبط نوع عنصر الإشابة وكميتها.

3 ــ نوع مادة قالب الصب المناسبة.

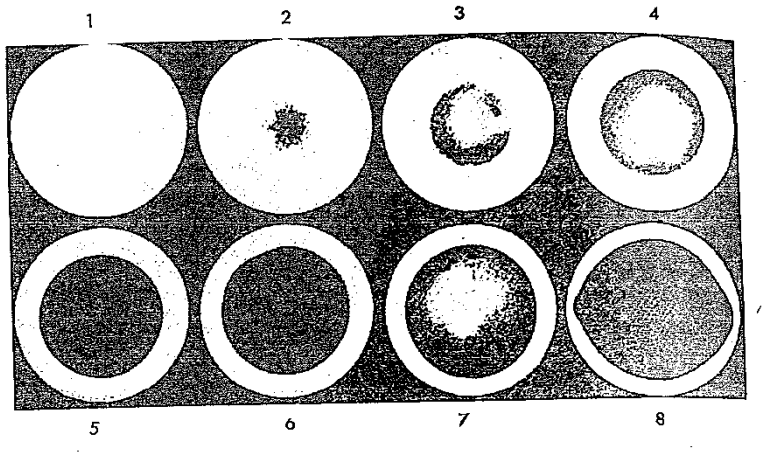
يبين الشكل (4-5) تشبيه حبيبات المعدن وحدودها بفقاعات الصابون والتي تبين أن زيادة زمن الإبقاء عند التسخين يؤدي إلى نمو الحبيبات وزيادة حجمها وهذا يشابه عند ترك الصابون بعد عملية خض الزجاجة



(a) (b)

الشكل (4-5) حجم الحبيبات وتشبيهه بفقاعات الصابون والذي يبين عند حركة الزجاجة الحصول على حبيبات ذات حجم صغير(a) وعند الابقاء لفترة من الزمن يحصل نمو بالحبيبات (b) [9]

حيث يتم التحكم في حجم حبيبات صبات الفولاذ، يمكن التوصل إليها من تسخين الفولاذ إلى درجات حرارة أعلى من درجة الحرارة الحرجة (Ac 1.3) أثناء عمليات التحول الأوستينتي فإنه يؤدي إلى نمو الحبيبات المتكونة فتصبح أغلظ وأكبر عمق قساوة وهذا مبين في الشكل (4-6).



الشكل رقم (4 ــ 6) تأثير حجم الحبيبات الأوستينتي في عمق القساوة الناتجة عن تقسية قضيب من الفولاذ الكربوني بقطر 2.5 سم ويحتوي الفولاذ الكربوني على 1% كربون، العينة رقم (1) من الفولاذ غليظ الحبيبات ولقد قسي تماماً، العينة رقم (8) رقيقة الحبيبات والتقسية سطحية.[2]

4ــ2 أوساط التبريد وأنواعها:

السقاية وتعرف أحياناً باسم الإخماد ــ هي وضع القطع بعد أن يتم تسخينها إلى درجات حرارة التحول الأوستينتي ــ بغرض التقسية ــ في وسط السقاية بشكل سريع، ومن خلال أقصى الطرق لكي لا يتثنى للأسطح الخارجية فرصة كافية للتأكسد في الهواء، حتى تحترق. وتتطلب الأنواع المختلفة من خلائط الفولاذ معدلات تبريد مختلفة طبقاً لتركيبها لضمان تحول الأوستنيت بصورة كاملة إلى المارتنسيت القاسي ومنع تكوين أية تراكيب بنيوية طرية مثل البرليت. وفي جميع أساليب التقسية يجب أن يكون معدل التبريد مناسباً لنوع الفولاذ باستخدام أوساط تقسية مختلفة بحيث يبرد الأوستنيت تبريداً مفرطاً إلى درجة حرارة قريبة من درجة حرارة الغرفة بغض النظر عما إذا كان معدل التبريد سريعاً أو بطيئاً، مع الأخذ بعين الاعتبار ألا تكون سرعة التقسية بالكيفية أو الكمية الضرورية التي تتطلبها القساوة المطلوبة، وإلا سيحدث الفتل والالتفاف وتشوه القطع مع تولد الإجهادات التي يحدث عندها التشققات في القطع المعالجة. كما يجب ألا تكون التقسية بطيئة فتؤدي فقط إلى تحولات جزئية من الأوستنيت إلى المارتنسيت، وهكذا تتكون بقع طرية في الفولاذ، ويكون ذلك من خلال الالتزام بمعدل التبريد الحرج الصحيح. أما معدل التبريد الحرج الصحيح هو المعدل اللازم لتثبيط أو

إخماد تحول الأوستنيت إلى مارتنسيت حتى الوصول إلى درجة حرارة بداية التحول المارتنسيت وتختلف درجة حرارة بداية التحول المارتنسيتي كثيراً من فولاذ لآخر.

كما أنه تتطلب بعض أنواع الفولاذ معدل تبريد سريع للغاية، وأنواع أخرى يكون معدل تبريدها الحرج بطيئاً ويكفي تبريدها في الزيت للتحول المارتنسيتي. ونتيجة لاختلاف معدل التبريد الحرج لأنواع الفولاذ، فإن اختيار أسلوب التقسية ووسطها يعدان من أهم القرارات التي يتخذها القائمون على المعالجة الحرارية لتقسية الفولاذ ، بالإضافة إلى درجة حرارة وسط السقاية وحركته، وحجم حبيبات الفولاذ وكذلك فترة بقاء المشغولات داخل وسط السقاية.[2]

4ـ3 مراحل التقسية Quenching Stages:

يعد تركيب الفولاذ العامل الرئيسي في اختيار وسط السقاية، ويتطلب الفولاذ الكربوني معدل تبريد سريع جداً يعادل سرعة معدل التقسية في الماء، ويعرف الفولاذ المقسى في الماء باسم الفولاذ المقسى في الماء أو السقاية في الماء.

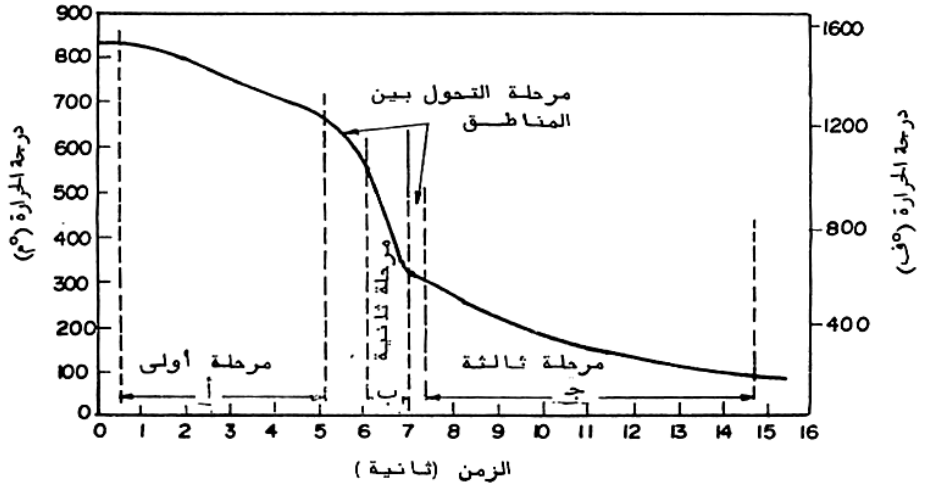
عند إجراء التقسية في وسط سائل ــ الماء، أو المحلول الملحي، أو الزيت ــ فإن التبريد يتم على ثلاثة مراحل متميزة ويوضح الشكل رقم (1 ــ 8) منحني علاقة معدل التبريد التقليدي مع درجة حرارة الوسط لمركز قطعة صغيرة من الفولاذ تحت تقسيتها في الماء، يظهر من الشكل تغيير قدرة الماء على التقسية مع انخفاض درجة حرارة سطح العينة، كما يتضح من الشكل أيضاً ــ وبكل وضوح ــ ثلاث مراحل للتقسية. ويمكن توصيف هذه المراحل الثلاثة بأنها مرحلة تبريد قشرة البخار، ومرحلة الحمل، ثم مرحلة التبريد السائل وسوف نتناول كل مرحلة بالتفصيل [9].

أ ــ المرحلة الأولى، تبريد قشرة البخار:

هي الخطوة ــ أو المرحلة ــ الأولى من التقسية، وهي المرحلة التي تلي مباشرة غمر القطعة القادمة من فرن التقسية ــ وهي عند درجة حرارة الاحمرار ــ في الحمام السائل. ويحدث في هذه المرحلة تلامس مباشر بين المشغولة الساخنة ووسط التقسية. وفي اللحظة التي يتلامس فيها سائل التقسية والقطعة المشغولة يتحول السائل (الزيت) إلى بخار Vapour أو الماء إلى بخار الماء Steam ويلتصق بخار الزيت أو بخار الماء بسطح المشغولة الساخنة في صورة غطاء عازل، ويعمل الدثار المتكون على منع أي تلامس أو اتصال مباشر بين سطح القطعة وسائل وسط السقاية كما هو موضح في الشكل رقم (4- 7). وما لم يتم كسر

قشرة البخار المتكونة، فإن التبريد يجري عندئذ بالإشعاع والتوصيل البطيئين فقط خلال هذه القشرة ، وهكذا يكون معدل التبريد في هذه المرحلة بطيئاً. وإذا سمح لطبقة البخار المتكون بالاستمرار في التلامس مع سطح الشعلة، فإن ذلك يعني فشل تقسية الفولاذ لعدم تكون المارتنسيت أو تكون كمية قليلة منه.

أما إذا انكسرت القشرة موضعياً في بعض المناطق والمواقع السطحية، فيؤدي ذلك إلى تكون بقع أو مناطق طرية وربما حدث انفتال القطعة أو تشققها في هذه المرحلة. [10]



الشكل رقم (4 ــ 7) مراحل التبريد الثلاث أثناء تقسيته أنبوب أسطواني من الفولاذ في الماء

آ ــ مرحلة غطاء البخار عند بداية السقاية من درجة الحرارة $845\ ^{\circ}C$.

ب ــ مرحلة انتقال البخار، كما يعطي الفولاذ، فإن الحركة عنيفة بما فيه الكفاية حيث تكسر طبقة الأكسيد وغالباً فإن هذه المرحلة تأتي بعد ثانيتين من بداية السقاية.

ج ــ مرحلة تبريد السائل، أصبح البخار غير موجود، ويتم التبريد بالتوصيل والحمل ومعدل التبريد فيها أقل بكثير من المرحلتين السابقتين [9].

ب ــ المرحلة الثانية:

هي المرحلة المعروفة باسم تبريد الحمل في البخار، وهي المرحلة التي تلي مباشرة انهيار طبقة البخار العازلة بالقطعة. تنهار طبقة البخار بعيدة عن السطح معرضة سطح الفولاذ الساخن عندئذ لوسط السقاية وهكذا يصبح الفولاذ في اتصال مباشر مع وسائل التبريد الذي يؤدي إلى غليان السائل بعنف وذو صوت عنيف وبسبب هذا الانفصال بين طبقة البخار والسطح القوي بما فيه الكفاية بصورة تسمح بتمزق طبقة الأكسدة وهذا يؤدي إلى تنشيط سطح الفولاذ بشكل سريع تعد هذه المرحلة أسرع مراحل التبريد. [11]

ج ــ المرحلة الثالثة:

هي مرحلة تبريد السائل بعد أن برد الفولاذ ويستمر التبريد بواسطة التوصيل والحمـــل مما يؤدي إلى انخفاض كبير في معدلات التبريد.

﴿ الفَصل الخَامِس ﴾

مشاكل المعالجات الحرارية

5 ــ1 المشكلات الناتجة عن التقسية في القطع المعالجة حرارياً:

تعد المرحلة الأولى من التقسية ذات أهمية بالغة لأن معظم مشكلات التقسية ومتاعبها في عملية التقسية تحدث خلال هذه المرحلة.

ــ ينتج عن تكون الطبقة الدائمة أو الثابتة من دثار البخار على سطح الفولاذ فولاذاً طرياً أو بقعاً طريقة.

ــ إذا كسرت الطبقة في بعض الأجزاء، وظلت موجودة في مناطق أخرى فإن الأخيرة لا تبرد بالمعدل الصحيح، وينتج أسفلها مناطق طرية.

ــ انفتال الفولاذ والتوائه، وأحياناً تشققه نتيجة تولد الإجهادات الداخلية العالية.

ومن الطرق القديمة لحل مثل هذه المشاكل:

1 ــ دفع القطع المعالجة بعنف في الماء لضمان كسر طبقة البخار الملاصقة للقطعة.

2 ــ تقليب القطعة المعالجة بعنف في محلول التقسية لضمان التخلص من غطاء البخار المتكون.

3 ــ دفع القطع بالماسك داخل الهواء وحوله.

ما كان يفعله الحدادون في ذلك الوقت هو محاولة لكسر طبقة البخار المتكونة على السطح لإتاحة الفرصة للمرحلة الثانية من خطوات التبريد وهكذا فإن هذه الحركة تساعد في وصول سائل بارد جديد إلى الأسطح الساخنة وإزالة فقاقيع البخار الملتصقة، وكلما زادت شدة التقليب وعنفه تحسن التوصيل الحراري، كما أن التقليب ساعد أيضاً على انتظام التبريد. [11]

5ــ2 كيفية اختيار أوساط السقاية وفاعليتها Quenching media:

يجب اختيار وسط السقاية لإجراء عملية التبريد بالمعدل المناسب حسب كل نوع من أنواع الفولاذ المراد معالجته اعتماداً على خواصها الميكانيكية وتركيبها الكيميائي. ويعتمد مفعول وسط التقسية على عدة عوامل مهمة هي على النحو التالي:

1 ــ التوصيل الحراري: يزداد مفعول وسط السقاية، كلما زاد معامل توصيله الحراري؛ حيث يساعد ذلك في رفع سرعة نقل الحرارة من المشغولات للوسط.

2 ــ الحرارة النوعية للوسط: يتحسن مفعول وسط السقاية كلما زادت حرارته النوعية، لأن ذلك يعني مقدرة الوسط على امتصاص كمية حرارة أكبر مع رفع درجة حرارتها درجة حرارية مئوية واحدة، وهذا يعني أيضاً، عدم رفع درجة حرارة الوسط كثيراً مع زيادة كمية الحرارة الممتصة.

3 ــ حرارة التبخير: كلما زادت الطاقة الحرارية اللازمة لتبخير السائل (أو وسط التقسية) تحسن مفعولة وأصبح أفضل.

4 ــ معامل اللزوجة للوسط: يفضل الأوساط ذات معامل لزوجة قليل.

لم يتم وضع توحيد قياسي حتى الآن يمكن من خلاله تحديد قدرات مواد السقاية المختلفة في أداء وظائفها. و لكن توجد ثلاث مجموعات رئيسة من السوائل المستخدمة في التقسية وهي: الماء، والمحاليل الملحية، والزيوت، والأملاح المنصهرة، والفلزات المنصهرة، بالإضافة إلى الهواء. وفيما يلي نتناول كل مجموعة من هذه المجموعات بشيء من التفصيل[10].

5ــ2 ــ أ ــ الماء:

يعد أكثر الأنواع استخداماً، حيث يستخدم الفولاذ الكربوني وكثير من الفولاذ السبائكي المنخفض السبائكية. التي تتطلب معدل تحول سريع من الأوستنيت إلى المارتنسيت حيث تحتاج إلى وسط سقاية سريع التبريد وهذا محقق في الماء والمحاليل الملحية.

وفيما يلي الجدول رقم (5ــ 1) الذي يقارن بين معدلات تبريد أوساط السقاية المختلفة. وللوصول إلى معدلات التبريد المناسبة لتقسية الفولاذ الكربوني، يراعى الاحتفاظ بالماء عند درجة حرارة الغرفة، أو عند درجة حرارة أقل من درجة حرارة الغرفة. وعلاوة على ذلك يستمر تقليب الماء بصفة مستمرة أثناء عملية التقسية لضمان تجانس درجة الحرارة وانتظامها. وإذا لم يستخدم وسط التبريد السريع (الماء) لتقسية الفولاذ الكربوني، فإن التقسية ستكون سطحية وضحلة. وأثناء عملية التبريد، ترتفع درجة حرارة الماء نتيجة امتصاصه للطاقة الحرارية من الفولاذ، ولذا يجب تبريد الماء بصفة مستمرة باستخدام الثلج أو خلافه أثناء التقسية [10].

وفي المحلات الصغيرة، التي تقوم بالتقسية، يضاف الثلج إلى أوعية التقسية أو صهاريجها للمحافظة على درجة حرارة الماء وتبريده. أما في الورش الضخمة والمصانع الكبيرة، فيتم تبريد ماء التقسية بأسلوب اصطناعي باستخدام ملفات تحمل الماء البارد وتمر

خلال صهاريج التقسية. كما تقلب أوعية التقسية لكسر طبقة البخار الملتصقة بسطح القطع المعالجة، ويساعد على ذلك استخدام نفاثات مائية يتدفق منها الماء البارد بسرعة عالية على سطح الفولاذ مباشرة. كما يعتبر تقليب وسط التقسية أمراً ضرورياً للحصول على تبريد أكثر انتظاماً كما أنه يساعد أيضاً في زيادة سرعة التبريد.

الجدول رقم (5 ــ 1) شدة التقسية في أوساط التبريد المعروفة وتأثير أسلوب التقليب؛ ولقد اتخذ الماء الساكن كدليل برقم (1) [8]

درجة تقليب القطعة أو درجة تدوير السائل	شدة التقسية (H)			
	هواء	زيت	ماء	محلول ملحي
بدون	0.02	من 0.25 إلى 0.30	من 0.9 إلى 1.0	2.0
معتدل	–	من 0.30 إلى 0.35	من 1.0 إلى 1.1	من 2.0 إلى 2.2
مقبول	–	من 0.35 إلى 0.40	من 1.2 إلى 1.2	–
جيدة	–	من 0.40 إلى 0.50	من 1.4 إلى 1.5	–
قوية	–	من 0.50 إلى 0.80	من 1.6 إلى 2.0	–
عنيفة	–	من 0.80 إلى 1.10	4.0	5.0

في أغلب الحالات، يكون الماء المستخدم في التقسية في صورة محلول ملحي، وهو لتقسية الفولاذ الكربوني نظراً لأن معدل تبريده (شدة التقسية) مرتفعة جداً. وفي كثير من الحالات، يحتوي المحلول الملحي على نسبة من كلوريد الصوديوم تتراوح بين 5% و 10% ولأن الملح المضاف يعمل على تخفيض درجة حرارة التجمد، كما أنه يرفع من مقدرة المحلول وكفاءته على امتصاص الحرارة. ونتيجة لذلك يصبح معدل تبريد المحلول الملحي أعلى وأكثر انتظاماً عند التقسية مقارنة باستخدام الحمام الملحي [8].

إن هذه الأملاح المضافة تخفض من التوصيل الحراري والحرارة النوعية، فإن التأثير سيكون من خلال إذابة الرواسب على سطح المشغولات. وهكذا، فإن إضافة الملح إلى ماء السقاية، يخفض ويقلل من المرحلة الأولى من مراحل التبريد، وهي مرحلة تكون البخار، وهناك وظيفة أخرى للمحلول الملحي في التقسية هي أنه عندما يتم ترسيب بلورات الملح في أي لحظة على سطح الفولاذ، ثم تنفجر بعد لحظات من تكوينها تاركة السطح. ويكون تكوين

بلورات كلوريد الصوديوم وانفجارها خلال مرحلة الأولى من التقسية في المحلول كما هو موضح في الشكل رقم (5 ــ 1). ويؤدي تكون البلورات الملحية وانفجارها إلى تشقق طبقة البخار المتكونة على السطح، وهذا يؤدي بدوره إلى تحسن كبير في تبلل سطح الفولاذ والدخول سريعاً في المرحلة الثانية من السقاية، ويصاحب ذلك زيادة في إزالة الحرارة من المشغولة [8].

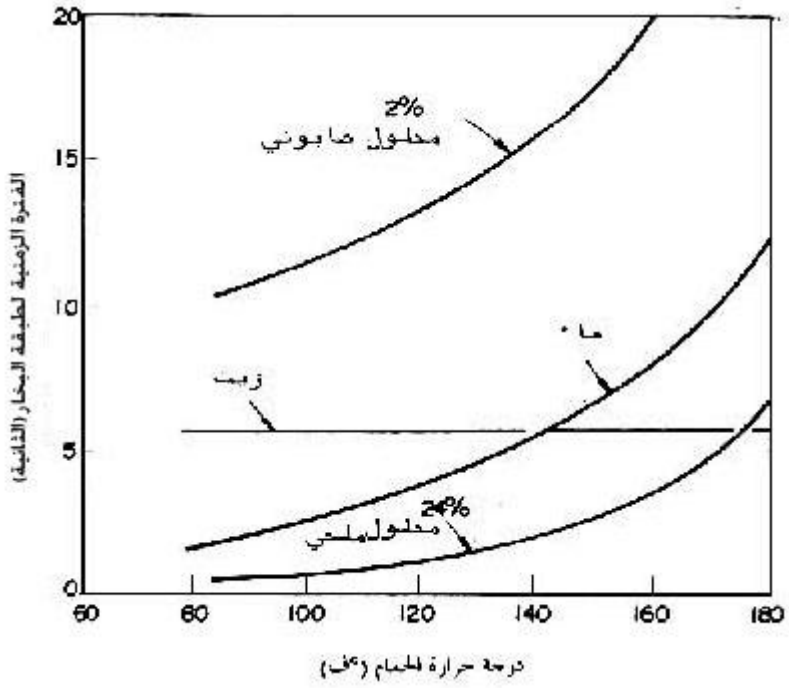
وجد أن استخدام محلول مائي يحتوي على هيدروكسيد الصوديوم (صودا كاوية) بنسب تتراوح بين (3ــ 5%) في حمام التقسية يشكل وسطاً جيداً لتقسية الفولاذ الكربوني، ومعدل تبريد هذا الحمام أسرع بكثير من معدل تبريد حمام كلوريد الصوديوم. ويلاحظ عند استخدام حمامات تقسية محتوية على هيدروكسيد الصوديوم أخذ كثير من الحيطة والحذر؛ حيث إن تطاير هذا المحلول يحرق الجلد عند تلامسه، أو يمكن أن يسبب العمى إذا تناثر ولامس العين[6].

