الجمهورية العربية السورية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
المعهد العالي لإدارة الأعمال

HIGHER INSTITUTE OF BUSINESS ADMINISTRATION

دراسة أثر ضبط مدخلات عملية الإنتاج في خفض كميات المنتج المعيب
دراسة حالة في شركة الصناعات المعدنية حديد

Studying the effect of controlling the production process inputs in reducing the quantities of defective product
A case study in the metal industries company Hadeed

مشروع مقدم لاستكمال متطلبات الحصول على درجة الماجستير في إدارة الأعمال
الإدارة التنفيذية

إعداد الطالب
عبد الكافي عودة

إشراف الدكتور
راتب البلخي

العام الدراسي
2022- 2021

ملخص البحث

هدف هذا البحث إلى ضبط مدخلات عملية الإنتاج خلال مراحل إعداد صبه السائل المصهور في مصنع صهر الحديد الذي يستخدم تقنية صهر الحديد بواسطة فرن القوس الكهربائي وذلك لتقليل نسبة عيوب المنتج (البليت) أو لمنع إنتاج منتج معيب وخفض خسائر العملية الإنتاجية ورفع عائد إنتاجية المصنع.

شملت الدراسة العملية شركة الصناعات المعدنية حديد حيث قام الباحث بالحصول على البيانات اللازمة لإتمام البحث من الشركة وقد امتدّت بيانات الد راسة على فترتين متماثلتين هما الربع الثالث والرابع من العام 2021 والربع الأول والثاني من عام 2022.

وقد قام الباحث بتطبيق الأساليب الاحصائية المناسبة على هذه البيانات للوصول إلى النتائج المطلوبة.

قام الباحث بتحديد المدخلات المؤدية إلى حالة المنتج المعيب (غير المطابق للمواصفات القياسية لمنتج معمل الصهر)

تم استخدام أساليب إحصائية وصفية وتحليلية لتحويل البيانات إلى معلومات ونتائج باستخدام برنامج الاكسيل

الكلمات المفتاحية:

فرن القوس الكهربائي Electric Arc Furnace – فرن المعالجة (فرن البوتقة) Ladle Furnace – ماكينة الصب المستمر Continuous Casting Machine – زمن الصبة – الخبث Slag – وزن السائل المصهور Tapped Weight – الصهرة Heat – حرارة الصهرة Heat Temperature – عروق البليت Billet – البوتقة ladle – البوتقة الوسيطة (حوض الصب) Tundish – خردة الحديد Scrap – معامل الارتباط الخطي البسيط.

"شـــكــر"

للدكتور راتب البلخي المحترم الذي تفضل بقبول الإشراف على هذا العمل

لكل الأساتذة الأفاضل في المعهد العالي لإدارة الأعمال HIBA

للإدارة الكريمة في شركة الصناعات المعدنية حديد

((فهرس المحتويات))

(1) 8

الفصل الأول 8

الإطار العام للبحث 8

1-1 مقدمة عامة 9

2-1 مشكلة البحث 10

3-1 أهمية البحث 11

4-1 أهداف البحث 12

5-1 منهج البحث 12

6-1 نموذج الدراسة 13

7-1 حدود ومحددات البحث 13

(2) 14

الفصل الثاني 14

الإطار النظري 14

1-2 الدراسات السابقة 15

2-1-1 دراسة (JEREMY A. T. JONES, NUPRO CORPORATION 10/3/2008) 15

2-1-2 دراسة (SATYENDRA KUMAR SARNA - APRIL 23 2014) 16

3-1-2 دراسة -(KEYVAN RAHMANI, VINCENT THOMSON MCGILL UNIVERSITY SEPTEMBER 2017) 18

2-2 أهمية صناعة الحديد والصلب 19

1-2-2 ارتباط صناعة الحديد بالصناعات الأخرى والتي تتمثل في: 19

2-2-2 دور صناعة الحديد بتأمين فرص العمل: 19

3-2-2 الفوائد الاقتصادية للحديد: 19

3-2 صناعة الحديد والصب 20

1-3-2 صناعة الحديد: 20

2-3-2 طرق صناعة الحديد 20

3-3-2 تصنيع منتجات الحديد 20

4-2 إنتاج الحديد الزهر 21

5-2 تصنيع الحديد المطاوع 21

6-2 تصنيع الفولاذ 21
1-6-2 صناعة الفولاذ بالمحوّلات: 22
أ - محول بسمر Bessemer converter: بدأ العمل به عام 1856..... 22
ب - محول توماس Sidney Thomas converter: بدأ العمل بهذا المحول عام 1878. 23
ج - المحول الأكسجيني L.D:..... 23
2-6-2 صناعة الفولاذ بالفرن المفتوح OPEN- HEARTH FURNACE أو-SIEMENS MARTIN FURNACE: 25
3-6-2 الأفران الكهربائية المستخدمة في صناعة الفولاذ: 26
آ - أفران القوس الكهربائية..... 26
ب - الأفران التحريضية 27
4-6-2 أفران التخلية والخبث الكهربائي: 28
أ - فرن التحريض المخلّى..... 28
ب - فرن القوس الكهربائي المخلّى 28
5-6-2 فرن الخبث الكهربائي ELECTRO SLAG: 29
6-6-2 فرن المعالجة (التكرير) أو فرن البوتقة (LRF) 30
1-6-6-2 الغرض الرئيسي من LRF هو: 30
7-6-2 ماكينات الصب وإفراغ الشحنة المصهورة (قسم الصب) 31
7-2 تصنيف الفولاذ:..... 32
(3) 34
الفصل الثالث 34
الإطار العملي..... 34
- لمحة عن شركة الصناعات المعدنية حديد - 35
1-3 قسم الخردة SCRAP 35
1-1-3 الخردة SCRAP 35
2-1-3 مصادر الخردة رئيسية..... 35
3-1-3 إجراءات ضمان تحسين الخردة..... 36
4-1-3 أثر الخردة على زيادة زمن الصهرة الكلي..... 37
2-3 قسم الصهر..... 38
يتم إنتاج الفولاذ السائل على ثلاث مراحل: 38
1-2-3 مرحلة التصنيع الأولية..... 38
1-1-2-3 فرن القوس الكهربائي Electric Arc Furnace..... 38

2-2-3 مرحلة التصنيع الثانوية 40
1-2-2-3 فرن المعالجة (فرن البوتقة) LADLE FURNACE 40
2-2-2-3 الجوانب الثلاثة المهمة التي يجب أن تهتم بها صناعة الصلب الثانوية 41
3-2-3 مرحلة الصب المستمر 41
1-3-2-3 المزايا الرئيسية للصب المستمر: 42
3-3 الدراسة العملية 43
1-3-3 المشاكل التي تسبب توقفات وتؤثر على سير العملية الإنتاجية 43
2-3-3 تأثير درجة حرارة الصهرة على سير عملية صب المنتج في قسم الصب المستمر CCM:
..... 44
1-2-3-3 حرارة الصهرة المنخفضة 44
2-2-3-3 حرارة الصهرة المرتفعة 45
3-3-3 طرق التعامل مع حالات التأخيرات أو التوقفات الإنتاجية للمحافظة على استمرار العملية الإنتاجية 46
4-3-3 مزايا وعيوب تجنب انقطاع عملية الإنتاج من خلال زيادة زمن الصب 46
1-4-3-3 المزايا 46
2-4-3-3 العيوب والإجراءات المتبعة لتلافيها 47
5-3 زمن الصبة HEAT TIME 47
6-3 زمن المعالجة في فرن المعالجة (التكرير) LRF, HEAT REFINING TIME 47
7-3 وزن السائل المصهور المصبوب في البوتقة TAPPED WEIGHT 48
8-3 حرارة وصول الصهرة إلى فرن المعالجة LF HEAT RECEIVE TEMPERATURE
..... 48
9-3 حرارة وصول الصهرة إلى قسم الصب CCM HEAT TEMPERATURE 48
10-3 مجتمع وعينة الدراسة 48
11-3 اختبار فرضيات الدراسة 49
12-3 دراسة تأثير المتغيرات المستقلة في المتغير التابع (كميات المنتج المعيب). 50
13-3 دراسة أثر المتغيرات المستقلة في المتغير التابع (كميات المنتج المعيب) في الفترات قبل وبعد تطبيق الدراسة 54
14-3 نتائج البحث 55
15-3 التوصيات 57
المراجع-REFERENCES 58
المراجع العربية 58

58 ..... **ENGLISH REFERENCES**

الملحقات..... 59

الملحق رقم (1) 59

الملحق رقم (2) 62

الملحق رقم (3) 66

(1)

الفصل الأول

الإطار العام للبحث

يعد هذا الفصل مدخلا للبحث ويستعرض فيه الباحث مقدمة عامة يتضح من خلالها مشكلة البحث وأهميته وأهدافه ومنهج البحث المعتمد ونموذج الدراسة ومحددات الدراسة.

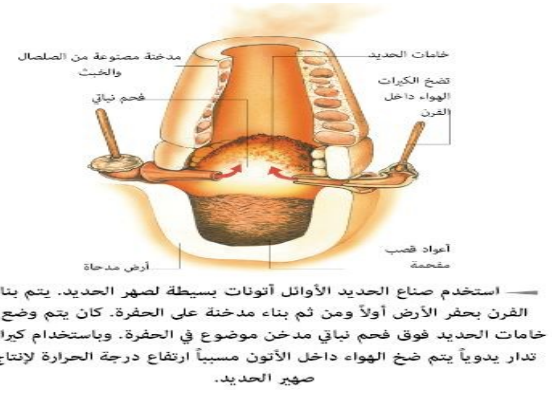
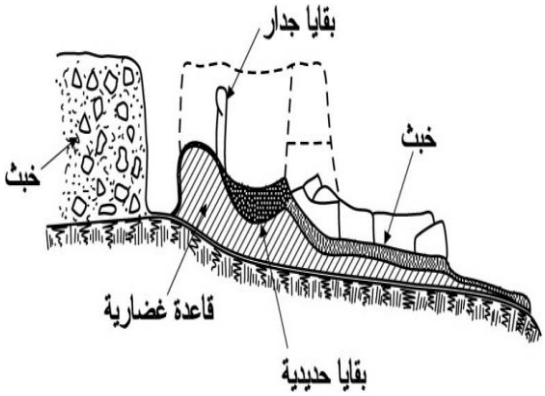
1-1 مقدمة عامة

إن بداية تصنيع الحديد المستخلص من فلزاته واستخدامه في بعض الأغراض لا تزال مجهولة، ويعتقد بأنها تعود إلى عصور ما قبل التاريخ.

حيث عثر على قطع حديدية بين حجارة الهرم الأكبر في مصر، وفيما خلّفه الحثيون من الخواتم والحلي المصنوعة من الحديد الصب. وهذا يدل على أن صناعة الحديد يمكن أن تعود إلى 5000 سنة قبل الميلاد.

لم يتم استخدام الحديد على نطاق واسع إلا عندما أصبح الإنسان ملمّاً بكيفية استخلاص الحديد من فلزاته، وصار يبني لهذا الغرض الأفران الخاصة، مع بداية ما يسمى تاريخياً بعصر الحديد، الذي تعد بدايته نحو عام 1200 قبل الميلاد، وما زال مستمراً حتى اليوم.

يعتقد أن بداية عصر الحديد كانت على الشاطئ الشرقي للبحر المتوسط، إذ إن أقدم ما عُثر عليه من أفران لتعدين الحديد كانت في بلاد الشام، ويعود تاريخها إلى نحو 1300 سنة قبل الميلاد، كما اكتشفت أفران في النمسا، يعود عمرها إلى السنوات الأولى للميلاد، وهي تشبه تلك المتبقية من القرن الثاني عشر الميلادي في قرية مارينتال (ألمانيا)، ومشابهة لتلك المكتشفة في شمال الكاميرون والتي لايزال الكاميرونيون يستخدمون مثيلاتها حتى اليوم. (الشكلان 2 و3)

 استخدم صناع الحديد الأوائل آتونات بسيطة لصهر الحديد. يتم بناء الفرن بحفر الأرض أولاً ومن ثم بناء مدخنة على الحفرة. كان يتم وضع خامات الحديد فوق فحم نباتي مدخن موضوع في الحفرة. وباستخدام كيرات تدار يدوياً يتم ضخ الهواء داخل الأتون مسبباً ارتفاع درجة الحرارة لإنتاج صهير الحديد.	
الشكل (2) شكل تخطيطي لبقايا فرن من القرن الثاني عشر	الشكل (3) شكل تخطيطي لفرن من شمالي الكاميرون

وبالتالي نجد إن دور الحديد والمنتجات الحديدية في حياة الإنسان يتعاظم منذ بداية ما يسمى العصر الحديدي، ليصل في القرون الوسطى إلى مكان الصدارة بين المواد المعدنية الأخرى.

ولا يزال الفولاذ المادة الإنشائية الأولى التي لا يمكن تصور حياة الإنسان من دونها، فمن الفولاذ تصنع السيارات والقاطرات والسكك الحديدية والأسلحة والآليات العسكرية والمدنية وآلات الحفر والبناء وشق الطرق، وهو الذي يؤلف الهياكل المعدنية للأبراج وناطحات السحاب والجسور، ومنه تصنع آلات التشكيل والتشغيل ومختلف الآلات والأدوات الصناعية والمنزلية والآلات والأدوات الزراعية وغيرها من المنتجات في مختلف مجالات الحياة.

لذلك يعتبر الفولاذ من أهم المواد الاستراتيجية لجميع الدول المتقدمة والدول النامية أيضا"، ويكاد لا يقل في أهميته عن الأهمية الاستراتيجية لمصادر الطاقة ومصادر الغذاء.

ونظرا" للتطورات الكبيرة التي حصلت على صناعة الصلب فقد لجأت عدة دول إلى تحسين تلك الصناعة عن طريق تحسين تكنولوجيا الإنتاج وخفض عدد العاملين، وأصبحت تنتج كمية أكبر من الحديد الصلب بعدد أقل من العمال وتحسنت اقتصادية تلك الصناعة. وتم الاتجاه نحو إنتاج الأنواع القيمة من هذه الثروة المعدنية التي هي قوام البلاد المتقدمة وزاد التركيز على جودة المنتجات النهائية للفولاذ.

2-1 مشكلة البحث

من خلال متابعة عمليات الإنتاج في معمل الصهر (مكان الدراسة) لوحظ تكرار ظهور منتجات تحتوي على عيوب واضحة على بعض عروق البليت وأخرى لم تكن واضحة لكن أثرها ظهر خلال عملية درفلتها في معمل درفلة البليت، تتمثل هذه العيوب بوجود فقاعات (فراغات) في سطح المنتج وممتدة على طول البليت ومن خلال مراجعة تقارير العمل تبين أن كل عروق البليت المعيبة كانت من صهرات مترافقة مع حالات خاصة وبالتالي كان لابد من عزل البليت المعيب وتحويله إلى خردة من جديد ليعاد تدويره مرة أخرى.

