Journal of Alasmarya University: Basic and Applied Sciences
Vol. 6, No. 5, December 2021, Special Issue for Forth Conference on Engineering Science and Technology (CEST-2021)
مجلة الجامعة الأسمرية: العلوم الأساسية والتطبيقية
المجلد 6 ،العدد 5، ديسمبر 2021، عدد خاص بالمؤتمر الرابع للعلوم الهندسية والتقنية (CEST-2021)

دراسة اختزالية مكورات اكاسيد الحديد الموردة للشركة الليبية للحديد والصلب وأثرها على مقاومتها للضغط

على عبدالقادر الجعرانى[1]، محمد بشير هروس[2]، نصر الدين خليل أبو سنينة[3]

[1]قسم هندسة وعلوم المواد / كلية الهندسة، جامعة مصراته، *ali.aljarany@gmail.com*
[2]الشركة الليبية للحديد والصلب، *harrosbmohammad@gmail.com*
[3]وزارة التعليم العالي والبحث العلمي، *nassry.sen@gmail.com*

الملخص

في هده الورقة البحثية تمت دراسة اختزالية مكورات أكاسيد الحديد (CVRD ,LKAP SAMARCO) التي تستوردها الشركة الليبية للحديد والصلب/مصراتة بمختلف أحجامها وأثرها على مقاومتها للضغط. اجريت عمليات الاختزال للمكورات المختارة في الظروف الحقيقية لطريقة ميدركس (Midrex) التي تتبعها مصانع الاختزال المباشر بالشركة، إضافة الى ذلك فقد تم اختبار مقاومة الضغط للمكورات المختزلة بمختلف انواعها. تم اختبار مقاومة الضغط للمكورات المختزلة باستخدام ماكينة الضغط المتوفرة بمعامل إدارة مراقبة الجودة بالشركة الليبية للحديد والصلب.
نتائج اختبار الضغط للمكورات المختزلة اظهرت أن مكورات LKAP ذات مقاومة ضغط أعلى من المكورات الأخرى، تليها في ذلك مكورات CVRD وذلك لاختلاف نسبة SiO_2 في كليهما قبل الاختزال. النتائج المتحصل عليها أظهرت أيضا وجود علاقة بين مقاومة المكورات المختزلة للضغط ودرجة اختزاليتها عند ثبوت درجة حرارة الاختزال (10±860 درجة مئوية)، حيث وجد أن مكورات LKAP - بمختلف أحجامها - اقل اختزالية من باقي المكورات الأخرى ولكنها الأعلى مقاومة للضغط، تليها في ذلك مكورات CVRD، الا ان مكورات خام SAMARCO كانت الافضل من حيث الاختزالية ولكنها الاقل مقاومة للضغط، كما أظهرت النتائج أن مكورات الخامات الصغيرة – لمختلف أنواع المكورات – أعلى اختزالية من المكورات الكبيرة، وكذلك فهي الافضل من حيث مقاومتها للضغط.

*البريد الإلكتروني للباحث المراسل : *ali.aljarany@gmail.com*

الكلمات الدالة:
خامات الحديد.
مقاومة الضغط والاحتكاك
مكورات الحديد المختزلة.
طريقة ميدركس.

1. مقدمة

تعتبر صناعة الحديد والصلب من أهم الصناعات في العالم، حيث تقوم عليها العديد من الصناعات الأخرى في مختلف مجالات الحياة. يوجد الحديد في الطبيعة على هيئة خام، وهو عبارة عن أكاسيد الحديد مثل Fe_2O_3، Fe_3O_4، FeO، وتتكون هذه الأكاسيد أساسا من الحديد والأكسجين بشكل أساسي بالإضافة إلي بعض المركبات الأخرى[1] كشوائب مثل الكبريت (S)، والسليكا (SiO_2)، وأكسيد المغنيسيوم (MgO). يمر الخام بعد استخراجه من مصادره الطبيعية بعدد من العمليات الأولية كالتكسير والطحن

ISSN: 2706-9524 (Print) ISSN: 2706-9532 (Online)

والغربلة والفصل المغناطيسي للتخلص من بعض الشوائب، ثم تكويره باستخدام إحدى طرق الطرد المركزي حيث ينتج عنها الخام على هيئة مكورات أو كتل مختلفة الأحجام، ثم يتم القيام بعملية اختزال الخام لغرض التخلص من الأكسجين إلى أقل نسبة ممكنة وذلك لتهيئة الحديد للعمليات الصناعية المقبلة[1].

هناك طريقتان أساسيتان لإنتاج الحديد هما طريقة الفرن اللافح وطريقة الاختزال المباشر[2] ويتم اختيار الطريقة المناسبة تبعا لظروف توفر الوقود المستخدم في العملية. طريقة الفرن اللافح يتم فيها استخدام فحم الكوك كوقود وعامل مختزل، وتبلغ نسبة الإنتاج بهذه الطريقة حوالي 90٪ من الإنتاج العالمي للحديد[2]. أما طرق الاختزال المباشر فيتم فيها استخدام الغاز الطبيعي لإنتاج غازي الهيدروجين و أول أكسيد الكربون أو مزيج من هذه الغازات كعوامل مختزلة. يتم اللجوء إلي طرق الاختزال المباشر بسبب ارتفاع تكاليف الأفران اللافحة، وانخفاض مخزون فحم الكوك. أن طرق الاختزال المباشر تتميز باستهلاكها لوقود أقل بسبب القيام بتكرير الغازات الناتجة عنها[3-6].

طريقة ميدركس Midrex هي إحدى طرق الاختزال المباشر، هي الطريقة المستخدمة في مصانع الاختزال المباشر بالشركة الليبية للحديد والصلب، حيت تتكون شحنة أفران الاختزال المباشر بها من مكورات خام مختلفة هي (CVRD، SAMARCO، LKAP)، وتشحن سواء بصورة منفردة أو مختلطة مع بعضها البعض.

تكمن المشكلة الأساسية للشركة الليبية للحديد والصلب، في ارتفاع نسبة الفاقد من المكورات المختزلة، ويرجع ذلك إلى ضعف مقاومة الضغط لبعض منها، او بسبب عدم التحكم الجيد في عمليات الاختزال التي اجريت عليها، تلك الكميات من الفواقد لا يمكن الاستفادة منها بالشركة في الوقت الحالي.