وهناك عدة أمور يجب مراعاتها عند السقاية في الماء وهي:

1ــ استخدام الماء العادي غير المعالج لأنه يحتوي على أملاح، تترسب مثل كربونات الكالسيوم على سطح القطعة فيكون عليه طبقة مغلفة مؤدية إلى عزل سطح القطعة عن وسط السقاية، وهكذا يفقد الماء مفعوله في عملية التبريد.

2ــ يمكن تقليل مقدرة الماء على السقاية أو تخفيضها بإضافة الصابون أو الغليسرين أو ما شابهها؛ حيث إن هذه الإضافات تقلل من خواص الماء الطبيعية، بالإضافة إلى ترسب بعض هذه المواد على السطح المقسى، ويوضح الشكل رقم (5 ــ 1) زمن المرحلة الأولى من التبريد في عدد من السوائل، ومنه تتضح زيادة الفترة الزمنية للمرحلة الأولى عند إضافة 2% من المحلول الصابوني للماء. كما أن إضافة الزيت للماء، يقلل كثيراً من مقدرة الماء على السقاية حيث يغطي سطح المشغولات بغشاء من الزيت عند تغطيس القطع في الحمام أثناء السقاية.

3ــ الماء العادي ليس أفضل أوساط السقاية عند استخدامه بمفرده، ولا يناسب متطلبات التقسية الصحيحة (قدرة عالية على سحب الحرارة عند درجات الحرارة العالية وتبريد بطيء عند درجات الحرارة المنخفضة) لتكون طبقة البخار في بداية عملية السقاية، ويكون سمك الغشاء البخاري كبيراً جداً، ومن ناحية أخرى يزول هذا الغشاء عند درجات حرارة منخفضة نسبياً، ويكون الوقت متأخراً عندئذ للسقاية الصحيحة. ويتغلب على هذه المشكلات بإضافة الثلج أو بالتقليب [7].



الشكل رقم (5 ــ 1) العلاقة بين الفترة الزمنية لفلم البخار عند تبريد السطح أثناء التسقية في سوائل مختلفة مع درجة حرارة السوائل.

5ــ2 ــ ب ــ زيوت التسقية:

تستخدم الزيوت كوسط سقاية للفولاذ وبالتالي تقسيته، ويعد الزيت أنسب أوساط السقاية للأجزاء دقيقة المقطع مثل: السكاكين، وأنصال الشفرات، و النوابض. ويكون معدل التبريد لتكوين المارتنسيت. كما تستخدم الزيوت بكثرة لسقاية القطاعات الضخمة من الفولاذ السبائكي، وفولاذ العدد [1].

ورغم أن معدلات التبريد في الزيوت أقل بكثير من معدلات التبريد في المحاليل المائية، إلا أن مجال درجات الحرارة الذي ينتقل عنده أكبر قيمة من الحرارة (فقد السطح للحرارة) أكثر ملاءمة للاستخدام من الأوساط الأخرى بسبب ميل الزيوت لتكوين الأبخرة، كما أن مفعول الزيوت في التقسية يزداد برفع درجة حرارتها بسبب نقص معامل اللزوجة عند درجات الحرارة العالية. ويوصى دائماً باستخدام الزيوت في السقاية وهي مفضلة على الماء كلما أمكن ذلك، ويرجع ذلك إلى ما يلي:

1 ــ قلة حدوث التشقق في الزيوت.

2 ــ أنها أقل عرضة للتشوهات الناتجة عن الإجهادات الداخلية.

ويختلف مفعول الزيت في آلية التقسية عن الماء، ويرجع ذلك إلى أن المرحلة الأولى ــ أو مرحلة البخر ــ أكثر فاعلية في الزيت عنها في الماء لأن طبقة البخار المتكونة في السقاية بالماء أكثر ثباتاً، ولكن مفعول الزيت في المرحلة الثانية أقل بكثير من مفعول الماء؛ في زيوت التقسية، فهو بطيء جداً. وعند مقارنة الماء بالزيت في عملية التقسية، فإن الزيت المعدني يظهر غطاء من البخار عالي الثبات ولا يتحطم بخار الزيت المعدني حتى بالتقليب العنيف، وبالتالي فإن تأثير تقليب العينة في حمام بخار الزيت المعدني أو تقليب الحمام نفسه منخفض جداً. ولكن وظيفته فقط هي تخفيض درجات الحرارة المنطقة المحيطة بالقطعة [6].

بالإضافة إلى ما ذكر، نجد مرحلة طبقة البخار في الحمام الزيتي تكون أطول في الزيوت ذات درجة حرارة الغليان المنخفضة، ويمكن استخدام الزيوت فقط لتقسية كامل المقاطع الدقيقة أو لتقسية سطحية للفولاذ ذي المقاطع الثقيلة وذلك لأنواع الفولاذ ذات معدلات التحول البطيء من الأوستنيت، كما أنه يصلح للتقسية العميقة للفولاذ السبائكي.

يبرد الفولاذ في الزيت بمعدل سريع جداً في المرحلة الثالث والأخيرة من التقسية، وهذا أمر مرغوب فيه لأن ذلك يعني تولد أقل قدر من الإجهادات الداخلية؛ ولهذا فإن الفولاذ المعالج يكون أقل عرضة للتشوه، كما أن المرحلة الأخيرة في التبريد، تكون غالباً عند درجات حرارة أقل من نقطة التحول المارتنسيتي (M_s) لمعظم أنواع الفولاذ، وهذا يساعد أيضاً في تجنب الحصول على أية نتائج غير مرغوبة [4].

وتوجد أنواع عديدة من زيوت السقاية مختلفة الصفات والخصائص، ولذا يجب اختيار زيت التقسية بعناية؛ بحيث يكون مناسباً للفولاذ المعالج. وأهم الخواص التي لا بد من أخذها بعين الاعتبار هي: درجة حرارة الغليان، والكثافة، والحرارة النوعية. ويراعى أيضاً أسلوب التقسية في الزيت وكيفيتها، كما يجب أيضاً اعتبار السعة الحجمية، وتدوير الزيت، ودرجة حرارة السائل. وبشكل عام، ففي حالة السقاية في الزيت، فإن كل كيلوجرام من الفولاذ ، يتطلب جالونين من الزيت. ويجب الاحتفاظ بدرجة حرارة الخزان بين (25 ــ 65) ْم. لأن الاحتفاظ بالزيت عند درجة حرارة مرتفعة (حارة)، يزيد من قدرته على التبريد مقارنة بالزيت البارد، وبخاصة أثناء المرحلة الثانية من مراحل السقاية؛ ويرجع ذلك لانخفاض اللزوجة. كما أنه يقلل من إجهادات التقسية المختلفة [3].

أهم الزيوت المستخدمة هي الزيوت المستخلصة بالتقطير من البترول الخام، أو تمتاز هذه الزيوت بأنها كلما تتغير مقدرتها على التقسية حتى بعد تشغيلها لأعوام طويلة.

5ـ2 ـ ج ـ الهواء:

يستخدم الهواء في سقاية الفولاذ عالي السبائكية؛ مثل فولاذ العدد سريع القطع وفولاذ اللقم المقساة في الهواء. وعادة، الفولاذ المقسى في الهواء تتم أستنته إلى درجات حرارة عالية، ويحفظ للتشريب عند درجة حرارة التحول الأوستيني لفترة زمنية قصيرة، ثم يزال من فرن التسخين ويعرض للهواء الساكن، ويمكن تغيير معدل التبريد في الهواء باستخدام مروحة هوائية عادية.

ويجب أن نتذكر أن كيفية وضع القطع ترتيبها عند تعرضها لهواء السقاية، أمر مهم جداً؛ فإذا لم يتم ترتيب القطع بأسلوب خاص، فإن الهواء اللافح سوف يبرد أحد الجوانب بسرعة أكبر من تبريده للجانب الآخر، وربما أدى ذلك إلى تشوه القطعة المعالجة. ويمكن أيضاً استخدام الهواء المضغوط، ولكن يجب التأكد من عدم احتواء خط الهواء على ماء مكثف الذي ربما تسبب في تشققات الفولاذ المقسى [10].

5ـ2 ـ د ـ حمامات الملح:

أفضل ما يميز السقاية في حمامات الملح، عدم تكون أبخرة في مجال درجات الحرارة المرتفعة، وفي درجات الحرارة المنخفضة يكون معدل التبريد بطيئاً؛ وهكذا لا تظهر ولا تحدث أية تشققات، وبهذا يمكن تجنب أخطر عيوب التقسية أكثرها التشقق. والأملاح المستخدمة هي غالباً أملاح النيترات، وتستعمل درجات حرارة تقرب من 550 ْم، وعند درجات حرارة أعلى من ذلك تتحلل نيترات البوتاسيوم. وفي واقع الأمر، فإن هذه الأملاح لا تصلح للتقسية إلا من مدى درجات حرارة بين 180 ْم و200 ْم وتصلح مثل تلك الدرجات فقط للتلدين [10].

5ـ3 العوامل المؤثرة في معدلات التقسية:

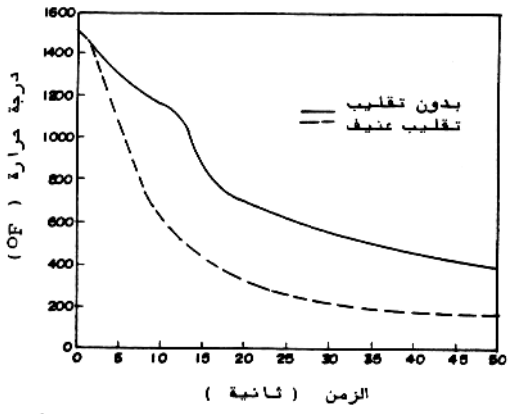
مما سبق، عند الحديث عن أوساط التقسية، نلاحظ أن هناك العديد من العوامل التي تؤثر في معدلات التبريد، وهي:

5ـ3 ـ1 التقليب والتدوير:

إن تحريك القطعة المسقاة في الماء أو الزيت تؤثر بدرجة كبيرة في معدل التبريد، ويلاحظ من الجدول رقم (5 ـ 2) أن معدلات التدوير الضعيفة في حمام الزيت، يمكن أن تنتج معدلات سقاية مساوية لمعدلات السقاية في الماء بدون تقليب [9].

ويعمل التقليب على تكسير طبقة البخر الملاصقة للسطح، وهكذا فإنها تعطي فرصة كبيرة للتلامس بين سطح الفولاذ الساخن ووسط التبريد، وتقلل ــ إلى حد كبير ــ من زمن المرحلة الأولى في التقسية لإتاحة الفرصة للمرحلة الثانية. وكلما زادت شدة التقليب، تحسن التوصيل الحراري للسائل، وزاد معدل التبريد. يبين في الشكل رقم (5 ــ 2). تأثير حركة القطعة أو سائل التقسية في انتظام التبريد، وبالتالي انتظام التقسية.

ويراعى أن التبريد المنتظم لا يتأتى من السكون أو من الحركة العشوائية. فربما أدت حركة القطع ــ بطريقة غير مدروسة ــ إلى إفساد السقاية، وبالتالي نتائج التقسية غير مرضية. ويتم التقليب إما بتحريك القطع في الحمام الساكن، أو بتحريك سائل الحمام مع تثبيت المشغولات، ولا يوجد أي فرق بين الأسلوبين إذا أجريا بطريقة صحيحة. وعملياً، يتم تحريك القطع الصغيرة في الحمامات الساكنة، على حين يحرك السائل إذا كانت القطع كبيرة [11].



الشكل رقم (5 ــ2)

تأثير التقليب في منحنيات تبريد القلب للفولاذ المقاوم للتآكل الذي تمت تقسيته في الزيت، علماً بأن درجة حرارة حمام الزيت 52 °م.

5ــ3 ــ 2 درجة حرارة وسط السقاية:

بشكل عام يخفض رفع درجة حرارة وسط السقاية معدل التبريد كما هو موضح في الشكل رقم (5 ــ 3)، والجدول رقم (5 ــ 3)، ويرجع انخفاض معدل التبريد إلى رفع مرحلة غطاء البخار وزيادتها، وهي المرحلة الأولى من التقسية. ومنه رفع درجة حرارة وسط السقاية يعني أن الوسط يكون أقرب إلى درجة حرارة غليانه، وبالتالي يلزمه عندئذ قدر أقل من الحرارة لتكوين قشرة أو طبقة البخار. وهذه النظرية صحيحة ــ بوجه خاص ــ للماء والمحلول الملحي، ولكن على النقيض من ذلك، فإن تحت تأثير عاملين متضادين؛ فعند رفع درجة حرارة الزيت، تكون هناك نزعة لانخفاض معدل التبريد نظراً إلى استمرار طبقة

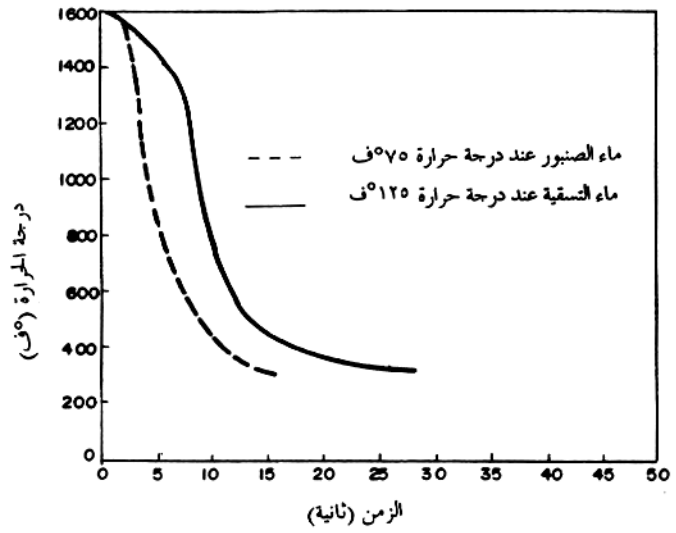
البخار وثباتها، وفي الوقت نفسه، يصبح الزيت أكثر سيولة، وتقل لزوجته وهذا يرفع معدل توصيله الحراري.

وتتحدد المحصلة النهائية لمعدل التبريد، من خلال تأثير أقوى العاملين؛ فإذا كانت زيادة معدل انتقال الحرارة أكبر من الانخفاض الناتج عن طبقة البخار، تكون المحصلة النهائية انخفاض معدل التبريد الفعلي، كما في حالة الزيت سريع التبريد. ونقيض ذلك صحيح؛ حيث يزيد معدل التبريد الفعلي للزيت بطيء التبريد. ويحصل على الحد الأمثل للتبريد بالتقسية التقليدية في حمام زيتي درجة حرارته بين 50 ْم و 65 ْم ولمنع رفع درجة حرارة الوسط أثناء التقسية، لا بد من وجود كمية كافية من مادة وسط التقسية، وفي بعض الأحيان تغمس ملفات تبريد في أوعية التقسية للتحكم في درجة حرارتها. وكما سبق فإن تدوير سائل الوسط أو تقليب الشعلة يحفظ درجة حرارة الوسط [13].

5ـ3 ـ 3 حالة السطح:

تتكون في بعض الأحيان طبقة من أكسيد الحديد ـ المعروفة باسم القشرة ـ على سطح الفولاذ المعالج أثناء تسخينه في الأفران، وخاصة إذا تعرض لجو يحتوي على الأوكسجين، أو بخار الماء. ولقد أظهرت الدراسات أن الطبقات الرقيقة من الأكاسيد بسمك أقل من 0.12 مم يكون تأثيرها محدوداً جداً في معدل التبريد الفعلي، ولكن إذا زاد سمك الطبقة عن ذلك، فإنها تسبب تعطيل معدل التبريد كما هو موضح في الشكل رقم (5 ـ 4). وتتمثل خطورة القشرة السميكة في تكسر أجزاء منها وتساقطها عند نقل القطعة المعالجة من الفرن إلى وسط التبريد، ويؤدي ذلك إلى تكون بقع طرية عن سطح الفولاذ المعالج، وعدم انتظام التقسية. ونظراً لخطورة مشكلات القشرة على معدل التقسية، وبالتالي تقسية الفولاذ؛ لذا ينبغي تجنب تكوين القشرة في عمليات المعالجة الحرارية التجارية. وهناك العديد من الأساليب الصناعية لتخفيض تكوين القشرة، ويعتمد اختيار طريقة الوقاية من القشرة على: طبيعة الجزء المعالج، ونوع الفرن المستخدم، وتوافر الأجهزة علاوة على التكلفة اللازمة لمنع حدوثها. ومن أشهر الطرق المتبعة لذلك ما يلي [13]:

1 ـ تغطية السطح بالنحاس: هي تغطي وميضية رقيقة بسمك يبلغ عدة ميكرونات من النحاس، وتحمي طبقة النحاس المتكونة سطح الفولاذ من تكوين الأكسدة. وتعد هذه الطريقة اقتصادية إلى حد بعيد.

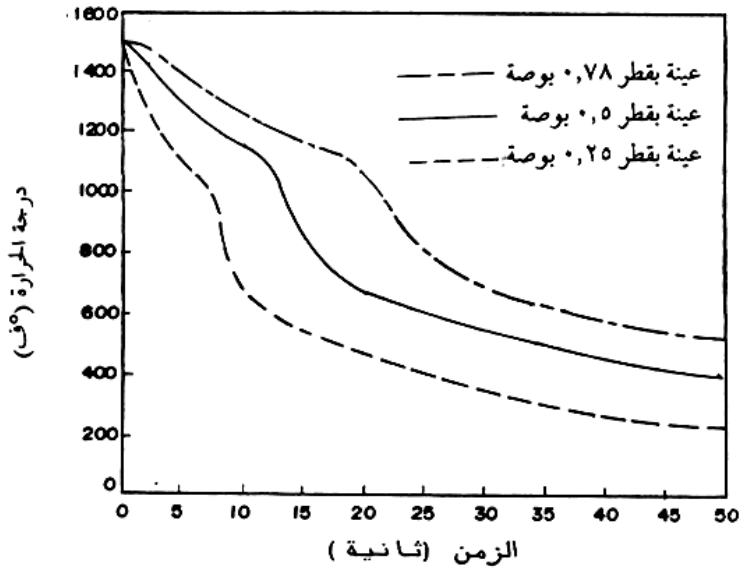


الشكل (5 ــ3)

منحنيات تبريد مركز عينات تمت تقسيتها في ماء الصنبور عند درجتي الحرارة 24 ْم، 52 ْم بدون تقليب.

الجدول رقم (5 ــ 3) معدلات التبريد لعدد من قضبان الفولاذ المقاوم ذات قطر 1.25 سم وارتفاع 6.5سم بردت من درجة الحرارة 815 ْم في أوساط تقسية مختلفة.

مكونات حمام التقسية	المعدل عند درجة الحرارة 705 ْم (ْم/ث)		المعدل عند درجة الحرارة 650 ْم (ْم/ث)		متوسط المعدل عند درجة حرارة بين 677 ْم و 482 ْم (ْم/ث)	
	24 ْم	52 ْم	24 ْم	52 ْم	24 ْم	52 ْم
محلول ملحي 10%	382	296	382	325	383	287
ماء الصنبور	211	46	223	1178	220	176
زيت سريع التبريد	80	85	170	180	135	137
زيت بطيء التبريد	36	32	30	26	39	44
10% زيت مذاب، و90% ماء	36	30	36	30	34	28
هواء ساكن	5	–	4	–	3	–
هواء مدفوع (مضغوط)	162		130		66	



الشكل رقم (5 ــ 4)

تأثير الكتلة في منحنيات تبريد مركز عينات الفولاذ المقاوم للتآكل وقد تمت التقسية في زيت عند درجة الحرارة 52 °م.

2 ــ جو واق، أو جو خامل في الأفران: يتم ذلك بوجود الهيدروجين، أو أمونيا متحللة، أو بعض الغازات الهيدروكربونية مثل؛ الميثان، والبر وبان، وهكذا نمنع وصول الأكسجين لسطح الفولاذ.

3 ــ استخدام السوائل الملحية: تغمس القطع المعالجة في أفران سائل ملحي متعادل مع الفولاذ، ويحاط بالقطعة من كل جهاتها، بالملح السائل المتعادل. وفي هذه الحالة لا يمكن أكسدتها ولا تتكون قشرة، ولكن الطريقة مكلفة إلى حد ما.

4 ــ وضع قطع من الحديد الزهر في وعاء معالجة الفولاذ: إن أي أكسجين يدخل للفرن ــ في هذه الحالة ــ يتفاعل مع الحديد الزهر قبل أن يصل إلى الفولاذ، ولا يوجد أي احتمال لتكون القشرة على سطح الفولاذ المعالج [9].

5ــ3ــ4 كمية وسط التبريد:

من الضروري أن تكون كمية وسط التقسية كافية، بمعنى أن يكون الحمام بالسعة الكافية حتى لا ترتفع درجة حرارة السائل ارتفاعاً عالياً عند الاستخدام الكثير مما يؤثر في التقسية، وهناك علاقة وضعية في التصميم بين سعة حمام التقسية مع حجم المشغولات ممثلة بالمعادلة (*):

$$X = G(3 + \frac{O}{10V}) \qquad *$$

حيث: V حجم المشغولات ($م^3$).

X حجم الحمام ($م^3$).

G وزن المشغولات (كغ).

O مساحة سطح المشغولات ($م^2$).

ولكي يكون التبريد سليماً مع تحقيق العلاقة (*) يلزم تقليب السائل في حدود من 20 إلى 30 مرة في الدقيقة [8].

