تأثير المعاملات الحرارية على الصلادة والتركيب البنيوي لسبيكة الحديد عالية الكروم

د. خضير جاسم محمد* و هويدة ابراهيم أحمد*

تاريخ الأستلام:2009/5/27
تاريخ القبول:2009/9/3

الخلاصة

تناول هذا البحث انتاج كرات مختلفة الأقطار من سبيكة الحديد عالية الكروم تتراوح نسبة الكروم فيها من (14- 16)% ونسبة الكربون من(2.1 - 2.4)% مع نسبة(0.3 - 0.4)% من المولبيدينيوم تستخدم هذه الكرات في طحن الأسمنت والمواد الداخلة في تصنيعه.
تم اجراء عدة معاملات حرارية على هذه الكرات لمعرفة تأثيرها على الصلادة والتركيب البنيوي وتم اختيار كرات قطر (70,80) ملم لأغراض هذا البحث ,لقد اظهرت النتائج انه بعد التسخين الى 1000م° والتريث ساعة ونصف ثم البدء بالتبريد بتيار هواء مضغوط لفترة محدودة تبعها الأخماد في الماء البارد ثم المراجعة بدرجة حرارة 400م° لمدة أربع ساعات قد أعطت أفضل النتائج من حيث قيمة الصلادة ونسبة الأوستنايت المتبقي وتم كذلك الحصول على نتائج مقاربة عند الأخماد بالزيت بدلا"من الماء والمراجعة في نفس درجات الحرارة المذكورة

Influence of Heat Treatment on Hardness And Microstructure of High Chromium Iron Alloy

Abstract

This work deals with production of different sizes of grinding balls from high-Cr-iron alloy . Cr contents range between (14-16) wt% carbon content (2.1-2.4)wt% and Mo content (0.3-0.4)wt% ,those balls used in grinding cement and the materials used in its manufacturing . Many heat treatments had been done on the balls to show thier effects on hardness and microstructure. Balls of (70,80)mm diameters were used in this work. The results show that after heating to (1000)c° holding (90) minutes blast air cooling for given time and cold water quenched, tempering at (400)c° for (4) hrs, still air cooling gave the best results in hardness values with low retained austenite , And nearly the same results could be achieved by oil quenching and the same tempering conditions.

*قسم هندسة الأنتاج والمعادن,الجامعة التكنولوجية /بغداد

https://doi.org/10.30684/etj.28.6.19
2412-0758/University of Technology-Iraq, Baghdad, Iraq
This is an open access article under the CC BY 4.0 license http://creativecommons.org/licenses/by/4.0

المقدمة

تعتبر سبائك الحديد عالية الكروم من المواد المهمة المستخدمة في صناعة الأجزاء التي تتعرض لظروف قاسية من الأحتكاك والتآكل بسبب احتوائها على عناصر سبائكية عالية من الكروم وبعض العناصر الأخرى, حيث ان الكروم الى جانب المولبيدينيوم يعتبر من العناصر السبائكية المكونة للكربيدات وان وجود الكربون الذي يعتبر العنصر الرئيسي في زيادة الصلادة مع تلك العناصر السبائكية يزيد من متانة وصلادة جميع أنواع الفولاذ[1,2]

لقد أشار البروفيسور (لاختين-Lakhtin) [3]الى ان الكروم والمولبيدينيوم تعتبر من أهم العناصر المكونة للكربيدات وتقلل من درجة حرارة بداية التحول المارتنسايتي(Ms) وتبقي الكربيدات ذائبة في الأوستنايت وتجعل صلادة الفولاذ عالية جدا" عند التحول الى طور المارتنسايت.كما ان البروفيسور(زخاروف-B.Zakharov)[4] أشار الى ان جميع العناصر السبائكية عدا الألمنيوم والكوبلت تحاول تضييق مساحة محلول الأوستنايت (حديد-غاما) وتغير مواقع نقاط التحولات الطورية شكل(1) ,وان هذا التأثير يزداد بزيادة نسبة الكربون في السبيكة . ان وجود محتوى كبير من الكربيدات اليوتكتيكية في تركيب السبائك عالية الكروم يؤدي الى صلادة عالية تزيد من مقاومة البلى(wear) وان هذه السبائك تعامل حراريا"لزيادة قابلية اصلادها كما ان الزيادة في الصلادة تنتج من الأنفعال الشديد (Severe-Strain) في التركيب جراء المعاملات الحرارية لسبائك الحديد كروم التي تحتوي على2% كربون [6,5].

وتستخدم هذه السبائك في عمليات سحق وطحن المواد وتنعيمها في التطبيقات العملية,وتشير بعض مصادرالبحوث ان زيادة نسبة الكروم تسبب زيادة درجة حرارة تحول حديد (ألفا) الى حديد (غاما) وان نسبة الكربيدات الثانوية في التركيب البنيوي تكون عادة أقل مما في الكربيدالمكور[(FeCr)3C] الناتج من التلدين[7]. كما ان لعنصر الكروم تأثيرا" واضحا" على معامل قابلية التنعيم (Grindability index) بسبب وجود أعداد كبيرة من كربيدات الحديد كروم المعقدة[8].