ان ارتفاع نسبة الفاقد من المادة المختزلة سببه في كثير من الاحيان وجود تباين في درجة تفلز المكورات الخام نتيجة لاختلاف تركيبها الكيميائي، حيث أن زيادة تركيز الشوائب سيؤدي بطبيعة الحال إلى انخفاض درجة التفلز للخام وارتفاع الخواص الميكانيكية له[3]، وكذلك يرجع تفاوت نسبة الفاقد من المكورات إلى اختلاف أحجامها - من نفس النوع.

تأتي أهمية هذا البحث في دراسة اختزالية مختلف الأحجام من المكورات الخام (من نفس النوع)، وكذلك اختزالية المكورات الخام بمختلف أنواعها (من نفس الحجم)، وذلك لتحديد المزيج الأمثل من الخامات الموردة للشركة الليبية للحديد والصلب، لتكون الخلطة المناسبة لشحنة أفران الاختزال المباشر بالشركة.

تحديد المزيج الأمثل من الخامات كشحنة لأفران الاختزال المباشر يتطلب الجمع بين الخواص(الكيميائية/الفيزيائية) لتحقيق افضل اختزالية – درجة تفلز عالية – وكذلك مقاومة الضغط للمكورات الخام، كما أن دراسة مقاومة الضغط كإحدى اهم الخواص الميكانيكية للمكورات المختزلة ودرجة تفلزها سوف تحدد مدى ملائمة المكورات المختزلة لكي تكون ضمن شحنة أفران الصهر بالشركة. يمكن تحديد شحنة أفران الاختزال المباشر، وكذلك شحنة أفران الصهر بالشركة من خلال إجراء مقارنة بين النتائج المتحصل عليها في هذا البحث عن كل نوع للمكورات بمختلف الأحجام وعن كل حجم لها من نفس النوع.

ان هذا البحث يهدف الي معرفة الخواص الواجب توافرها للمكورات التي سوف تقلل من نسبة الفاقد عن المادة المختزلة، و بالتالي سوف يكون له الأثر الاقتصادي الايجابي والكبير على الشركة، وخاصة في ظروف التشغيل الحالية التي لا يستفاد فيها كثيرا من الفواقد، بالإضافة إلى أن تقليل نسبة الفاقد سوف ينعكس إيجابيا على البيئة المحيطة من حيث تقليل التلوث الناتج من الغبار المتكون من مادة الحديد وأكاسيدها.

مما تقدم و بالنظر الى النتائج المتحصل عليها فأن هذا البحث سوف يساهم في وضع المواصفات الجيدة للمكورات التي تستوردها الشركة الليبية للحديد والصلب/مصراتة، و كدلك في اختيار المزيج الأمثل من المكورات – من حيت الحجم و النوع - لتكون ضمن شحنة أفران الاختزال المباشر بالشركة، بالإضافة الى تحديد ظروف التشغيل المثلى لمصانع الاختزال المباشر بها.

2. خامات الحديد، خواصها وطرق تجميعها:

الخام هو ركام طبيعي من مواد معدنية مركزة بما فيه الكفاية حتى تكون ذات فائدة اقتصادية ومنه يمكن استخلاص الفلز والحصول عليه بقيمة اقتصادية مربحة. هناك الكثير من العوامل التي تحدد مناسبة خامات الحديد اقتصاديا أهمها: تركيب الخام ونسبة الحديد الموجود فيه، وكمية الخام المكتشف، وطبيعة منطقة تواجد الخام وظروفها الجغرافية والبيولوجية أي بمعنى قربها أو بعدها عن مصانع الحديد والتجمعات البشرية، وكذلك إمكانية تطوير منطقة تواجد الخام بالإضافة إلى نوع الشوائب في الخام وكميتها وطبيعة ارتباطها مع ذلك الخام [4].

يتحد مع معدن الحديد بعض الشوائب غير المرغوب فيها مكونة خامات الحديد، وأهم الشوائب والمواد غير المطلوبة هي: السليكا SiO_2 والسليكات، الألومينا Al_2O_3 والفوسفور والزرنيخ بالإضافة إلى الرطوبة. أهم خامات الحديد الإقتصادية هي الماجنتيت Magnetite والهيماتيت Hematite والليمونيت Limonite والسيدريت Siderite والبيريت والألمينيت lluminate [1،2].

عمليات تجميع نواعم الخام التي تنتج من عمليات طحن الخام أو عمليات التركيز، وكما تتولد أيضا من عمليات تنظيف خزانات الخام وخزانات المكورات المختزلة وكذلك من أفران الاختزال بكميات هائلة ولها الاثر الاقتصادي الكبير، ولذلك تخضع هذه الأحجام للمعالجة بغرض ربط وتجميع حبيباتها في أحجام أكبر، تكون متماسكة ومتجانسة ولها الخواص اللازمة للخامات المشحونة بأفران الاختزال. وتجميع الخامات الناعمة وربطها ببعضها البعض، إما أن يكون نتيجة إضافة مواد رابطة، دون أن تتعرض الخامات الناعمة للانصهار، وإما أن تنصهر هذه النواعم جزئيا بالحرارة، فتترابط معا نتيجة لذلك دون إضافة لمواد رابطة**[2]**. ومن هذه الطرق التي يتم بها تجميع الخامات الناعمة هي التطويب والتحبيب والتكوير والتلبيد. نظراً لطبيعة عمليات الاختزال المباشر، وللعديد من التغيرات والمؤثرات التي تتعرض لها المشحونات خلال هبوطها بالفرن، فمن اللازم أن تتوافر للخامات المكونة للشحنة عامة ولخامات الحديد خاصة خواص ميكانيكية وكيميائية/فيزيائية معينة تتلاءم مع متطلبات التشغيل[3].

تتعرض الخامات المشحونة بأفران الاختزال إلى العديد من التغيرات الكيميائية والفيزيائية خلال مراحل هبوطها [3]، وحيث أن كل طبقة من الشحنات تحمل الطبقات التي تعلوها، فمن الضروري أن تكون لهذه الخامات خاصية تحمل الضغط عند درجات الحرارة العالية مع الحفاظ على شكلها الخارجي، وخاصة

خلال مراحل الشحن والاختزال، لذلك تعتبر هذه الخاصية هامة وتختبر قدرة الخامات على تحمل الضغوط بتسخين قطعة من الخام لها شكل هندسي محدد، ثم يقاس مدى تأثر أبعادها بضغط معين عند ارتفاع درجة حرارتها بالفرن [5-9].