5ـ3 ـ5 زمن التبريد الكلي:

يجب أن يكون زمن التبريد طويلاً بالدرجة الكافية للحصول على النتائج المطلوبة؛ لأن الطبقة الخارجية تبرد أولاً، ثم يتم توصيل الحرارة ببطء من الداخل للطبقات الخارجية، فإذا بردت قطعة سميكة لفترة أطول من اللازم، فإنها ستتقسى من الخارج في البداية، لكن الانسياب الحراري اللاحق من الداخل سيلدن الطبقة الخارجية مرة أخرى. ويحدد الزمن اللازم للتبريد بدقة كبيرة من الخبرة والتجربة، ويؤدي الخطأ الصغير إلى تشققات عند إطالة الزمن أكثر من اللازم وإلى قساوة أقل عند تقصيره. وعندما تتباطأ الحركة أو تتلاشى الأصوات التي تنبعث من القطعة الساخنة يحين الوقت لإخراجها [9].

5ـ3 ـ6 حجم المشغولة وكتلتها:

نظراً إلى أن السطح الخارجي فقط من المشغولة هو الجزء الملامس لوسط التقسية، فإن نسبة المساحة السطحية إلى الكتلة هي العامل المهم في تحديد معدل التبريد الفعلي. ونسبة المساحة السطحية إلى الحجم معادلة للشكل الهندسي للقطع المعالجة، والنسبة أصغر ما تكون للأجزاء الكروية.

أما الألواح والأسلاك دقيقة المقطع، فنسبة المساحة السطحية إلى الكتلة عالية؛ ولهذا فإن معدلات تبريدها سريعة. ويمكن التعبير عن نسبة المساحة السطحية إلى كتلة الأسطوانة بالمعادلة (Δ):

$$\text{المساحة السطحية/ الكتلة} = \frac{\pi.D.L}{(\pi/4)D^2L_\rho} = \frac{4}{D\rho} \qquad (\Delta)$$

حيث: ρ الكثافة (غ/سم^3).

D قطر الأسطوانة (سم).

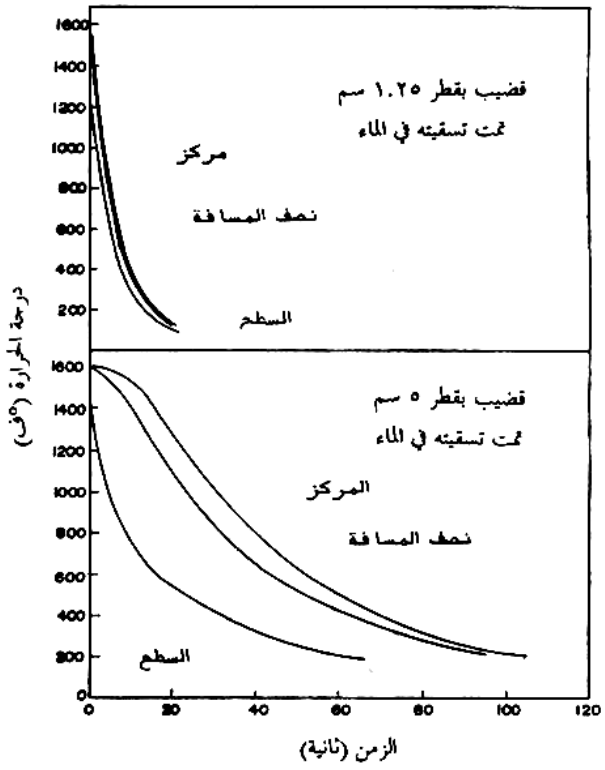
L الارتفاع (سم).

يتضح من المعادلة رقم (Δ) أن النسبة السطحية للأسطوانة تتناسب عكسياً مع القطر؛ أي أن زيادة القطر تقلل من نسبة المساحة السطحية/ الكتلة، وبالتالي يقل معدل التبريد والعكس صحيح؛ أي أن القطع الكبيرة سوف تبرد ببطء عند السقاية في وسط ثابت مقارنة بالقطع الصغيرة كما هو موضح في الشكل رقم (5 ــ 5) الذي يوضح علاقة معدل التبريد لعينات من الفولاذ المقاوم للتآكل عند تقسيتها بالأسلوب التقليدي في الزيت.

وترفع زيادة قطر المشغولة من فترة استمرار غطاء البخار، كما أن المرحلة الثانية، تكون أقل وضوحاً، ويصبح التحول من مرحلة انتقال الحرارة في البخار إلى المرحلة الأخيرة أكثر تدرجاً. وعموماً، يقل معدل التبريد بشدة في جميع المراحل، كما هو مبين في الشكل رقم (1ــ 12)، كما يوضح الجدول رقم (5ــ 4) العلاقة بين قطر القطعة المقساة في الماء ودرجة قساوتها [10].

الجدول رقم (5 ــ 4) العلاقة بين قطر القطعة المقساة في الماء وقساوة السطح (HRC):

قطر القطعة (سم)	قساوة السطح على مقياس روكويل (C)، (HRC)
1.25	59
2.5	58
5.00	41
7.52	35
10.00	30
12.50	24



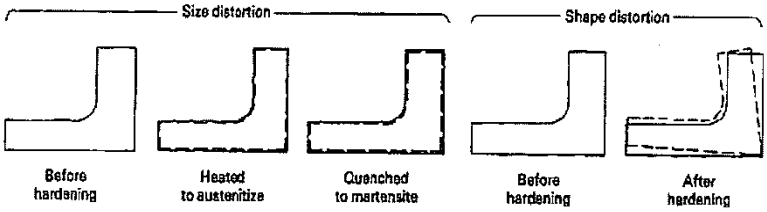
شكل (5 ــ 5)

منحنيات التبريد للسطح والوسط والمركز لقضيبين من الفولاذ مختلفي القطر

5 ــ 4 بعض مشكلات المعالجات الحرارية

(Common Heat Treating Problems)

تواجه عمليات المعالجات الحرارية المختلفة العديد من المشكلات، ويمكن تلخيص أهم هذه المشكلات في جدولي رقمي (5 ــ 5) و(5 ــ 6). ومشكلات المعالجات الحرارية عديدة ومتنوعة وتشمل: الالتواء، والفتل، وتغير الأبعاد، والتشقق، والفشل، وتكون نقط عالية التقسية، وبقع أو مواقع التطرية، وزيادة الهشاشة أو التقصف. وهذا موضح بالشكل (5 –6) [7].



الشكل (5 ــ6) التشوه في الشكل والأبعاد خلال التقسية

وعند ظهور واحدة أو أكثر من هذه المشكلات في القطع المعالجة حرارياً، فإن ذلك يعني أن القطع غير صالحة للاستخدام ، وربما أدت إلى فشل تام للقطع المعالجة. وسنتناول في هذا الجزء بشيء من التفصيل متاعب المعالجة الحرارية ومشكلاتها، وأساليب تجنبها أو التغلب عليها، وأكبر مشكلات المعالجة الحرارية يتمثل في صعوبة تكرار النتائج مرة ثانية.

الجدول رقم (5 ــ 5) المشكلات الشائعة في المعالجة الحرارية للفولاذ. [3]

المشكلة	الأسباب المحتملة	العلاج
تعوج ــ انفتال	1 ــ عملية التقسية غير منتظمة.	يستخدم رشاشات للتقسية أو يقلب وسط التقسية.
	2 ــ عملية تثبيت للقطع غير ملائمة أثناء التسخين.	يجري الدعم بالآجر الحراري، أو حديد الزهر، أو بالنحاتة، أو بفحم الكوك.
	3 ــ عدم إزالة إجهادات الداخلية الناشئة عن التشغيل بالآلات.	تشغل الأسطح بالآلات بكميات مساوية، أو جزء من السطح، أو يجري التلدين قبل المعالجة الحرارية.
	4 ــ تصميم غير متناظر للقطع وغير متجانس.	تثبت في أجزاء أو معدات مصممة لاتزان الكتلة.
	5 ــ فشل إزالة الانفعال قبل المعالجة الحرارية.	يزال الانفعال قبل المعالجة الحرارية
تغيرات في الأبعاد	1ــ يكون الإجهادات الداخلية الناتجة من عمليات التشكيل على البارد السابقة.	إزالة الانفعالات قبل عملية السقاية.
	2 ــ إجهادات حرارية غير متوقعة.	توازن الكتلة مع معدات التقسية.
	3 ــ أسلوب تقسية عنيف.	يغير أسلوب السقاية إلى وسط أقل عنفاً، أو يسخن حمام السقاية قليلاً قبل التقسية.
	4 ــ فشل في إرجاع أو التثبيت المناسب.	تستخدم عمليات التثبيت، أو تجرى المعالجة عند درجة حرارة تحت الصفر.
	5 ــ تغيرات في الأبعاد لبعض الأجزاء المتوقعة أو العادية.	تستخدم الجداول التي يقدمها مورد الفولاذ لتقدير التغير في الحجم.
	6 ــ تحولات الأوستنيت المتبقي.	استخدام عدة مراحل للإرجاع أو المعالجة الحرارية عند درجات حرارة تحت

المشكلة	الأسباب المحتملة	العلاج
		الصفر.
	7 ــ تسخين زائد أو نقص في التسخين.	تراجع درجات حرارة الفرن وأساليب التحكم فيه، ودرجات الحرارة الموصى باستخدامها.
تشقق	1 ــ لم تتم عملية الإرجاع مباشرة بعد عملية التقسية.	يجري الإرجاع قبل أن تصل درجة حرارة الشعلة إلى درجة حرارة الغرفة، ويفضل أن تكون درجة حرارة الشعلة قبل الإرجاع حوالي 66 ْم.
	2 ــ وسط تقسية غير مناسب.	يستخدم وسط تقسية أقل عنفاً.
	3 ــ درجات حرارة تقسية مرتفعة.	مراجعة والتأكد من درجة حرارة الفرن ودرجات الحرارة الموصى باستخدامها.
	4 ــ حجم الحبيبات خشنة (غليظة).	تجرى عملية المراجعة قبل التقسية.
	5 ــ تصميم سيئ، ومن أمثلة ذلك: أركان حادة، أو كتلة غير متوازنة.	تناقش هذه المسائل مع المصمم.
	6 ــ فشل أو عدم إجراء التسخين المسبق.	تجرى عملية التسخين المسبق كما هو موصى به.
فشل التقسية (عدم التقسية)	1 ــ السقاية ليست عنيفة بما فيه الكفاية.	يستخدم وسط تقسية أشد عنفاً وشدة.
	2 ــ درجة حرارة التقسية منخفضة كثيراً، أو عدم انتظام في التسخين.	تراجع درجات حرارة المعالجة الحرارية الموصى باستخدام من قبل المصنع.
	3 ــ فولاذ مختلف عن الفولاذ المفروض معالجته.	يجرى اختبارات على الفولاذ للتأكد من نوعه، أو تجرى عليه عملية تحليل للتأكد منه.
	4 ــ إزالة كربون شديدة من السطح.	تستخدم أفران ذات أجواء متحكم فيها، أو تستعمل حمامات لعملية التسخين.
	5 ــ درجة حرارة الإرجاع مرتفعة كثيراً.	تستخدم درجات حرارة معالجة الإرجاع الموصى بها.

المشكلة	الأسباب المحتملة	العلاج
بقع طرية	1 ــ إزالة الكربون من القشرة الخارجية. 2 ــ تكون قشرة سميكة أثناء المعالجة الحرارية. 3 ــ حمام التسقية ساخن أكثر من اللازم. 4 ــ تقليب غير مناسب. 5 ــ حمام التسقية ملوث.	تستخدم أفران ذات جو متحكم فيه، أو يستخدم حمام تسخين سائل. تستخدم أفران ذات جو متحكم فيه، أو يستخدم حمام تسخين سائل للمعالجة. تراجع درجات الحرارة، والتأكد من درجات حرارة المعالجة الموصى بها. تراجع طريقة التقليب، وتستخدم الطريقة التي يوصى باستخدامها للتقليب. ينظف الحمام أو يرشح أو يستبدل.
قصافة شديدة	1 ــ وسط تبريد غير صحيح. 2 ــ لم تجر عملية إرجاع. 3 ــ درجة حرارة تقسية زائدة مرتفعة. 4 ــ حجم الحبيبات غليظ. 5 ــ عوامل رفع الإجهادات الميكانيكية مثل: الأركان الحادة.	يستخدم الوسط الذي أوصى به المصنع. تجرى عملية إرجاع مباشرة بعد التسقية بالأسلوب السليم. اتبع درجة الحرارة الموصى بها. تستخدم درجات حرارة المعالجة الموصى بها. تناقش مع المصمم أو استخدم فولاذاً مقسى في الهواء.

الجدول رقم (5 ــ 6) متاعب المعالجات الحرارية [3]

الوصف	المنشأ والسبب
1 ــ تلوث السطح: يتراوح التلوث ما بين تبقع بسيط وفقد السطح لمعته، إلى الأكسدة الشديدة، أو تكوين القشرة الخارجية.	يرجع ذلك إلى خطأ في الفرن (مثل وجود كميات زائدة من الغازات أو وجود منفذ لدخول الهواء) أو أن درجة حرارة المعالجة عالية أكثر من اللازم.
2 ــ تنفط Blastering.	تتفاعل نواتج الاحتراق مع السطح، أو أن درجة حرارة المعالجة عالية.
3 ــ تشققات حرارية.	معدل تسخين سريع جداً للأجزاء المشكلة بدرجة شديدة على البارد، أو مواد عالية السبائكية.
4 ــ حبيبات خشنة: يتضح من فحص التركيب الميكروسكوبي وجود بعض الحبيبات الخشنة.	درجة حرارة المعالجة الحرارية عالية جداً، أو زمن المعالجة طويل، أو كمية التشكيل على البارد السابقة منخفضة وقليلة جداً.
5 ــ انصهار بدئي: يتضح من التركيب البنائي حدوث الانصهار الموضعي في بعض المناطق، مثلاً على حدود الحبيبات.	درجة حرارة المعالجة الحرارية مرتفعة جداً.
6 ــ تشوه والتواء: يمكن أن تشاهد مباشرة بالعين المجردة، أو عند الفحص باستخدام حافة مستقيمة.	أ ــ معدل التسخين سريع. ب ــ ترتيب الشحنة في فرن المعالجة يؤدي إلى عدم انتظام في توزيع درجات الحرارة وأيضاً عدم وجود أي مركبات لمساندة الشحنة. ج ــ درجة حرارة المعالجة الحرارية عالية جداً. د ــ معدل تبريد غير مناسب، أو أن تقنية التسقية غير صحيحة.

7 ــ تشققات: يمكن أن تظهر التشققات وخاصة عند نقط تغير المقاطع بصورة حادة.	أ ــ معدل التسخين سريع جداً. ب ــ تأخر طويل ــ زمن طويل ــ بين التصليد والإرجاع للفولاذ. ج ــ وجود إجهادات داخلية عالية. د ــ تصميم غير جيد (على سبيل المثال أركان حادة).
8 ــ زيادة تسخين تركيب بنائي خشن الحبيبات؛ حيث تكون الحبيبات غليظة. مع إزالة الكربون	أ ــ درجة حرارة المعالجة الحرارية عالية جداً. ب ــ زمن التسخين والاحتفاظ بالأجزاء طويل خلال مراحل المعالجة.
9 ــ حرق (للفولاذ): تكوين قشرة سميكة على السطح مع إزالة الكربون. انصهار موضعي مع تخلل الأكسجين وانتشاره على حدود الحبيبات.	أ ــ درجة حرارة المعالجة الحرارية عالية جداً. ب ــ زمن التسخين والاحتفاظ بالقطع طويل جداً.
10 ــ قساوة منخفضة أو متنوعة عبر السطح.	أ ــ السقاية سيئة وغير سليمة، ودرجة حرارة التقسية منخفضة جداً. ب ــ إزالة الكربون من سطح الفولاذ.

ولقد بذل الكثير من الجهد، وصرفت مبالغ ضخمة لتطوير ميكنة أجهزة المعالجة الحرارية. وذلك من خلال التحكم الآلي في أجهزة المعالجة الحرارية في محاولة لتكرار النتائج مرات ومرات، والتغلب على الخطأ البشري والحصول على الخواص المرغوبة.

ولقد ساعدت عدة أمور في الحد من التشوه الانفتال ونذكر منها:

ــ الأجهزة الأوتوماتيكية والمعدات الحديثة.

ــ الأفران الحديثة التي يمكن التحكم في أجوائها وفي درجات حرارتها الصحيحة في ثبات الأبعاد والتحكم بها.

ــ تطور أساليب السقاية في استخدام مراوح مسرعة

وقبل مناقشة مشكلات المعالجات الحرارية، لا بد أن نتذكر أن إنتاج القطع ذات المعالجة الجيدة وفولاذ مصنع تدخل فيه ثلاثة عوامل مهمة هي:

1 ــ تصميم جيد للقطع التي تحتاج إلى معالجة حرارية حيث يعزى غالباً معظم حدوث العيوب والتشققات في القطع إلى التصميم الرديء للقطعة.

2 ــ الاختيار الصحيح السليم للفولاذ المناسب، نظراً إلى أن كل نوع من أنواع الفولاذ العديدة يناسبه أسلوب خاص للمعالجة من درجات حرارة التقسية ووسط التقسية.

3 ــ المعالجة الحرارية السليمة من جو متحكم فيه وضبط درجات الحرارة [9].

5ــ5 تشققات التسقية وتشوهاتها Quenching cracks and distortion:

إن سقاية المعدن من درجة حرارة التحول الأوستينتي (ذو بنية FCC) إلى درجة حرارة التحول المارتنسيتي ذو البنية (BCC) يرافقه تمدد حجمي بسبب سرعة معدل التبريد وعدم تجانسه على كامل المقطع بالإضافة إلى تقلص القطعة بسبب الانخفاض في درجة الحرارة.

تبدأ عملية التحول المارتنسيتي على سطح القطعة ثم يتجه نحو الداخل حيث يكون معدل سرعة التبريد أقصى ما يكون على سطح القطعة ويقل نحو الداخل خاصة في القطع الكبيرة الحجم يمكن أن يتحول المركز إلى برليت بسبب انخفاض معدل سرعة التبريد فتتشكل نتيجة لذلك إجهادات داخلية في القطعة ممكن أن يؤدي إلى حصول تشوهات أو تشققات وقد تحدث هذه التشققات عند السقاية والإرجاع أيضاً. وتسبب هذه الإجهادات تمدد طوري وحجمي نتيجة تحول أوستنيت إلى مارتنسيت [3] والجدول (5ــ 7) يلخص التغييرات أثناء تحولات الأوستنيت [8].

Transformation	Change in volume, % as a function of carbon content (%c)
Spheroidized pearlite → austenite	-4.64+ 2.21 × (%c)
Austenite → martensite	+4.64- 0.53 × (%c)
Soheroidized pearlite → martensite	+1.68 × (%c)
Austenite → lower bainite	+4.64 - 1.43 × (%c)
Spheroidized pearlite → lower bainite	+ 0.78 × (%c)
Austenite → upper bainite	4.64+ 2.21 × (%c)
Soheroidized pearlite → upper bainite	0

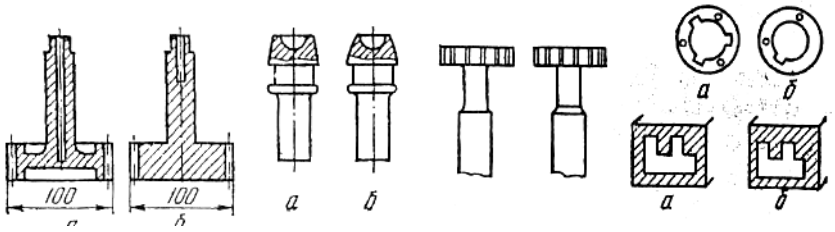
وتبين من خلال الدراسات السابقة أن كلا التشوهات في الشكل والأبعاد يحدثان خلال عملية التسخين الحراري، ينتج التشوه في الأبعاد نتيجة للتغير في الحجم الناتج عن التحول الحاصل في البنية البلورية خلال المعالجة الحرارية. أما تشوه الشكل ينتج إما عن الإجهاد المتبقي أو الإجهاد المطبق على القطعة. الإجهادات المتبقية التي تنشأ خلال المعالجة الحرارية سببها التدرج الحراري في المعدن وتغيرات غير منتظمة بتركيب المعدن نفسه.

5ـ5 ـ 1 تأثير التصميم في التشوهات والعيوب:

إن عامل التصميم من أحد أهم العوامل التي تعمل على حدوث عيوب وتصدعات في القطعة المراد معالجتها.

ولقد تبين أن الفشل يظهر غالباً في المناطق ذات إجهادات شد موضعية عالية لذلك يجب تصميم قطع الفولاذ المراد معالجتها حرارياً بطريقة مناسبة حيث يصبح معدل التبريد متجانساً خلال السقاية حيث أنه يجب على المصمم الماهر تجنب رافعات الإجهادات مثل: الأثلام، الحروف الحادة، التغيرات الفجائية في سماكة المقاطع.

واستبدالها بحروف وزوايا مستديرة مناسبة ولا يميل إلى استخدام اللولب أو وجود مجاري خوابير ووجود سماكات رقيقة. مبين في الشكل (5 ـ 7) الفرق بين التصميم الجيد والسيء [1].



a b a b a b a b

(a) تصميم خاطئ (b) تصميم صحيح

الشكل رقم (5 ــ 7) تأثير التصميم في المعاملات الحرارية

حيث يبين التصميم الجيد انخفاض سمك المنطقة المستوية وحلت الزاوية القائمة مكان المستديرة وبذلك تم الحصول على معدل تبريد متجانس تقريباً خلال معظم أجزاء القطعة.