وبالتالي يترتب على ذلك نقص في كمية المنتج وانخفاض في عائد العملية الإنتاجية. لذلك تم العمل على توصيف الحالة وتحديد المشكلة بدقة والعمل على تحديد الاسباب المؤدية لحصول هذه المشكلة ويتم ذلك من خلال البحث والتقصي عن الأسباب المحتملة لحدوث هذا العيب في عروق البليت بعد أن تمت عملية الصب.

وفي ضوء ذلك تتلخص مشكلة البحث بالأسئلة التالية:

1) السؤال الأول: هل يؤثر ضبط زمن الصهرة الكلي Tap to Tap Time على خفض كميات المنتج المعيب.
2) السؤال الثاني: هل يؤثر وزن السائل المصهور وزيادة كمية الصب في البوتقة Tapped weight على خفض كميات المنتج المعيب.
3) السؤال الثالث: هل يؤثر وزن الخبث Slag Weight المصبوب في البوتقة على كميات المنتج المعيب.
4) السؤال الرابع: هل يؤثر ضبط درجة حرارة وصول الصهرة إلى فرن المعالجة LF Heat receive temperature على خفض كميات المنتج المعيب.
5) السؤال الخامس هل يؤثر ضبط زمن معالجة الصهرة في فرن المعالجة LF Heat refining time على خفض كميات المنتج المعيب.
6) السؤال السادس: هل يؤثر ضبط درجة حرارة وصول الصهرة إلى قسم الصب المستمر CCM Heat receive temperature على خفض كميات المنتج المعيب.

3-1 أهمية البحث

تكمن أهمية هذا البحث في تحديد الأسباب المؤدية لحصول العيب المذكور سابقا" في البليت، والعمل على إيجاد الحلول الأكثر ملائمة لتلافي حصول هذا العيب مرة أخرى، ومنع وصول منتج غير مطابق لمعمل الدرفلة لمنع توقف معمل الدرفلة بسبب منتج معيب صادر عن مصنع الصهر وبالتالي تجنب هدر المنتج واستمثال عائدية العملية الإنتاجية وخفض التكلفة التي نتجت عن إعادة تدوير منتج كان من المفترض أن يكون منتج كامل المواصفات ومطابق للمعاير.

ومن هنا كانت أهمية هذه الدراسة من أجل تحقيق جودة المنتجات النهائية بطريقة تظهر أهمية ضبط مدخلات العملية الإنتاجية للفولاذ، وذلك من خلال التحكم في مجموعة من ممارسات التشغيل وتحسينها في مختلف عمليات صناعة الصلب ومنها:

1- التحكم في زمن الصهرة الكلي في فرن القوس الكهربائي Tap to Tap Time.
2- التحكم في وزن السائل المصهور المصبوب في البوتقة Tapped Weight.
3- التحكم في وزن الخبث المصبوب في البوتقة Slag Weight.
4- التحكم في درجة حرارة وصول الصهرة إلى فرن المعالجة

.LF Heat Receive Temperature

5- التحكم في زمن المعالجة في فرن المعالجة LF Heat Refining Time.

6- التحكم في درجة حرارة وصول الصهرة إلى قسم الصب المستمر
.CCM Heat Receive Temperature

4-1 أهداف البحث

يهدف هذا البحث إلى دراسة أثر ضبط عدد من مدخلات العملية الإنتاجية التي يرى الباحث أنها ذات صلة وثيقة بمشكلة البحث (المنتج المعيب) على خفض كميات المنتج المعيب وهي:

1- د راسة أثر ضبط زمن الصهرة الكلي Tap to Tap Time على خفض كميات المنتج المعيب.
2- دراسة أثر ضبط وزن السائل المصهور Tapped Weight وزيادة كمية الصب في البوتقة على خفض كميات المنتج المعيب.
3- دراسة أثر ضبط كمية الخبث المصبوب في البوتقة Slag Weight على خفض كميات المنتج المعيب.
4- دراسة أثر ضبط درجة حرارة وصول الصهرة إلى فرن المعالجة LF Heat Receive Temperature على خفض كميات المنتج المعيب.
5- أثر ضبط زمن معالجة الصهرة في فرن المعالجة LF Heat Refining Time على خفض كميات المنتج المعيب.
6- دراسة أثر ضبط درجة حرارة وصول الصهرة إلى قسم الصب المستمر CCM Heat Receive Temperature على خفض كميات المنتج المعيب.

5-1 منهج البحث

تم استخدام المنهج الوصفي التحليلي المتضمن جمع البيانات والمعلومات المتعلقة بمتغيرات الدراسة وتحليلها.

6-1 نموذج الدراسة

المتغير التابع	المتغيرات المستقلة
كميات المنتج المعيب	زمن الصهرة الكلي Tap-To-Tap Time
	وزن السائل المصهور المصبوب في البوتقة Tapped Weight
	كمية الخبث المصبوب في البوتقة Slag Weight
	درجة حرارة وصول الصهرة إلى فرن المعالجة LF Heat Receive Temperature
	زمن معالجة الصهرة في فرن المعالجة LF Heat Refining Time
	درجة حرارة وصول الصهرة إلى قسم الصب المستمر CCM Heat temperature

7-1 حدود ومحددات البحث

المحددات الموضوعية: كميات المنتج المعيب ضمن المنتج الكلي لمعمل الصهر.

الحدود المكانية: تم تطبيق البحث على معمل حديد للصناعات المعدنية في مدينة عدرا الصناعية في محافظة ريف دمشق.

الحدود الزمانية: تم تنفيذ الدراسة خلال الربعين الثالث والرابع من عام 2021 والربعين الأول والثاني من عام 2022.

(2)

الفصل الثاني

الإطار النظري

يتناول هذا الفصل تقديم الجانب النظري للبحث والذي يهتم بتقديم دراسات سابقة ذات صلة بمشكلة البحث وتساعد على إبراز مشكلة البحث بالإضافة إلى التعريف بالجانب النظري لمتغيرات البحث من وجهة النظر العلمية والتركيز على أهمية صناعة الحديد والصلب وطرق صناعة الحديد والصلب وايراد لمحة عن الأفران المستخدمة في هذه الصناعة.

1-2 الدراسات السابقة

1-1-2 دراسة (Jeremy A. T. Jones, Nupro Corporation 10/3/2008)

الدراسة بعنوان صناعة الفولاذ في فرن القوس الكهربائي

(Electric Arc Furnace Steelmaking)

أكدت الدراسة على أن الخطوة الأولى في إنتاج أي صهرة هي تحديد درجة الفولاذ المراد تصنيعها. كما أكدت على ضرورة وأهمية وضع جدول زمني قبل كل نوبة إنتاج. ومعرفة المشغل مسبقًا بالجدول الزمني لمناوبته.

شددت الدراسة على أهمية إعداد الخردة وفقًا للحجم والكثافة أن يتم اعداد سلال الخردة وفقًا لاحتياجات الصهر، لضمان انصهار كيميائي مناسب ولضمان ظروف انصهار جيدة. مما يؤدي إلى تكوين سريع للفولاذ السائل في الفرن ويعمل على توفير الحماية للجدران الجانبية والسقف من إشعاع القوس الكهربائي.

وأكدت الدراسة على تقليل الخردة المجوفة التي يمكن أن تكسر الأقطاب الكهربائية واكدت على الحذر في استخدام القطع الثقيلة الكبيرة من الخردة لأنها تقع مباشرة أمام منافذ الحواقن مما قد يؤدي إلى نفخ اللهب على الألواح المبردة بالماء وتسبب التوقفات لصيانة الاعطال. مما يضمن تقليل الأعطال التي تتطلب توقف الفرن لإجراء الصيانة.

نوهت الدراسة لأهمية مرحلة صب السائل المصهور من فرن القوس الكهربائي والإجراءات المتبعة خلالها وأنه بمجرد تحقيق التركيبة الفولاذية ودرجة الحرارة المطلوبة في الفرن، يتم فتح فتحة الصب، ويميل الفرن، ويصب الفولاذ في البوتقة لنقلها إلى عملية المعالجة التالية (عادةً ما يكون فرن البوتقة). والعمل على إضافة مزيلات التأكسد الشائعة هي الألمنيوم أو السيليكون على شكل الفيروسيليكون أو السيليكومنغان في البوتقة بناءً على تحليل عينة الفرن ودرجة الفولاذ المطلوبة لخفض محتوى الأكسجين قبل البدء بالمعالجة في فرن المعالجة لتسهيل عملية المعالجة وتقليل زمن المعالجة في فرن المعالجة قدر الإمكان..

واكدت الدراسة على أن يكون انتقال الخبث إلى البوتقة بالحد الأدنى المطلوب فقط، حتى يتم "بناء" غطاء خبث أثناء تفريغ الصهرة من الفرن قبل نقل البوتقة إلى فرن المعالجة ليوفر على فرن المعالجة زمن تشكيل طبقة من الخبث. يمكن إضافة مواد لتشكيل خبث إضافي في فرن البوتقة إذا كان غطاء الخبث غير كافٍ.

يرى الباحث أن الدراسة تركز بشدة على عدة أمور:

1- أهمية وضع جداول زمنية لضمان جودة سير العملية الإنتاجية.
2- تحضير الخردة بطريقة تضمن تقليل توقفات العملية الإنتاجية وبالتالي عدم زيادة الزمن الكلي للصهرة.
3- أهمية ضبط التركيب الكيميائي وحرارة الصهرة قبل بدء تفريغ الصهرة في البوتقة لتجنب زيادة زمن المعالجة في فرن البوتقة الذي يؤدي لتوقفات العملية الإنتاجية.
4- عدم التهاون في عملية صب المصهور من الفرن والتأكيد على أهمية ضبط عملية تفريغ السائل المصهور في البوتقة ونزول الخبث إلى البوتقة بدقة.

بينما ركزت دراسة الباحث على أهمية ضبط زمن الصهرة الكلي TTT وضبط وزن السائل المصبوب في البوتقة وضبط نزول كمية الخبث في البوتقة وضمان وصول السائل المصهور إلى فرن المعالجة بدرجة حرارة مناسبة وما لذلك من أثر على ضبط سير العملية الإنتاجية وبالتالي على خفض كميات المنتج المعيب.

2-1-2 دراسة (Satyendra Kumar Sarna - April 23 2014)

الدراسة بعنوان خبث البوتقة ودوره في صناعة الفولاذ الثانوية.

Ladle slag and its role in secondary steelmaking

ركزت الدراسة على أن الهدف من استخدام فرن البوتقة في معالجة السائل المصهور بعد صبه من أفران تصنيع الفولاذ الأولية ومنها فرن القوس الكهربائي EAF هو:

- إعادة تسخين الفولاذ السائل بواسطة الطاقة الكهربائية بواسطة أقطاب الجرافيت.
- تجانس درجة حرارة الصلب والتركيب الكيميائي من خلال التقليب بالغاز الخامل.
- تشكل طبقة الخبث التي تحمي البطانة الحرارية من القوس الكهربائي، وتركز وتحول الحرارة إلى الفولاذ السائل، وحبس الشوائب وأكاسيد المعادن، وتساعد في إزالة الكبريت.

- إضافات سبائك الحديد لتوفير التحكم الكيميائي في حجم أو حالة الشوائب.
- إضافة سلك الكالسيوم سيليكون والتحكم في شكل وحجم الشوائب.
- إزالة الأكسجين المتبق.
- إزالة الكبريت.
- إزالة الفوسفور.

كما ركزت الدراسة على ضرورة التقيد بعدد من الإجراءات الهامة والتي تؤدي إلى جودة العملية الإنتاجية:

1- الحد من انتقال الخبث إلى البوتقة.

2- تقليل محتوى FeO وMnO إلى أقل من 1 ٪، الذي يؤدي إلى تآكل طوب البوتقة ويحمل الأكسجين إلى الفولاذ.

3- الحفاظ على الخبث القاعدي مع نسبة قاعدية 2.5 أو أعلى من خلال وجود خبث كريمي متسق.

4- الحصول على خبث بالكمية الصحيحة من الكلس CaO وMgO لتحسين إزالة الكبريت وحماية الحراريات.

من الناحية العملية من أجل أن يؤدي خبث البوتقة جميع المهام، من الضروري استخدام الخبث بتركيبة كيميائية مناسبة. يسمح التركيب الكيميائي المختار بعناية بتحقيق الخصائص المرغوبة للخبث وفي نفس الوقت يضمن استمرار عملية تصنيع الفولاذ الثانوية للوفاء بمتطلبات الجودة للصلب السائل.

يرى الباحث أن الدراسة تركز على أهمية فرن المعالجة ووظائفه المهمة في إعادة تسخين الفولاذ وتحقيق التجانس الحراري والكيميائي للصهرة من خلال الوظائف التي يتمتع بها فرن المعالجة لتوفير ذلك.

في حين ركزت دراسة الباحث على أثر ضبط زمن إنجاز هذه الوظائف أي ضبط زمن المعالجة في فرن المعالجة في خفض كميات المنتج المعيب حيث يرى الباحث أن ضبط الية عمل هذه الوظائف يتم بالتوازي مع ضبط وظائف بقية أقسام التشغيل مما يؤدي إلى ضبط سير العملية الإنتاجية وبالتالي ومن خلال ذلك سوف تنخفض كمية المنتج المعيب.

3-1-2 دراسة -(Keyvan Rahmani, Vincent Thomson McGill University September 2017)

الدراسة بعنوان نموذج فقدان حرارة البوتقة من أجل لإنتاج اليومي.

A ladle heat loss model for daily production

هدفت هذه الدراسة إلى بناء نموذج لتقدير كامل الحرارة المفقودة في البوتقة ويمكن استخدامه لضبط درجة حرارة الفولاذ في البوتقة عند فرن المعالجة LF بناءً على اعتبارات وتقديرات إنتاجية من أجل تقليل مخاطر توقف الإنتاج المكلف. وترى الدراسة أن هذا النموذج مفيدًا جدًا لتحسين عملية صناعة الفولاذ عن طريق تقليل الوقت والطاقة والجهد المبذول لتنظيم درجات حرارة الفولاذ في التاندش.

وترى الدراسة أن الوصول إلى درجة الحرارة المرغوبة للفولاذ السائل في التاندش لا يؤثر على جودة منتج الصب النهائي فحسب، بل يؤثر أيضًا على عملية الصب وإنتاجية ماكينة الصب المستمر. قد تؤدي درجة الحرارة المرتفعة جدًا إلى تسرب الفولاذ السائل عند الصب بينما قد تؤدي درجة الحرارة المنخفضة جدًا إلى توقف الصب. تتطلب كلتا الحالتين إصلاح ماكينة الصب المستمر، والتي يمكن أن تستغرق ما يصل إلى وردية عمل واحدة لتعديل الإنتاج وإعادة تشغيله. مثل هذه الإخفاقات مكلفة للغاية ويمكن أن تصل الخسارة السنوية للإنتاج بسهولة إلى ملايين الدولارات. على سبيل المثال، فترة توقف غير مقررة لمدة نصف وردية (4 ساعات) في مصنع صلب متوسط الحجم يعمل بطاقة 650,000 طن / سنة (حوالي 100 طن / ساعة) وينتج فولاذ إنشائي معتدل السعر (حوالي 500 دولار أمريكي) / طن) يؤدي إلى خسارة قدرها 200000 دولار في قيمة الإنتاج. لذلك، يجب اتخاذ احتياطات قوية لتجنب مثل هذه الإصلاحات المكلفة.