تعرف المسامية بأنها نسبة الفجوات أو الفراغات داخل وحدة الخام الحجمية، وهناك نوعان من المسامية وهما مسامات مفتوحة وأخرى مغلقة، بالنسبة للمسامات المفتوحة هي المسامات المتصلة بالسطح الخارجي وهي تمثل الطريق الفعلي الذي تسلكه الغازات المختزلة إلى ملامسة أسطح الخام وبدء التفاعل معه، أما بالنسبة للمسامات المغلقة أو المصمتة فإنها تنتفخ مع تقدم عمليات الاختزال وأثنائها، لتساعد في إتمام المراحل النهائية من اختزال الخام [5]، ولهذا تعد المسامية عاملا مهما جدا ومؤشرا بالغ الأهمية في تقييم الخامات ومقارنتها مع بعضها البعض، فكلما زادت نسبتها ارتفعت قيمة الخام ومكانته [3]. ربما يرجع السبب في تفضيل خامات الهيماتيت و الليمونيت على خام المجناتيت إلى احتواء الخامين الأولين على مسامية عالية، بينما يعد خام الماجنتيت من الخامات المصمتة [3].

وجود الفسفور بالمعدن في بعض الاحيان يكون مرغوب فيه وبنسب متحكم فيها وخاصة في عمليات السباكة وذلك لمساعدته على احتفاظ المعدن بدرجة عالية من السيولة والانسيابية، أما العناصر الأخرى كالمنجنيز والكروم والفناديوم والنيكل والكوبلت وغيرها، فهي عناصر مرغوب فيها بنسب محددة، ذلك لأنها تساعد على تحسين خواص المعدن، وخاصة المنجنيز الذي يساعد على التخلص من الكبريت غير أن زيادتها عن النسب المحددة يشكل مصاعب في عمليات التشغيل [10].

هناك شوائب أخرى توجد بالخامات لها تأثير لا يقل أهمية على العمليات التكنولوجية مثل الرصاص والتيتانيوم والزنك، أولها تأثيرها على المعدات والبطانات الحرارية للأفران مثل القلويات، وبالتالي فإن وجود أي منها بأي خام يقلل من قيمته وقد يسبب في عدم استخدامه نهائيا [10-14].

3. الآلية المتبعة لتناول الجانب العملي في البحث:

في هذا البحث ولدراسة إحدى أهم الخواص الميكانيكية (مقاومة الضغط) وكذلك التفلز للمكورات في الشركة الليبية للحديد والصلب، فانه من الضروري إيجاد طريقة يمكن بها اختبار أداء تلك المكورات المختزلة بمختلف أنواعها وأحجامها وبصورة منفصلة عن بعضها البعض.

الآلية التي تم إتباعها لمعرفة خواص المكورات موصوفة جيدا في بعض مشاريع التخرج بقسم هندسة وعلوم المواد/كلية الهندسة – جامعة مصراتة [15، 16].

4. النتائج ومناقشتها:

1.4 مقدمة:

المكورات المختزلة بمصانع الاختزال بالشركة تواجه ظروفا قاسية من الاحتكاك والتصادم خلال عمليات الاختزال، وكذلك الضغط المتزايد على المكورات أثناء التخزين والشحن، حيث تنتج عن هذه الظروف كميات كبيرة جداً من الفواقد ذات الحجم الأقل من المطلوب (على هيئة غبار حديد مختزل أو قطع صغيرة منه)، وهى كميات لا يمكن شحنها في أفران الصهر بالشركة بسبب العديد من العوامل التقنية.

الآلية المشار اليها في البند (3) من هذا البحث استخدمت لخلق ظروف مشابهة تماما للظروف التي تتعرض لها المكورات الخام والمختزلة بمصانع اختزال الشركة. ان إجراء مثل هذه التجارب أعطت نتائج هامة، وهذه النتائج سوف تعطى دفعا جيدا من أجل تحسين عمليات الاختزال المباشر بشكل عام، وتحسينها داخل الشركة الليبية للحديد والصلب بشكل خاص.

في هذا البند سيتم تقديم النتائج ومناقشتها، انطلاقا من حقيقة أن عملية الاختزال لها تأثيراتها الهامة على الخواص الميكانيكية، الفيزيائية والكيمائية على المكورات بمختلف أحجامها وأنواعها، حيث سيتم عرض أهم نتائج الاختبارات الميكانيكية (مقاومة الضغط)، والتحاليل الكيميائية والكشف المجهري عن المسامية للمكورات المختزلة.

2.4 التحليل الكيميائي للمكورات الخام:

تم إجراء التحاليل الكيميائية للمكورات بمعامل الشركة الليبية للحديد والصلب والجدول (1) يوضح التحليل الكيميائي للمكورات الخام – الغير مختزلة.

جدول(1) التحليل الكيميائي (نسبة وزنية) للمكورات الخام.

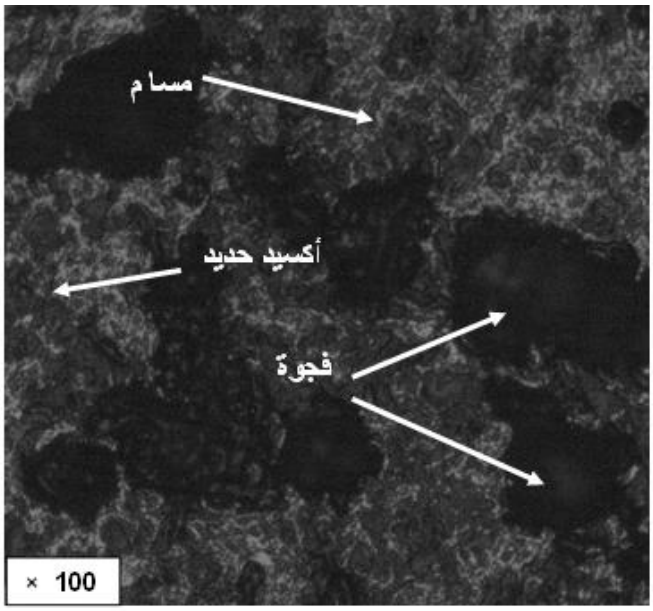
المركب / النوع	Fe-T	FeO	SiO_2	CaO	MgO	Al_2O_3	S
SAMARCO	67.75	0.25	0.79	0.79	0.58	0.20	0.005
CVRD	67.87	0.86	1.56	0.65	0.43	0.39	0.0033
LKAP	67.40	0.39	1.76	0.54	0.16	0.46	0.0031