5ــ5 ــ 2 نوع الفولاذ وعلاقته بمشكلات التقسية:

إن اختيار نوعية فولاذ محددة لتطبيق معين، ليس أمراً ثابتاً، وهي عملية ديناميكية، ويجب على الدوام مراجعة نوع الفولاذ لأي تطبيق بصفة دورية في ضوء تغير الأسعار واختلاف تكلفة التصنيع أو تغير أساليب التشغيل، مع الأخذ بعين الاعتبار أداء الفولاذ أثناء الاستخدام، بالإضافة إلى التطورات الحديثة في المواد الهندسية.

بصورة عامة لا توجد مادة جيدة للأجزاء المتشابهة كما ذكر، فإن كثر من عوامل اختيار المادة التي تشمل: الاقتصاديات، وتصرفات المواد تحت ظروف العمل والاستخدام، أسلوب التصنيع وكيفيته، وإمكانية المعالجة الحرارية، لا بد من أخذها كلها بعين الاعتبار عند اختيار نوع الفولاذ لتطبيق معين [1].

5ــ5 ــ أساليب (تقنية) المعالجة الحرارية:

5ــ5 ــ 1 العوامل المؤثرة في تشوه القطع المعالجة حرارياً:

إن مشكلات المعالجة الحرارية وصعوباتها لتصنيع القطع الفولاذية موضحة في الجدول (11 ــ 1)، ويمكن بوجه عام، تقسيم متاعب المعالجات الحرارية إلى أربع مجموعات على النحو التالي:

أ ــ أسلوب التسخين وكيفيته، ورفع درجة حرارة الجزء المعالج (تقنية التسخين).

ب ــ تقنية التبريد المفاجئ وطريقته (مشكلات التسقية).

ج ــ نوعية الفولاذ المعالج ومدى انتظام القطعة المعالجة.

د ــ الإجهادات الداخلية المتبقية.

وفيما يلي نتناول كل من هذه العوامل بشيء من التفصيل:

أ ــ تقنية التسخين:

إن أفضل أسلوب لتسخين الفولاذ المعالج حرارياً هو إتباع توصيات الجهة المصنعة والمنتجة للفولاذ وتعليماتها. ويلاحظ أنه يجري تسخين القطع حادة التغير في مساحة المقطع ببطء شديد وبانتظام قدر الإمكان.

كما يجب استخدام التسخين المسبق (Preheating) لفولاذ العدد سريع القطع الذي يجب أن يسخن لدرجة حرارة أعلى من 1040 ْم، كما تجرى نفس العملية على الأشكال المعقدة المصنعة من الفولاذ. ويجب ضبط درجة الحرارة بدقة عالية في مدى ± 10 ْم. ويعتقد أن تسخين السطح يتم أسرع من الداخل، وفي أحيان كثيرة، يصل السطح الخارجي إلى درجة الحرارة الصحيحة المطلوبة، بينما لا يزال في الداخل بارد. وبالتالي يحدث تمدد حراري بشكل مستمر حتى درجة Ac_1 عندها ينكمش المعدن ويتحول الأوستنيت من مكعب متمركز في الوسط مكعب متمركز الوجوه يتعلق مدى التقلص الحجمي بمحتوى الكربون في تركيب المعدن فهذا موضح بالجدول (5ــ 8) أي أن تسخين أكثر يمدد الأوستنيت المتشكل ويزيد حجمه [9].

ب ــ مشكلة السقاية(التبريد):

تظهر متاعب التسقية، في أوضح أمورها، في القطع ذات الاختلاف الكبير في مقاطعها أو التي تحتوي على منحنيات حادة أو زوايا متداخلة، كما سبق الحديث عنه في الجزء الخاص بالتصميم، وليس هناك من طريقة أفضل للتغلب على مشكلات سقاية هذه القطع إلا بمنع التغير الفجائي ومحاولة تصميم متناسق في المقطع، ويمكن أيضاً سد الثقوب أو الفتحات بالطين الحراري أو الأسبستوس، ويعطي هذا فرصة أفضل لتوزيع الحرارة.

ولقد وجدت أساليب جديدة للسقاية وتجنب متاعب عملية السقاية وصعوباتها؛ ومن هذه الأساليب:

أ ــ الإرجاع المارتنسيتي (Martempering).

ب ــ الإرجاع الأوستينتي (Austempering).

ج ــ السقاية الأيزوترمية.

د ــ السقاية المتقطعة.

عند تبريد الأوستنيت السريع يتشكل المارتنسيت (محلول جامد من الكربون في الفولاذ اللدن) وعند التبريد متوسط يتشكل البينيت أما في معدل تبريد بطيء يترسب البرليت (نوع من الحديد).

يزداد مقدار التمدد في جميع تلك التحولات السابقة مع تناقص محتويات الكربون في الأوستنيت (الجدول 5–9). ويكون الازدياد بشكل أعظمي عند تحول الأوستنيت إلى مارتنسيت ويكون متوسطاً مع البينيت المنخفض ويكون في حده الأدنى مع البينيت الأعلى والبر ليت. (الجدول 5–9).

مقدار الزيادة المرافقة للتحول من أوستنيت إلى برليت في نفس الفولاذ هي 2.4 و1.33% على التوالي.

هذه الزيادات في الحجم هي أقل في الفولاذ السبائكي وهي أقل ما يكمن في فولاذ العدة A_{10} [3].

يجب أن يلاحظ أن التشوه اللدن أو الالتواء يحدث خلال تلك التحولات تحت إجهادات أقل من إجهاد الخضوع للتحولات في المراحل المختلفة.

هذا التشوه اللدن ــ يدعى ظاهرة تحول اللدونة ــ يؤثر على تطور الإجهاد خلال تقسية القطع المختلفة حيث يتقلص المعدن خلال التبريد السريع بداية من مجال الأوستنيت وحتى يصل إلى درجة الحرارة M_S (بداية درجة تحول المارتنسيت) وبعد ذلك يتمدد المعدن خلال عملية التحول إلى مارتنسيت وبالنهاية يحدث انكماشاً آخر خلال عملية التبريد إلى درجة حرارة الغرفة.

تزداد كمية انحلال الكربون في القطعة كلما ازدادت درجة حرارة التقسية وبالتالي يزداد حجم الحبيبات وتزداد كمية الأوستنيت المتبقية مما يزيد في قابلية الفولاذ للتقسية.

إن مشاكل التشوهات التي تأتي في عملية التبريد هي أكبر من تلك التي تنتج خلال عملية تسخين للتقسية فكلما كان سرعة التبريد فيها أسرع (سقاية شديدة) كلما كان خطر التشوه أكبر، عند تطبيق سقاية معتدلة ينخفض معدل التشوه لذلك فشدة السقاية تؤثر في تشوه المشغولات.

تتعلق زيادة الحجم أيضاً وبالخصوص للقطع التي بها أبعاداً مختلفة على حجم الحبيبة (أو القساوة) والتي هي عامل مهم أيضاً. التغيرات في الحجم عند سقاية معدن ناعم الحبيبات،

عمق قساوة قليل، وذو مقطع أقل في المعدن ذو الحبيبات الخشنة وقساوة عميقة لنفس التركيب.

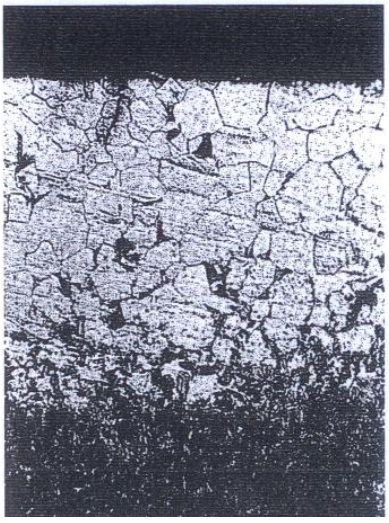
ج ــ نوع الفولاذ:

لضمان الحصول على معالجة حرارية جيدة وسليمة، لا بد أن يكون الفولاذ متجانساً وعالي النوعية وخالياً من العيوب مثل الفجوات الأنبوبية، الفجوات الانكماشية الثانوية أو أية تشققات أخرى.

على الرغم من أن الفولاذ السليم الخالي من العيوب عالي التكلفة، إلا أن الحصول على فولاذ سليم ومنتظم المعالجة الحرارية يستحق ما صرف عليه وهو خير من معالجة فولاذ سيئ، وفي النهاية لا يستفاد منه.

ورغم الاحتياطات الكبيرة للحصول على فولاذ جيد، إلا أنه يمكن أن يصادف ذلك الفولاذ العالي النوعية تكون قشرة طرية خارجية، أو على الأقل ظهور بقع طرية على سطح الفولاذ المقسى. ويرجع ظهور القشرة أو البقع الطرية إلى إزالة الكربون من السطح، أو من مواقع مختارة منه، ويكون ذلك ناتجاً عن تفاعل الأكسجين مع الكربون في الفولاذ في مدى محدد عند درجات الحرارة العالية مع تكوين ثاني أكسيد الكربون أو أول أكسيد الكربون. ويعود وجود الأكسجين في جو الفرن، إلى عدم التحكم الجيد في جو الفرن. ويوضح الشكل (5 ــ 8) مظهر سطح الفولاذ الذي جرد سطحه من الكربون.

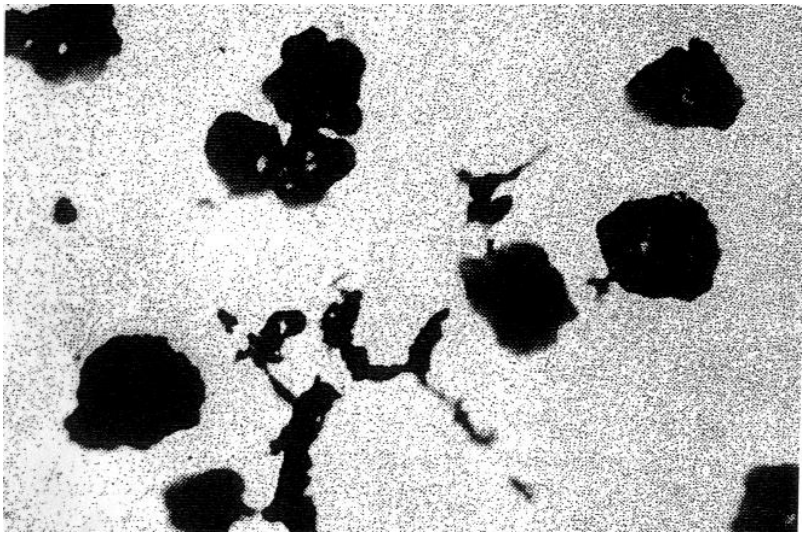
أما الشكل (5 ــ 9) فهو لفولاذ مماثل أزيل الكربون منه في بعض البقع مكوناً بقعاً طرية.



الشكل رقم (5 ــ 8)

مقطع ميكروسكوبي في الفولاذ الذي أزيلت كربنته السطحية

يمكن منع عملية إزالة الكربون (Decarburization) سواء كانت جزئية أو كلية، من خلال التحكم في جو فرن المعالجة والسيطرة عليه أثناء المعالجة، أو بالتسخين في حمام ملحي منصهر. ومن خلال التحكم في الجو الغازي في فرن المعالجة [8].



الشكل رقم (5 ــ 9)

مقطع ميكروسكوبي في الفولاذ الذي ظهرت على سطحه بقع طرية

ويجب التنويه إلى أمر أن المحتوى الكربوني للفولاذ يجب ألا يتجاوز المستوى المطلوب وإلا فإن مخاطر التشقق سوف تزداد وأن المعدل المقترح لمحتويات الكربون للماء والمحلول الملحي مذكورة بالجدول(5-8) [8].

الجدول التالي(5 ــ 8) المعدل المقترح لمحتويات الكربون للماء والمحلول الملحي:

نسبة الكربون %	التصميم	طريقة المعالجة
0.33	معقد	التقسية بالتحريض
0.50	بسيط	
0.30	معقد	التقسية بالأفران
0.35	بسيط	
0.40	بسيط جداً مثل محور	

د ــ الإجهادات الداخلية المتبقية:

تسبب الإجهادات الداخلية المبقية في الفولاذ المقسى والناتجة عن عمليات المعالجة الحرارية، كثيراً من التأثيرات السيئة، ويظهر أثرها في صور عدة هي: الانفتال، التشوه، التشقق أو غيرها. وعلى الرغم من ذلك، فإن الإجهادات نفسها يمكن أن تكون جيدة الأثر بل

ومفيدة إذا وجهت بصورة مناسبة من خلال التسقية المتحكم فيها، ولقد استخدمت فعلاً هذه الإجهادات تجارياً فيما يلي:

1 ــ تحسين الخواص الميكانيكية في فولاذ الأسلحة Gun Steel.

2 ــ زيادة عمر خدمة الأسطوانات المبثوقة، ولقم الحدادة، ولقم السحب.

3 ــ رفع حد التحمل في التعب، أو زيادة عدد الدورات فيه.

أما مصدر الإجهادات الداخلية المتبقية في الفولاذ المقسى هي على النحو التالي:

أ ــ إجهادات حرارية نتيجة اختلاف درجة الحرارة من موضع لآخر، أو بين السطح والمراكز.

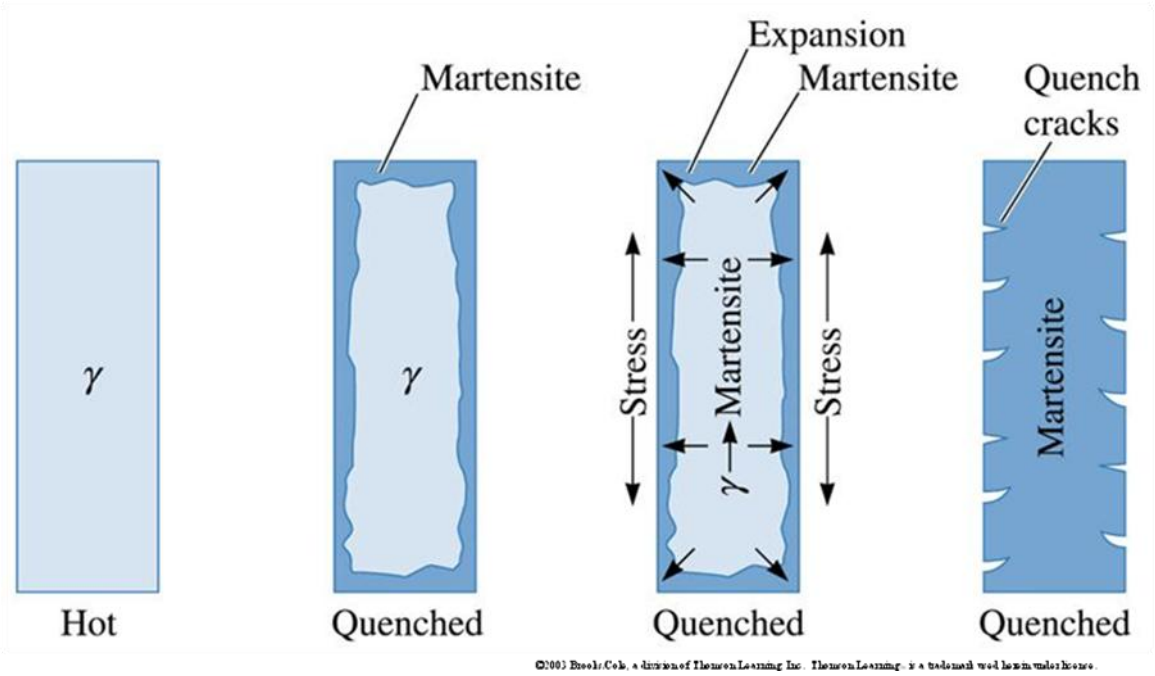
ب ــ الإجهادات الناتجة عن تحول الأوستنيت إلى مارتنسيت [12].

تشبه الإجهادات المتبقية الناتجة عن المعالجة الحرارية الإجهادات الناتجة عن التشكيل اللدن. ويمكن التعرف على الإجهادات الناتجة عن المعالجة الحرارية باعتبار ما يحدث لمكعب من الفولاذ تمت تقسيته في الماء؛ حيث يتكون تدرج حراري بين السطح الخارجي للمكعب ومركزه، فيبرد السطح الخارجي للمكعب الملامس لوسط التبريد بسرعة وينكمش.

أما داخل المكعب فيظل ساخناً ومحتفظاً بأبعاده الأصلية. ولما كان السطح الخارجي ومركزه الداخلي متصلين ولا يمكن فصلهما، تتولد إجهادات شد داخلية في القسم الخارجي، وتؤدي الإجهادات المؤثرة إلى التقلص اللدن للمركز الساخن نظراً إلى أن مقاومته لإجهاد الخضوع أقل.

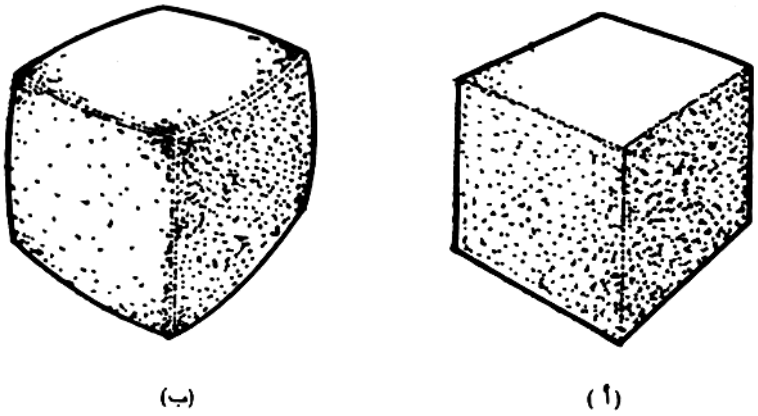
وسوف يؤدي التقلص الداخلي إلى انتباج السطح الخارجي كما هو موضح في الشكل (5ــ 10) وباستمرار عملية التبريد، يصبح الطول النهائي للقسم الداخلي أقصر من أطوال القسم الخارجي.

وهكذا، فإن هذه الإجهادات تسبب التغير في الشكل والمظهر الخارجي الموضحة في الشكل رقم (5ــ 11). في حالة الفولاذ ذو عمق تقسية قليل، فإن تمدد القشرة أثناء التحول إلى مارتنسيت، سيفرض عليه إجهادات حرارية؛ ويزيد من قيمة إجهادات الضغط على السطح وإجهادات الشد في المركز [14].



الشكل (5–10*) يبين التشقق الحاصل بسبب الإجهادات الداخلية المتبقية خلال التقسية،يبين سلوك الإجهادات خلال التحول من اوستينت إلى مارتنسيت خلال التبريد .

أما الفولاذ ذو عمق تقسية كبير، فإن التأثيرات الناتجة تكون عكسية، وهكذا تخفف من الإجهادات المتبقية، أو ربما تعمل على عكسها. ويوضح الشكل (5 ــ 12) تأثير التسخين والتقسية في الفولاذ ذو طبقة قساوة قليلة. [3]

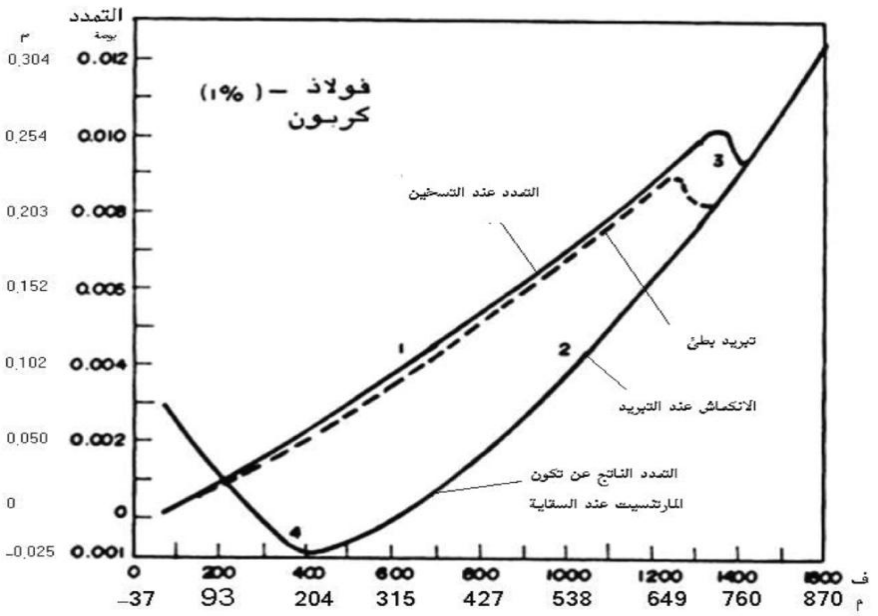


الشكل رقم (5 ــ 11)

شكل مكعب من الفولاذ قبل المعالجة الحرارية (التسقية) وبعدها.

(أ) المكعب قبل التسقية.

(ب) المكعب بعد التسقية وقد ظهر عليه الانتباج.



الشكل رقم (5 ــ 12)

منحني تسخين وتقسية فولاذ محتوٍ على 1% كربون (الخطوة المستمرة) ويقارن بالتبريد البطيء (الخط المتقطع)

هناك العديد من العوامل التي تتحكم في الحجم والإجهادات الداخلية. وهــذه العوامــل وتأثيرها في المنحني رقم (5 ــ 12).

1 ــ التمدد الحراري عند التسخين.

2 ــ الانكماش الحراري عند التبريد.

3 ــ التقلص عند التغير إلى الأوستنيت أثناء التسخين.

4 ــ التمدد الناتج عن تكون المارتنسيت عند التسقية.