يرى الباحث أن الدراسة ركزت على خفض التكاليف الباهظة التي تنتج عن عدم ضبط درجة حرارة الفولاذ في البوتقة عند فرن المعالجة LF وذلك عن طريق ايجاد نموذج يساعد في ضبط درجة حرارة الفولاذ في فرن المعالجة LF.

في حين ركزت دراسة الباحث على أهمية وضرورة ضبط درجة حرارة وصول الصهرة إلى قسم الصب المستمر والتي تسهم بشكل مباشر في ضمان استمرارية عملية صب الصهرة بشكل مستمر دون توقف بسبب برودة المعدن أو دون تخفيض لسرعة الصب بسبب ارتفاع حرارة السائل المصهر على خفض كميات المنتج المعيب.

2-2 أهمية صناعة الحديد والصلب

2-2-1 ارتباط صناعة الحديد بالصناعات الأخرى والتي تتمثل في:

1- صناعات مغذية لصناعة الصلب مثل صناعة التعدين والحراريات والسبائك الحديدية.

2- صناعات مستهلكة لمنتجاتها من أهمها صناعة السيارات والسفن والأجهزة المنزلية والمعلبات وصناعة المعدات والعديد من الصناعات الهندسية الأخرى كما يوجد ارتباط وثيق بين صناعة الصلب ومشروعات المرافق والخدمات وقطاع البترول والغاز الطبيعي في عمليات الحفر والاستكشاف وخطوط النقل بالإضافة إلى قطاع التشييد والإسكان الذي يعتبر من أهم القطاعات المستهلكة لمنتجات الصلب في صورة منتجات طولية مثل حديدي التسليح والقطاعات الإنشائية.

2-2-2 دور صناعة الحديد بتأمين فرص العمل:

- تعتبر صناعة الحديد والصلب من الصناعات التي تتيح فرص عمالة جديدة، حيث لا يقتصر دورها في هذا الشأن على تلبية احتياجاتها الخاصة فقط، بل يمتد إلى إيجاد فرص عمالة في الصناعات المغذية لها والمستهلكة لمنتجاتها، ومن المعروف إحصائياً أن كل فرصة عمل في صناعة الحديد والصلب توفر حوالي تسع فرص للعمل في الصناعات الأخرى، كما أن كل وحدة استثمار في صناعة الصلب تفتح فرص استثمار مضاعفة قد تصل إلى عشرة أمثالها في القطاعات المغذية والمستهلكة لهذه الصناعة.

2-2-3 الفوائد الاقتصادية للحديد:

- يدخل الحديد في صناعة كل حاجاتنا اليومية الأساسية والكمالية تقريبا" ونتعامل معه في كل لحظة ودون أن نشعر، بدءاً من المساكن الى العربات والسيارات والمصانع والعدد والآلات والأجهزة الميكانيكية والكهربائية وادوات الطهو والأكل والشرب ... إلخ وأمور كثيرة لا يمكن حصرها.

يعتبر الحديد أكثر المعادن استخداماً في العالم حيث تبلغ نسبة إنتاج الحديد 95% من الإنتاج العالمي للمعادن ، وذلك لأسباب كثيرة أهمها:

- التكلفة المنخفضة.
- المواصفات العالية كالقسوة والمتانة والصلابة والصلادة.

- استخدام الحديد في صناعة هياكل السيارات والسكك الحديدية وعربات القطارات وهياكل السفن الضخمة وهياكل الطائرات بالإضافة الى معدات البناء والأجزاء الآلية المختلفة والمعدات الحربية.

- الحديد هو المادة الأولية التي تحتاجها الصناعة بشكل عام.

- يعتبر الحديد أهم مطالب الدول الصناعية أو الدول التي تتجه للصناعة والتطور التقني وخاصة السبائك والخلائط الحديثة التي جمعت أفضل الميزات المعدنية لتلبية الحاجات العصرية والتكنولوجية.

3-2 صناعة الحديد والصب

1-3-2 صناعة الحديد:

- لتحويل خام الحديد إلى فلز الحديد، لابد من إزالة الأكسجين من الخام.
وتتطلب هذه العملية حرارة وعوامل اختزال. وعامل الاختزال مادة يمكنها الاتحاد مع الأكسجين الذي ينطلق من أكسيد الحديد أثناء عملية التصنيع.

2-3-2 طرق صناعة الحديد

- يصنع الحديد إما بطريقة الفرن العالي أو بطريقة الاختزال المباشر.

1- طريقة الفرن العالي: يتفاعل خام الحديد مع عامل الاختزال عند درجات الحرارة العالية، حيث ينتج الحديد عندئذ في صورة منصهرة.

2- طريقة الاختزال المباشر: يكون الحديد المنتج في صورة جامدة لأن درجة الحرارة أثناء الاختزال تظل أقل من درجة حرارة انصهار الحديد.

3-3-2 تصنيع منتجات الحديد

1- الحديد الزهر.

2- الحديد المطاوع.

3- الفولاذ.

يستخدم أكثر من % 90 من الحديد المنتج من الأفران العالية في تصنيع الفولاذ وإنتاجه. والكمية الباقية يتم صبها في شكل كتل (تماسيح) حديد ينقل إلى وحدات المسابك لإنتاج كل من الحديد الزهر والحديد المطاوع.

4-2 إنتاج الحديد الزهر

يصنع الحديد الزهر في المسابك بصهر كتل (تماسيح) الحديد ويتم معالجتها إلى أنواع مختلفة من الحديد الزهر. ولكل نوع من أنواع الحديد الزهر المنتج تركيب كيميائي خاص به، كما تختلف خواص الأنواع المختلفة بعضها عن بعض.

ويسبك حديد الزهر في قوالب مختلفة للحصول على المنتجات المختلفة مثل الأنابيب ولقم المكنات وصنابير إطفاء الحرائق... إلخ

5-2 تصنيع الحديد المطاوع

لإنتاج الحديد المطاوع من (تماسيح) الحديد، يصهر العمال تماسيح الحديد عالية النوعية لإزالة معظم الشوائب منها. ويصب العمال الحديد المنصهر على كتل من الرمل الزجاجي المنصهر يطلق عليها خبث السليكات. ويكوّن مصهور الحديد مع السليكات كريات شبه إسفنجية. وتوضع الكريات الناتجة في مكابس حيث تعصر الكمية الزائدة من الخبث مخلفة وراءها كتلا من الحديد المطاوع يطلق عليها النورات. وتشكل نورات الحديد المطاوع إلى منتجات بصور مختلفة.

6-2 تصنيع الفولاذ

ينتج معظم الفولاذ في العالم من حديد التمساح المنصهر أو من الحديد الإسفنجي المنتج بالاختزال المباشر أو من خردة الحديد والفولاذ. وأساس صناعة الفولاذ هو إزالة الكميات الزائدة من الكربون والعناصر الشائبة الأخرى غير المرغوب فيها، مع إضافة المواد المطلوبة الأخرى بكميات متحكم فيها بصورة جيدة.

ويصنع الفولاذ بثلاثة أساليب أساسية:

1- أسلوب أفران الأكسجين القاعدي.
2- أسلوب فرن المجمرة المكشوفة.
3- أسلوب الأفران الكهربائية.

وفي كل واحد من هذه الأساليب الثلاثة تشحن المواد الأولية في الفرن، حيث تتم التفاعلات الضرورية لإنتاج دفعة من الفولاذ النقي. ويختلف معدل الإنتاج بصورة كبيرة بين الأساليب الثلاثة المذكورة. وتتراوح سعة أفران تصنيع الفولاذ بين 45 طنا" وما يزيد على 450 طنا".

1-6-2 صناعة الفولاذ بالمحوّلات:

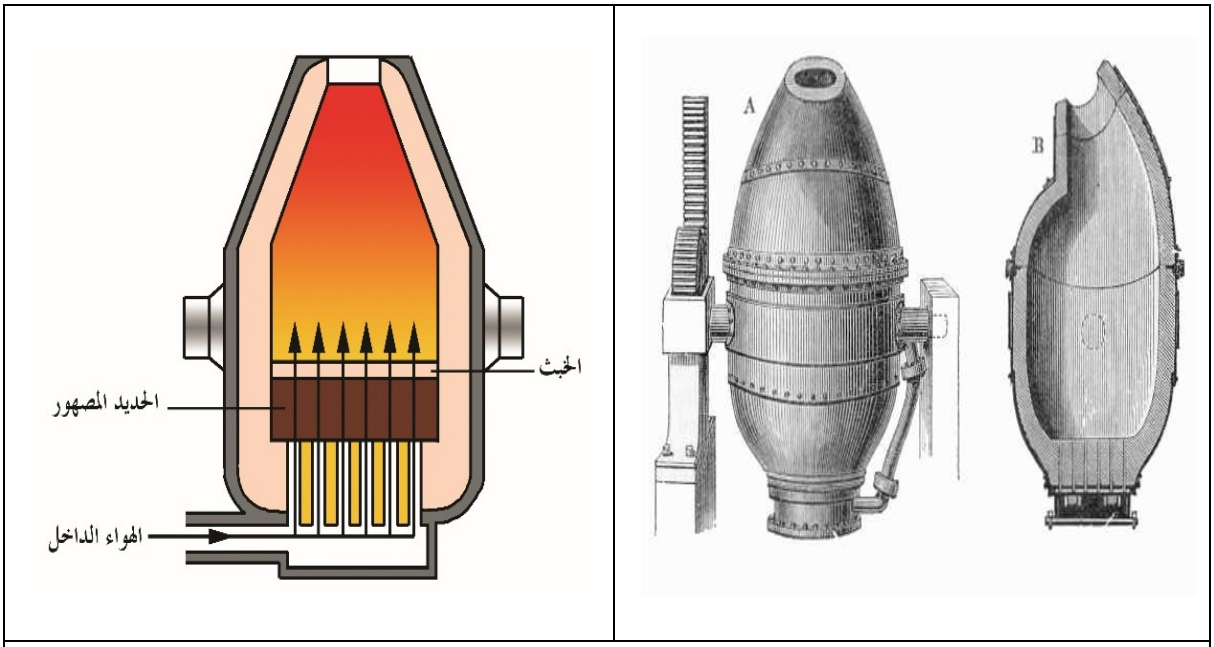
أهمها ثلاثة أنواع من المحوّلات:

أ - محول بسمر Bessemer converter: بدأ العمل به عام 1856.

وهو وعاء من صفائح الفولاذ مبطّن من داخله بآجر السيليكا الحراري ذي الطبيعة الحمضية. تحت قاعدته صندوق هواء مضغوط ومتصل بقعر الفرن عبر منافث (فالات) لضخ الهواء.

وهو محمول على قواعد، ومزود بآلية تسمح بإمالته من أجل الشحن والتفريغ (الشكل-1).

تعتمد الفكرة الأساسية للطريقة على إزالة الشوائب من الحديد عن طريق أكسدتها بدفع الهواء خلال الحديد المنصهر، فتتأكسد الشوائب وترتفع درجة حرارة الحديد ويبقى منصهراً نتيجة الحرارة الناتجة عن الأكسدة. وعند وصول نسبة الكربون إلى النسبة المطلوبة يوقف النفث ويمال المحول لإزالة الخبثُ، وتفرغ الشحنة الفولاذية؛ لتنقل من ثم إلى أماكن الصب.



الشكل (1) محوّل بسمر

لا تساعد الطبيعة الحمضية لمحول بسمر على التخلّص من الفوسفور والكبريت، لذلك لا تستخدم هذه المحولات إلا في معالجة الحديد الخام الفقير إلى هذين العنصرين نظراً لتأثيرهما السيئ في الخواص الميكانيكية للفولاذ.

ب - محول توماس Sidney Thomas converter: بدأ العمل بهذا المحول عام 1878.

يختلف عن محول بسمر في نوعية البطانة، إذ يبطن بالآجر الحراري المصنوع من الدولوميت CaCO3.MgCO3 مما يتيح إمكانية تشكيل خبث قلوي يسهم في تخليص الفولاذ من الفوسفور والكبريت. وتجدر الإشارة هنا إلى أن الخبث والبطانة يجب أن يكونا من طبيعة كيمياوية واحدة للحد من تآكل البطانة.

يستخدم هذا المحول لمعالجة الحديد الخام الفقير إلى السليكون والغني بالفوسفور والكبريت، فبعد إدخال شحنة الحديد الخام السائل إلى المحول يبدأ نفث الهواء، وتبدأ تفاعلات الاحتراق، وأهمها احتراق الفوسفور، إضافة إلى احتراق الفحم والسيليكون. غير أن أكسيد الفوسفور الناتج مركب غير ثابت، ولا يلبث أن يتفكك ويذوب من جديد في الحديد المصهور، لذلك تضاف كمية مناسبة من الحجر الكلسي الذي يتفكك إلى غاز الفحم وأكسيد الكالسيوم الذي ينصهر ويؤلف مع الأكاسيد الأخرى الطافية على سطح الحديد المصهور الخبث القلوي، وتزداد قلوية الخبث بزيادة نسبة أكسيد الكلسيوم فيه.

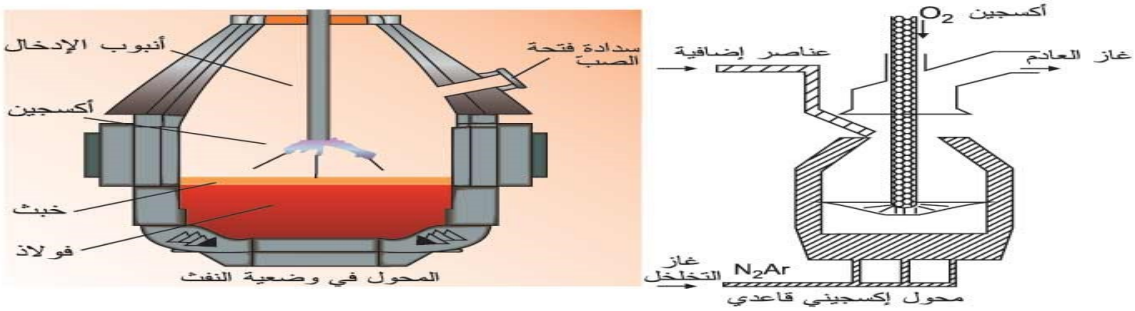
يتحد أكسيد الفوسفور الناتج من التفاعل السابق مع أكسيد الكلسيوم مشكّلاً مركّباً ثابتاً من الفوسفات يبقى في الخبث. أما الكبريت الذائب في الشحنة فغالباً ما يكون على شكل كبريت الحديد أو كبريت المنغنيز، وكلّ منهما يتفاعل مع أكسيد الكالسيوم. أما كبريت الكالسيوم الناتج فهو أيضاً مركب ثابت، لا يذوب في الحديد المصهور، ويخرج مع الخبث. وبهذا يمكن التخلص من الجزء الأكبر من الفوسفور والكبريت الموجودين في الحديد الخام. ويمكن الاستفادة من الخبث الناتج من محول توماس سماداً لاحتوائه على نسبة عالية من الفوسفات.