أظهرت التحاليل الكيميائية أن نسبة الحديد الكلى (Fe-Total)، الموجودة في الأنواع الثلاثة من مكورات الخام متقاربة جدا، وهذا ما يجعله مشجعا اقتصاديا لإجراء عملية الاختزال، حيث أن اقل نسبة للحديد الكلى هي (67.4%) وذلك في خام (LKAP) وهى ملائمة جدا لعمليات الاختزال بطريقة ميدركس[8].

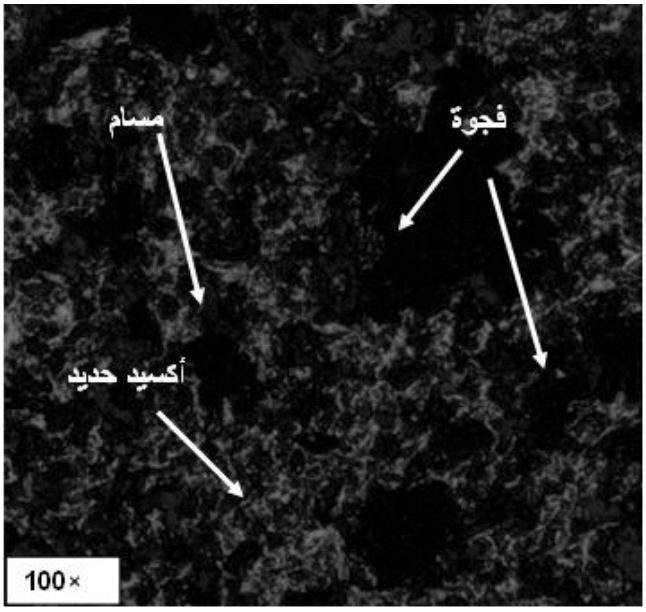
الجدول (1) يوضح أن نسبة ثاني أكسيد السليكون (SiO_2) في مكورات خام (LKAP) هي الأعلى بين مكورات الخامات الأخرى، وتلي في ذلك مكورات خام (CVRD) ثم مكورات خام (SAMARCO)، أما بالنسبة لأكسيد الماغنسيوم (MgO)، فهو يتواجد بأعلى نسبة في مكورات خام (SAMARCO)، وتقل هذه النسبة في مكورات خام (CVRD)، وتعتبر مكورات خام (LKAP) ذات النسبة الأقل من أكسيد الماغنسيوم، كما نلاحظ من الجدول أيضا أن نسبة أكسيد الكالسيوم (CaO) لمكورات خام (SAMARCO) تكون أعلى منها في مكورات الخامات الأخرى، وعلى العكس من ذلك فإن نسبة ثالث أكسيد الألومنيوم (Al_2O_3) مرتفعة في مكورات خام (LKAP)، بمقارنتها مع مكورات كل من خام (CVRD) ومكورات خام (SAMARCO). بالنسبة لعنصر الكبريت أظهرت التحاليل وجوده بأعلى

نسبة في مكورات خام (SAMARCO)، وبنسبة أقل في خام (CVRD)، ويلي ذلك وجوده في خام (LKAP).

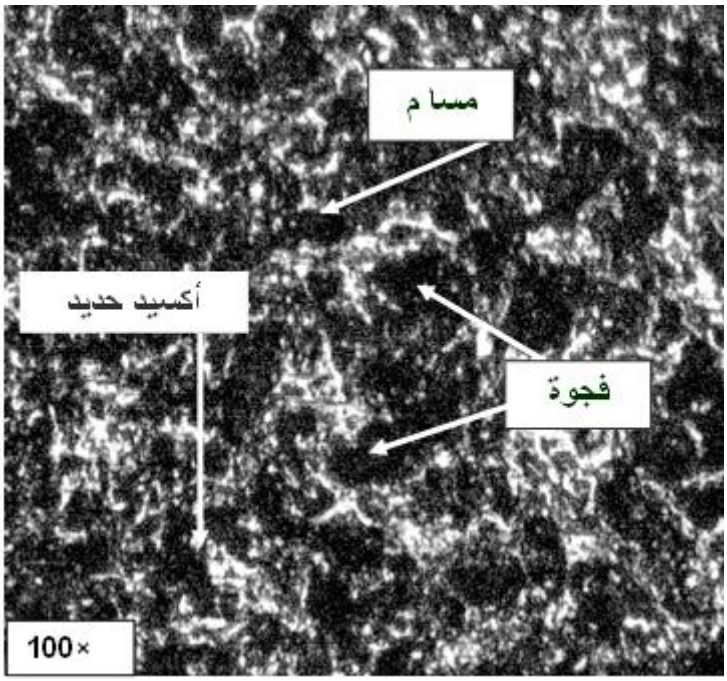
نتائج الكشف المجهري للمكورات الخام ذات الحجم المتوسط من كل نوع، والموضحة **بالأشكال (1-3)** تبين أن أكثر المكورات مسامية هي مكورات خام SAMARCO مقارنة بمكورات الخامات الأخرى، وهذا ما يفسر أفضلية خام LKAP مقارنة بالخامات الأخرى من حيث مقاومتها للضغط.



شكل (1) *صورة ميكروسكوبية لمقطعا من مكورة خام* SAMARCO



شكل (2) *صورة ميكروسكوبية لمقطعا من مكورة خام* CVRD



شكل (3) صورة ميكروسكوبية لمقطعا من مكورة خام LKAP

3.4 نتائج التحليل الكيميائي للمكورات المختزلة:

الجداول (2-4) توضح نتائج التحليل الكيميائي ونسبة التفلز للمكورات المختزلة.