يمكن التخلص من الإجهادات الداخلية المتبقية أثناء التبريد، وأثناء تحول المارتنســيت بعملية الإرجاع. [3]

d. الإرجــاع:

هناك علاقة تبادلية بين درجة حرارة التسقية ومقدار التغيرات الحجمية. يقلل الإرجــاع حجم المارتنسيت ما لم يتم تليين Softened المعدن بشكل كامل. تكون هناك زيادة في الحجم

في الفولاذ السبائكي المنخفض والفولاذ الكربوني (وسط عالي) خلال مراحل الإرجاع الأولى والثالثة، تترافق هذه الزيادة مع تفكك: كربون المارتنسيت العالي إلى كربون منخفض إضافة إلى ε– كربيد في المرحلة الأولى، وفي المرحلة الثانية يتوحد الكربون المنخفض مع ε– الكربيد إلى فيريت و سمنتيت. على أية حال تحدث الزيادة في الحجم في المرحلة الثانية (بسبب تفكك الأوستنيت المحتجز إلى بينيت) والذي يتجه إلى تعويض تقلص الحجم الذي تم في المراحل الأولى. عندما ترتفع درجة حرارة الإرجاع إلى A_1 يحدث تقلص ظاهر في الحجم. يكون التغير الحجمي خلال التحول المارتنسيتي أقل سرعة في بعض تراكيب العدد ذات الفولاذ السبائكي العالي بسبب نسبة كبيرة من الأوستنيت المتبقي ومقاومة المارتنسيت للإرجاع. هذه المعادن المقساة تظهر زيادة حادة في القساوة ومقاومة المارتنسيت للإرجاع. هذه المعادن المقساة تظهر زيادة حادة في القساوة والحجم في درجات الحرارة (500 – 600) م° ذلك بسبب ترسب الكربون من الأوستنيت المتبقي مما يسبب انزياحات في الشبكة البلورية للخليطة رافعاً درجة حرارة Ms (درجة حرارة التحول المارتنسيتي).

يحدث تحول آخر للأوستنيت المتبقي إلى مارتنسيت مع زيادة إضافية في الحجم خلال التبريد من درجة حرارة الإرجاع. التشوه في الأبعاد: الجدول (1ـ9) يبين نسب التغير الحجمي النموذجية لأربع معدات فولاذية مختلفة بعد تقسية نظامية.

﴿ الفصل السَّادس ﴾

دراسات سابقة

6 ــ 1 التشوهات في الشكل والحجم لفولاذ العدة:

التغيرات النموذجية في الأبعاد خلال التقسية لعدة معدات فولاذية مبينة في الجدول رقم (6ــ1). من الواضح أن بعض أنواع فولاذ السرعات العالية مثل M_3&M_{41} يبدي زيادة يمكن لحظها في الحجم حوالي 0.2% بعد التقسية والإرجاع بين درجتي حرارة 540 – 595 درجة مئوية لتعطي تقسية ثانوية Secondary hardening.

أشكال أخرى مثل A_{10} تتمدد قليلاً جداً عند تقسيتها وإرجاعها في معدل درجة الحرارة 595 مْ .

تحدث عادة زيادة مفرطة في الحجم في المعدات الفولاذية المقساة بالزيت والغير قابلة للانكماش بسبب عدم إزالة الإجهاد (عند الضرورة) وبالتالي التقسية و/أو الإرجاع عند درجة حرارة غير صحيحة. القاعدة الذهبية أ، تستطيع التخمين والشك أي بعد سوف يزداد في أبعاد القطعة المعرضة. من الملاحظ أيضاً أن إضافة خليط معدني يحدث تغيراً في الحجم المحدد لبعض أبعاد المعدن لكن إلى تمدد أقل من الكربون هذا الجدول يبين مقارنة بيانات لتشوه القياس.[4]

في أنواع مختلفة من الصلب، لكن لا يمكن استخدام هذه المعلومات منفردة للتنبؤ بعامل التشوه الشكلي.

يمكن وصف تغير البنية البلورية للفولاذ خلال المعالجات الحرارية بثلاث مراحل وهي:

1ــ **المرحلة الأولى**: التسخين تشمل تسخين إلى بنية لدنة (وهي مؤلفة من حديد خام وكربيد كروي ويطلق عليه بشكل شائع اسم سفيرودايت) إلى درجة حرارة C800° أو أعلى لتغيير الفيريت إلى أوستنيت (محلول متجانس من الحديد والكربون) وحل كل أو معظم الكربيدات الكروية في الأوستنيت. مع العلم أن أستنة الفولاذ يسبب انكماشاً في الحجم. [3]

ولكن ينخفض مدى التقلص الحجمي للقطع بزيادة كميات الكربون الموجودة في التركيب.

يمكن أن نوضح ذلك كما يلي:

$$V_{Sa}= -4.64 + 2.21\ (\%C) \qquad (1)$$

حيث VSa هي التغير الحجمي التي تحدث عند التحول إلى أوستنيت. باستخدام هذه المعادلة يمكن تقدير فيما إذا تم التسخين إلى درجة عالية تكفي لحل كل كمية الكربون في الأوستنيت أم لا.

مثلاً الفولاذ الحاوي 0.5% كربون تسجل تغير في الحجم بمقدار (2.53-)% أما الفولاذ الأكثر شيوعاً والذي يحتوي 1% كربون يسجل تغير في الحجم بمقدار (2.43-)% الفولاذ الغني جداً بالكربون والذي يحتوي على 1.5% لكربون يسجل تغيراً مقداره (1.33-)%.

على كل حال حيث بما أن فولاذ العدة يحتوي على نسبة كربون أعلى من تلك ذات التركيب اليوتكتيدي فهي تتأستن بشكل طبيعي في درجة حرارة عالية بما يكفي لتفكيك كمية الكربون اليوتكتيدي.

تحت هذه الظروف فإن فولاذ العدة التي تحتوي (1ــ 1.5)% كربون تسجل تغيراً في الحجم بمقدار (2.53- ــ 2.77-)% على التوالي بعد عملية الأستنة.

يلاحظ أن هذه النسب هي أقل من تلك المستخرجة مباشرة من المعادلة رقم (1) لأن هنالك نسبة تسامح لابد من تطبيقها وذلك للمساحة المشغولة بالكربيدات غير المنحلة والتي هي حوالي 3.5% لفولاذ الكربون (1 ــ2)% للفولاذ الكربون 1.5%.

2ــ **أما المرحلة الثانية:** فتشمل تبريداً سريعاً يكفي ليتحول الأوستنيت إلى مارتنسيت (محلول جامد من الكربون في الفولاذ المقسى).

عند هذا التحول يتمدد الفولاذ ويكون مقدار التمدد عكسياً مع كمية الكربون المحلول في الأوستنيت.

$$V_{AM} = 4.64 - 0.53\ (\%C) \qquad (2)$$

حيث V_{AM} هي نسبة التغير في الحجم التي تحدث عند تحول الأوستنيت إلى مارتنسيت.

باستخدام المعادلة رقم (2) يمكن أن نخلص لما يلي:

فولاذ العدد 0.5% كربون يسجل زيادة في الحجم عند التحول بمقدار 4.37%.

فولاذ العدد (1 ــ 1.5)% كربون تسجل زيادة في الحجم بمقدار 4.07% و3.71% على التوالي وذلك عند الأستنة بدرجة حرارة أستنة عادية (فقط 0.8% كربون اليوتكتيدي في عملية الانحلال يسمح بزيادة الحجم المشغول بالكربيد غير المنحل أيضا).

يمكن استخدام المعادلتين 1 و2 لحساب التغيير الصافي في أبعاد فولاذ العدد عند معالجتها حرارياً لتحويلها من فولاذ لدن إلى مقسى بشكل كامل (حالة مارتنسيت).

على سبيل المثال وبالإشارة لما ذكر أعلاه فالمعالجة الحرارية الطبيعية تنتج زيادة صافية في الحجم كما يلي:

- (3.53−) + 4.37= 0.84% التغير في فولاذ العدة ذو 0.5% كربون.
- (2.77−) + 4.07 = 1.30% التغير في فولاذ العدة ذو 1.0% كربون.
- (2.53−) + 3.71 = 1.18% التغير في فولاذ العدة ذو 1.5% كربون.

التغيرات الصافية في الأبعاد الخطية ستكون حوالي واحد إلى ثلاثة من صاف التغيرات المماثلة في الحجم.

3ـ **المرحلة الثالثة:** وتشمل إعادة تسخين المارتنسيت المتشكل حديثاً إلى درجة حرارة منخفضة نسبياً (الإرجاع) لزيادة القساوة وتخفيض الإجهادات، يسبب الإرجاع تغيرات متنوعة في البنية البلورية اعتماداً على درجة الحرارة وزمن الحرارة.

يتحول الكربون بعملية التحول المارتنسيتي إلى كربون بسيط بعد إبقائه لفترة طويلة جداً في درجة حرارة الغرفة أو بأوقات أقل في درجات حرارة تصل إلى200C° كما تفكك فولاذ المنخفض الخلائطية إلى مارتنسيت منخفض الكربون (حوالي 0.25% كربون)، إضافة إلى كربيد ــ مع انكماش في الحجم، ينحل المارتنسيت في درجات حرارة إرجاع أعلى من 200C إلى فريت وسمنتيت (كربيد الحديد).

إن تحول أكبر كمية من الأوستنيت إلى مارتنسيت يحتاج عادة إلى تبريد مستمر إلى درجة حرارة أقل من درجة نهاية التحول المارتنسيتي (Mf) والتي هي للفولاذ العدة C°(50-).

يبين الجدول (6ــ 1) النسبة المئوية للأطوار المتبقية لعدة أنواع من فولاذ العدة بعد معالجتهم حرارياً:

Steel الفولاذ	Hardening treatment المعالجة الحرارية المطبقة	As-quenched hardness, HRC درجة القساوة	Marten site, vol% نسبة المارتنسيت المتشكل	Retained austenite, vol%. نسبة الاوستينت المتبقي	Undissolved carbides, vol % نسبة الكربيدات الغير منحلة
W1	790 C, 30 min;	67.0	88.5	9	2.5
L3	790C, 30 min	66.5	90	7	3.0
M2	790C°, 30 min	64	71.5	20	8.5
D2	790C°, 30 min	62	45	40	15

بعد العمليات الحسابية باستخدام المعادلات (1، 2) لعدة أنواع من الفولاذ يبين الجـــدول (6 -2) النسبة المئوية للتغير الطولي بعد التقسية والنسبة المئوية للتغير الطولي بعد الإرجـــاع بدرجات إرجاع مختلفة ويظهر أن الفولاذ A10 تغير تغيراً طفيفاً في الحجم عندما يقسى فوق درجة حرارة 150 ــ 600° م.

أنواع أخرى مثل M41 وM1 فولاذ السرعات العالية يتمدد بحوالي 0.2% وذلك عندما يقسى ويتم إرجاعه فوق مدى درجات 540 ــ 565 °م فنحصل بذلك على قساوة كاملة.

يبين الجدول التالي التغيرات البعدية خلال التقسية والإرجاع لعدة أنواع من فولاذ العدة: جدول (6–2)

Tool steel	Hardening treatment			Total change in linear dimensions after quenching %	Total change in linear dimensions % After tempering at										
	Temperature		Quenching medium		150 C 300 F	205 C 400 F	260 C 500 F	315 C 600 F	370 C 700 F	425 C 800 F	480 C 900 F	510 C 950 F	540 C 100 F	565 C 1050 F	591 C 110 F
	C	F													
O1	815	1500	Oil	0.22	0.17	0.16	0.18	…	…	…	…	…	…	…	…
O1	790	1450	Oil	0.18	0.09	0.12	0.13	…	…	…	…	…	…	…	…
O6	790	1450	Oil	0.12	0.07	0.1	0.14	0.01	0	-0.05	-0.01	…	0.07	…	…
A2	955	1750	Air	0.09	0.06	0.06	0.08	0.07	…	0.05	0.04	…	0.06	…	…
10A	790	1450	Air	0.04	0	0	0.08	0.08	0.01	0.01	0.02	…	0.01	…	0
D2	1010	1850	Air	0.06	0.03	0.03	0.02	0	…	-0.01	-0.02	…	0.06	…	…
D3	955	1750	Oil	0.07	0.04	0.02	0.01	-0.02	…	…	…	…	…	…	…
D4	1040	1900	Air	0.07	0.03	0.01	-0.01	-0.03	…	-0.4	-0.4	…	0.05	…	…
D5	1010	1850	Air	0.07	0.03	0.02	0.01	0	…	0.3	0.3	…	0.05	…	…
H11	1010	1850	Air	0.11	0.06	0.07	0.08	0.08	…	0.3	0.3	…	0.12	…	…
H13	1010	1850	Air	-0.01	…	…	…	…	…	…	0	…	0.06	…	…
M2	1210	2210	Oil	-0.02	…	…	…	…	…	…	…	0.06	0.1	0.14	0.11
M41	1210	2210	Oil	-0.16	…	…	…	…	…	…	…	0.17	0.08	0.21	0.2

بالرغم من أن المعلومات المبينة في الجدول (6–2) مفيدة في مقاربة مقدار التشوه في عدد من أنواع فولاذ العدد إلا أن عامل تشوه الشكل يجعل من المستحيل استخدام هذه المعلومات منفردة بالتنبؤ بتغيرات الأبعاد لأي قطعة ما مصنوعة من تلك الأنواع.

6ـ 2 التشوهات في الشكل والحجم للفولاذ الخلائطي

وقد تبين بالدراسة لحلقات من 4140 و 8620 وتقسيته بالماء والزيت، بدراسة أقامها الـ Dr. Harden والـ Dr, Becar man أساتذة في جامعة ليوا في شيكاغو.

لوحظ أن وجود الإجهادات الحرارية المتبقية قد سببت التشوه والتشقق وكذلك من الأمور التي يمكن أن تزيد من التشوه هي عمق التقسية.

ومن الأمور الواجب مراعاتها هي:

تصميم القطعة وكيفية استخدامها

إزالة الإجهادات وتنسيق البنية من الأمور التي تخفف من تشقق القطعة وتشوهها.

عند دراسة قطع ذات قطر 4cm وطول 20cm عند درجة حرارة 860 C أي درجة حرارة 25 C وتمت إعادة الدراسة إلى 30 عينة حصل في النسبة المئوية للتغير الحجمي للمارتنسيت بمقدار 5% أكثر من الأوستينيت.

يبين الجدول (6ـ 3) التغير في الأبعاد لأقطار داخلية وخارجية لحلقات نافي المستخدمة في هذه الدراسة وهي كالتالي:

SAE steel	Quenchant	Dimensional change, mm	
		Gap opening	Outside diameter
4140	Petroleum oil (65°C)	0.04064	0.01524
	Water (25 °C)	Cracked	Cracked
8620	Petroleum oil (65°C)	0.01778	0.00508
	Water (25 °C)	0.04572	0.01778

يبين الجدول التالي التغيرات في الأبعاد مقارنـــة بـــالفولاذ 4140، 8620 للتشـــوهات الحاصلة في الأبعاد والمطبقة على القطع والعينات المستخدمة في البرنامج المذكور مع الأخذ بعين الاعتبار التغير الأكبر في البعد المقاس.

SAE steel	Quenchant	Measured Dimensional Change, % Relative to 8620 WQ		Measured Dimensional Change, % Relative to 8620 WQ	
		Gap opening	Outside diameter	Gap opening	Outside diameter
4140	Petroleum oil (65°C, or 150 °F)	89%	33%	75%	19%
	Water (25 °C, or 80 °F)	Cracked	Cracked	102%	22%
8620	Petroleum oil (65°C, or 150 °F)	39%	11%	50%	16%
	Water (25 °C, or 80 °F)	100%	39%	100%	37%

﴿ البَاب الثَّاني ﴾

الدراسة العملية

﴿ الفَصل الأوَّلَ ﴾

التجهيزات والمواد المستخدمة

1- التجهيزات والمواد المستخدمة في البحث:

1-2 التجهيزات المستخدمة في البحث:

1-2-1 الفرن المستخدم:

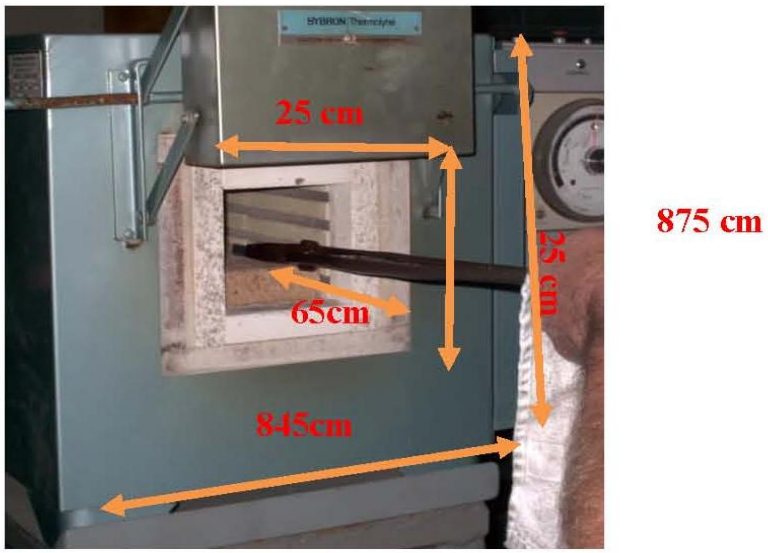
الفرن هو فرن التقسية الكلية للخلائط الفولاذية وهو من صنع شركة Degussa الالمانية.

يعتبر نوع هذا الفرن من الأفران الكهربائية الصندوقية ذات الأجواء الواقية ،والذي يطلق عليه (protective atmospheric furnace) والمزود بقلب ذو هيكل معدني خاص محكم الإغلاق يعرف ب(muffle room) متحمل للحرارت العالية ($1100C^{O}$) وبدقة c 10± وهو العصب والكتلة الرئيسية الفعالة لجسم الفرن ككل وله عدة مزايا كتأمين انتقال الحرارة من الوشائع إلى المواد المعالجة داخل الفرن بشكل تدريجي ومتجانس وحمايتها من الصدمات الحرارية وتأمين جو من الغاز الواقي الخامل بداخله عن طريق تأمين الغاز ضمنه (N2) وبالتالي حماية المواد من الاوكسجين أي عدم نزع الكربون من المواد المعالجة وعدم حصول أكسدة لسطح القطعة

المواصفات الفنية للفرن:

1. الطراز .GKR.
2. TYPE صندوقي.
3. الحجم الخارجي للفرن 845X875X1040
4. حجم فراغ العمل .25X40X65cm
5. درجة الحرارة العظمى 1050م .
6. الغاز الواقي النتروجين N2
7. الاستطاعة 20 KW
8. التيار 31 A
9. الجهد .380V
10. الدقة c 10±.
11. الحساس المستخدم .Ni Cr Ni

وهو موضح بالشكل التالي :



الشكل (1-1) فرن التقسية الكلية المستخدم

1-2-2 المجهر الضوئي:

<u>هناك نوعين من المجاهر الضوئية:</u>

النوع الأول :يعمل من خلال الأشعة المارة من خلال العينة ويستخدم هذا النـــوع للعينـــات الشفافة والرقيقة.

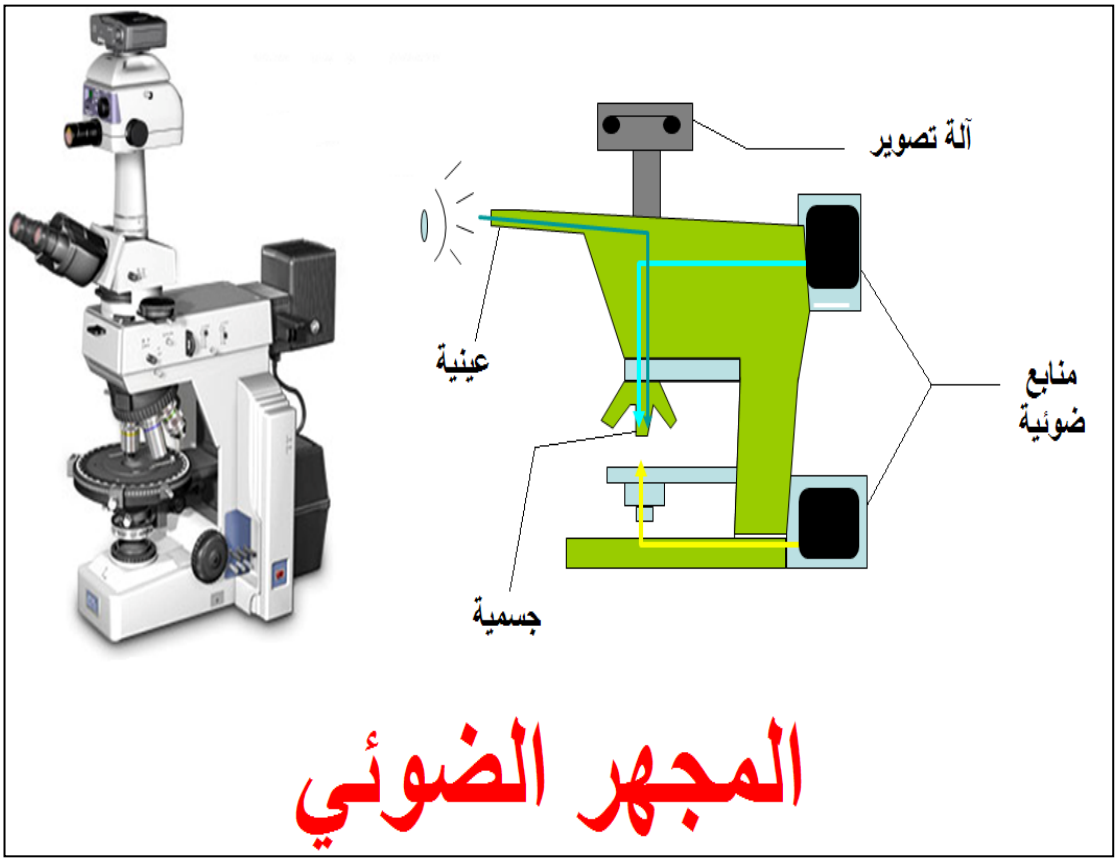
النوع الثاني: يعمل من خلال الأشعة المنعكسة عن سطح العينة و يستخدم للعينات العاتمة و السميكة.

وفي كلا النوعين يكون المجهر مجهزاً بآلة تصوير موصولة على الحاسب.