وعندما تحتوي سبائك الحديد- كروم على 10% كروم مع قليل من النيكل فأنها تكون مقاومة بشكل جيد للصدأ (الأكسدة) ولها متانة قليلة في درجات الحرارة المعتدلة وعندما تصل نسبة الكربون الى 1.5% تزداد حدود حلقة غاما مما يزيد من امكانية تكون المارتنسايت[9].

ان سبائك الحديد- كروم تكون لها قابلية على الأصلاد بالمعاملات الحرارية حيث تتم عملية التصليد بالتسخين الى أعلى من الدرجة الحرجة(1010- 980)م° لمرحلة التركيب الأوستنايتي تتبعها عملية اخماد أو تبريد سريع ,ان الصلادة تزداد لحد درجة تصليد (980م°) ثم تبدأ بالنقصان بعد تجاوز هذه الدرجة , وفي بعض الحالات تعتمد درجة حرارة التصليد على درجة حرارة المراجعة التي تلي عملية التصليد لأنها تعطي الخواص النهائية للسبيكة[10,11] .

ان ظهورالكربيدات الأبتدائية يتم خلال السائل الدندرايتي أثناء التصلب وأن زيادة نسبة الكربون تؤدي الى تكون الكربيدات الأبتدائية بسبب تفاعل نسبة الكروم العالية والأنجماد غير المتوازن في السبيكة وقد ظهر ان انخفاض نسبة الكربون من 1% الى 0.6% في الفولاذ المحتوي على حوالي 13% كروم يكفي لتقليل الكربيدات الأولية الى حدود يمكن اهمالها أثناء التصلب[12].

تكون درجة حرارة التلدين لسبيكة الحديد عالية الكروم التي تحتوي على 2% كربون هي740م° وتزداد هذه الدرجة كلما قلت نسبة الكربون [13].

وتجدر الأشارة الى ان المارتنسايت في نظام سبائك الحديد يتكون من التبريد السريع لطور الأوستنايت ,ولأن هذا التحول غير انتشاري فأن تركيب الأوستنايت الأساسي والمارتنسايت يكون متشابها", وان درجة حرارة بداية التحول المارتنسايتي تعتمد على

*قسم هندسة الأنتاج والمعادن,الجامعة التكنولوجية /بغداد

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

نسب العناصر السبائكية وأهمها الكربون كما في الشكل (2) [14]. وكذلك الكروم وتتأثر الصلادة تبعا" لدرجة حرارة المراجعة ونسبة الكربون والكروم كما في الشكل (3) وان أعلى صلادة يمكن الحصول عليها تكون بالتحول الكلي الى مارتنسايت مصلد نتيجة التبريد السريع للأوستنايت ,في نفس الوقت يجب ضمان عدم حصول تشقق في الأجزاء المصلدة[15].

ان زيادة نسبة الكربون تؤثر على شكل المارتنسايت المتكون نتيجة تبريد سبائك الحديد وعلى درجة حرارة بداية تحوله Ms من الأوستنايت كما في (الشكل2)[14]. وتعتمد درجة حرارة التحول المارتنسايتي على نسب العناصر السبائكية ويكون شكل المارتنسايت الناتج اما بشكل شرائح(Lath)عند نسبة كربون 0.6%ويكون مسطحا"(Plate) عندما تزيد نسبة الكربون عن 1%كما في(الشكل2) [18,17].

2- الجانب العملي

2-1انتاج الكرات المصبوبة من سبيكة الحديد كروم :

تم شحن المواد المراد صهرها وتكون من سكراب الفولاذ الأعتيادي بالأضافة الى الكرات المستهلكة في طحن الأسمنت بعد تقطيعها وتوضع في بودقة من الألومينا ومن ثم توضع المحتويات في فرن من افران الحث الكهربائي متوسطة التردد (400-600)Hz وتتراوح قدرتها بين (3.5-4) ميكا واط وفرق الجهد حوالي 3كيلو فولت وهي مبطنة بمادة مسحوق الألومينا المتعادلة الوميض والمقاومة للحرارة , تؤخذ عينة من المنصهر لغرض تحليلها الكيمياوي , وعلى ضوء هذا التحليل تضاف الكميات اللازمة من المواد لغرض تعديل التركيب الكيمياوي والحصول على التركيب المطلوب واهم تلك المواد سبيكة الفيروكروم التي تحتوي على نسبة عالية من الكروم (65)% وبعد انتهاء عملية الصهر تصب الكرات في قالب رملي تم تحضيره بطريقة تناسب قطر الكرة المطلوب وتؤخذ عيتة من اجل اجراء التحليل الكيمياوي للسبيكة لغرض التأكد من صحة التركيب الكيمياوي للسبيكة , ومما يجدر ذكره هو ان درجة حرارة السبيكة قبل صبها من الفرن كانت بحدود (1650-1680)م° اما درجة حرارة صبها في القوالب الرملية فتكون بين 1550-1520م° تقريبا",حيث تم السيطرة على ذلك بواسطة استخدام مزدوج حراري نوع [Pt Rh 10]

2-2 التحليل الكيمياوي

تم فحص التركيب الكيمياوي بجهاز التحليل الطيفي نوع (ARL-34000-OE)الموجود في احدى شركات القطاع الصناعي وكانت النتائج كما في الجدول (1) ادناه.