يؤخذ على كل من طريقتي بسمر وتوماس احتواء الفولاذ المنتج في كل منهما على نسبة من الآزوت تقلّل من قابليته للتشكيل، وتتسبب في تناقص مؤشرات خواصه الميكانيكية مع الزمن.

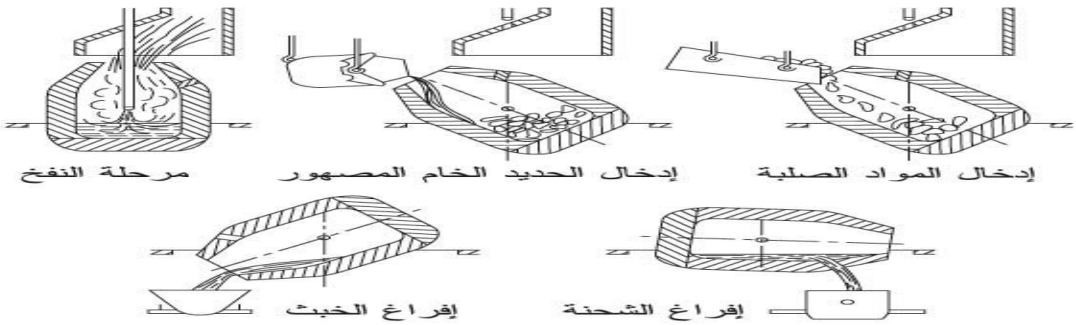
ج - المحول الأكسجيني L.D:

بدأ العمل به في عام 1949. في كل من مدينتي لينتس ودونافيتس النمساويتين.

لا يختلف شكل هذا المحول كثيراً عن محولي بسمر وتوماس، فهو يتكون من جسم أسطواني من الأسفل ومخروطي من الأعلى، قعره مسمط وتغطي فوهته من الأعلى قبة تؤدي إلى المدخنة، تخترق جدار القبة فتحة يدخل منها أنبوب ضخ الأكسجين، والمحول محمول من وسطه على قواعد تسمح بإمالته إلى الأمام للملء وتفريغ الخبث، وإلى الخلف لتفريغ الشحنة (الشكل 2 و3).



الشكل (2) المحوّل الأكسجيني



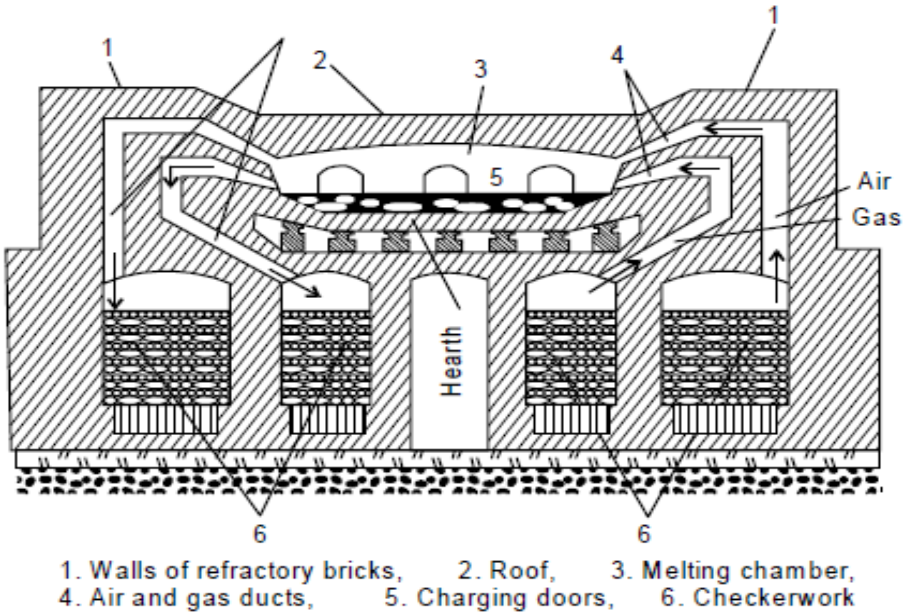
الشكل (3) مراحل عمل المحوّل الأكسجيني

يملأ المحول بكمية من خردة الفولاذ (بين 20 و30% من وزن الشحنة الكلي)، والباقي من الحديد الخام المصهور. يدفع بأنبوب ضخ الأكسجين فوق سطح السائل، ثم يبدأ ضخ الأكسجين، وتبدأ تفاعلات الاحتراق والأكسدة. في هذه الأثناء تضاف كمية مناسبة من الحجر الكلسي لتشكيل الخبث، وربط أكسيد الفوسفور وكبريت الكالسيوم وأكاسيد العناصر الأخرى، وعند الوصول بالتركيب الكيميائي للشحنة إلى التركيب المطلوب، يوقف ضخ الأكسجين، ويمال المحوّل إلى الخلف لتفريغ الفولاذ من فتحة خاصة في أعلى الجدار الخلفي، ثم إلى الأمام لتفريغ الخبث من فوهة المحول.

2-6-2 صناعة الفولاذ بالفرن المفتوح open- hearth furnace أو Siemens-Martin furnace:

يعمل الفرن على النحو الآتي:

يتم إحماء الفرن قبل البدء بإدخال مواد الشحنة بتسليط اللهب إلى الحوض من أحد جانبيه (اليساري مثلاً) لتخرج غازات الاحتراق من الجانب الآخر (اليميني) إلى حجرتي التقاط الخبث ثم إلى حجرتي الاسترجاع حيث تمتص شبكتا الآجر الجزء الأكبر من حرارتها قبل أن تغادر إلى المدخنة. وبعد فترة زمنية معينة (نصف ساعة وسطياً) يتبادل جانبا الفرن دورهما، فيصبح الجانب الآخر (اليميني) جانب تسليط اللهب؛ ليأتيه الهواء والوقود الغازي مسخنين بعد عبورهما حجرتي الاسترجاع، وبعد أن تكون قد أغلقت قنوات وصلهما بالمدخنة وفتحت قنوات وصلهما بالهواء والغاز، والعكس بالنسبة لحجرتي الاسترجاع في الجانب الأول (اليساري) التي أصبحت ممراً لغازات الاحتراق في طريقها إلى المدخنة (الشكل-4). ويستمر تبادل الأدوار بين جانبي الفرن وحجرات الاسترجاع التابعة لهما طوال فترة عمل الفرن.



الشكل (4) الفرن المفتوح وتوابعه

يتم إدخال كمية من فلز الحديد والحجر الكلسي، ثم تضاف خردة الحديد والفولاذ التي قد تصل نسبتها إلى 50% من وزن الشحنة المعدنية. وعندما تبدأ المواد الصلبة بالانصهار أو تكاد يصب فوقها الحديد

الخام السائل القادم مباشرة من الفرن العالي لتبدأ مراحل الصهر والتفاعلات الكيميائية وتشكيل الخبث الأولي. يؤدي فلز الحديد المضاف (أكسيد الحديد) الدور الرئيسي في تخليص الشحنة من الشوائب.

وتطفو أكاسيد السيليكون والمنغنيز الناتجة على سطح الحوض؛ لتؤلف مع الكلس وفلز الحديد طبقة من الخبث السائل الذي يستمر بالتفاعل مع الشحنة المعدنية.

وتزداد سرعة التفاعل عندما تنخفض نسبة السيلكون والمنغنيز في الشحنة، ويبدأ ما يسمى بمرحلة الغليان، للوصول إلى التركيب الكيميائي المطلوب للفولاذ يزال الخبث، وتفرغ الشحنة الفولاذية، ويبدأ تحضير الفرن لاستقبال شحنة جديدة.

غالبية الأفران المفتوحة مبطنة بالآجر القلوي كي يتم تشكيل الخبث القلوي الذي يساعد على التخلص من الفوسفور والكبريت، والقليل منها يعمل بالطريقة الحمضية.

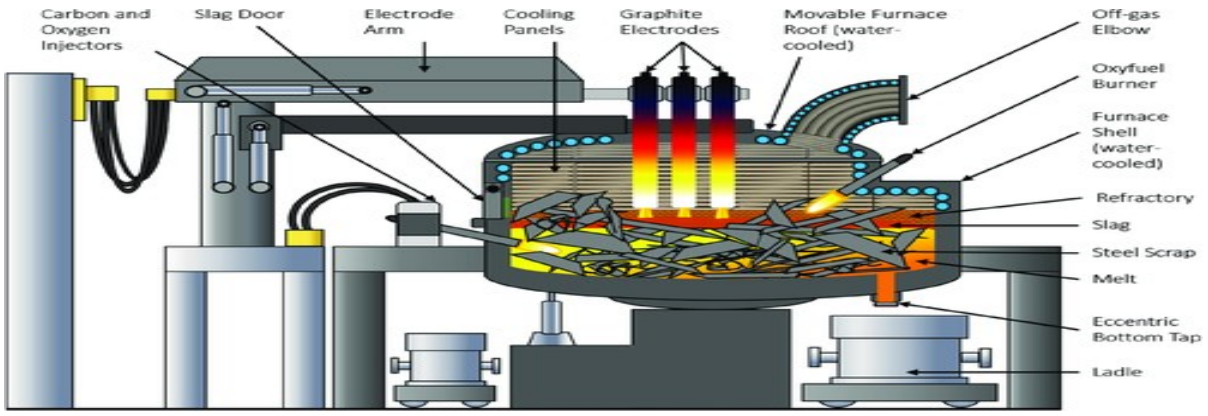
إن الفولاذ المنتج بالفرن المفتوح أفضل من الفولاذ المنتج بالمحولات حتى الأكسجينية منها، وذلك لإمكانية التحكم الأفضل بالتركيب الكيميائي ونقاء الفولاذ في فترة المعالجة التي تستغرق بين 6 و10 ساعات للشحنة الواحدة. وعلى الرغم من أن وزن شحنة بعض الأفران المفتوحة يصل إلى 600 طن من الفولاذ، فإن التكاليف الباهظة لبناء الفرن وملحقاته ومدة المعالجة الطويلة فيه، جعلت هذا النوع من الأفران يتراجع أمام المحولات الأكسجينية التي لا تبقى فيها الشحنة أكثر من نصف ساعة، وتقل تكاليف إنشائها كثيراً عن الفرن المفتوح، وهناك اليوم محولات تتسع لشحنة تتجاوز 200 طن من الفولاذ.

2-6-3 الأفران الكهربائية المستخدمة في صناعة الفولاذ:

آ - أفران القوس الكهربائية

يتكون الفرن من جسم أسطواني وقاعدة مقعرة وسقف محدب قابل للرفع والإزاحة، تتدلى من السقف ثلاثة أقطاب كهربائية (إلكترودات) من الغرافيت قابلة للتحريك إلى الأعلى والأسفل (الشكل 5). وأجزاء الفرن مبطنة بالآجر والمواد الحرارية التي غالباً ما تكون ذات طبيعة قلوية. أما مكونات الشحنة فهي خردة الفولاذ وقطع الحديد الخام الصلبة وفلز الحديد ومشكِّلات الخبث، مثل الحجر الكلسي وغيره. يتم إدخال مواد الشحنة بإنزالها إلى الفرن من الأعلى (بعد رفع السقف وإزاحته) باستخدام سلال فولاذية تنفتح من الأسفل، منزلةً مواد الشحنة في قاع الفرن، ثم يعاد السقف إلى مكانه وتخفض الأقطاب الكهربائية، لتصير على بعد من سطح الشحنة يسمح بإحداث القوس الكهربائية بينها وبين الشحنة لتبدأ

عمليات الإحماء والصهر، وتشكُّل الخبث، والتفاعلات الكيميائية، والوصول إلى التركيب الكيميائي المطلوب. يُزال الخبث، وتضاف العناصر السبائكية اللازمة؛ لتصير الشحنة جاهزة للتفريغ.

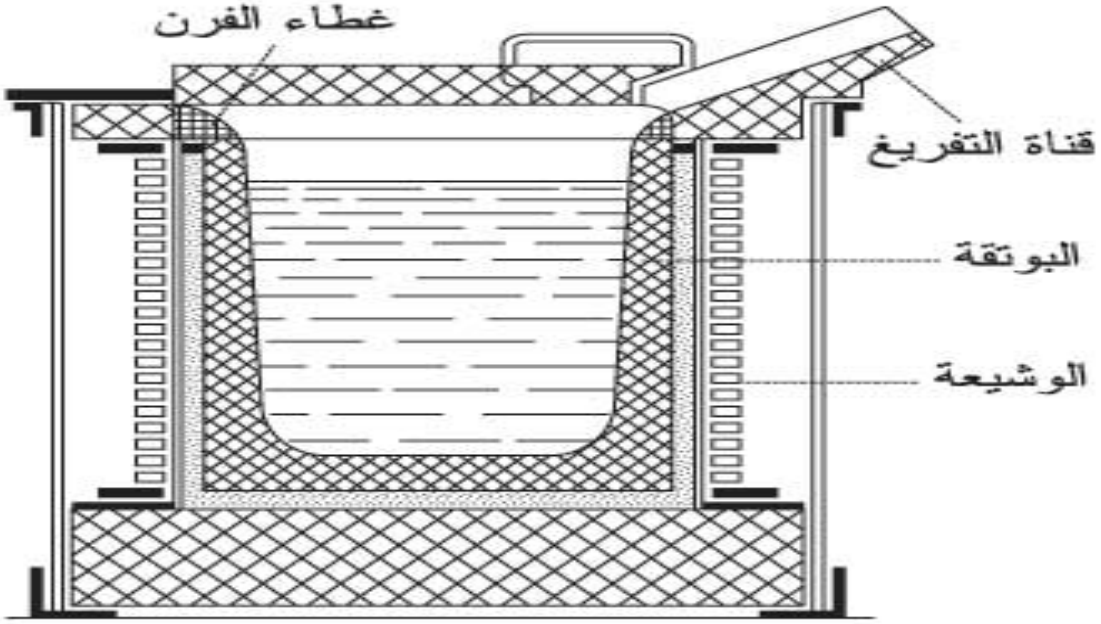


الشكل (5) فرن القوس الكهربائي

يعد الفولاذ المنتج بهذه الأفران أفضل أنواع الفولاذ لإمكانية التحكم الدقيق بالتركيب الكيميائي وتنقية الفولاذ من الشوائب، لذلك غالباً ما تستخدم هذه الأفران رديفاً لأفران الحوض المفتوح والمحولات الأكسجينية لتتم بها صناعة الأنواع الخاصة من الفولاذ، مثل فولاذ أدوات القطع والفولاذ المقاوم للحرارة، والمقاوم للتأكسد وغيرها.