إن الأجزاء الأساسية للمجهر الضوئي هي:

العينية – الجسمية – الأنبوب الذي يحوي عدسات التكبير والمرايا والمواشير – تجهيـــزات الإضاءة – آلة التصوير المتصلة مع الحاسب – يكون المجهر مـــزوداً بجهـــاز قيـــاس القســـاوة الميكروية على نفس قرص تغيير العدسات.

المجهر الذي سنستخدمه يمكن أن يعمل بكلا التقانتين (الانعكاس و النفاذ)

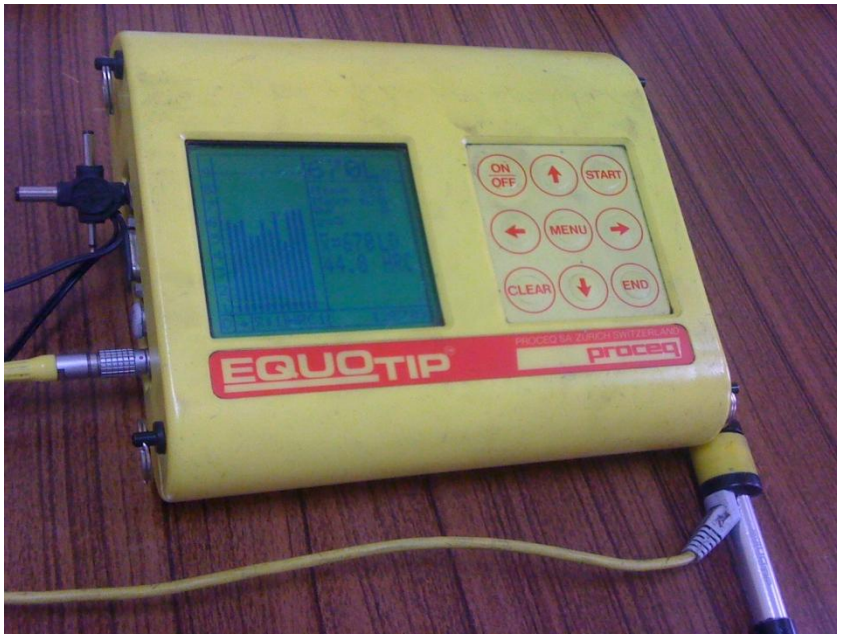


الشكل (1-2) المجهر الضوئي المستخدم

تعرف نسبة التكبير للمجهر الضوئي على أنها حاصل جداء نسبتي تكبير كل من العينية والجسمية.

1-2-3 جهاز قياس القساوة Rockwell Hardness Tester:

يعتمد قياس القساوة على ضغط رأس القياس وهو ذو شكل محدد (يختلف شكله حسب الطريقة وقساوة العينة) على سطح العينة وتطبيق حمل مناسب ثم قياس عمق الأثر المتشكل على العينة والذي يحدد قساوة العينة ويقوم الجهاز بإعطاء قيمة القساوة مباشرة مع الانتباه للسلم المستخدم في قياس القساوة.



الشكل (1-3) جهاز القساوة المستخدم

هناك عدة أنواع لرؤوس قياس القساوة تختلف عن بعضها بالشكل و قيمة الحمل المطبق عند القياس.

1-2- 4 جهاز التحليل الطيفي Spectro maX :



الشكل (1-4) جهاز تحليل الطيف المستخدم

تم استخدام هذا الجهاز في الشكل (1-4) لمعرفة نسب الشوائب والعناصر الموجـــودة فـــي الفولاذ، للتأكد من أن الفولاذ المختار يطابق القياسات القياسية للفولاذ CK45 وCK60

1ـ 3 المواد المستخدمة

استخدم في التجارب نوعين من الخلائط الفولاذ الكربوني

- الفولاذ الكربونيCK45 ذو التركيب الكيميائي المستعمل:

الجدول (1-1) التركيب الكيميائي للـ CK45

	C %	Si%	Mn%	P%	S%	Cr %	NI%	MO%	al%
المستخدم	0.442	0.225	0.88	0.0005	0.015	0.072	0.093	0.03	0.0071
النظامي	0.37-0.5		0.5-0.8	0.04	0.05				

- الفولاذ الكربوني CK60 ذو التركيب الكيميائي المستعمل:

الجدول (1-2) التركيب الكيميائي للـ CK60

	C %	Si%	Mn%	P%	S%	Cr%	NI%	MO%	al%
المستخدم	0.64	0.252	0.89	0.0035	0.023	0.073	0.77	0.024	0.0093
النظامي	0.55-0.65		0.5-0.8	0.04	0.05				

1ـ4 الأدوات المستخدمة

1- ملقط لإخراج العينات من الفرن

2- سلة لحمل العينات

3- وعاء ماء للتبريد

4- مسند لوضع العينات المسخنة عليه

5- كفوف للحماية

﴿ الفَصل الثَّاني ﴾

النتائج العملية والمناقشة

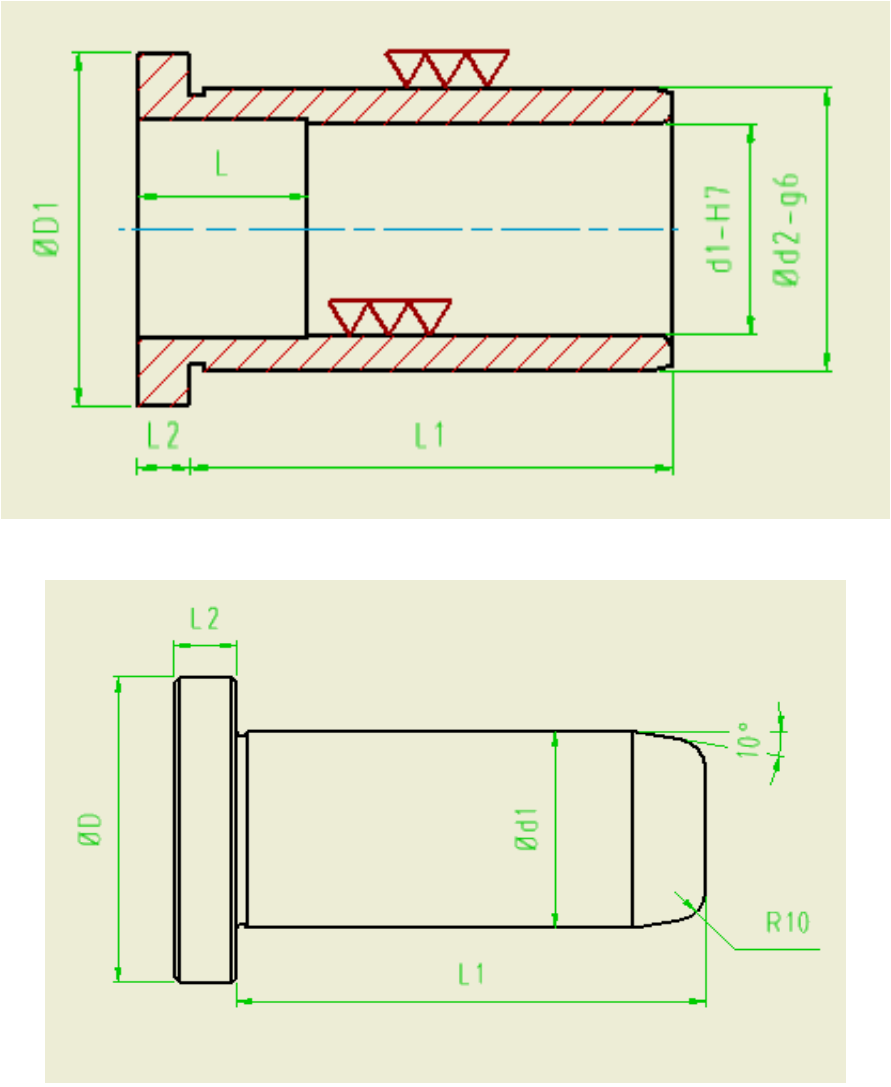
ـ الإجراءات قبل المعالجة الحرارية:

تضمن العمل المراحل التالية:

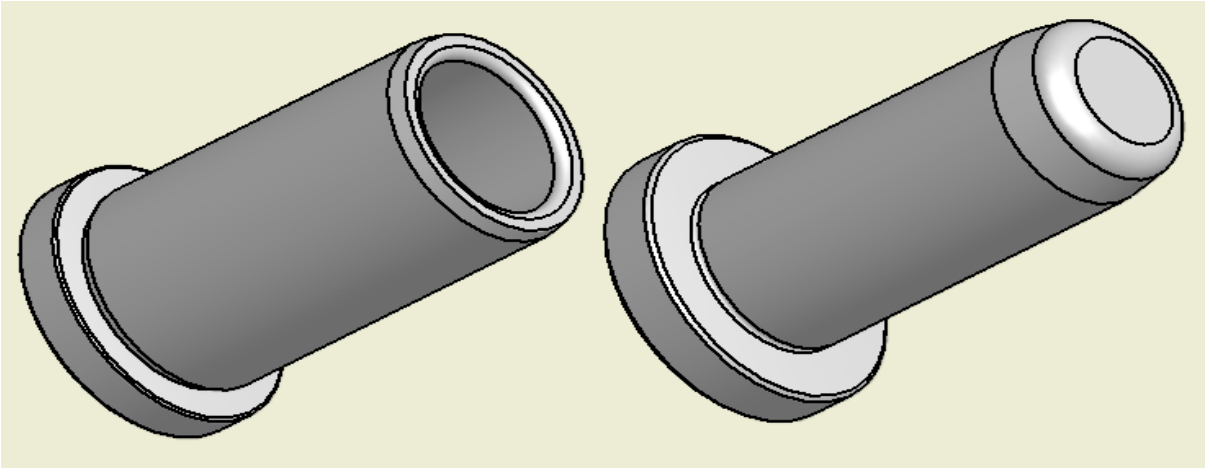
1. تحضير 50 زوج عينات (جلبة + محور) من الفولاذ CK45 وCK60.

تم تصميم عينات وفق معيار DME من الفولاذ الكربوني بنوعيه (CK60،CK45) وهـذه الجلب والمحاور مستخدمة في عملية إغلاق القوالب وفق المخطط التالي:

ترسم الرسم باستخدام برنامج Inventor



الشكل (2-1) مخطط 2D للجلبة ومحور



الشكل (2-2) مخطط 3D لجلبة ومحور مستخدم في التجارب

- التسامحات العامة ±0.2 مم.
- التسامحات بين المحور والجلبة g6 H7.

الأبعاد مبينة لـــck45وck60 وفق الجدول التالي: (2-1)

رقم القطعة	ا سم القطعة	عدد القطع		الابعاد		
			التسامح g6mm	d1mm	Dmm	L1mm
1	المحور	5	-0.015	10	14	50
2	المحور	5	-0.018	15	20	75
3	المحور	5	-0.021	20	25	100
4	المحور	5	-0.021	25	35	125
5	المحور	5	-0.021	30	40	150

وأبعاد الجلب مبينة في الجدول التالي: (2-2)

رقم القطعة	اسم القطعة	عدد القطع		الابعاد		
			التسامحH7	Ød1mm	Ød2mm	ØD1mm	L1mm
1	الجلبة	5	0.015	10	20	24	20
2	الجلبة	5	0.018	15	30	34	30
3	الجلبة	5	0.021	20	40	44	40
4	الجلبة	5	0.021	25	50	56	50
5	الجلبة	5	0.021	30	60	66	60

2. تم تحليل العينات بواسطة جهاز التحليل الطيفي Spectro max السابق ذكره.

ـ إجراء عملية المعالجة الحرارية:

تم وضع كل مجموعة بدرجة حرارة مختلفة عن الأخرى وكل مجموعة مؤلفة من الأقطار من محاور ذات أقطار m (10–15–20–25–30)، وجلب ذات أقطار داخلية m (10–15–20–25–30)، وأقطار خارجية m (10–15–20–25–30).

الجدولين التاليين يوضحان درجات الحرارة والإرجاع لكل مجموعة من الفولاذ CK45,CK60 المستخدم في عمليات التقسية والإرجاع

الجدول (2–3)

رقم المجموعة	درجة حرارة التقسية	زمن الإبقاء	وسط السقاية	درجة حرارة الإرجاع	زمن الإرجاع
4-1	790	20	ماء	200	ساعتان
4-2	810	20	ماء	200	ساعتان
4-3	830	20	ماء	200	ساعتان
4-4	850	20	ماء	200	ساعتان
4-5	870	20	ماء	200	ساعتان

الجدول (2–4)

رقم المجموعة	درجة حرارة التقسية	زمن الإبقاء	وسط السقاية	درجة حرارة الإرجاع	زمن الإرجاع
6-1	810	20	ماء	200	ساعتان
6-2	830	20	ماء	200	ساعتان
6-3	850	20	ماء	200	ساعتان
6-4	870	20	ماء	200	ساعتان
6-5	890	20	ماء	200	ساعتان

ملاحظة: تم ترقيم المجموعات التي تخضع لدرجة حرارة واحدة برقم واحد مثلاً المجموعة 4–1 الرقم (4) يدل أن الفولاذ المستخدم هو CK45 أما الرقم (1) يدل على المجموعة التي تخضع لحرارة $^{\circ}C$ 790.

3. حساب تقريبي لمدة التسخين الكلية من العلاقة:

$$\tau = \tau_{H+}\tau_B$$

تألف مدة التسخين الكلية من مدة التسخين حتى الدرجة المطلوبة (τH) ومدة التوقف عند هذه الدرجة (τB).

تعتمد (τH) على قدرة الوسط على التسخين و أبعاد و شكل القطعة و طريقة توضعها في الفرن أما (τB) فهي تعتمد على سرعة التحولات الطورية وهي تساوي دقيقة للفولاذ الكربوني و دقيقتان للفولاذ الخلائطي.

يمكن تحديد τH (مدة التسخين حتى الدرجة المطلوبة) من العلاقة التالية:

$$\tau_H=0,1.D_1.K_1.K_2.K_3$$

حيث:

D_1: أصغر بعد في أكبر مقطع. (30 mm).

K_1: معامل الوسط(وسط غازي 2).

K_2: معامل الشكل(أسطوانة 2).

K_3: معامل التسخين(من كافة الجهات1).

ومنه نجد أن $\tau_H = 12$ min

أما τ_B (مدة التوقف) فهي تعتمد على سرعة التحولات الطورية وهي تساوي دقيقة للفولاذ الكربوني.

أي أن الزمن الكلي 13 دقيقة. عملياً تم اختيار مدة التسخين الكلية 20 دقيقة لجميع العينات.

4. برمجة الفرن الكهربائي كالتالي:

- درجة حرارة التسخين 790 ْC/ 810 ْC/ 830 ْC/ 850 ْC/ 870 ْC/ 890 ْC
- سرعة التسخين 5000 ^{O}C/hour
- مدة التوقف عند كل من هذه الدرجات 20 دقيقة.

5. تشغيل الفرن الكهربائي .

6. عند الوصول لدرجة حرارة التسخين (850 درجة) تم الإبقاء لمدة 5 دقائق ثم رفع إلى الدرجة 790 وذلك بعد وضعها بالفرن (تم وضعها بالقرب من بـــاب الفـــرن وبمســـافة فاصلة 2-3cm لتسهيل عملية إخراج العينات من الفرن).
7. الانتظار عشرين دقيقة.
8. فتح الفرن وإخراج العينات تغطيسها مباشرة بالماء (ضمن سلة خاصة) أي أنها ستتبرد بالماء مما يؤمن لها تبريد سريع يسمح بحصول التحول المارتنسيتي وبالتالي تقسيتها.
9. انتظار العينات حتى تبرد .
10. قياس أبعاد العينات بالميكرومتر.
11. إعادة العينات إلى الفرن من أجل عملية الإرجاع وعند الدرجة 200c.
12. الانتظار ساعتين.
13. فتح الفرن وإخراج العينات ووضعها على مسند وتركها تبرد في الهواء.
14. قياس العينات بالميكرومتر .
15. أخذ العينات الناتجة عن المعالجة الحرارية إلى مخبر الميتالوغرافي لدراسة بنيتها.
16. تضمن العمل في مخبر الميتالوغرافيا تحضير العينات للفحص بالمجهر الضوئي عـــن طريق إجراء عمليات الجلخ بمختلف مراحله حتى حصلنا على أسطح صقيلة. ثـــم تـــم تخريش هذه الأسطح بمادة نيتال 2 (وهي مكونة من 2% حمـــض الآزوت وكحـــول) وأخيراً تم مسحها بالكحول وتجفيفها.
17. تم فحص العينات تحت المجهر وأخذ صور لها تبين بنيتها بالتكبيرين (X400، X200)
18. تم قياس قساوة العينات في المخبر باستخدام جهاز قساوة روكويل.

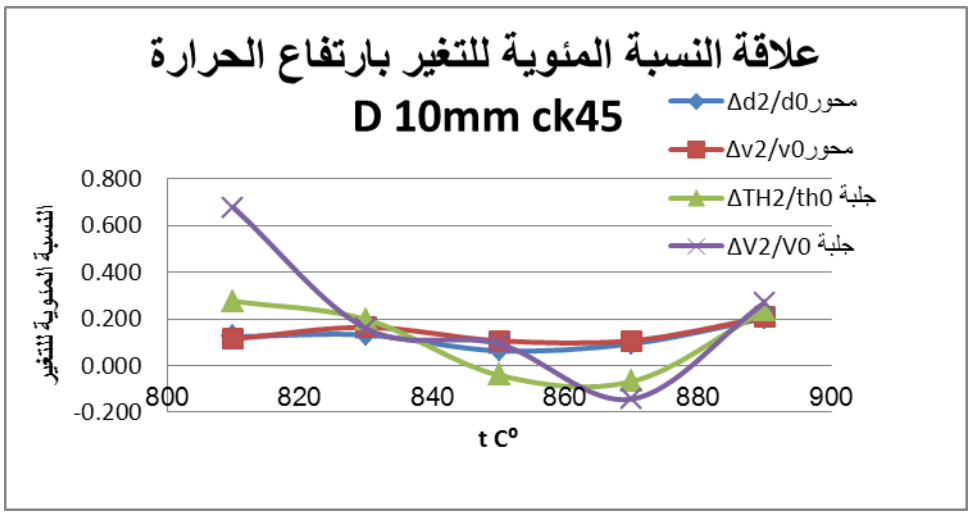
عرض النتائج

2ـ1 دراسة الفولاذ CK45

2ـ1ـ1 دراسة التغيرات الحجمية والقطرية للفولاذ CK45

قبل البدء بعرض النتائج يجب الإشارة إلا أنه تم رمز القطر للمحور بـ øD أما القطر الداخلي للجلبة din والقطر الخارجي dout

ـ المحور D=10mm جلبة dout= 20 mm din=10mm



الشكل (2 ـ 3) النسبة المئوية للتغير الحجمي والقطري لجلبة (ومحور ذات القطر ø10mm للفولاذ CK45

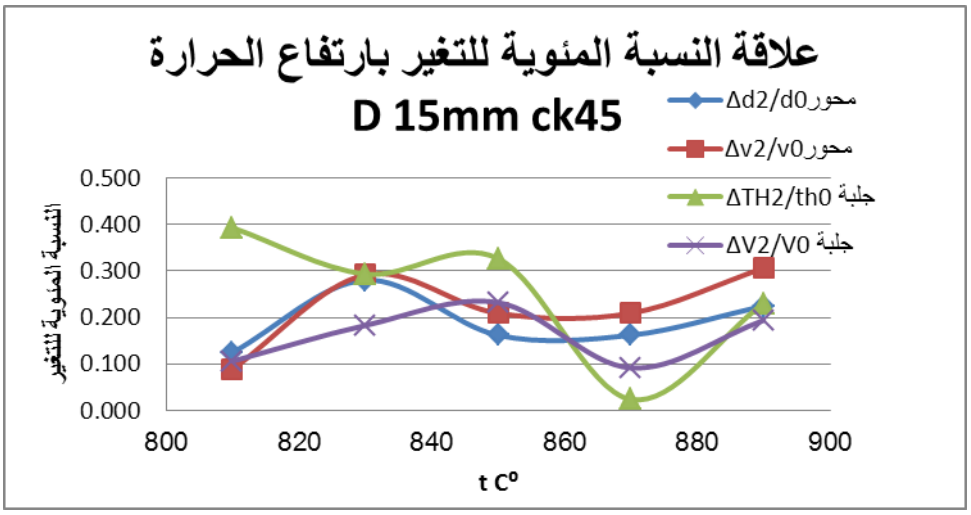
نلاحظ من خلال الشكل (2-3) ارتفاع في النسبة المئوية للتغير الحجمي والقطري بالنسبة للمحور ذو القطر Ø 10mm وتراوح ما بين (0.1-0.3)%.

أما بالنسبة للجلب فإنه بازدياد درجة الحرارة حصل انكماش وتغير في الحجم التشوه حصل على حساب الحجم أكثر من القطر.

حيث أن القطعة قصرت وانتبجت وكان هذا الأمر أكثر حصولاً عند درجة حرارة ما بين (870 ـ 880) C°.

ونلاحظ أن أكثر درجة حرارة حافظت على أفضل ازدواج بين الجلبة والمحور للقطر Ø10 والجلبة ذات القطر الداخلي Ø 10mm وقطر خارجي Ø20mm تتراوح ما بين C° (830 ـ 850).