2-3 فحوصات نسبة الأوستنايت المتبقي

للتعرف على نسبة ماتبقى من تركيب طور الأوستنايت في سبيكة الحديد عالية الكروم دون تحول أثناء التبريد المستمر لهذه السبيكة بعد الصب في قوالب رملية رطبة وبعد المعاملات الحرارية التي تمت في هذا البحث , تم استخدام جهاز فحص خاص نوع (Zorelco-757) تتراوح نسبة الخطأ في قراءته (±5%) حيث يعتمد على شدة المجال المغناطيسي للسبيكة المفحوصة.

ويتم الفحص عادة بعد تنظيف السطوح المفحوصة وتجفيفها من الرطوبة وفي الجدول رقم (2) نتائج الفحص وحسب حالة النماذج المفحوصة علما" ان حدود قراءة جهاز الفحص هي 25% أوستنايت متبقي كحد أعلى.

2-4 المعاملات الحرارية التي تمت على سبيكة الحديد عالية الكروم :

ان اهم المعاملات الحرارية التي أجريت على السبيكة عالية الكروم موضوعة البحث للكرات المصبوبة في قوالب رملية رطبة فكانت :

1- التلدين : بالتسخين الى درجة حرارة (740)م° بمعدل 200م° /الساعة ثم التبريد داخل الفرن المغلق الى مادون درجة 200م° ثم تبرد في الهواء الساكن خارج الفرن.

2- التصليد : بتسخين الكرات في حالة بعد الصب أو بعد التلدين لدرجات (980-

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

1020)مْ بمعدل 300مْ /الساعة ثم التريث لفترات مختلفة حسب الحالة المطلوبة ثم التبريد بطرق مختلفة , اما بتيار من الهواء البارد أو في الزيت أو على مراحل مرة بالتبريد بتيار هواء بارد فترة 8 دقائق ثم التبريد في الماء أو في الزيت.

3- المراجعة : بتسخين الكرات المصلدة في أي من حالات التصليد في (2) أعلاه الى درجات حرارة مختلفة (320,400,600)مْ بمعدل 150مْ /ساعة ثم التبريد في الهواء الساكن بعد التريث 4 أو 6 ساعات وبذلك تكون الكرات في حالتها النهائية ويتم فحص صلادتها في تلك الحالات.

وفي الجدول رقم (3) قيم الصلادة للحالات المذكورة يمكن مقارنتها وأختيار الأفضل منها من الناحيتين الفنية والأقتصادية .

3- النتائج:

تشير النتائج التي امكن الحصول عليها جراء الفحوصات التي جرت على النماذج المستخدمة في البحث الى الحقائق التالية :

1- كانت الصلادة بعد الصب في القوالب الرملية الرطبة في حدود (533- 550) وحدة فيكرز (Hv) مع وجود نسبة عالية من الأوستنايت المتبقي (جدول3).

2- انخفضت الصلادة بعد عملية التلدين لتصل حوالي (390) وحدة فيكرز (Hv) ولم يظهر أثر للأوستنايت في التركيب (جدول2).

3- ازدادت الصلادة بعد عملية التصليد بتيار هواء بارد أو في الزيت للكرات التي سبق تلدينها والمسخنة لدرجة حرارة (1020)مْ بشكل كبير ووصلت أعلى قيمة حوالي Hv(836) بعد التصليد في الزيت (جدول3).

4- الحصول على قيم للصلادة متقاربة بعد مراجعة الكرات المصلدة بطرق مختلفة بدرجة حرارة (320)مْ والتريث فترات متساوية (أربع ساعات) يليها تبريد في الهواء الساكن (جدول3).

5- انخفضت نسبة الأوستنايت المتبقي بعد التلدين ثم التصليد من درجة (980)مْ ثم المراجعة في درجة (320)مْ الى مستوى 3% (جدول2).

6- تراوحت نسبة الأوستنايت المتبقي بين (4-5)% بعد التصليد بدون التلدين لكرات مسخنة الى درجة (1000)مْ والتريث ساعة ونصف ثم التبريد على مرحلتين :

أما بالتبريد (5) دقائق في تيار هواء بارد واكمال التبريد بالزيت, أو بالتبريد(8) دقائق في تيار هواء بارد واكمال التبريد في الماء.

7- انخفضت صلادة الكرات الملدنة والمصلدة من درجة (1020)مْ والمبردة بتيار هواء بارد بعد التريث ساعة ونصف للتصليد وبعد مراجعتها في درجة 600مْ والتريث فيها (6)ساعات قبل تبريدها في الهواء الساكن إلى مستوى (425)فيكرز .Hv وهذه أقل قيم للصلادة أمكن الحصول عليها بعد التصليد والمراجعة علما" أنه لم يظهر فرق واضح بين صلادة الكرات mm(70,80) في هذا البحث.