ب - الأفران التحريضية

يتألف الفرن من بوتقة من الآجر الحراري، تحيط بها وشيعة كهربائية من أنابيب النحاس يجري فيها تيار مائي لتبريدها، متصلة بمنبع للتيار الكهربائي عالي التردد (الشكل-6). شحنة الفرن مماثلة لشحنة فرن القوس الكهربائي. بعد إدخال الشحنة إلى الفرن ووصل الوشيعة بالتيار الكهربائي تبدأ التيارات الإعصارية بالسريان بالشحنة المعدنية لتسخنها، ثم تصهرها بفعل أثر جول الحراري، وباختلاطها بفلز الحديد ومشكلات الخبث تبدأ تفاعلات التنقية من الشوائب وضبط التركيب الكيميائي على النحو الذي سبق ذكره في الأفران الأخرى. لدى الانتهاء يقطع التيار الكهربائي، وتترك الشحنة حتى تستقر، ويطفو الخبث على سطح الفولاذ المصهور؛ ليزال وتفرغ الشحنة. إن هذه الأفران غالباً ما تستخدم في مسابك للصهر أكثر منها لصناعة الفولاذ لصغر حجمها موازنة بالأفران الأخرى.



الشكل (6) فرن التحريض الكهربائي

4-6-2 أفران التخلية والخبث الكهربائي:

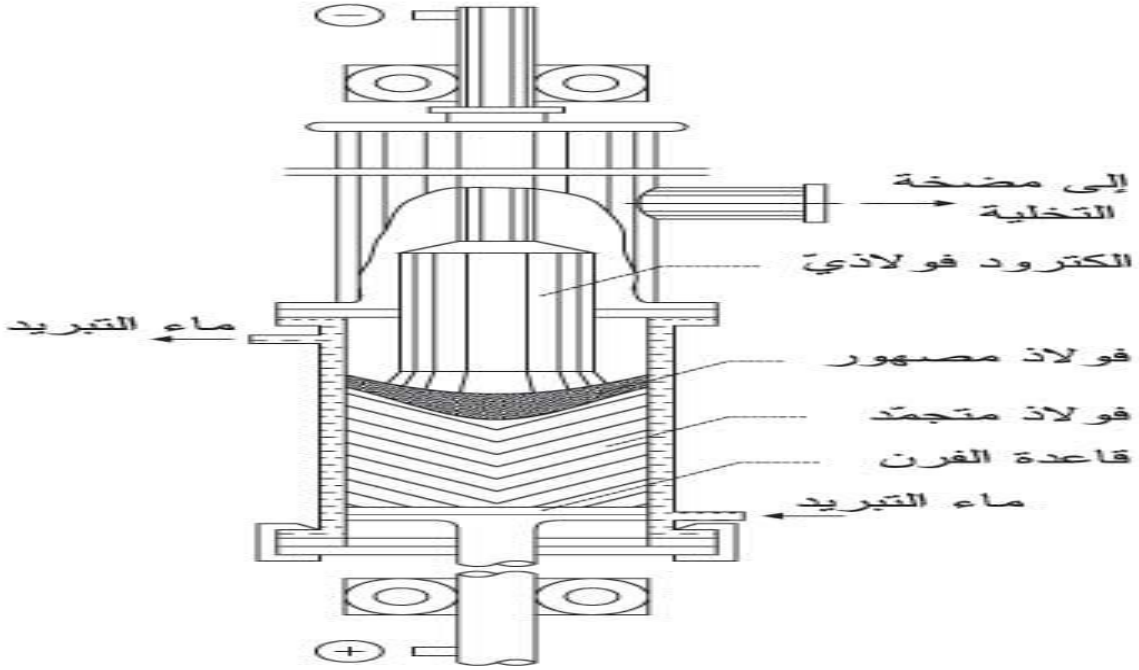
مجموعة من الطرائق يصنفها بعضهم بين طرائق صناعة الفولاذ، إلا أنها تستخدم غالباً لتنقية بعض الأنواع الخاصة من الفولاذ التي سبق صنعها بأحد الأفران السابقة الذكر. وأهم هذه الطرائق:

أ - فرن التحريض المخلّى

فرن تحريضي عادي، ولكنه متوضع في حجرة قابلة للتخلية حيث يتم شحن الفرن وصهر الشحنة وتفريغها وصبها في القوالب في جو من التخلية لتخليص الفولاذ من الغازات المنحلة فيه.

ب - فرن القوس الكهربائي المخلّى

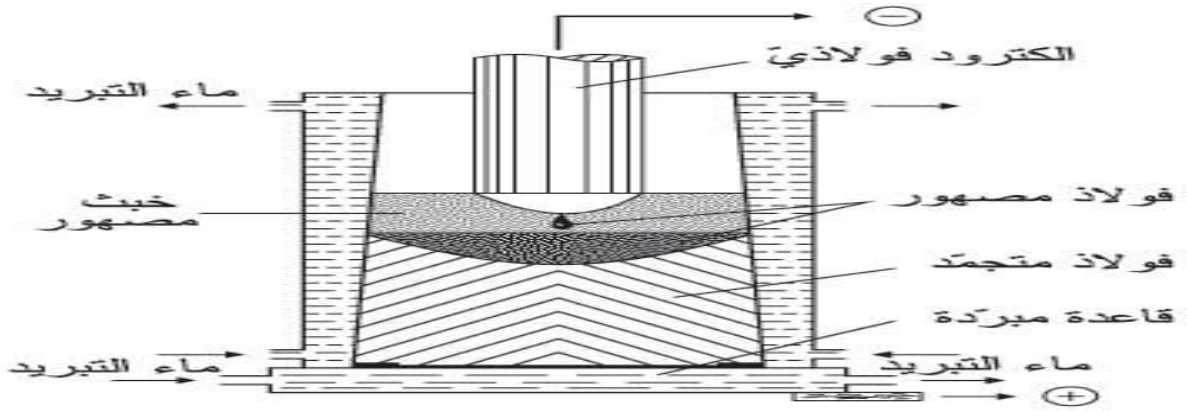
يختلف هذا الفرن عن فرن القوس الكهربائية السابق، حيث يتكون هنا جسم الفرن من قالب معدني على شكل موشور رباعي، جدرانه مفرغة؛ ليمر فيها تيار مائي لتبريدها في أثناء العمل. قاعدته صفيحة مفرغة أيضاً وقابلة للانزلاق داخل جسم الفرن. يتدلى من سقفه حامل الأقطاب (الالكترود)، ويكون القطب مقطعاً من الفولاذ المعد لإعادة الصهر. بعد إغلاق الفرن بإحكام يفرغ من الهواء ويوصل قطبا التيار الكهربائي إلى الالكترود وقاعدة الفرن لتنشأ بينهما قوس كهربائية تؤدي إلى البدء بصهر الالكترود على شكل قطرات تتساقط وتتجمّع فوق قاعدة الفرن؛ لتبدأ بالتجمد والنمو باتجاه الأعلى على حساب المصعد (الشكل-7).



الشكل (7) فرن القوس الكهربائي المخلّى

5-6-2 فرن الخبث الكهربائي Electro slag:

ما يحدّ من استخدام فرن القوس الكهربائي السابق التكلفة الباهظة لتجهيزات الفرن، لذلك كثيراً ما يستخدم بدلاً منه فرن الخبث الكهربائي الذي يشبهه من حيث الشكل، ولكنه يعمل بالمقاومة الكهربائية، حيث توضع بين الإلكترود (مقطع الفولاذ المعد للصهر) وقاعدة الفرن كمية من مشكلات الخبث، وبوصل قاعدة الفرن والإلكترود بالتيار الكهربائي تنصهر مشكلات الخبث بفعل مقاومتها وتصنع خبثاً سائلاً ملامساً للإلكترود الذي يبدأ بالانصهار على شكل قطرات تمر عبر الخبث السائل (ليعمل على تنقيتها) قبل أن تستقر على قاعدة الفرن وتتجمد بفعل التبريد المستمر(الشكل-8).



الشكل (8) فرن الخبث الكهربائي

6-6-2 فرن المعالجة (التكرير) أو فرن البوتقة (LRF)

في صناعة الصلب، بمجرد أن يتم تصنيع الفولاذ في فرن القوس الكهربائي أو فرن الحث، يتم نقله إلى البوتقة من أجل متابعة المعالجة (التكرير)، وتعديل التركيب الكيميائي، وتعديل التضمين (العناصر غير المرغوب بها وهي الشوائب)، وتعديل درجة حرارة السائل المصهور إلخ...

يتم تنفيذ جميع هذه المعالجات في البوتقة نفسها التي تشكل غلاف فرن المعالجة الشكل (9)، هذه العمليات تتطلب حرارة إضافية لتنفيذها، لذا يتم تزويد البوتقة بمصدر الحرارة عن طريق القوس الكهربائي الذي يقوم بتسخين المعدن السائل وتعويض الفاقد الحراري. وبالتالي، فإن الفرن الذي يتم فيه تحسين جودة الفولاذ السائل عن طريق المعالجة والتسخين في البوتقة، يسمى فرن معالجة أو تكرير البوتقة.

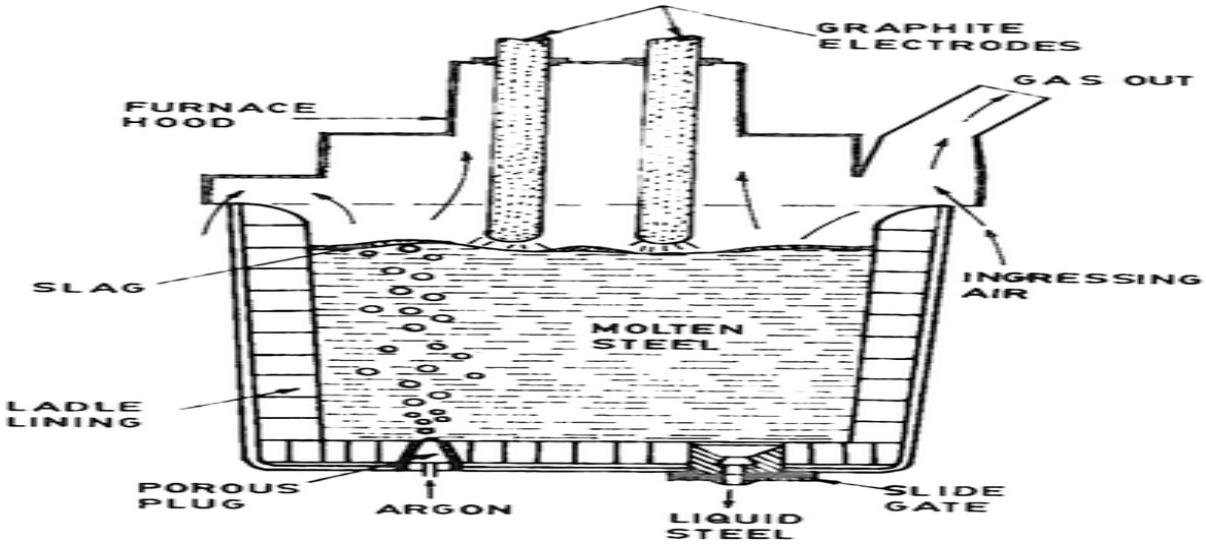
في مجال معالجة المعادن يُطلق على معالجة (تكرير)الفولاذ في البوتقة أيضًا اسم "التعدين الثانوي".

1-6-6-2 الغرض الرئيسي من LRF هو:

1- رفع درجة حرارة الصلب والتحكم في التركيب الكيميائي في المرحلة بين تفريغ الصهرة من الفرن القوسي EAF وبدء الصب في ماكينة الصب.
2- إزالة و / أو تعديل الشوائب.
3- العمل كمخزن مؤقت للصهرة في لوجستيات معمل الصهر.

بدون LRFs، يطلب عادة أن تكون درجات حرارة تفريغ الصهرة من فرن القوس الكهربائي EAF مرتفعة جدا" بسبب فقد الحرارة أثناء تفريغ الصهرة من فرن القوس الكهربائي وأثناء المعالجة (التكرير) باستخدام البواتق التقليدية.

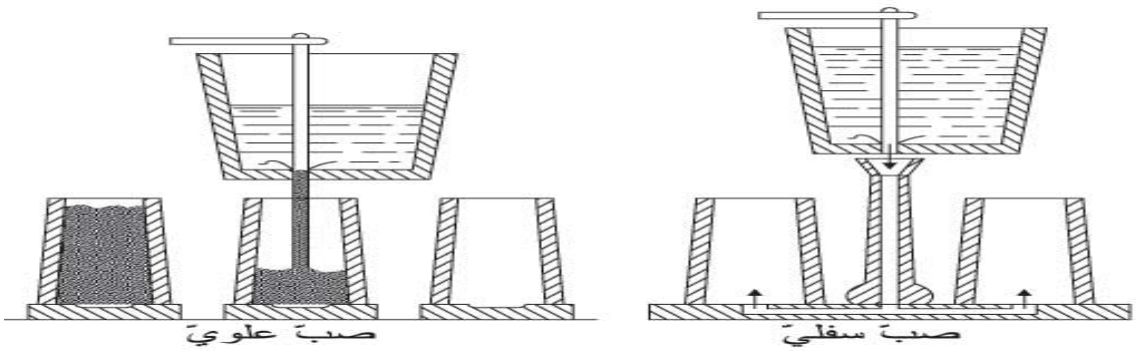
إن معالجة (تكرير) المعدن السائل هو تقنية مجربة لإنتاج فولاذ عالي الجودة.