ـ المحور D=15mm جلبة dout= 20 mm din=15mm

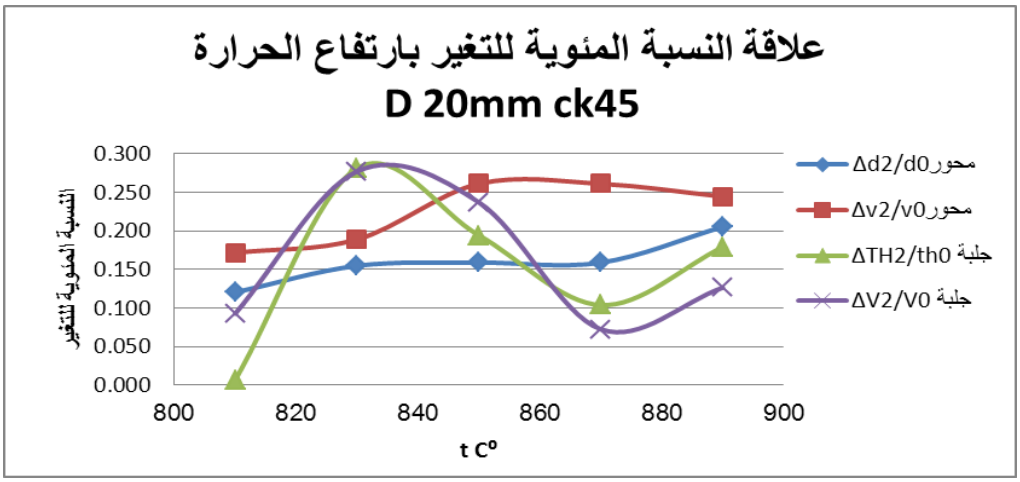


الشكل (2 ــ 4) النسبة المئوية للتغير الحجمي والقطري لجلبة ومحور ذات القطر Ø15mm للفولاذ CK45

عند دراسة النسبة المئوية للتغير للمحور (D 15 mm) والجلبة (dout= 30 m din 2 15mm) أن النسبة تراوحت ما بين (0.3− 0.1)% للمحاور وما بين (0.4− 0.05)% للجلب وأقل تغير للمحاور كان ما بين (870 ــ 850) وأعلى نسبة تغير (840 ــ 820)ْC ويعــود ويزداد عند 890 ْC.

وأقل تغير للجلب كان عند درجة حرارة ْC (880 ــ 860) وأعلى تغيير عند (850 ــ 800) ْC أما درجة الحرارة التي حافظت على أقل نسبة بالنشوة والطوي والحمي هي (870 ــ 850) ْC.

ـ المحور D=20mm جلبة dout= 40 mm din=20mm



الشكل (2 ــ 5)

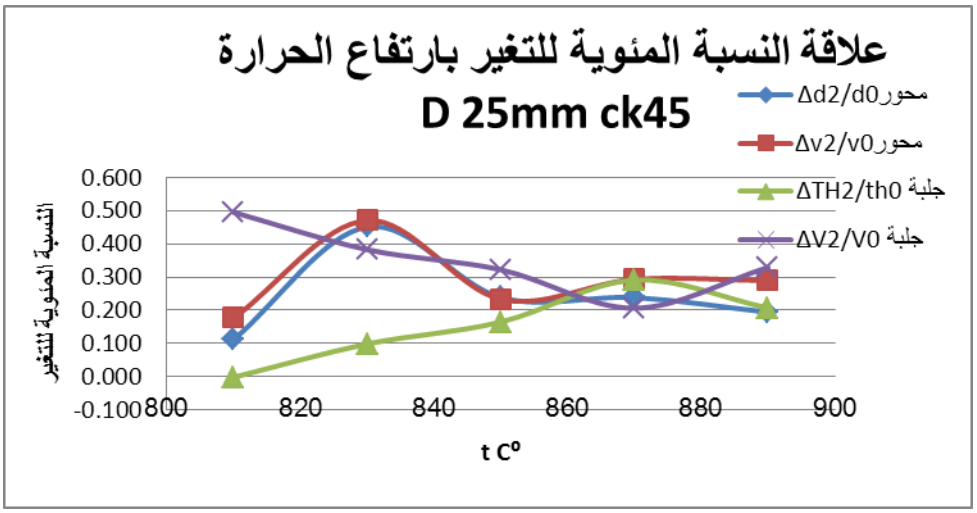
عند القطر محور D20mm وجلبة din 20 mmdout 40 mm النسبة المئوية للتغير القطري تتراوح للمحور (0.20 ــ 0.15)% وللجلبة (0.01 ــ 0.29)%.

أما بالنسبة للتغير الحجمي للمحور (0.27 ــ 0.17)% وللجلبة (0.27 ــ 0.1)% أعلى قيمة للنسبة المئوية للتغير القطري للمحور عند درجة حرارة (900 ــ 880) C̊ للجلبة عند درجة حرارة (830) C̊ وعند درجة حرارة 890 C̊

أعلى قيمة للنسبة المئوية للتغير الحجمي للمحور عند درجة حرارة 6̊ (890 ــ 860)

أعلى قيمة للنسبة المئوية للتغير الحجمي للجلبة عند درجة حرارة C̊ (830) وعند C̊ 890

ــ المحور D=25mm جلبة din=25mm dout= 50 mm



الشكل (2 ــ 6)

للقطر محور D25 mm وجلبة din= 25 mm وdout = 50 mm وازواج ما بينهما g6 H7

النسبة المئوية للتغير القطري تتراوح للمحور (0.95 ــ 0.1)% وللجلبة (0.3 ــ 0)%.

أما النسبة $\frac{DV}{V}$ المئوية للتغير الحجمي تتراوح للمحور ما بين (0.45 ــ 0.2)% وللجلبة (0.2 ــ 0.50)%

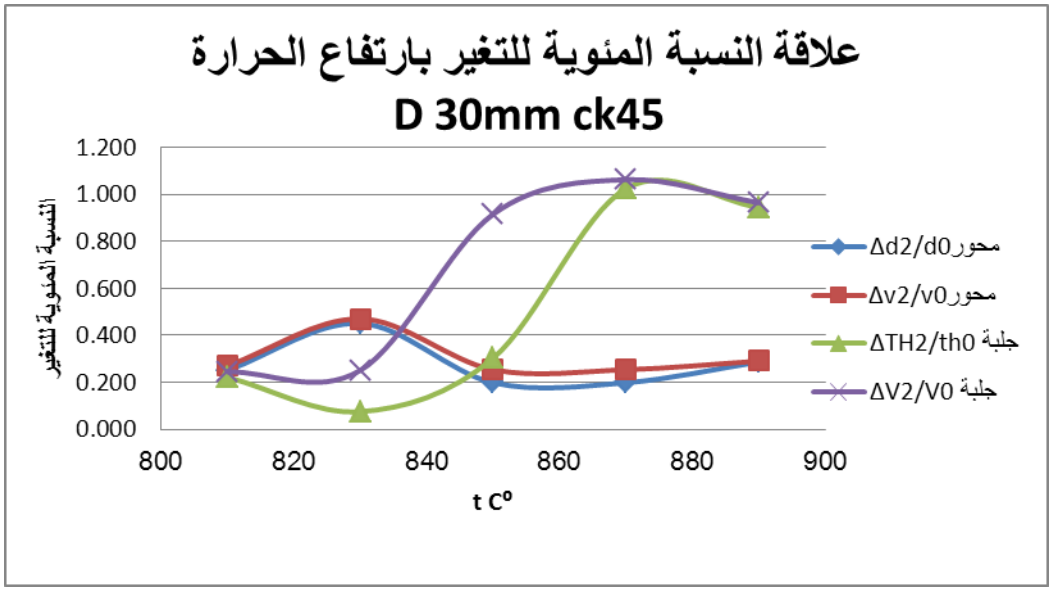
أعلى نسبة مئوية للتغير القطري للمحور عند درجة حرارة (850 ــ 820)C̊.

أعلى نسبة مئوية للتغير القطري للجلبة عند درجة حرارة (880 ــ 860)C̊.

أعلى نسبة مئوية للتغير الحجمي للمحور عند درجة حرارة (850 ــ 820)C̊.

أعلى نسبة مئوية للتغير الحجمي للجلبة عند درجة حرارة (890)C̊ وعند C 810

ــ المحور D=30mm جلبة din=30mm dout= 50 mm



الشكل (2 ــ 7)

الدراسة للمحور ذو القطر D30 mm وجلبة din= 30 mm و dout = 60 mm

تراوحت النسبة المئوية للتغير القطري بالنسبة للمحـــاور مـــا بـــين (0.45 ــ 0.1)% وللجلب (1 ــ 0.1)%.

أما بالنسبة المئوية للتغير الحجمي تتراوح ما بين (0.45 ــ 0.1)% للمحاور وللجلـــب (1 ــ 0.05)%

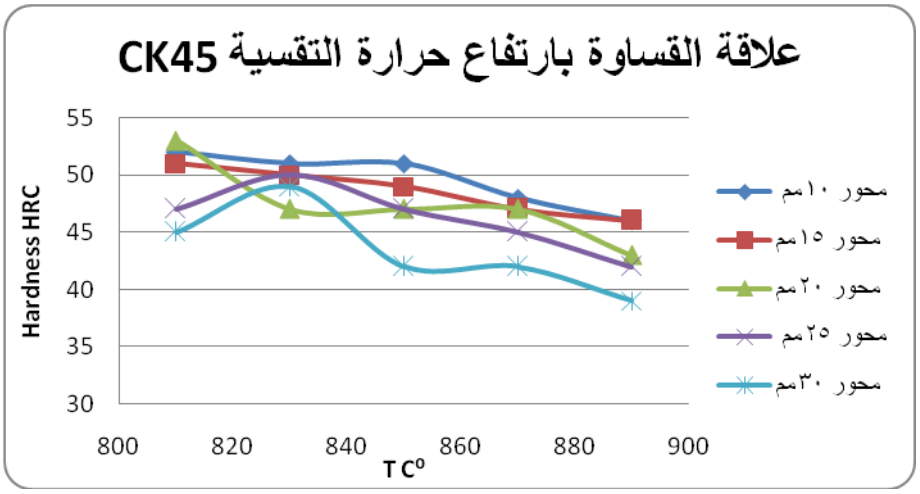
أعلى نسبة مئوية للتغير القطري بالنسبة للمحاور عند درجة حرارة (840 ــ 820)C̊.

وأعلى نسبة مئوية للتغير القطري للجلب عند درجة حرارة (890 ــ 870)C̊.

درجة الحرارة التي وافقت أقل تغير بالنسبة المئوية للتغير القطري للجلـــب والمحـــاور تراوحت ما بين (850 ــ 830)C̊.

2ـ1ـ2 دراسة القساوة وارتفاع درجة الحرارة:

أ ـ المحاور

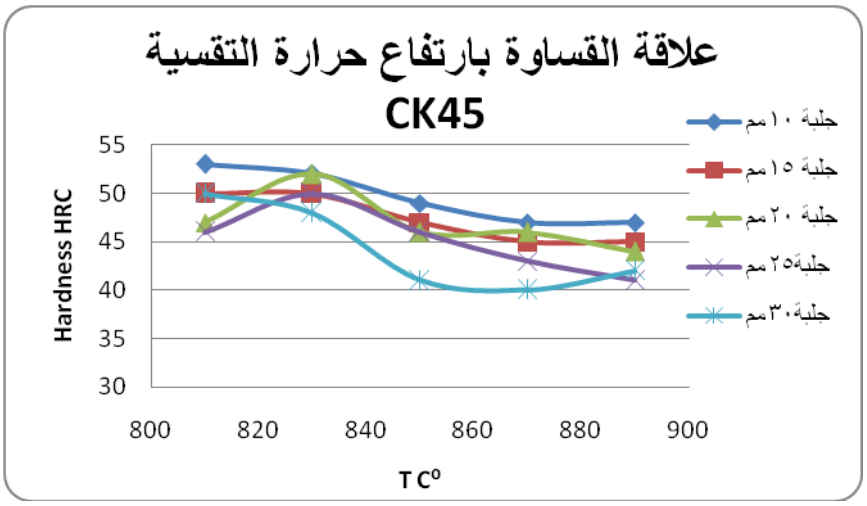


الشكل (2 ـ 8)

ونلاحظ تأثير القساوة بارتفاع درجة حرارة التقسية لأقطار مختلفة من CK45 حيث أنه بازدياد درجة الحرارة تزداد القساوة من 40HRc إلـى HRc (52 ـ 50) وعنـد ازديـاد الأقطار تتناقص القساوة عند الدرجة الواحدة.

وأعلى قساوة تم الحصول عليها بالنسبة للمحاور (53 HRc).

ب ـ جلب



الشكل (2 ـ 9)

ونلاحظ ازدياد القساوة بازدياد درجة الحرارة وتراوحت القساوة ما بين HRc (53 ــ 42) أعلى قساوة تم الحصول عليها 53 HRC عند درجة حرارة C890

وبازدياد السماكة تقل القساوة عند كل درجة حرارة معينة.

2ــ 1ــ 3 التشوه في الشكل:

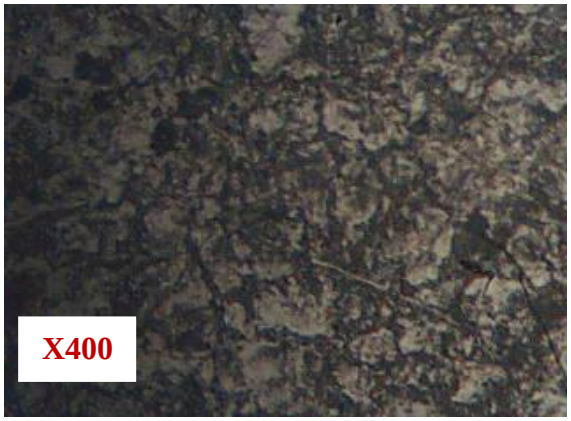
حدوث تشقق للجلبة ذات القطر الداخلي عند درجة حرارة 890م للمعــدن CK45 ذو القطر 25 مم. ونعزو هذا التشقق إلى السماكة القليلة للحرف وعدم التجانس في المقطع.



الشكل (2-10) كسر لعينة CK45 أثناء السقاية

2ـ 1ـ4 دراسة البنية الميتالوغرافية

أـ للمحور D=10mm وعند درجة حرارة 810 C°.



الشكل (2 ـ 11) البنية الميتالوغرافية للفولاذ الكربوني CK45 عند درجة حرارة 810 C° والقطر Ø10mm

يبين الشكل (2−11) البنية الميتالوغرافية للفولاذ الكربوني CK45 عند درجة حرارة 810 C° والقطر Ø10mm، نلاحظ نمو بالحبيبات بالبنية بسبب توحيد زمن الإبقاء لكل الأقطار الموجودة وهذا من أحد الأسباب التي عملت على زيادة في القطر لهذا المحور 0.3%.

ب ـ للمحور D=30mm وعند درجة حرارة 810 C°.



الشكل (2 ـ 12) البنية الميتالوغرافية للفولاذ CK45 عند درجة حرارة 810 C° للقطر ø30mm وتكبير X400

يبين الشكل (2–12) البنية الميتالوغرافية للفولاذ CK45 عند درجة حـــرارة 810 ْC للقطر Ø30mm تكون البنية المارتنسيتية مع وجود برليت بدون نمو للحبيبـــات، إن زمـــن الإبقاء عند هذا القطر هو مناسب لقطر العينة بالمقارنة مع الشكل (2–11) حيـــث تعـــرض القطعة لزمن إبقاء أكبر مما تحتاجه.



الشكل (2 ــ 13) البنية الميتالوغرافية للفولاذ CK45 عند درجة حرارة 870 ْC للقطر Ø30mm وتكبير X400

يبين الشكل (2–13) البنية الميتالوغرافية للفولاذ CK45 عند درجة حـــرارة 870 ْC للقطر Ø30mm تكون البنية المارتنسيتية مع وجود نمو للحبيبات وذلك بسبب ارتفاع درجـــة الحرارة المستخدمة والتي أدت إلى نسبة تغير في القطر (طولياً وحجمياً).



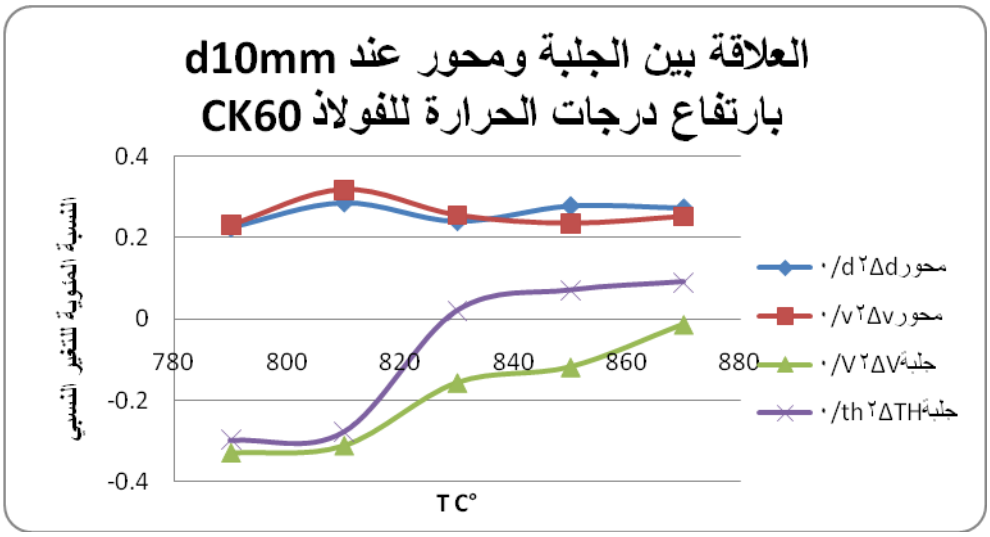
الشكل (2 ــ 14) البنية الميتالوغرافية للفولاذ CK45 عند درجة حرارة 870 ْC للقطر Ø10mm وتكبير X400

يبين الشكل (2–14) البنية الميتالوغرافية للفولاذ CK45 عند درجة حـــرارة 870 ْC للقطر Ø30mm تكون البنية المارتنسيتية مع وجود نمو طفيف للحبيبات مترافق مع قليل مع البرليت.

2ـ2 دراسة الفولاذ الكربوني CK60

2ـ2ـ1 دراسة التغيرات الحجمية والقطرية للفولاذ CK60

ـ المحور D=10mm جلبة dout= 20 mm din=10mm



الشكل (2 ـ 15) النسبة المئوية للتغير الحجمي والقطري لجلبة (ومحور ذات القطر ø10mm للفولاذ CK60

عند وضع المحور (D= 10mm) والجلبة (din= 10mm)، (dout= 20 mm) في درجات حرارة تقسية مختلفة (780 ْC ـ 800 ْC ـ 820 ْC ـ 840 ْC ـ 860 ْC ـ 880 ْC)

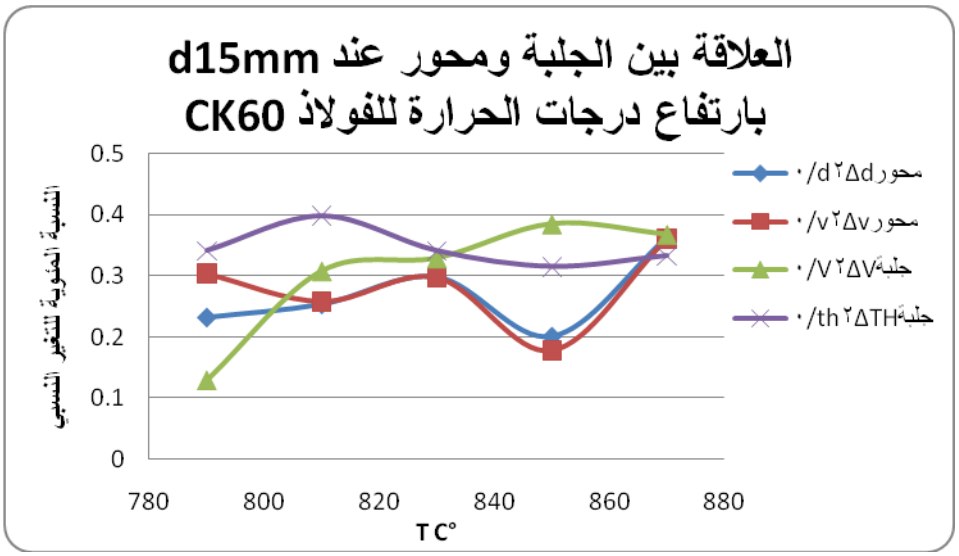
لوحظ أن النسبة المئوية للتغير النسبي القطري للجلبة تراوح % (0.1 ـ 0.35) وللمحور % (0.2 ـ 0.34)

أعلى قيمة تغير نسبي قطري للجلبة 0.1 % الموافق (درجة حرارة 870 ْC) وللمحور 0.34% لدرجة حرارة 810 ْC

أما بالنسبة للتغير الحجمي تراوحت %(0.3 ـ 0.2) للمحور وأعلى قيمة 0.3% عند 87 ْC، %(0 ـ 0.34) جلبة وأعلى قيمة 0.01 عند 87 ْC

درجة الحرارة التي حققت أقل نسبة في التغير الحجمي والقطري هي 810 ْC.