جدول (2) نتائج التحليل الكيميائي و درجة التفلز للأحجام الثلاثة لمكورات SAMARCO المختزلة.

wt% / Size	Fe – Total	Fe Metallic	C	Metallization Degree
Big	91.74	85.81	1.56	93.54
Medium	91.13	86.52	1.96	94.94
Small	91.76	88.12	1.13	96.03

جدول (3) التحليل الكيميائي و درجة التفلز للأحجام الثلاثة لمكورات CVRD المختزلة.

wt% / Size	Fe – Total	Fe Metallic	C	Metallization Degree
Big	91.33	84.24	1.85	92.24
Medium	92.40	86.25	1.26	93.35
Small	92.91	86.94	1.35	93.57

جدول (4) نتائج التحليل الكيميائي و درجة تفلز للأحجام الثلاثة لمكورات LKAP المختزلة.

wt% / Size	Fe – Total	Fe Metallic	C	Metallization Degree
Big	--	--	--	--
Medium	93.60	86.82	1.21	92.76
Small	93.57	88.48	0.90	94.56

كما هو موضح من الجداول (2-4) المشار إليها أعلاه أن أعلى نسبة تفلز هي لمكورات نوع SAMARCO لمختلف أحجامها، تليها في ذلك مكورات نوع CVRD وأقلها سجلت لمكورات نوع LKAP، كما نلاحظ أيضا أن المكورات الصغيرة – من كل نوع - هي الأعلى درجة تفلز مقارنة بالمكورات الأخرى (المتوسطة والكبيرة).

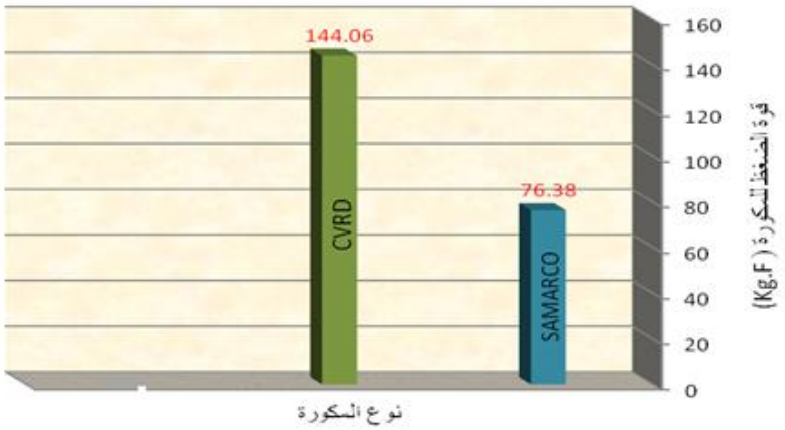
يرجع سبب ارتفاع نسبة التفلز لمكورات SAMARCO إلى سببين هما: الأول أن نسبة MgO في مكورات SAMARCO الخام أعلى من تلك في خامات CVRD وLKAP على التوالي كما هو موضح في الجدول(1)، حيث تشير الأبحاث إلى أن زيادة نسبة MgO في خامات الحديد تزيد من اختزاليتها[8، 14]، والسبب الثاني في ارتفاع درجة تفلز مكورات خام SAMARCO هو مساميتها الأكثر مقارنة بمسامية مكورات خامات CVRD و LKAP (انظر الي الاشكال 1-3). على الرغم من أن المكورات الصغيرة هي أكثر كثافة من المكورات المتوسطة والكبيرة، إلا أنه بالنظر إلى إن المكورة الكبيرة هي أيضا ذات كثافة عالية في المنطقة الداخلية والتي تكون مساوية تقريبا لكثافة المكورات الصغيرة من نفس النوع، فإن غازات الاختزال ستستغرق وقتا إضافيا في اختزال الطبقة السطحية من المكورات الكبيرة والمتوسطة قبل وصولها إلى منطقة القلب للمكورة، بينما ستكون خلال هذا الوقت نفسه قد قامت باختراق

كامل للمكورات ذات الاحجام الصغيرة، وبما أن خليط شحنة المكورات بفرن اختزال الشركة يخرج في نفس الوقت من خلال الفرن بعد مرور 13 ساعة تقريبا، فإن فرصة اختزال المكورات الصغيرة ستكون أكبر من فرصة اختزال الحجمين الآخرين من نفس النوع، الأمر الذي ينتج عنه زيادة درجة تفلز المكورات الصغيرة (للخامات الثلاثة) مقارنة بدرجة التفلز للأحجام المتوسطة والكبيرة.

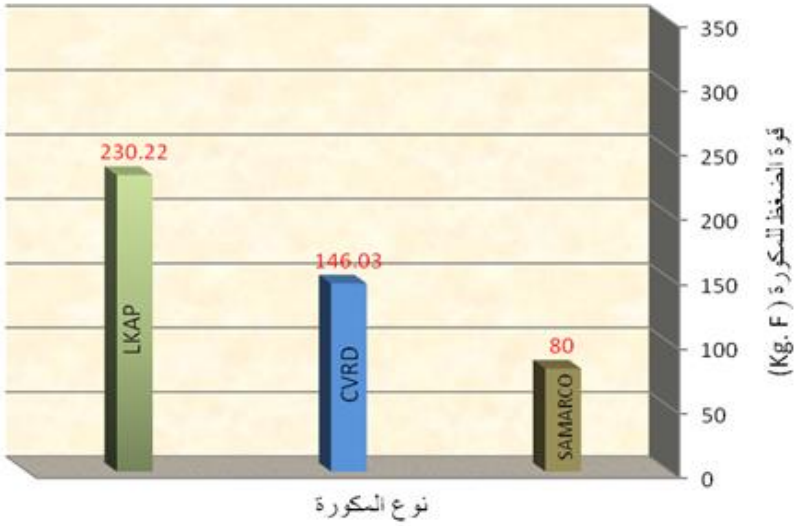
4.4 نتائج اختبار الضغط للمكورات المختزلة :

نظراً لمحدودية عدد المكورات المختزلة من مختلف الخامات المستخدمة في هذا البحث باختلاف أحجامها، لذا تم استخدام المكورات المختزلة لتحديد مقاومة تلك المكورات للضغط.