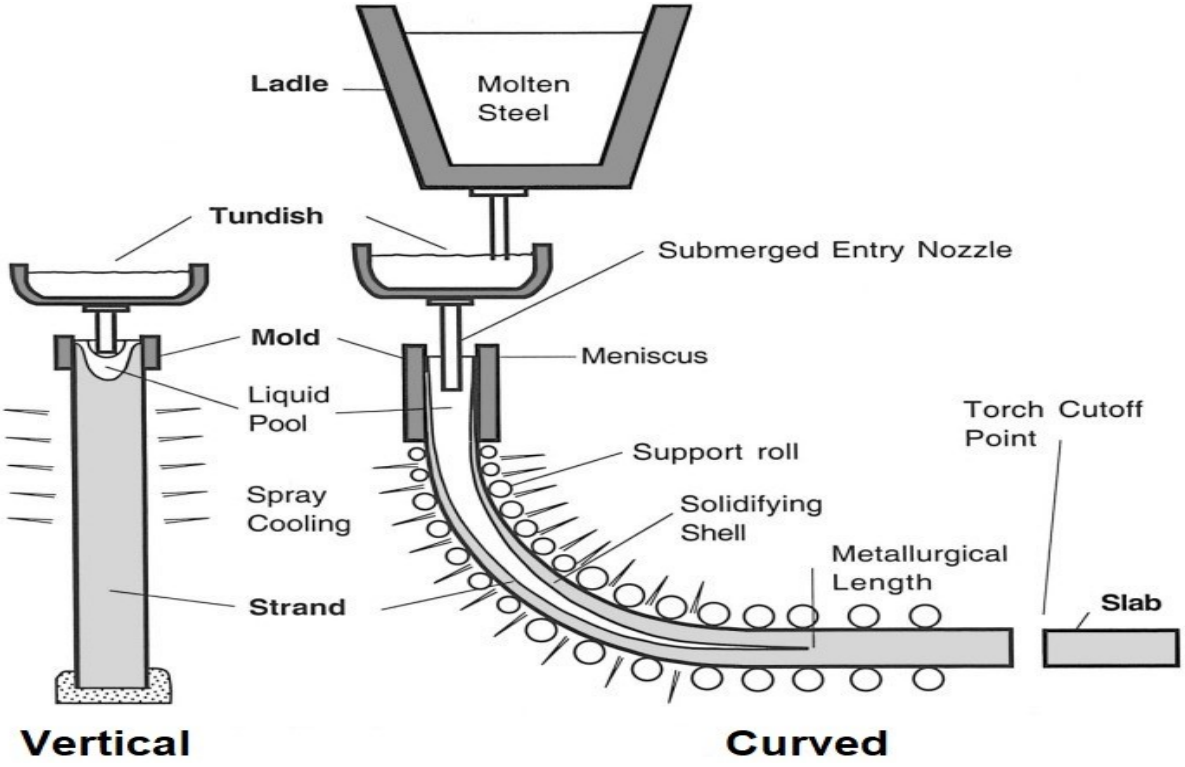
الشكل (9) فرن المعالجة

7-6-2 ماكينات الصب وإفراغ الشحنة المصهورة (قسم الصب)

يتم إفراغ الشحنة من كل الأفران في أوعية فولاذية كبيرة تشبه الدلاء، كل منها مبطّن بالآجر الحراري ومزوّد بفتحة سفلية يغلقها عمود يمتد داخل الدلو ومتصل بآلية لرفعه وخفضه. بعد امتلاء الدلو بالفولاذ السائل ينقل ليصب في قوالب؛ ليتجمد (يتبلور) في كتل كبيرة (جلاميد ingots) (الشكل-10)، أوفي آلة الصب المستمر المكونة من قالب مفتوح من النحاس المبرد بالماء ليتجمد فيه المعدن على شكل موشور رباعي لا نهائي يسحب من الأسفل بشكل متصل (الشكل-11)، ويقطّع بأطوال محددة للحصول على قضبان (بيليتات billets) ذات مقطع رباعي أصغر بكثير من مقطع الجلمود، ليختصر الكثير من عمليات التشكيل اللاحقة والضرورية لتحضير المنتجات نصف الجاهزة.



الشكل (10) صب الفولاذ في قوالب



الشكل (11) الصب المستمر للفولاذ

7-2 تصنيف الفولاذ:

تصنيفات الفولاذ كثيرة ومتداخلة، وتتمّ من منطلقات مختلفة:

1- طريقة الصنع مثلاً يصنف الفولاذ إلى فولاذ بسمر، وفولاذ سيمنس - مارتين، وفولاذ كهربائي وغير ذلك.

2- طريقة الإنهاء والتحضير للصب في القوالب يصنف الفولاذ في ثلاث مجموعات:

- فولاذ غير مخمّد rimming steel.
- وفولاذ نصف مخمّد semi-killed steel.
- وفولاذ مخمّد killed steel.

إذ إنه عند تفريغ الشحنة من الفرن لصبها في قوالب غالباً ما تكون حاوية على كمية من أكسيد الحديد الذي يستمر أكسجينة بالتفاعل مع الفحم، وإطلاق فقاعات أول أكسيد الفحم، فهو غير مخمّد، ويمكن أن يؤلف فجوات غازية داخل البنية الصلبة بعد التجمد. وللتخفيف من هذه الظاهرة تضاف كمية من السيليكون (فرو سيليكون) لربط جزء من الأكسجين على شكل سيليكا تطفو على سطح

المصهور ويصبح الفولاذ نصف مخمّد. أما التخلص من الأكسجين كلياً وجعل الفولاذ مخمّداً فيضاف الألمنيوم.

3- العناصر الداخلة في التركيب الكيميائي فيصنف الفولاذ في مجموعتين رئيسيتين:

- فولاذ فحمي.
- فولاذ سبائكي.

وتندرج تحت كل منهما عشرات بل مئات الأنواع من الفولاذ.

4- التصنيف التجاري الذي يأخذ بالاعتبار مجالات استخدامه فيصنف تجاريا" إلى:

فولاذ التسليح (المستخدم في أعمال البناء)، وفولاذ الإنشاءات، وفولاذ العدد وأدوات القطع، وفولاذ قوالب التشكيل، والفولاذ المقاوم للصدأ، والفولاذ المقاوم للحرارة وغيره. وتندرج تحت كل من هذه العناوين مجموعة من الأنواع تجمع بينها ميزات تجعلها صالحة للاستخدام في مجال معيّن أكثر من صلاحيتها لأغراض أخرى.

(3)

الفصل الثالث

الإطار العملي

يتناول هذا الفصل تقديم الجانب العملي للبحث والذي يتضمن جمع البيانات العملية للبحث وتحليلها.

كما قام الباحث بالتطرق إلى عدد من المشاكل التشغيلية المرافقة للعملية الإنتاجية ذات الصلة بمشكلة البحث وتساعد على إبراز علاقة المتغيرات المستقلة للبحث التي تم التطرق إلى دراسة أثرها في كميات المنتج المعيب بالإضافة إلى تحليل البيانات العملية التي تم جمعها خلال فترة الدراسة.

- لمحة عن شركة الصناعات المعدنية حديد -

تعمل شركة حديد على صهر الخردة المعدنية وإنتاج المربعات الفولاذية (عروق البليت) وفق المواصفات العالمية المستخدمة في إنتاج حديد التسليح لمختلف الأعمال الإنشائية. تقدم حديد مجموعة واسعة من المنتجات.
تهتم الشركة بإنتاج الصلب الصهر والدرفلة، وتعتبر من أكبر معامل صناعة الصلب في سوريا.
تقع الشركة في مدينة عدرا الصناعية في ريف دمشق.

تتألف الشركة من عدد من الوحدات المرتبطة مع بعضها البعض: معمل الصهر ومعمل الدرفلة ووحدة تجهيز الخردة والمحطات المساعدة (محطة تحويل الكهرباء ومحطة فصل الغازات ومحطة معالجة المياه)

يتألف معمل الصهر بفرن القوس الكهربائي من الأقسام الرئيسية التالية:

1-3 قسم الخردة Scrap

والذي يضم ساحات لاستقبال وفرز وتجميع الخردة والآليات المخصصة لنقل وفرز وتجميع الخردة مثل الشاحنات والكباشات وأليات مخصصة لتجهيز الخردة مثل المكابس التي تقوم بكبس الخردة وتحويلها إلى بالات.

1-1-3 الخردة Scrap

تعتبر خردة الفولاذ المادة الخام الرئيسية لصناعة الفولاذ في فرن القوس الكهربائي، وتتطلب عمليات أفران القوس الكهربائي أنواعًا مختلفة من الخردة الحديدية وفقًا لوصفات وخصائص الفولاذ المختلفة.

2-1-3 مصادر الخردة رئيسية

1- الخردة المستصلحة: والتي يتم الحصول عليها من السيارات القديمة والمباني المهدمة والآلات والأشياء المنزلية المهملة.

2- الخردة الصناعية.

3- الخردة المرتجعة: من عمليات تصنيع وتشكيل الصلب (نهايات رؤوس البليت من عمليات الدرفلة، والفاقد المعدني في الخبث وما إلى ذلك).

يميل الشكلان الأخيران من الخردة إلى أن يكونا نظيفين، أي أنهما قريبان في التركيب الكيميائي من تركيبة الصلب السائل المرغوبة، وبالتالي فهي مثالية لإعادة التدوير.

كلما انخفضت درجة الخردة، يمكن أن تكون هذه الخردة أرخص ولكن عائد الصلب السائل يمكن أن يكون أقل بكثير من الناتج عند استخدام خردة أعلى درجة. بالإضافة إلى ذلك، يمكن أن تؤدي المكونات غير المرغوب فيها ضمن الخردة إلى زيادة متطلبات الطاقة والمشاكل البيئية. ومن ثم فإن قرار استخدام مزيج الخردة داخل معمل إنتاج معين يعتمد في كثير من الأحيان على عدة عوامل بما في ذلك التوافر، وتكلفة الخردة، وتكلفة الصهر، والمردود، والتأثير على العمليات الإنتاجية.

3-1-3 إجراءات ضمان تحسين الخردة

1- تحديد معايير القبول في أوامر شراء الخردة بناء" على متطلبات العملية الإنتاجية.
2- معرفة تكوين الخردة.
3- مراقبة منشأ الخردة.
4- التحقق من مطابقة الخردة للمواصفات عند استقبالها واستلامها.
5- استبعاد الخردة غير المناسبة للاستخدام.
6- تخزين الخردة وفقًا لمعايير مختلفة (مثل الحجم والسبائك ودرجة النظافة).
7- توزيع الخردة وفقا" لأنواع الصهر المختلفة مع مراعاة معرفة التركيب من أجل استخدام الخردة الأنسب لدرجة الصلب المطلوب إنتاجها. (وهذا ضروري في بعض الحالات لتجنب وجود عناصر غير مرغوب فيها وفي حالات أخرى للاستفادة من عناصر السبائك الموجودة في الخردة والمطلوبة لإنتاج درجة الصلب).
8- نقل الخردة الناتجة داخليا إلى ساحة الخردة لإعادة تدويرها.
9- عزل الملوثات الخطرة أو غير الحديدية، من المفترض يتم ذلك من قبل مورد الخردة.
10- فحص جميع أحمال الخردة لأسباب تتعلق بالسلامة.

11- الكشف عن النشاط الإشعاعي.

12- إزالة المكونات التي تحتوي على الزئبق الذي يتواجد بشكل خاص بالمركبات منتهية الصلاحية ونفايات المعدات الكهربائية والإلكترونية.

3-1-4 أثر الخردة على زيادة زمن الصهرة الكلي

إن لنوع الخردة وحجمها وزنها وتركيبها الكيميائي تأثير كبير على سير العملية الإنتاجية في معمل الصهر بفرن القوس الكهربائي EAF فالخردة غير الخاضعة للفرز والتحليل تؤدي إلى زيادة زمن الصهرة الكلي وذلك لعدة أسباب منها:

1- تؤدي الخردة خفيفة الوزن ذات الحجم الكبير إلى زيادة عدد شحنات الفرن من الخردة للصهرة الواحدة أي بدلا" من أن يتم شحن نفس الوزن من الخردة على دفعتين سيتم شحنه على ثلاث دفعات أو أربعة دفعات وبالتالي زيادة في زمن الصهرة.

2- تحتاج الخردة الخفيفة الوزن إلى الكبس ضمن الفرن لتسمح بإغلاق سقف الفرن وذلك يتطلب وقت ويزيد من زمن الصهرة أيضا".

3- تخرج في كثير من الأحيان الخردة الخفيفة الوزن خارج إطار الفرن وتتسبب بحدوث أضرار بتجهيزات الفرن وبالتالي توقف الفرن لإجراء الصيانات اللازمة الناتجة عن سقوط الخردة على تجهيزات الفرن وهذا يعني زيادة في زمن الصهرة.

4- سقوط قطع الخردة كبيرة الحجم أمام الحواقن يؤدي إلى ارتداد شعلة الحاقن باتجاه جدار الفرن وضعف فعالية الحواقن.

5- عدم فرز الخردة يؤدي إلى خلل في تركيب الصهرة الكيميائي يتطلب أخذ زمن إضافي للعمل على معالجة خلل التركيب مثل معالجة زيادة محتوى الكربون أو الفوسفور.

لهذا الأسباب، يجب تخزين الخردة المشتراة أو المنتجة داخليًا والمعاد تدويرها بشكل منفصل، وأن يتم فرز الخردة على أساس وزنها وحجمها وتحليلها الكيميائي. وأن يتم توزيعها بناء" على ذلك في عنابر الخردة المنفصلة لكل نوع مختلف من الخردة.

يجب رفض الخردة التي لا تصلح للمعالجة بسبب محتواها من المعادن الثقيلة أو غيرها من المواد غير المرغوب فيها أو الخطرة، والعمل على توصيف الخردة المستخدمة بدقة، وفقا" لمتطلبات العمليات الإنتاجية اللاحقة.

يعد فرن القوس الكهربائي هو الطريقة الأكثر شيوعًا لإعادة تدوير الفولاذ من الخردة.

من خلال صهر الخردة في فرن القوس الكهربائي، يمكن إنتاج فولاذ وظيفي جديد من المنتجات القديمة. بدلاً من الاعتماد فقط على الفلز القائم على استنزاف موارد المواد الخام، حيث يمكن إعادة استخدام عناصر الصلب الأساسية وسبائك الفولاذ القيمة، وهو أمر مفيد من وجهة النظر الاقتصادية والبيئية.

2-3 قسم الصهر

يتم إنتاج الفولاذ السائل على ثلاث مراحل:

1-2-3 مرحلة التصنيع الأولية

صهر الحديد في فرن القوس الكهربائي للحصول على منتج بحاجة لإكمال عمليات معالجته.

1-1-2-3 فرن القوس الكهربائي Electric Arc Furnace

فرن القوس الكهربائي (EAF)هو فرن لتصنيع الصلب، يتم فيه تسخين خردة الصلب وتذويبها بواسطة حرارة الأقواس الكهربائية الضاربة بين أقطاب الفرن والسائل المعدني.

تتم عملية الصهر على مراحل تنتج دفعات من الفولاذ السائل (LS) المعروفة "بالصهرات". تتكون دورة الصهرة الكلية Tap To Tap Time في فرن القوس الكهربائي من عدة خطوات تتكون من (1) شحن الفرن، (2) الصهر، (3) التكرير، (4) إزالة الخبث، (5) الصب، (6) إمالة الفرن. تهدف أفران القوس الكهربائي EAF في الوقت الحالي إلى الحصول على زمن صهر كلي أقل من 60 دقيقة. تحقق بعض أفران القوس الكهربائي ذات الأصداف المزدوجة زمن صهر كلي من 35 دقيقة إلى 40 دقيقة.