8- تظهر صور التركيب البنيوي تكون الكربيدات اليوتكتيكية وتركيزها عند الحدود البلورية بعد الصب الشكل (5).

4- مناقشة النتائج

لقد أدت نسبة الكروم العالية الى جانب نسبة كربون زادت عن 2% في السبيكة موضوعة البحث الى تكون كربيدات يوتكتيكية هشة عند الصب في القوالب الرملية التي تكون سرعة التبريد فيها قليلة , وظهر ذلك عند فحص التركيب البنيوي في حالة بعد الصب,كما ان عملية تجمد السبيكة من الحالة السائلة نتج عنها اجهادات عالية أدت الى زيادة الصلادة مقارنة بحالة التلدين , اذ أدت عملية التلدين الى ازالة الأجهادات وتحول الأوستنايت المتبقي بعد التجمد الى حديد (ألفا) نتيجة التبريد البطئ عند التلدين وبذلك لم يظهر بعدها أثر للأوستنايت .

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

ان سبب زيادة الصلادة بعد تصليد الكرات الملدنة في الزيت يعود الى تكون المارتنسايت والكربيدات المعقدة نتيجة التبريد السريع والذي يؤدي بدوره الى زيادة كبيرة في الأجهادات المتكونة جراء ذلك , ولم يظهر تأثير يذكر على الصلادة جراء زيادة فترة التريث عند التصليد من ساعة واحدة الى ساعتين بالنسبة للكرات قطر (70,80)ملم كما في الجدول (3) , ولكن حين تم التصليد في تيار الهواء البارد حيث سرعة التبريد أقل من سرعة التبريد في الزيت قلت الصلادة بسبب انخفاض مقدار الأجهادات الداخلية الناتجة من التبريد والتحولات الطورية للسبيكة (سرعة تحول الأوستنايت الى مارتنسايت) كما طرأ انخفاض في الصلادة عند زيادة فترة التريث عند التصليد من ساعة الى ثلاث ساعات حيث أدي ذلك الى نمو بلوري للأوستنايت أدى تحوله عند التبريد في الهواء البارد الى انخفاض نسبي للصلادة , ومن جهة أخرى فأن تصليد الكرات دون تلدين من درجة (1000)م° ثم تبريدها على مرحلتين أما بالتبريد(5-8) دقائق في تيار هواء بارد ثم مواصلة التبريد في الزيت أو (8) دقائق بتيار هواء بارد واكمال التبريد في الماء قد حقق نتائج جيدة من حيث الصلادة ونسبة الأوستنايت المتبقي خاصة عند مراجعة تلك الكرات في درجة حرارة (400)م° والتريث (4-5) ساعات ثم التبريد في الهواء الساكن كما في الجدولين (2,3) , ويلاحظ كذلك تأثير درجة حرارة المراجعة على صلادة الكرات حيث ازدادت الصلادة قليلا" عند المراجعة في درجة حرارة (400)م° عما كانت عليه عند المراجعة في (320)م° ثم عادت وانخفضت كثيرا" عند المراجعة في درجة حرارة (600)م° كما في الشكل (4) ونستنتج من هذا ان المراجعة بدرجة حرارة (400)م° أفضل من من درجة (320)م° أو (600)م° للحصول على صلادة أعلى وقد تعود أسباب ذلك الى تحول المزيد من الأوستنايت المتبقي الى مارتنسايت , ومن جهة أخرى فقد أمكن تصليد ومراجعة الكرات دون عملية تلدين والحصول على نتائج أفضل من حيث الصلادة المقترنة بنسبة قليلة من الأوستنايت المتبقي والذي يكون وجود نسبة عالية منه غير مرغوب فيه كونه طور غير مستقر في درجات الحرارة الأعتيادية ,فضلا" عن استبدال التبريد في الماء بدل الزيت في عملية التصليد مما يحقق مردودا" اقتصاديا" وأمنا" للبيئة أفضل الى جانب تحقيقه مواصفات فنية عالية ,علما" انه تم التأكد من عدم وجود تشققات في الكرات المعاملة بهذه الطريقة بعد اجراء فحص مقاومة الكسر لتلك الكرات في جهاز خاص . بأسقاط الكرات دوريا" من ارتفاع (7) أمتار على لوح فولاذي (25000) مرة دون تكسر.

4- الأستنتاجات

على ضوء النتائج التي توصل اليها هذا البحث يمكن استعمال طريقة معاملة الكرات المصبوبة من سبيكة الحديد عالية الكروم الواردة فيه بتصليد الكرات المصبوبة دون تلدين كما في الحالة (5-ج) في الجدول رقم (3)ومراجعتها كما في الحالة (6-ج) لما تمتاز بها من مزايا اقتصادية وبيئية وفنية ويمكن اجراء المزيد من البحوث في هذا المجال لتحسين خواص تلك الكرات التي تستعمل في طحن الأسمنت والتي تحتاج الى صلادة عالية لمقاومة البلى الأحتكاكي في ظروف استعمالها, لذلك من الضروري اجراء اختبارات البلى الأحتكاكي على عينات من الكرات المنتجة لتحديد مقاومة البلى لما لذلك من مردودات اقتصادية وانتاجي