يتضح من النتائج المتحصل عليها الموضحة بالأشكال (4-6) ارتفاع مقاومة الضغط لمكورات LKAP المختزلة مقارنة بمكورات CVRD وSAMARCO، ويرجع ذلك إلى نسبة SiO_2 في خام LKAP أعلى من تلك الموجودة في خام CVRD و SAMARCO على التوالي، حيث تشير الأبحاث إلى أن وجود SiO_2 في الخام يقلل من الانتفاخ الغير طبيعي للمكورات أثناء عمليات الاختزال[8، 14]، وبالتالي فان ضعف مقاومة الضغط لمكورات SAMARCO المختزلة يرجع إلى انخفاض نسبة SiO_2 فيها.

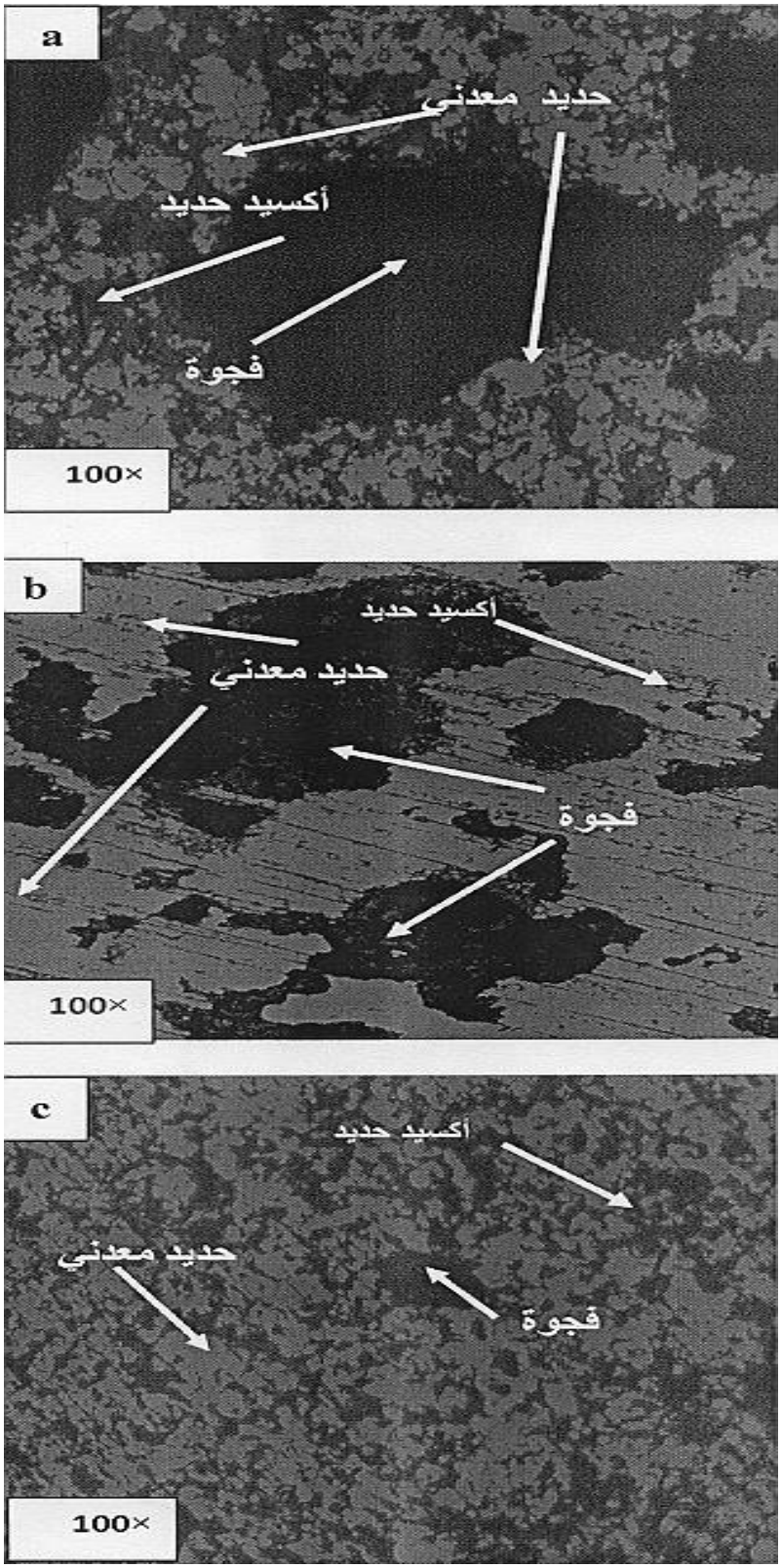


شكل(4) تأثير قوة الضغط على الحجم الكبير للمكورات المختزلة.



شكل(5) تأثير قوة الضغط على الحجم المتوسط للمكورات المختزلة.

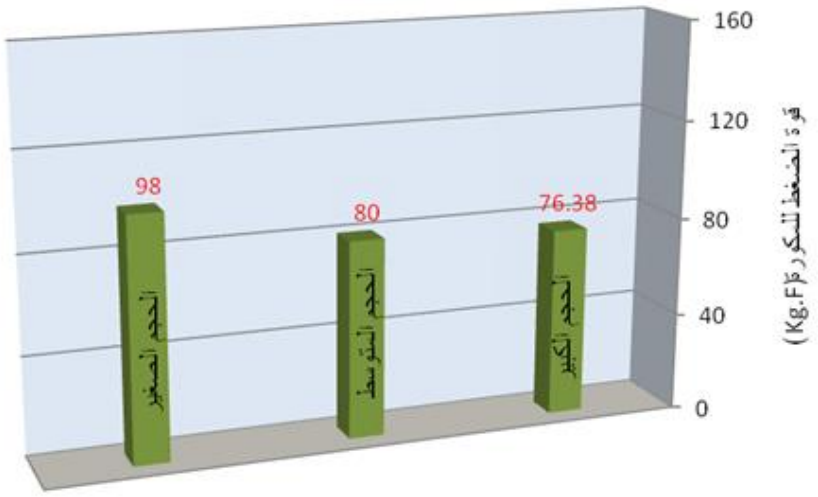
شكل(6) يوضح تأثير قوة الضغط على الحجم الصغير للمكورات المختزلة.