1- شحن الفرن

شحن الخردة في فرن القوس الكهربائي: يتم إعداد سلال من الخردة وفقًا لاحتياجات تشغيل فرن القوس الكهربائي. يعد تحضير حاوية الشحن عملية مهمة، ليس فقط لضمان انصهار كيميائي مناسب ولكن أيضًا لضمان ظروف انصهار جيدة. يتم وضع الخردة في طبقات ضمن سلة

شحن الخردة وفقًا للحجم والكثافة لتعزيز التكوين السريع لحوض السائل المصهور من الفولاذ في الفرن مع توفير الحماية للجدران الجانبية والسقف من إشعاع القوس الكهربائي.

يتم رفع السقف والأقطاب الكهربائية إلى جانب الفرن. وتشحن الخردة في الفرن ويتم إعادة السقف والأقطاب الكهربائية إلى مكانهما فوق الفرن. يتم إنزال السقف ثم يتم إنزال الأقطاب الكهربائية لعمل قوس على الخردة. يعتمد عدد سلال شحن الخردة اللازمة لإنتاج صهرة الصلب بشكل أساسي على حجم الفرن وكثافة الخردة.

نظرًا لأن الشحن يمثل وقتًا ميتًا ويتم فقدان الطاقة في كل مرة يتم فيها فتح سقف الفرن لذلك يساعد التقليل من هذه الأوقات الميتة على زيادة إنتاجية فرن القوس الكهربائي إلى الحد الأقصى. بالإضافة إلى ذلك، يهدف تشغيل فرن القوس الكهربائي إلى تقليل عدد سلال الخردة إلى 2 أو 3 سلال لكل صهرة، ويتم مزج الخردة لتلبية هذا المطلب.

2- الصهر (الذوبان)

يتم توفير الحرارة اللازمة لصهر خردة الفولاذ بواسطة أقواس كهربائية، يتم إنشاؤها بين الأقطاب الكهربائية والخردة في الفرن. يحدث ذوبان الخردة عند درجة حرارة تتراوح من 1500 درجة مئوية إلى 1550 درجة مئوية، اعتمادًا على تكوين خردة الصلب.

وبمجرد ذوبان شحنة الخردة النهائية بالكامل، في هذه المرحلة، يتم أخذ درجة حرارة حوض السائل المصهور والعينة. يسمح تحليل عينة السائل المصهور للمشغل بتحديد كمية O2 التي سيتم ضخها أثناء التكرير. في هذه المرحلة، يمكن للمشغل أيضًا البدء في الترتيب لعمل إضافات السبائك الحديدية.

3- التكرير (المعالجة)

بعد صهر الخردة، تزداد درجة الحرارة عادة بحيث يمكن إجراء تفاعلات التكرير. يمكن حقن O2 و C في طور الصلب ومرحلة الخبث على التوالي. ومع ذلك، يمكن أن تؤدي التفاعلات أيضًا إلى إنتاج منتجات ضارة بجودة الفولاذ وبالتالي يجب التعامل معها بعناية. للقيام بذلك، يتم تشكيل الخبث بمساعدة عوامل تشكيل الخبث، مثل الكلس والدولوميت والفلورسبار. عادة ما يطفو الخبث، ذو الكثافة الأقل من الفولاذ، على سطح الفولاذ. بالإضافة إلى امتصاص الشوائب من الفولاذ، فإن الخبث يحمي الفولاذ أيضًا من الغلاف الجوي. بالإضافة إلى ذلك، فهو يحمي جدران الفرن من الأقواس، وبالتالي يزيد من الكفاءة الكهربائية. ومن ثم فمن الأهمية بمكان الحفاظ على جودة عالية من الخبث وتزويده بخصائص الرغوة.

تتضمن عمليات التكرير في فرن القوس الكهربائي تقليديًا إزالة P ، و S ، و Al ، و Si ، و Mn، و C من الفولاذ.

4- إزالة الخبث

يتم إجراء عمليات إزالة الخبث لإزالة الشوائب من الفرن. أثناء مرحلة الصهر وعملية التكرير، تتأكسد بعض المواد غير المرغوب فيها داخل السائل المصهور وتدخل في مرحلة الخبث. من المفيد إزالة أكبر قدر ممكن من الفوسفور في الخبث في وقت مبكر من الحرارة قدر الإمكان (أي عندما تكون درجة حرارة السائل المصهور لا تزال منخفضة). يميل الفرن للخلف ويسكب الخبث من الفرن عبر باب الخبث. إزالة الخبث يقضي على إمكانية ارتداد الفوسفور P.

5- الصب

بمجرد تحقيق التركيبة الفولاذية المطلوبة ودرجة الحرارة في الفرن، يتم فتح فتحة الصب الموضوعة في أسفل الفرن. بحيث يتم إمالة الفرن، ويصب الفولاذ في بوتقة لنقلها إلى عملية المعالجة التالية (عادةً ما يكون فرن البوتقة) LF.

أثناء عملية الصب، تتم إضافات السبائك المعدنية بناءً على تحليل السائل المصهور ودرجة الفولاذ المطلوبة. ويمكن إضافة مزيلات التأكسد إلى الفولاذ لخفض محتوى الأكسجين قبل إجراء مزيد من المعالجة. يشار إلى هذا عادةً باسم "قتل الفولاذ ."

مزيلات التأكسد الشائعة هي Si في شكل الفيروسيليكون أو السيليكون المنغنيز وAl .

6- إمالة (دوران) الفرن

دورة دوران الفرن هي الفترة التي تلي اكتمال الصب حتى يتم إعادة شحن الفرن للصهرة التالية. خلال هذه الفترة، يتم رفع الأقطاب الكهربائية والسقف ويتم فحص بطانة الفرن للتأكد من عدم وجود أضرار للبطانة المقاومة للحرارة. إذا لزم الأمر، يتم إجراء إصلاحات للبطانة الحرارية، ويتم ملء فتحة الصب بالرمل.

2-2-3 مرحلة التصنيع الثانوية

يتم فيها معالجة الفولاذ في فرن المعالجة أو فرن البوتقة LF.

1-2-2-3 فرن المعالجة (فرن البوتقة) Ladle Furnace

تُستخدم البواتق لنقل الفولاذ السائل في معمل صهر الفولاذ فبعد أن يتم صب الفولاذ من فرن القوس الكهربائي في البوتقة يتم نقلها إلى عملية المعالجة التالية (فرن البوتقة) LF. لإجراء مزيد من المعالجة في فرن البوتقة بحيث يتم تكرير الصلب تحت طبقة من خبث البوتقة، تحدد الخصائص الفيزيائية والكيميائية لهذا الخبث جودة الفولاذ المنتج، يسمح تكرير الصلب في البوتقة بإنتاج الفولاذ بنظافة وكفاءة عالية طالما تم استخدام الخبث المناسب والكمية المناسبة من الخبث في بوتقة صناعة الصلب.

بعد بناء الخبث، يتم إجراء تعديل نهائي لتركيبة الصهرة وتصحيح درجة حرارة الصهرة النهائية. تنتهي المعالجة في عمليات تصنيع الفولاذ الثانوية في فرن البوتقة عند تحقيق درجة الحرارة المطلوبة للفولاذ وتكوينه الكيميائي. ثم يتم نقل البوتقة إلى آلة الصب المستمر لصب الفولاذ السائل.
إن طبقة الخبث المتشكلة تحمي الفولاذ السائل من إعادة الأكسدة وتعمل كعازل لتقليل فقد الحرارة من الفولاذ السائل إلى المناطق المحيطة أثناء صب الفولاذ السائل. تنتقل الحرارة بالتوصيل والحمل والإشعاع.

3-2-2-2 الجوانب الثلاثة المهمة التي يجب أن تهتم بها صناعة الصلب الثانوية

1- الوقت (زمن معالجة الصهرة).
2- درجة حرارة الصهرة.
3- المواصفات الكيميائية للصهرة.

مع ظهور الصب المستمر، من الضروري أن تصل الصهرة إلى آلة الصب في الوقت المحدد. يمكن أن يتسبب أي تأخير في حدوث اضطراب في التسلسل وينتج عنه اختناق ناتج عن تجمع البواتق عند فرن المعالجة، مما يؤدي في النهاية إلى توقفات في العملية الإنتاجية وانخفاض الربحية لاحقًا.

في فرن البوتقة يتم تحويل الحديد الساخن الناتج من فرن القوس الكهربائي إلى منتج فولاذي عالي الجودة وقابل للبيع، من خلال معالجة الفولاذ السائل وتحقيق تجانس الصهرة ونقلها إلى ماكينة الصب المستمر في الوقت المحدد، وفي درجة الحرارة المناسبة، والمواصفات الكيميائية المطلوبة.

3-2-3 مرحلة الصب المستمر

يتم نقل الفولاذ السائل الموجود في البوتقة إلى ماكينة الصب.

الصب المستمر هو عملية الربط المهمة بين صناعة الصلب والدرفلة، وقد نمت طريقة صب الفولاذ بطريقة باستخدام أسلوب الصب المستمر ليصبح أكبر طريقة للصب، متجاوزًا طريقة صب السبائك الفولاذية التقليدية.

تتميز طريقة الصب المستمر بالكثير من الفوائد مقارنة بطرق صب السبائك القديمة.

1-3-2-3 المزايا الرئيسية للصب المستمر:

1- تحسين جودة الفولاذ.
2- تحسين العائد.
3- توفير الطاقة
4- تخفيض القوى العاملة.

حاليا يتم تصنيع حوالي 95 ٪ من إنتاج الصلب في العالم عن طريق الصب المستمر.

يتم فتح الفوهة الموجودة في الجزء السفلي من البوتقة ويتدفق الفولاذ بمعدل متحكم فيه إلى البوتقة الوسيطة ومن البوتقة الوسيطة عبر فوهات الصب إلى قالب واحد أو عدة قوالب.

عادة ما تكون القوالب عبارة عن قوالب نحاسية مبردة بالماء. يحدث التصلب الأول في واجهة المعدن / القالب. يزداد سمك الغلاف المتصلب تدريجياً عندما يتم سحبه من خلال الماكينة.

عند مخرج القالب، يجب أن تكون القشرة سميكة بما يكفي لدعم تجمع السائل.

تحت القالب، يتم تبريد القشرة عن طريق رش الماء. يسمى تبريد القالب بالتبريد الأولي والتبريد بالرش بالتبريد الثانوي.

في نهاية ماكينة الصب، يتم قطع المنتج ونقله ليتم فيما بعد ذلك درفلته.

التحدي الكبير في الصب المستمر هو صب الفولاذ بشكل مستمر دون انقطاع وبدون أنواع كثيرة من العيوب. لذا يجب التحكم في التركيب الكيميائي للفولاذ، وفي سرعة الصب، ودرجة حرارة الفولاذ السائل.

تعتبر صناعة الصلب الثانوية والصب المستمر مراحل المعالجة المركزية والتي لها تأثير قوي على الجودة النهائية لمنتجات الصلب. تتكون معالجة الصلب السائل في البوتقة والتاندش والقالب والتصلب النهائي من سلسلة معقدة من الظواهر الكيميائية والفيزيائية والحرارية المتعاقبة. لذا يعد التحكم الصارم والتشغيل السلس مهمين للغاية ولكنهما يمثلان مهام صعبة للغاية بسبب ندرة القياسات المباشرة التي من شأنها أن تصف التغيرات الديناميكية في كيمياء الصلب ودرجة الحرارة وظروف التدفق والتفاعلات.

3-3 الدراسة العملية

تم في هذه الدراسة العمل على تحليل المشاكل التي أدت إلى إنتاج منتج معيب في معمل الحديد بسبب زيادة زمن الصب وزيادة مدة تعرض السائل المصهور لظروف الأكسدة المحيطة والعمل على إلغاء الأسباب المؤدية لذلك أو الحد منها قدر المستطاع وذلك عن طريق ضبط عدد من مدخلات عملية الإنتاج والممارسات الإنتاجية وإدارتها وتقديم الحلول التي تساهم في تحقيق جودة المنتج النهائي لمعمل الحديد بشكل دائم.

يرافق عمليات الانتاج في معمل صهر الحديد بفرن القوس الكهربائي EAF مشاكل عديدة في ممارسات العملية الإنتاجية.

تبدأ من تحضير الخردة Scrap أولا" وعملية شحنها في سلال خاصة إلى فرن الصهر EAF، وأيضا" خلال عملية الصهر في فرن القوس الكهربائي EAF.

ويمكن أن تحدث العديد من المشكلات ذات الطبيعة الإنتاجية ومشكلات أخرى مرتبطة بمشاكل صيانة معدات الفرن أو التجهيزات المكملة للفرن والتي تسبب العديد من التوقفات للفرن وهذه التوقفات من شأنها أن تؤثر على سير العملية الإنتاجية المستمرة للفرن.

3-3-1 المشاكل التي تسبب توقفات وتؤثر على سير العملية الإنتاجية

1- زيادة زمن الصهرة الكلي Tap-To-Tap time.
2- نقص وزن الصهرة أي وزن السائل المصبوب Tapped Weight من فرن القوس الكهربائي EAF.

- والذين يؤثران سلبا" على سير العملية الإنتاجية لمصنع الصهر ككل ويسهمان مباشرة في خفض سرعة الصب للمحافظة على سير العملية الإنتاجية وبالتالي زيادة زمن صب الصهرة وبالتالي زيادة مدة تعرض السائل المصهور لظروف الأكسدة.

3- خلل في التركيب الكيميائي للصهرة ناتج عن خطأ في صب الصهرة ونزول كمية كبيرة من الخبث في البوتقة.

- يسهم مباشرة في زيادة مدة معالجة الصهرة في فرن المعالجة وبالتالي تأخر وصول الصهرة إلى قسم الصب المستمر في الوقت المناسب ويترتب عليه زيادة مدة صب الصهرة وزيادة مدة تعرض السائل المصهور لظروف الأكسدة.

4- زيادة زمن معالجة الصهرة في فرن المعالجة LF لضرورة تحقيق درجة الحرارة المطلوبة للفولاذ وضبط تركيب الصهرة الكيميائي بشكل صحيح قبل نقل الصهرة إلى قسم الصب المستمر CCM والمباشرة في صب الصهرة.

- يؤدي إلى زيادة مدة صب الصهرة وزيادة مدة تعرض السائل المصهور لظروف الأكسدة.

5- عدم إعطاء الحرارة المناسبة للصهرة حسب رتبة المنتج الذي يتم العمل على إنتاجه في فرن المعالجة LF قبل بدء صبها في ماكينة الصب المستمر CCM.