References

[1]-Callister Jr. W.D.(Material science and engineering)-An introduction- 6th ed.New York-2003.
[2]-George E. Totten (Steel heat treatment metallurgy). Tech. CRC- 2nd ed.,2006.
[3]-Y.Lakhtin (Engineering physical metallurgy) peace publisher Moscow,1968.
[4]-B.Zakharov,(Heat treatment of metals&phase transformation in alloy steel) ,peace publisher-Moscow,1962.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

[5]-Stephen M.Coplay,(ASM-Handbook-Vol(4)- Heat treating),USA,1991
[6]-George Krauss (Steels processing structure and performance)Fifth edition, ASM, International 2005.
[7]- Lavrentiev Mikhail Yu.& others (Monte Carlo simulations of fe-cr solid solution), Springer, dordrecht ,2007.
[8]-ASM,Metals Handbook ,vol.16(Effect of hardness of steel on grindability),2005.
[9]-David plane(Alloy and stainlees steels), USA,Feb 2003.
[10]-Joseph S. Orlando&others (Metals Handbook),Desk edition,Heat Resistant Casting)2008.
[11]-James D.Redmond (Metal Handbook), Desk ed. Resistant materials heat treatment,climax Mo.Company2002.
[12]-A.Kajinic,personal communication,(crucible research),Pittsburgh,PA 2002
[13]-S.K. Hajra choudhury,(Materials science and processes),Si units, Indian book distribuling ,CO.Calcutta,1985.
[14]-ASM, Handbook Vol.9,(Martensitic structure)ASM.International p.165-178,2004.
[15]-Malcoln S.Burton,(Applied metallurgy for engineers),New York,1956.
[16]-G.KRAUSS,(Principles of heat treatment of steels),American Society of metals,1985.
[17]-A.R.Marder &G.Krauss,(the morph ology of martensite in iron-carbon alloys trans.),ASM Vol 60,p.651-660,1967.
[18]-V.Shrinivas S.K. Varma &L.E Murr,(Deformation induced martensitic characteristics of 304 and 316 st. steel during room temp.rolling Trans. A Physical Metal materials science),Vol.26A, 1995.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

جدول رقم (1) نتائج التحليل الكيمياوي لسبيكة الحديد -كروم

C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Cu	V	P	S	Al	Sn
2.4	0.90	0.40	14.5	0.20	0.30	0.20	0.04	0.030	0.030	0.001	0.006

جدول رقم (2) نتائج فحص نسبة الأوستنايت المتبقي في تركيب سبيكة الحديد عالية الكروم وحسب الحالات المفحوصة

ت	حالة سبيكة الحديد عالية الكروم المصبوبة بشكل كرات بأقطار 70,80 ملم.	نسبة الأوستنايت المتبقي %
1	بعد الصب في القوالب الرملية الرطبة.	أكثر من 25%
2	بعد التلدين بدرجة حرارة (740)م° والتريث 3 ساعات ثم التبريد داخل الفرن.	صفر%
3	بعد التلدين ثم التصليد بتيار هواء من درجة حرارة (1020)م° والتريث فيها ساعة واحدة.	%18
4	كما في (3)أعلاه ولكن التريث في درجة حرارة (1020)م°3ساعات.	%12
5	بعد التلدين كما في الفقرة(2) والتصليد في الزيت في درجة 1020م° بعد التريث ساعة واحدة.	%8
6	كما في (6) أعلاه ولكن فترة التريث في درجة (1020)م°كانت ساعتان.	%9
7	بعد المراجعة في(320)م° والتريث 4 ساعات ثم التبريد في الهواء الساكن للكرات المصلدة كما في (3) أعلاه.	%12
8	بعد تصليد الكرات بدون تلدين بالتسخين الى (1000)م° والتريث ساعة ونصف ثم التبريد 5 دقائق بتيار هواء بارد ثم التبريد بالزيت.	%9
9	بعد التصليد كما في (8) أعلاه ثم التبريد (8) دقائق بتيار هواء ثم التبريد في الزيت.	%14
10	بعد التصليد كما في (9) أعلاه ولكن التبريد النهائي بالماء بدل الزيت.	%5
11	بعد التصليد كما في (8) أعلاه والمراجعة في درجة (400)م° والتريث 4 ساعات ثم التبريد في الهواء الساكن.	%5
12	بعد التصليد كما في (9) أعلاه والمراجعة كما في (11) أعلاه.	%10
13	بعد التصليد كما في (10) أعلاه والمراجعة كما في (11) أعلاه.	%4
14	بعد التصليد في درجة (980)م° والمراجعة في (320)م°	%3