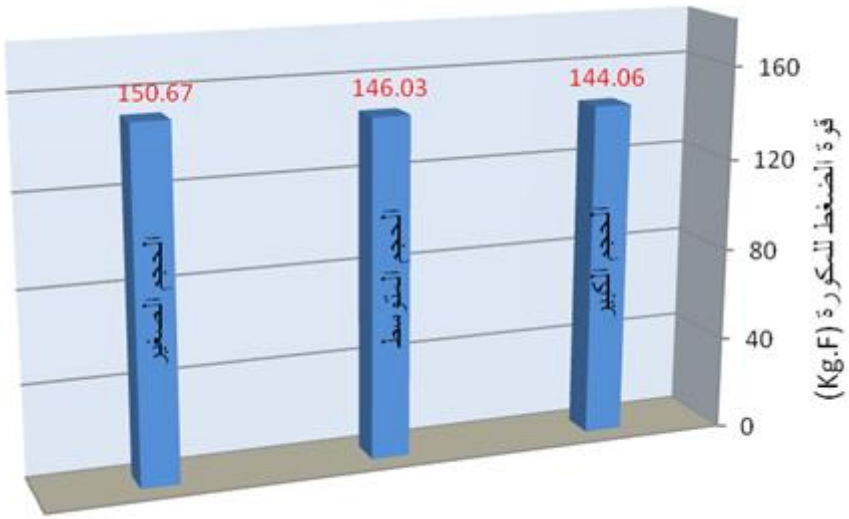
شكل (7) *يوضح صور ميكروسكوبية للمكورات المختزلة ذات الحجم المتوسط:* ***(a)*** *لمكورة* SAMARCO، **(b)** *لمكورة* CVRD، ***(c)*** *لمكورة* LKAP.

إضافة إلى ذلك فإن مسامية مكورات SAMARCO العالية نسبياً مقارنة بمكورات CVRD و LKAP من نفس الحجم، كما هو مبين بالشكل (7)، حيث أن زيادة المسامية في مكورات الخام (شكل 1) وكذلك ارتفاع درجة تفلز مكورات SAMARCO المختزلة (جدول 2) يقلل من مقاومة تلك المكورات للضغط.

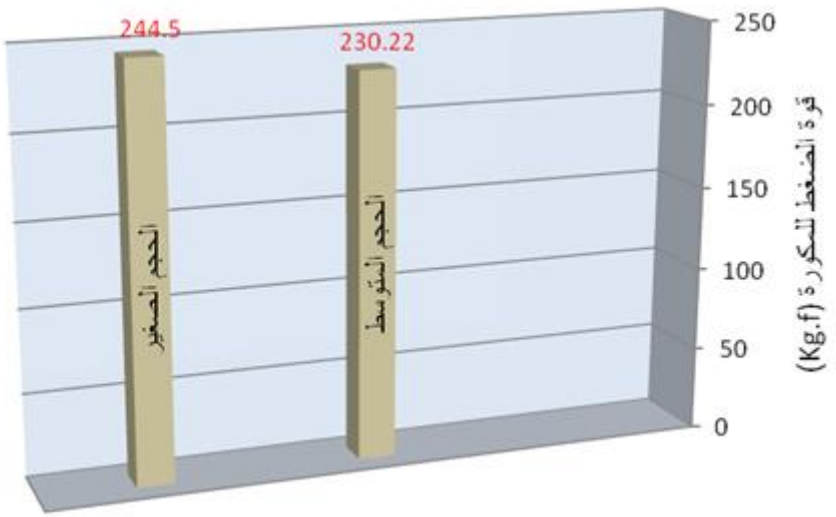
تشير النتائج المتحصل عليها في هذا البحث إلى أن زيادة قطر المكورات المختزلة تقلل من مقاومتها للضغط، حيث نلاحظ من الأشكال (8-10) أن مقاومة المكورات الصغيرة للضغط أعلى من المكورات المتوسطة والكبيرة (من نفس النوع) للمكورات المختزلة.



*شكل (8) تأثير قوة الضغط على مكورات (*SAMARCO*) المختزلة بمختلف أحجامها.*



*شكل (9) تأثير قوة الضغط على مكورات (*CVRD*) المختزلة بمختلف أحجامها.*



شكل (10) تأثير قوة الضغط على مكورات (LKAP) المختزلة بمختلف أحجامها.

5. الاستنتاجات والتوصيات

1.5 الاستنتاجات

1. زيادة درجة تفلز (اختزالية) المكورات تقلل من مقاومتها للضغط.
2. وجود السيلكا والألومينا عزز من مقاومة الانضغاط للمكورات المختزلة، إلا إن المغنيسيا في المكورات الخام قد حسنت من اختزاليتها.
3. الأحجام الصغيرة من المكورات (الخام) التي تستوردها الشركة أو التي تنتجها (المكورات المختزلة) أفضل من حيث الاختزالية وكذلك من حيث مقاومتها للضغط.
4. يمثل خام SAMARCO الأفضل من بين الخامات الموردة للشركة من حيث الاختزالية ولكافة الاحجام، إلا أنه الأضعف من حيث مقاومته للضغط بعد عملية الاختزال.
5. يمكن اعتبار خام CVRD المورد للشركة الافضل من بين الخامات الاخرى من حيث الجمع بين خاصيتي مقاومة الضغط والاختزالية.

2.5 التوصيات

1. ضرورة الحصول على بعض المعلومات التي تتعلق بمتغيرات إنتاج المكورات التي تستوردها الشركة الليبية للحديد والصلب مثل : متغيرات التلبيد، التكوير، ....، الخ.
2. يمكن إضافة بعض من فواقد مكورات خام LKAP ذات الأحجام ($4mm \geq -1$) وبنسب متحكم فيها لتكون ضمن شحنة أفران الاختزال المباشر بالشركة.
3. ضرورة الاستفادة من نواعم الحديد المختزل في بعض الصناعات المعدنية الهامة.
4. ضرورة دراسة تأثير مسامية المكورات الخام على اختزاليتها وكذلك على مقاومتها للضغط.
5. يمكن استخدام خام LKAP ليكون الشحنة الابتدائية عند بدء تشغيل أفران الاختزال المباشر بالشركة وذلك لإمكانية تحمله ضغوط الطبقات العليا من الخامات الاخرى أثناء عمليات التخزين والشحن بفرن الاختزال.