ـ المحور D=15mm جلبة dout= 20 mm din=15mm



الشكل (2 ـ 16) النسبة المئوية للتغير الحجمي والقطري لجلبة ومحور ذات القطر Ø15mm للفولاذ CK60

أما القطر(D= 15mm) للمحور والجلبة (din= 15mm)، (dout= 30 mm)

كانت النسبة المئوية للتغيير القطري للمحور ما بين (0.15 ـ 0.35)% وأعلاها 0.35% عند الدرجة 870 ْC

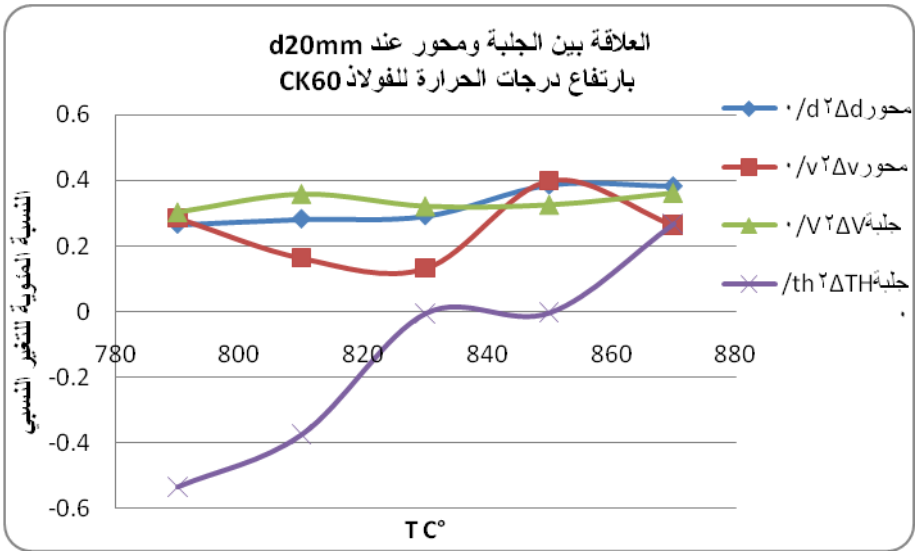
وللجلبة ما بين (0.12 ـ 0.36)% وأعلاها 0.38 عند الدرجة 870 ْC

أما النسبة المئوية للتغير الحجمي للمحور تراوح (0.34 ـ 0.15)% أعلاها 0.34 عند الدرجة 870 ْC

وللجلبة تراوح (0.4 ـ 0.3)% أعلاها 0.4% عند الدرجة 810 ْC

أما درجة الحرارة التي حققت أقل نسبة في التغيير هو عند الدرجة %(840 ـ 820)

ـ المحور D=20mm جلبة dout= 40 mm din=20mm



الشكل (2 ـ 17) النسبة المئوية للتغير الحجمي والقطري لجلبة ومحور ذات القطر Ø20mm للفولاذ CK60

عند دراسة القطر(D= 20mm) محور و(din= 20mm)، (dout= 40 mm)

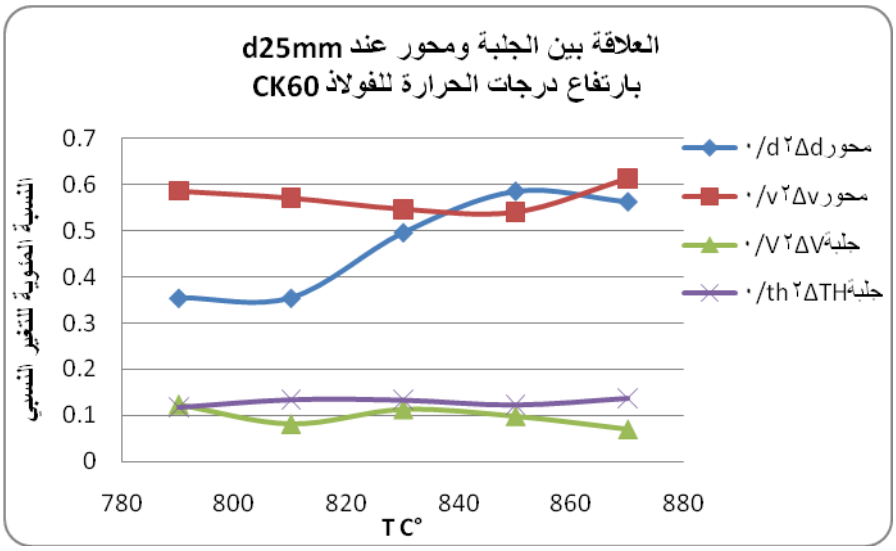
إن النسبة المئوية للتغيير القطري للمحور ما بين (0.4 ـ 0.25)% أعلاها 0.4% عند الدرجة 870 ْC

وللجلبة ما بين (0.45 ـ 0.3)% أعلاها كانكماش 0.45 ـ عند 790 ْC وأعلاها كتمدد 0.3% عند الدرجة 870 ْC

أما النسبة المئوية للتغير الحجمي للمحور تراوح ما بين (0.4 ـ 0.1)% أعلاها 0.4% عند الدرجة 87 ْC

الدرجة التي حققت أقل نسبة للجلبة والمحور وبالتالي الحصول على ازواج ضمن الحدود المسموح بها هو عند الدرجة 830 ْC.

ـ المحور D=25mm جلبة dout= 50 mm din=25mm



الشكل (2 ـ 18) النسبة المئوية للتغير الحجمي والقطري لجلبة ومحور ذات القطر Ø25mm للفولاذ CK60

أما بالنسبة للقطر(D= 25mm) محور وجلبة (din= 25mm)، (dout= 50 mm)

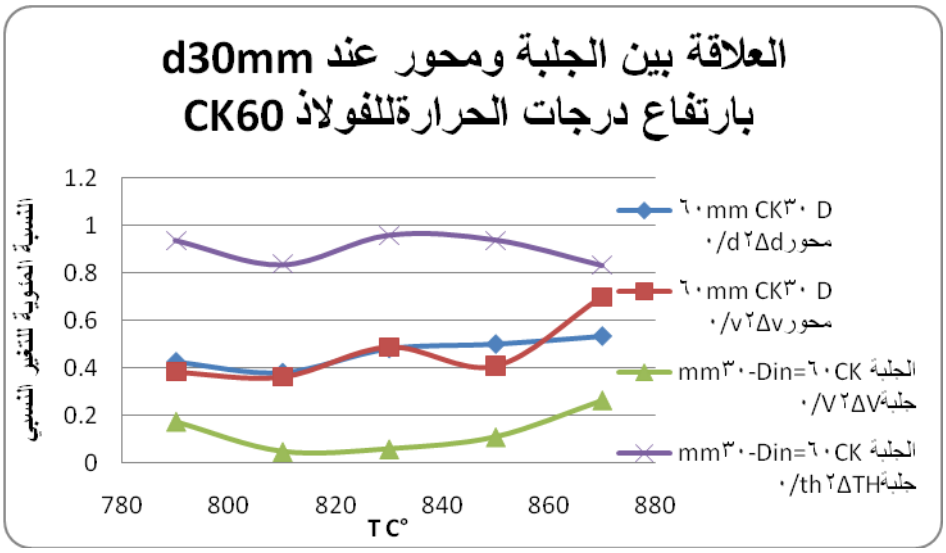
النسبة المئوية للتغيير القطري للمحور ما بين (0.6 ـ 0.35)% أعلاها 0.6% عند الدرجة C 850، 87 C موضح بالشكل (2-18).

أما الجلبة ما بين (0.15 ـ 0.05)% أعلاها 0.15% عند الدرجة C 850

أما بالنسبة المئوية للتغير الحجمي فإنه ما بين (0.65 ـ 0.5)% للمحور أعلاها 0.65% عند الدرجة C 87 و(0.15 ـ 0.1) للجلبة أعلاها 0.15 عند الدرجة C 870

الدرجة التي حققت أقل نسبة للجلبة تشوه هي C 830 لكل من الجلبة والمحور.

ـ المحور D=30mm جلبة dout= 60 mm din=30mm



الشكل (2 ـ 19) النسبة المئوية للتغير الحجمي والقطري لجلبة ومحور ذات القطر Ø30mm للفولاذ CK60

أما بالنسبة للقطر(D= 30mm) محور (din= 30mm)، (dout= 60 mm) جلبة

النسبة المئوية للتغيير القطري للمحور تراوح ما بين (0.7 ـ 0.3)% أعلاهـا 0.7% عند الدرجة C̊ 870، وللجلبة (1 ـ 0.8)% أعلاها 1% عند 850%

النسبة المئوية للتغير الحجمي للمحورتراوح ما بين (0.7 ـ 0.3)% للمحور أعلاهـا 0.7% عند الدرجة C̊ 870

أما الجلبة أعلاها (0.3 ـ 0.1)% أعلاها 0.3% عند الدرجة C 870

الدرجة التي حققت أقل نسبة تشوه هي C̊ 830 لكل من الجلبة والمحور.

والجدول التالي يوضح مقدار التغير في الشكل والحجم عند كل درجة حرارة مستخدمة وبالتالي يبين مقدار علاوة التشغيل الواجب تركها دون زيادة أو نقصان.

الجدول (2-5)

Δv2/v0	Δd2/d0	T C°
0.436	0.167	**790**
0.335	0.131	**810**
0.324	0.125	**830**
0.222	0.081	**850**
0.234	0.102	**870**

2ـ2ـ2 التشوه بالشكل

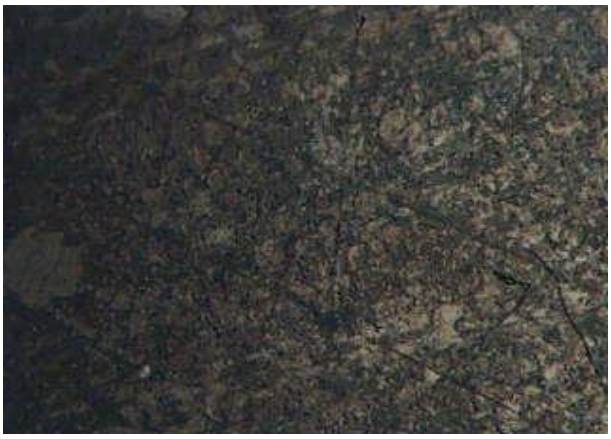
يبين الشكل الآتي حدوث تشقق للجلبة ذات القطر الداخلي 20مم عند درجة حرارة 870م من النوع CK60، وذلك بسبب وجود إجهادات داخلية موجودة في القطعة ولم يتم عملية إزالة الإجهادات قبل البدء بالمعالجة.



الشكل (2 ــ 20) تشقق العينة CK60 أثناء السقاية

2ـ2ـ3 دراسة البنية الميتالوغرافية

أـ للمحور D=10mm وعند درجة حرارة 810 C°.



الشكل (2 ــ 21) البنية الميتالوغرافية للفولاذ الكربوني CK60 عند درجة حرارة 790 C° والقطر Ø10mm

يبين الشكل (2−21) البنية الميتالوغرافية للفولاذ الكربوني CK60 عند درجة حرارة 790 ْC والقطر Ø10mm، نلاحظ نمو بالحبيبات بالبنية بسبب توحيد زمن الإبقاء لكل الأقطار الموجودة وهذا من أحد الأسباب التي عملت على زيادة في القطر لهذا المحور 0.3%.

ب ــ للمحور D=10mm وعند درجة حرارة 870 ْC.



الشكل (2 ــ 22) البنية الميتالوغرافية للفولاذ الكربوني CK60 عند درجة حرارة 870 ْC والقطر Ø10mm

يبين الشكل (2−22) البنية الميتالوغرافية للفولاذ CK60 عند درجة حرارة 870 ْC للقطر Ø10mm تكون البنية المارتنسيتية مع نمو للحبيبات، إن زمن الإبقاء عند هذا القطر هو أكبر من اللازم.



الشكل (2 ــ 23) البنية الميتالوغرافية للفولاذ الكربوني CK60 عند درجة حرارة 790 ْC والقطر Ø30mm

يبين الشكل (2−23) البنية الميتالوغرافية للفولاذ CK60 عند درجة حـــرارة 790 ْC للقطر Ø30mm تكون البنية المارتنسيتية مع وجود برليت بدون نمو للحبيبات. مع الملاحظة أن البنية كلها لم تكن مارتنسيتية لأن درجة الحرارة المستخدمة هي أخفض من اللازم.



الشكل (2 ــ 24) البنية الميتالوغرافية للفولاذ الكربوني CK60 عند درجة حرارة 870 ْC والقطر Ø30mm

يبين الشكل (2−24) البنية الميتالوغرافية للفولاذ CK60 عند درجة حـــرارة 870 ْC للقطر Ø30mm تكون البنية المارتنسيتية مع وجود نمو للحبيبات وهذا أدى إلى انتباج بالقطر وحصول نسبة في التغير الحجمي والطولي له.

2ــ3 استخدام برنامج الـــ Mat Lab للحصول على قيمة تقريبية للتشوه:

لقد قمنا باستخدام برنامج الماتلاب للحصول على معادلة من الدرجة الثالثـــة لمعرفـــة القيمة التقديرية لمقدار التشوه الذي يمكن أن يحصل للعينات ذات الشكل الدائري ذلك بإدخـــال متحول المعادلة وهو القطر في مكان XX فنحصل على مقدار التشوه $\frac{dy}{y} = y_{11}$

ck45 الحصول على معادلة لمعرفة مقدار التشوه عند810م^0

مثـــال: للفولاذ

```
xx = min(x):1:max(x);
y1 = [0.022 -0.006 -0.042 -0.032 -0.011];
y2 = [-0.057 -0.032 -0.034 -0.009 -0.046];
y3 = [0.004 0.024 0.048 -0.006 0.009];
% fitting y1 (cubic curve) %
p1 =  1.979e-007;
p2 =  -0.0004671;
p3 =      0.3656;
p4 =      -94.88;
y11= p1*xx.^3 + p2*xx.^2 + p3*xx + p4;
figure;
```

عند تطبيق المعادلة عند القطر D=10mm نحصل على تشوه مقداره 0.4%.

﴿ الفَصل الثَّالث ﴾

الاستنتاجات والتوصيات

الاستنتاجات

بعد القيام بالتجارب العملية ؟؟؟ الفولاذ CK45، CK60 لصناعة الجلب والمحاور المستخدمة في عملية إطباق القوالب (سكب وبثق) وغيرها وإجراء عمليات التقسية والإرجاع على عينات منها توصلنا إلى النتائج التالية:

1. عملية التقسية تحسن من قساوة الفولاذ وترفع من مقاومته على الاحتكاك وتقلل من تآكله وتحافظ على عمر استخدام القالب لفترة أطول.
2. القساوة التي حصلنا عليها كانت نتيجة التبريد السريع للبنية الأوستينية للتحول لمارتنسين التي هي أقسى البنى.
3. في حال القيام بإجراء عملية التقسية والإرجاع على فولاذ كربوني CK45 ذو القطر ø10 لكل من الجلبة والمحور و؟؟؟ قدره g6 للمحور وH7 للجلبة وجدنا أن درجة الحرارة التي سببت أقل نسبة تشوه بالقطر هي ما بين Ċ (850 ــ 830) وكانت النسبة المئوية بحدود (0.1 ــ 0.3)% أي يفضل زيادة القطر داخلي للجلبة وللقطر الخارجي للمحور بمقدار 0.2% تقريباً أي بحدود 0.2 mm.
4. أما الجلبة والمحور ذات القطر ø15 وبخلوص مقداره g6 للمحور وH7 للجلبة كانت درجة الحرارة Ċ (870 ــ 850) التي سببت أقل نسبة بالتغير وهو (0.1 ــ 0.3)% أي يجب زيادة قطر المحور 0.2mm ونقصان القطر بمقدار 0.2 mm.
5. أما القطر ø20 كانت الدرجة التي سببت أقل تشوه بالقطر (0.1 ــ 0.2)% هي (870 ــ 850) ويفضل تجنب رفعها عن ذلك لأن النسبة المئوية للتغير قد تصل إلى حد أعلى قدره 0.4% وينبغي زيادة القطر للمحور والقطر الخارجي للجلبة ونقصان قطرها الداخلي بمقدار 0.4 مم.
6. أما القطر ø25mm للفولاذ CK45 كانت درجة الحرارة Ċ (840 ــ 830) وينبغي زيادة القطر للمحور ونقصان القطر الداخلي للجلبة وزيادة القطر الخارجي بمقدار 0.02 mm.
7. أما القطر ø30mm للفولاذ CK45 كانت درجة الحرارة Ċ (850 ــ 830) أكثر درجة حرارة فصل وسببت أقل تشوه وهو (0.1 ــ 0.05)% وبفضل نقصان القطر الداخلي للجلبة وزيادة القطر للمحور بمقدار 0.03 mm.

8. أعلى قساوة تم الحصول عليها من خلال معالجة الفولاذ الكربوني (10، 15، 20، 25، 30) مم جلب ومحاور هي 53 HRC عند درجة حرارة 850 ْC.
9. للقطر الواحد عند تطبيق عدة درجات حرارة تقسية تتم زيادة القساوة 42 HR إلى 50 HRC.
10. عند الدرجة الواحدة وعدة أقطار مختلفة مع ازدياد القطر تتم تناقص القساوة 48 HRC إلى 42 HR.
11. نلاحظ بالنسبة للمحاور والجلب إلى الجلب تحصل على قساوة أكبر من المحاور وذلك بسبب رقة الجدار للجلبة حيث سماكة الجدار تساوي نصف قطر المحور المقابل له.
12. بالنسبة للفولاذ CK60 كانت درجة الحرارة ْC (830 ــ 810) للقطر ø30 حيث سببت أقل تشوه وينبغي زيادة قطر المحور ونقصان قطر الجلبة بمقدار 0.1 mm.
13. أما القطر ø15mm من CK60 كانت أفضل درجة حرارة (840 ــ 820) وينبغي ترك علاوة تشغيل بمقدار (0.01 mm).
14. أما القطر ø20mm من CK60 كانت أفضل درجة حرارة (ْC 830) وينبغي ترك علاوة تشغيل بمقدار (0.2 mm).
15. أما القطر ø25mm من CK60 كانت أفضل درجة حرارة (ْC 830) وينبغي ترك علاوة تشغيل بمقدار (0.03 mm).
16. أما القطر ø30mm من CK60 كانت أفضل درجة حرارة (ْC 830) وينبغي ترك علاوة تشغيل بمقدار (0.15 mm) مم.

توصيات ومقترحات

بعد الاطلاع على الاستنتاجات الحاصلة من التجارب التي تم تنفيذها على عينات من الفولاذ CK45/ CK60 ضمن البارامترات المحددة آنفاً والمستخدم في صناعة الجلب والمحاور اللازمة لعملية إطباق قوالب الصب وال؟؟؟ واستناداً إلى الدراسة النظرية فإننا نوصي بإجراء المعالجة الحرارية للفولاذ الكربوني CK45 من القطر (30 ــ 10) mm عند درجة حرارة تتراوح ̊C (850 ــ 830) والتي حققت أقل نسبة تشوه في القطر والحجم.

ونوصي بوضع علاوة تشغيل من أجل عملية التصحيح اللاحقة للقطر بمقدار (0.1 ــ 0.01) مم.

أما بالنسبة للفولاذ CK60 من أجل نفس تدرج الأقطار (30 ــ 10) mm درجة الحرارة التي حققت أقل نسبة مئوية للتغير هي ̊C (830 ــ 810).

أما بالنسبة لهذا النوع فنوصي بعلاوة تشغيل لتصحيح التشوه الحاصل بمقدار (0.2 ــ 0.01) مم بحيث يصبح هذا كفيلاً برفع جودة القالب الخدمية إلى الحد الذي يصبح فيه قادراً على العمل لمدة أطول وتجهيز القالب لمدة زمنية قصيرة وبالتالي التقليل من زمن التشغيل والتقليل من التكاليف المادية كحجر الجلخ بالتزامن مع زيادة بالقساوة ومقاومة الاحتكاك.

المـــراجـــع

1. د. محمد عز دهشان، الحديد والفولاذ (الاتزان الحراري والشبائك)، جامعة الملك سعود، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، 2001م.
2. د. محمد عز دهشان، الحديد والفولاذ (المعالجات الحرارية والسطحية)، جامعة الملك سعود، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، 1999م.
3. علم المعادن.
4. د.محمد علي سلامة ،علم المواد

5. Hardin, R.A., and Beckerman M.C., "Simulation of Heat treatment Distortion". The university of low, Chicago, America.
6. Homepage of scientific forming Technologies Corporation (SF tc) develops and supports the deform software, http: //www.deform.com.
7. Homepage of literati, vendors of trust, http://www.algonet.se/ literat/Steal.htm.
8. GE.Totten. CE Bates, and NA Clinton. Handbook of Quenchinuts and Quenching technology. Asm international park, OH; 1993.
9. Metallography and Microstructure; Vol 9 – Asm handbook Asm international, 2004.
10. Heat treating of steel, Vol 7, Asm handbook, As minter vol, 2001.
11. PYE Matallur GICAL INC.
12. www.matlab.com
13. www.pdf geni.com

Abstract

This thesis is about study of the distortion resulted during treatment of carbon steel – on micro structure and mechanical properties which include hardness, distortion and dimensional changes, applied on samples of carbon steel of two kinds CK45, CK60.

During my studies I relied on three way to build on academic information system about the subject and by gathering the data about the procedure which is done in factories: Then I started the scientific experiments to overthrow them results on workable fact.

The thesis is divided into two parts:

Part one: Is theoretical studying which consists of six chapters Chapter one is an introduction talking about data which forms the heat treating base and for what we use.

Chapter two I talking about major heat treating me thud and which kind of metal we use.

Chapter three: Is to introduce the major heat treating me thud and I explained these mechanisms clarifier what action are happened during the process.

Chapter four: I talked about heat treating of carbon steel in it's conditions, and the problems which can happen and harden heat treating action and avoid it in.

Chapter five, in chapter six I mention about past studies and what results of their studies, in tool steel au.

Part two: Is executive studying part

I talked about experiments devices and materials which are I talked about experiments devices and materials which are used in chapter One.

Then I did the samples in two kind of carbon steel CK45, CK60 and did a measuring pressure and did a heat a treating to sample, in different temperature of quenching and thin, after that; I recorded the results and discussed them in chapter two.

At last; I wrote the conclusions which is related with exploration in chapter three.

In the end of thesis are; an annex contents some points illustration, vocabulary, following them all reference used.

In the closure: I ask allah almighty to do what I worked benefited and purely for allah's sake. Prays be to allah lard of the worlds.

Syrian Arab Republic
Damascus University
Faculty of Mechanical & Electrical Engineering
Department of Mechanical Design

Study of the distortion resulted during Treatment of Carbon Steel

Studying Edited to Get Materials Science Master Degree

By

Eng. Rula karaja

Supervised By

Dr. Mohammad Mazen Yacoub
Professor At Damascus University

(Co Supervisor)

Dr. Nawras Darwesh
Professor At Researching and Studying Center
(Scientific Supervisor)

2011/2012