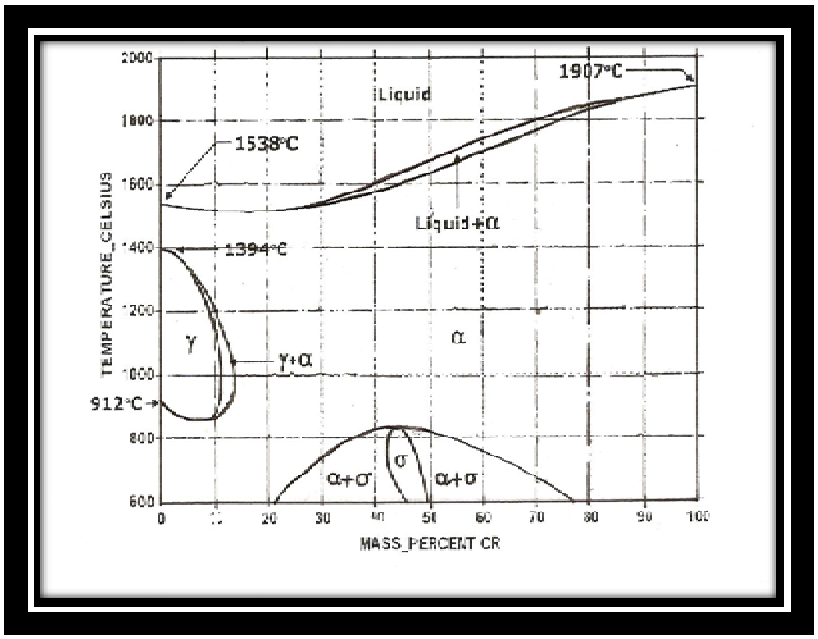
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

جدول رقم (3) نتائج فحص الصلادة للكرات بأقطار 70,80 ملم حسب حالتها عند الفحص

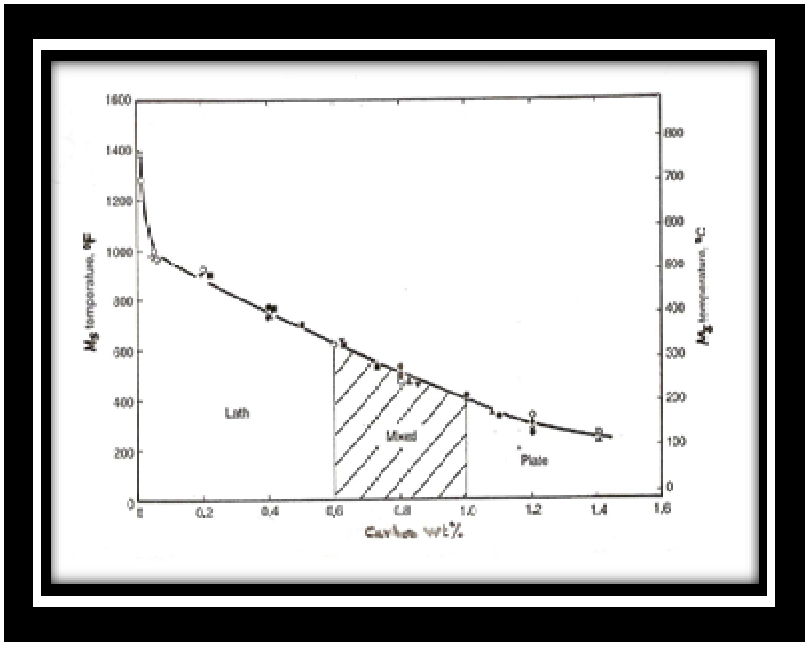
ت	نوع المعاملة الحرارية	قيم الصلادة بمقياس فيكرز .Hv	
		كرة قطر 70 ملم	كرة قطر 80 ملم
1	بعد الصب في القوالب الرملية الرطبة.	550	533
2	بعد تلدين الكرات بالتسخين الى (740)م والتريث 3 ساعات ثم التبريد في الفرن الى أدنى من 200 م ثم التبريد في الهواء الساكن.	393	390
3	تصليد بتسخين الكرات في الفقرة (2) الى درجة حرارة (1020)مْ لفترات زمنية مختلفة كما يلي:		
أ	التريث ساعة واحدة ثم التبريد بتيار هواء بارد.	760	740
ب	التريث 3 ساعات ثم التبريد في تيار هواء بارد.	724	710
ج	التريث ساعة واحدة ثم التبريد بالزيت.	836	820
د	التريث ساعتان ثم التبريد بالزيت.	833	815
4	مراجعة الكرات المصلدة في الفقرة (3) أعلاه بالتسخين بمعدل 150مْ /ساعة الى درجة حرارة 320مْ والتريث (4) ساعات ثم التبريد في الهواء الساكن وكانت النتائج كما يلي :		
أ	للمصلدة كما في الفقرة (3- أ) أعلاه.	746	730
ب	للمصلدة كما في الفقرة (3- ب) أعلاه.	724	713
ج	للمصلدة كما في الفقرة (3- ج) أعلاه.	743	727
د	للمصلدة كما في الفقرة (3- د) أعلاه.	735	730
5	تصليد الكرات المصبوبة بدون تلدين بالتسخين الى (1000)مْ والتريث ساعة ونصف ثم : التبريد (5) دقائق في الهواء ثم التبريد بالزيت.		
أ		780	770
ب	التبريد (8) دقائق في الهواء ثم بالزيت.	750	745
ج	التبريد (8) دقائق في الهواء ثم بالماء البارد.	760	757
6	مراجعة الكرات المصلدة في الفقرة (5) لكل من الحالات (أ,ب,ج) أعلاه بالتسخين الى درجة (400)مْ والتريث(4) ساعات ثم التبريد في الهواء الساكن وكانت النتائج كما يلي:		
	للفقرة (أ) أعلاه :	750	738
	للفقرة (ب) أعلاه :	750	742
	للفقرة(ج) أعلاه :	760	755
7	عند تصليد الكرات الملدنة والمصلدة من(1020)مْ بتيار هواء بعد التريث ساعة ونصف ثم المراجعة بدرجة (320)مْ ولمدة أربع ساعات ثم التبريد في الهواء.	727	720