6. استيراد الأحجام الصغيرة نسبيا وحسب المواصفات المطلوبة ومن مختلف الخامات التي تستوردها الشركة.
7. يمكن إلغاء التأثير السلبي (كإلتصاق المكورات الذي قد يحدث في فرن الاختزال مثلاً) للمكورات الخام صغيرة الحجم بالتحكم في نسبة المكورات الصغيرة الداخلة للفرن مع الأحجام الأخرى من كل نوع.
8. إجراء دراسات جدوى لإنشاء وحدات تكوير الفواقد من مكورات الخام بالقرب من مصانع الاختزال بالشركة.
9. تفعيل المصنع التجريبي لعمليات الاختزال المباشر المتوفر بالشركة في إجراء بعض التجارب ذات العلاقة بالاختزال المباشر بدلا من الاعتماد على الفرن الإنتاجي وذلك لإمكانية التحكم في متغيرات الاختزال.
10. إنشاء المقترح الموصي به في أبحاث قسم هندسة وعلوم المواد/كلية الهندسة - جامعة مصراته، المتضمن في المرجعين [15، 16] والذي يمكن من خلاله إجراء العديد من التجارب لمعرفة سلوك المواد في ظروف متحكم فيها جيدا مثل عمليات الاختزال.

الشكر والتقدير:

نشكر الله سبحانه وتعالى ونحمده حمدا كثيرا على ما منحنا من قدرة لا نجاز هذا العمل المضني، راجين منه تعالى ان يحقق الاهداف المرجوة من اعداده، كما نتقدم بالشكر الجزيل الي ادارة الشركة الليبية للحديد والصلب ونخص بالذكر الاخوة العاملين بإدارة مراقبة الجودة بالشركة.

المراجع:

[1]. Symposium on the Scientific and Technical Aspects of the Production and Use of Sponge Iron, Jamsshedpur, India, 1999.
[2]. Direct Reduction of Iron Ore, Proc. Seventh Annual Conference of IISI, Johannesburg, South Africa, 1995.
[3]. Secretariat, UNIDO: " Some Aspects of Recent Advances in the Field of Sponge Iron Production Processes" ibid.
[4]. U. Kalla and R. Steffen: " Present State and Further Development of Direct Reduction Processes" ibid.
[5]. S. Eketorp: " Steel Plant of the Future" Iron Steel International, 2000.
[6]. J. R. Miller: "Global Status of Direct Reduction – 1997" Iron and Steel Eng., 1997, vol. 54.
[7]. T. E. Dancy: " The Evolution of Iron Making" Met. Trans. B, 1999, vol 8B.
[8]. J. Astier, J. C. Krog and Ch. Roederer. "Considerations on the practical value of Metallized Ore" Seminar on the Utilization of Pre-reduced Materials in the Iron and Steel Industry, U. N. Economic Commission for Europe, Steel Committee, Bucharest, 1976.
[9]. L. P. Makarov and I. P. Bardin. " Technical and Economic Pre-requisites for utilizing Pre-reduced Materials in Metallurgical Production " ibid.
[10]. D. L. Keston and J. B. Bradley "The commercial Direct Reduction Plant" Use and marketing of Sponge Iron", Congress of Direct Reduction, Macuto, Venezuela. 1997.
[11]. G. J. McManus: "Direct reduction Processes, Gain Wide Acceptance, Iron Age Working International, 1979.
[12]. Y. Matsuhita: "Direct Ironmaking Processes and Their problems", SEAISI Quarterly, 1972.
[13]. G. M. Bertram: "Iron Steel Engineer", 1992, vol 49, pp. 31-40.
[14]. A. I. Gimmelfarb and A. M. Nemenov: Evaluation of processes of Direct Reduction of Iron Ores, Trends in their development and future prospects, ibid.

[15]. نصر الدين خليل أبو سنينة و محمد بشير الهروس، دراسة تأثير نوع وحجم المكورات الموردة للشركة الليبية للحديد والصلب على بعض من خواصها الميكانيكية والفيزيائية. مشروع مقدم لنيل درجة البكالوريوس في مجال هندسة وعلوم المواد بجامعة مصراتة 2010م.

[16]. علي محمود أبوصديغ و أحمد محمد بلعوطة، دراسة تأثير التركيب الكيميائي لمكورات الشركة الليبية للحديد والصلب علي بعض من خواصها. مشروع مقدم لنيل درجة البكالوريوس في مجال هندسة وعلوم المواد بجامعة مصراتة 2009م.

Investigation to the Reducibility of Iron Oxide Pellets at LISCO and its Effects on Their Compressive Strength

Ali. Aljarany[1,*], Mohammed Alhrouse[2], Nasr-Aldeen. Abosenena[3]

[1]Materials Science and Engineering Department, Misrata University, Misrata, Libya, ali.aljarany@gmail.com

[2]Libyan Iron & Steel Company, Misrata, Libya, gmail.com@harrosbmohammad

[3]Ministry of Higher Education and Scientific Research, Tripoli, Libya, nassry.sen@gmail.com

ABSTRACT

In this paper, the reducibility of the iron oxide pellets imported by LISCO (CVRD, LKAP and SAMARCO) and its effects on their compressive strength were investigated. Direct reduction processes of the oxide pellets were conducted in the production furnace at LISCO, in order to simulate the real conditions (Midrex process) for the reduction of the selected iron oxide pellets individually – for each type. The compressive strength of the reduced (at 876ºC ±10) pellets were also, tested using the compression test machine (1000 KNf) available at LISCO. Compressive strength results showed, the LKAP pellets have the highest compressive strength, if compared with CVRD and SAMARCO pellets respectively. The obtained results also, revealed controversial relationship between the degree of reduction (metallization) and the compressive strength for all types of pellets. The reduced LKAP pellets (For all sizes) showed the lowest metallization degree, and the highest compressive strength. Conversely, the reduced SAMARCO (For all sizes) pellets recorder the highest metallization degree, but the lowest compressive strength. Generally, the small sizes of all types of reduced pellets have higher reducibility and compressive strength, if compared with medium and big size pellets.

***Keywords**:*
Iron ore.
Pressure resistant.
Direct reduced method.
Midrex method.

[*]Corresponding Author Email: ali.aljarany@gmail.com