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

8	وعند مراجعتها بعد التصليد بدرجة (600)م° والتريث (6) ساعات.	425	418

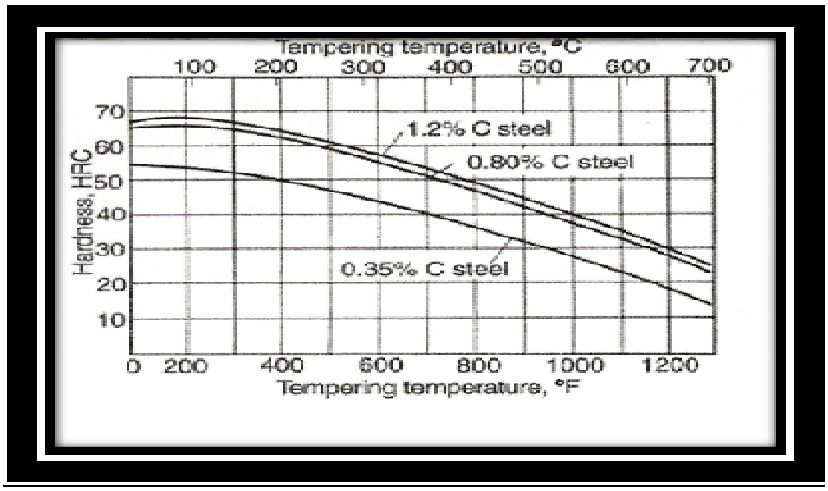


الشكل (1) مخطط التوازن الحراري لنظام حديد-كروم

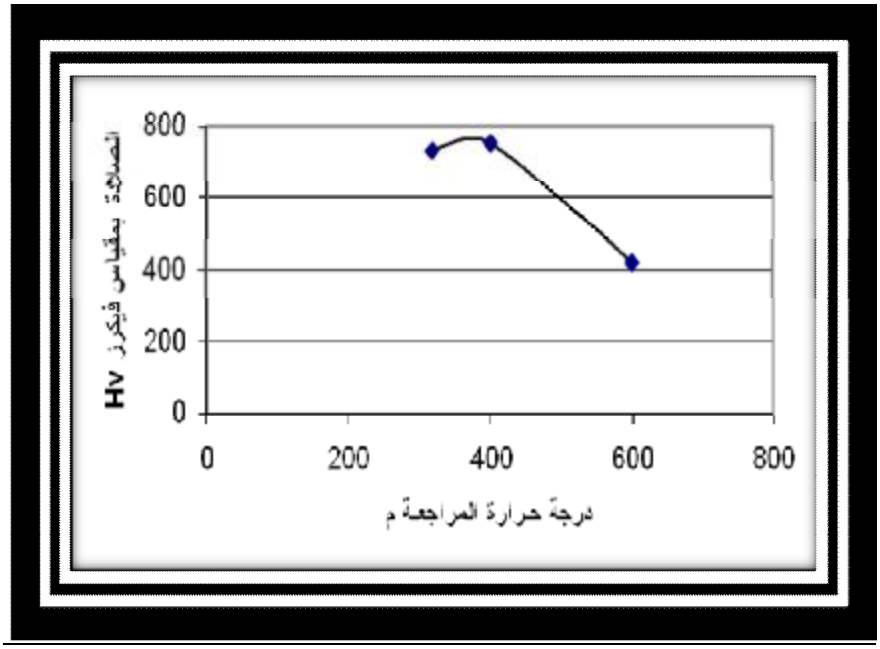


الشكل(2) العلاقة بين درجة حرارة بداية التحول المارتنسايتي ونسبة الكربون

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

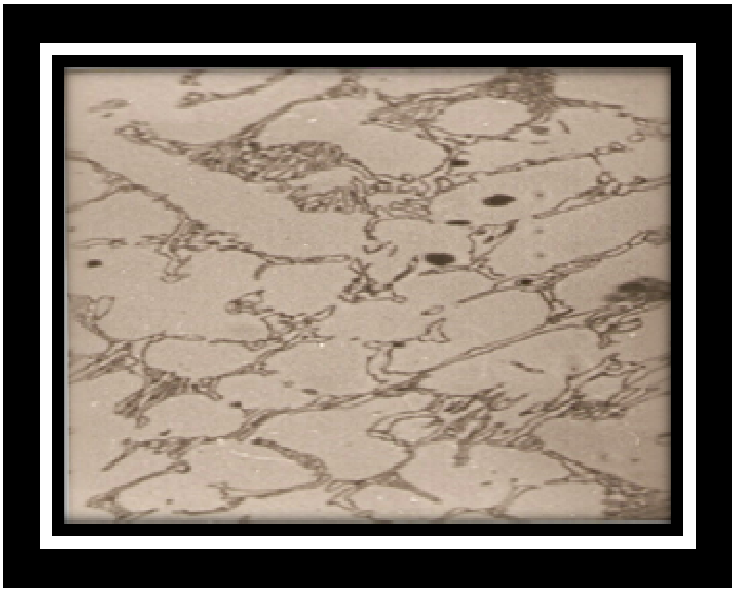


الشكل (3)العلاقة بين درجة حرارة المراجعة والصلادة للفولاذ الكربوني المقسى

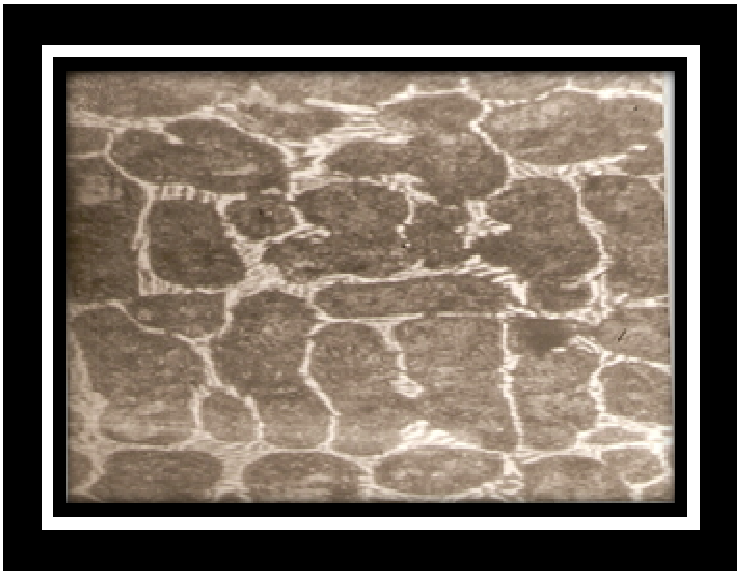


الشكل (4)يمثل العلاقة بين درجة حرارة المراجعة والصلادة بمقياس فيكرز لسبيكة الحديد عالية الكروم

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

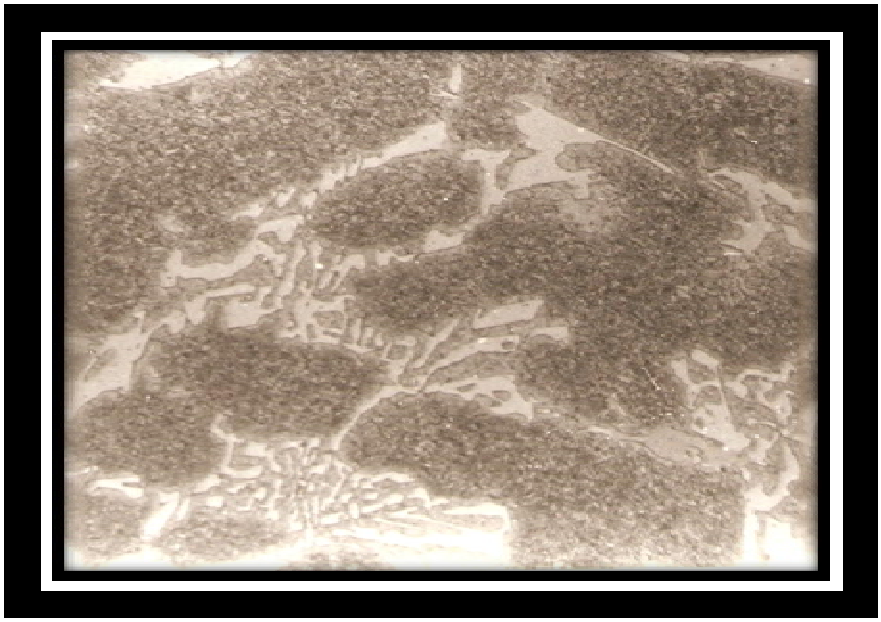


الشكل(5) البنية المجهرية لمصبوبة سبيكة الحديد عالية الكروم والتي تتكون من كربيدات أولية وفيرايت سبائكي, قوة التكبير x 200



الشكل (6) البنية المجهرية لسبيكة الحديد عالية الكروم بعد اجراء عملية التلدين بدرجة حرارة 740م˚ تمثل المناطق البيضاء الحدود البلورية تحيطها الكربيدات المعقدة المنتشرة فيها إلى الأساس المعدني (Matrix) والمناطق الداخلية الغامقة هي المارتنسايت ,قوة التكبير 200x

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



الشكل (7) البنية المجهرية لسبيكة الحديد عالية الكروم بعد اجراء عملية التصليد في الهواء (8) دقائق ثم في الماء والمراجعة بدرجة 400م°4/ ساعات, , وتتكون من المارتنسايت وكربيدات معقدة للحديد والكروم,قوة التكبير 200x

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com