3-3-2 تأثير درجة حرارة الصهرة على سير عملية صب المنتج في قسم الصب المستمر CCM:

3-3-2-1 حرارة الصهرة المنخفضة

تؤدي إلى هبوط درجة حرارة الصهرة خلال عملية الصب إلى درجة حرارة التصلب، وبالتالي عدم إمكانية إكمال صب الصهرة. يتم في هذه الحالة زيادة سرعة الصب وإنهاء صب الصهر قبل وصل الصهرة التالية، وبالتالي انقطاع الصب وتوقف العملية لإعادة تجهيز قسم الصب المستمر للبدء في عملية الصب من جديد. ويترتب على ذلك ازدحام للبواتق في محطة فرن المعالجة LF ويمكن أن يؤدي إلى توقف فرن القوس الكهربائي EAF في انتظار استعادة عملية الصب المستمر في قسم الصب المستمر CCM.

3-3-2-1-1 طرق التعامل مع حرارة الصهرة المنخفضة في ماكينة الصب المستمر CCM

1- زيادة سرعة الصب وإنهاء صب الصهرة بطريقة طبيعية حتى نهايتها ويتوقف الصب، ويتم إزالة حوض الصب ويكون قد تم تجهيز حوض صب احتياطي للبدء بعملية الصب من جديد، والخسائر تقتصر على:

- خسارة البطانة الحرارية للتاندش (حوض الصب).
- الطاقة اللازمة لتسخين المسبق للتاندش (حوض الصب).
- جهد إضافي للكوادر البشرية في تجهيز قسم الصب المستمر CCM مرة ثانية.
- استهلاك مواد إضافية مستخدمة في التجهيز لعملية الصب.
- ازدحام البواتق في قسم فرن المعالجة LF.

2- زيادة سرعة الصب ولكن يحصل هبوط كبير في درجة حرارة السائل المصهور ووصوله إلى درجة التصلب وبالتالي يتوقف الصب والخسائر تقتصر على:

- هدر كامل السائل المصهور المتبقي في حوض الصب بسبب عدم التمكن من صبه.
- تبديل التاندش (حوض الصب) مع المعدن البارد الذي يملأه وبالتالي:
  - خسارة البطانة الحرارية
  - الطاقة اللازمة لتسخين المسبق لحوض الصب.
  - جهد إضافي للكوادر البشرية في تجهيز قسم الصب المستمر مرة ثانية.
  - استهلاك مواد إضافية مستخدمة في التجهيز لعملية الصب.
- إعادة البوتقة إلى فرن المعالجة ليتم رفع درجة حرارتها في فرن المعالجة.
- إعادة البوتقة إلى الفرن EAF لإكمال تعبئة البوتقة في حال كان مستوى المصهور المتبقي في البوتقة أقل من اللازم لوصول إلكترودات فرن المعالجة LF للسائل المصهور.
- توقف فرن الصهر بالقوس الكهربائي EAF بسبب انقطاع الصب وبالتالي انقطاع العملية الإنتاجية في انتظار جهوزية ماكينة الصب المستمر CCM للبدء بعملية الصب من جديد.

2-2-3-3 حرارة الصهرة المرتفعة

1- يمكن أن تؤدي إلى حدوث هروب للمعدن Break-out وبالتالي يمكن أن يؤدي أي توقف عملية الإنتاج نتيجة توقف عملية الصب في قسم الصب المستمر لإنجاز عمليات الإصلاح اللازمة لإعادة جاهزية قسم الصب للبدء في عملية الصب مرة أخرى من جديد.

2- تخفيض سرعة الصب المستمر، لضمان إمكانية صب السائل المصهور دون حدوث هروب للمعدن. ويترتب على ذلك زيادة في زمن صب الصهرة وبالتالي زيادة تعرض السائل المصهور لظروف الأكسدة الناتجة عن زيادة مدة تعرض السائل المصهور للهواء المحيط، وهذا ما يسبب زيادة نسبة الأكسجين في السائل المصهور ويؤدي إلى ظهور عيب المنتج (مشكلة البحث)

3-3-2-2-1 طريقة التعامل مع حرارة الصهرة المرتفعة في ماكينة الصب المستمر CCM

يتم خفض سرعة الصب في ماكينة الصب المستمر CCM وهذا يؤدي إلى تخفيض درجة حرارة السائل المصهور في التاندش (البوتقة الوسيطة) وأيضا" زيادة زمن تعرض السائل المصهور للهواء وبالتالي زيادة عمليات الأكسدة وتشكل الخبث وزيادة نسبة الشوائب في السائل المصهور.

3-3-3 طرق التعامل مع حالات التأخيرات أو التوقفات الإنتاجية للمحافظة على استمرار العملية الإنتاجية

1- يتم تخفيض سرعة الصب عندما تكون حرارة الصهرة في ماكينة الصب مناسبة، وتبقى درجة حرارة السائل المصهور مناسبة لاستمرار الصب دون وصول السائل المصهور إلى درجة التجمد مع زيادة زمن تعرض الصهرة لعوامل الأكسدة وتشكل الخبث.

2- عندما تكون حرارة الصهرة في ماكينة الصب بالأساس غير مناسبة لخفض سرعة الصب، سيؤدي خفض سرعة الصب إلى هبوط درجة حرارة الصهرة وإمكانية وصول حرارتها إلى درجة حرارة التصلب.

في معظم الحالات السابقة ولتجنب انقطاع الصب وبالتالي انقطاع العملية الإنتاجية يجب رفع درجة حرارة السائل المصهور إلى الدرجة المناسبة حسب رتبة الصلب المنتج في فرن المعالجة LF، لهذه الطريقة مزايا وعيوب عدة:

3-3-4 مزايا وعيوب تجنب انقطاع عملية الإنتاج من خلال زيادة زمن الصب

3-3-4-1 المزايا

1- تخفيض انقطاعات الصب والعملية الإنتاجية.
2- تخفيض سرعة الصب في حال حدوث أعطال في فرن القوس الكهربائي.
3- تخفيض سرعة الصب في حال زيادة زمن معالجة الصهر في فرن المعالجة.
4- عدم تبديل حوض الصب وبالتالي عدم هدر البطانة الحرارية لحوض صب جديد.
5- توفير الطاقة الزائدة التي يتم صرفها في تجهيز حوض صب جديد.
6- عدم هدر المعدن البارد المتصلب في حوض الصب في حال توقف الصب قبل تفريغ التاندش.
7- توفير الطاقة التي يتم صرفها في فرن المعالجة لإعادة تسخين الصهرة مرة ثانية.
8- منع توقف فرن الصهر في انتظار إعادة تجهير ماكينة الصب للبدء من جديد.

2-4-3-3 العيوب والإجراءات المتبعة لتلافيها

يعتبر الأكسجين في مرحلة الصب من العناصر المؤكسدة والذي يحذر من تعريض السائل المصهور له خلال عملية الصب ولتجنب الأضرار الناتجة عن زيادة زمن الصب في قسم الصب المستمر يتخذ الإجراءات التالية ومنها:

1- تغطية البوتقة بأغطية مخصصة للبوتقة تقلل من الضياعات الحرارية وتقلل من تعرض سطح المعدن للأكسجين.
2- تغطية حوض الصب بأغطية مخصصة لحوض الصب تقلل من الضياعات الحرارية وتقلل من تعرض سطح المعدن للأكسجين.
3- استخدام مواد حرارية ترش فوق سطح المعدن في البوتقة Ladle cover بعد إنهاء عملية المعالجة لمنع تعرض السائل المصهور للأكسجين وتقليل الضياعات الحرارية.
4- استخدام مواد حرارية ترش فوق سطح المعدن في حوض الصب Tundish cover لتقليل تعرض السائل المصهور للأكسجين وتقليل الضياعات الحرارية.
5- استخدام أنظمة تغطية (تكفين) لتغطية تيار السائل المصهور المندفع من فوهة الصب في البوتقة ومن فوهات الصب في التاندش (حوض الصب) خلال عملية الصب.

5-3 زمن الصبة Heat Time

هو الوقت المستغرق بين بداية تفريغ صهرة من فرن القوس الكهربائي وبداية تفريغ الصهرة التالية. ويشير إلى الزمن بين هذه التفريغات.

يفضل دوما تقليل هذا الزمن لمزايا الاستفادة من الوقت المتاح لعملية الصهر، هذا يعني إنتاج المزيد من المعدن ضمن إطار زمني معين.

لكن هذا يعتمد بشكل كبير على الفرن، والمواد الموجودة بداخله، وديناميكيات التفاعلات، وعلى نوعية الخردة المستخدمة في عملية الصهر، وما إلى ذلك من عوامل أخرى.

6-3 زمن المعالجة في فرن المعالجة (التكرير) LRF, Heat Refining Time

وهو الوقت من نهاية تفريغ الصهرة من فرن القوس الكهربائي ودخولها في فرن المعالجة (فرن البوتقة) حتى توقف عملية المعالجة ونقل الصهرة إلى ماكينة الصب.

يتأثر هذا الزمن بشكل رئيسي بدرجة حرارة وصول الصهرة إلى فرن المعالجة بعد تفريغها من فرن القوس الكهربائي لأن فرن المعالجة يعمل على رفع درجة حرارة الصهرة حسب رتبة المنتج الذي يتم

العمل عليه لتتناسب مع زمن صب الصهرة وبالتالي في حالة وصول الصهرة إلى فرن المعالجة بدرجة حرارة منخفضة فهذا يعني زيادة في زمن المعالجة.
كذلك الأمر فإن زمن الصهرة يتأثر بالتركيب الكيميائي للصهرة بإزالة و / أو تعديل الشوائب.

7-3 وزن السائل المصهور المصبوب في البوتقة Tapped Weight

وهو وزن السائل المصهور الذي يتم صبه في البوتقة بعد انتهاء صهر عدد محدد من سلال الخردة المكونة للصهرة وكلما زادت نسبة وزن السائل المصهور إلى وزن الخردة المشحونة إلى الفرن كلما زاد مردود عملية الصهر في فرن القوس الكهربائي EAF.
وانخفاض هذا وزن السائل المصهور يدل على انخفاض مردود عملية الصهر ويدل على انخفاض مردود الخردة المستخدمة في العملية.
إن تحسن نوعية الخردة وكثافتها يحسن من مردود عملية الصهر في فرن القوس الكهربائي ويؤدي إلى زيادة نسبة وزن السائل المصهور إلى وزن السكراب المشحون في فرن القوس الكهربائي.

8-3 حرارة وصول الصهرة إلى فرن المعالجة LF Heat receive Temperature

هي أول حرارة يتم قياسها للصهرة فور وصولها إلى فرن المعالجة، انخفاض هذه الحرارة يؤدي إلى زيادة زمن المعالجة في فرن المعالجة LF حتى يتم رفع درجة حرارة السائل المصهور ليتناسب مع عملية الصب المستمر.

9-3 حرارة وصول الصهرة إلى قسم الصب CCM Heat Temperature

هي أول حرارة يتم قياسها للصهرة فور وصولها إلى قسم الصب المستمر، ويجب أن تكون ضمن مجال يسمح بصب كامل الصهرة دون نزولها إلى درجة حرارة التجمد، ليست عالية جدا" تسبب هروب للمعدن ولا منخفضة جدا" لدرجة تجمد المعدن.

10-3 مجتمع وعينة الدراسة

مجتمع الدراسة معمل حديد للصناعات المعدنية وقد تم جمع بيانات الدراسة خلال فترة زمنية (فترة الدراسة): خلال الربعين الثالث والرابع من عام 2021 وخلال الربعين الأول والثاني من عام 2022.

تم استخدام الأساليب الإحصائية التحليلية والوصفية لتحويل بيانات الدراسة إلى معلومات ونتائج باستخدام برنامج الإكسيل وتم إجراء تحليل للنتائج.

11-3 اختبار فرضيات الدراسة

تم إجراء اختبار للبيانات التي تم جمعها والمتعلقة بمتغيرات الدراسة – زمن الصهرة الكلي – وزن السائل المصهور – وزن الخبث في البوتقة – درجة حرارة وصول الصهرة إلى فرن المعالجة – زمن معالجة الصهرة في فرن المعالجة – درجة حرارة وصول الصهرة إلى ماكينة الصب المستمر.

بهدف تحديد المتوسط الحسابي والانحراف المعياري وتحيد أصغر قيمة وأكبر قيمة ضمن هذه البيانات تم إعداد الجدول (3-11-1).

المتغيرات	Number	Minimum	Maximum	Mean	Standard Deviation
زمن الصهرة الكلي TTT	330	45.5	100.58	78.11	9.040
وزن السائل المصهور المصبوب في البوتقة Tapped weight	330	67.4	87.10	80.09	3.026
وزن الخبث المصبوب في البوتقة Slag	330	0.7	2.94	1.76	0.406
درجة حرارة وصول الصهرة إلى فرن المعالجة LF	330	1517	1599	1554.10	16.235
زمن معالجة الصهرة في فرن المعالجة	330	20	65	37.99	8.869
درجة حرارة وصول الصهرة إلى ماكينة الصب المستمر CCM	330	1523	1570	1547.18	7.730

الجدول (3-11-1) المتوسط الحسابي والانحراف المعياري للمتغيرات الدراسة المستقلة.

- إن المتوسط الحسابي لزمن الصهرة الكلي 78.11 دقيقة وبانحراف معياري 9.040 دقيقة وبالتالي لا يوجد تشتت وهناك تقارب وتماثل.

- إن المتوسط الحسابي لوزن السائل المصهور 80.09 طن وبانحراف معياري 3.026 طن وبالتالي لا يوجد تشتت وهناك تقارب وتماثل.
- إن المتوسط الحسابي لوزن الخبث في البوتقة 1.76 طن وبانحراف معياري 0.406 طن وبالتالي لا يوجد تشتت وهناك تقارب وتماثل.
- إن المتوسط الحسابي لدرجة حرارة وصول الصهرة إلى فرن المعالجة 1554.10 درجة وبانحراف معياري 16.235 درجة وبالتالي لا يوجد تشتت وهناك تقارب وتماثل.
- إن المتوسط الحسابي لزمن معالجة الصهرة في فرن المعالجة 37.99 دقيقة وبانحراف معياري 8.869 دقيقة وبالتالي لا يوجد تشتت وهناك تقارب وتماثل.
- إن المتوسط الحسابي لدرجة حرارة وصول الصهرة إلى ماكينة الصب المستمر 1547.18 درجة وبانحراف معياري 7.730 درجة وبالتالي لا يوجد تشتت وهناك تقارب وتماثل.

12-3 دراسة تأثير المتغيرات المستقلة في المتغير التابع (كميات المنتج المعيب).

هل يوجد أثر للمتغيرات المستقلة في المتغير التابع خفض كميات المنتج المعيب؟

للإجابة على هذا التساؤل قام الباحث بتطبيق تحليل الارتباط الخطي المتعدد Multiple Linear Regression Statistics لدراسة أثر المتغيرات المستقلة في المتغير التابع (كميات المنتج المعيب)، الجدول (3-12-1).

Regression Statistics	
Multiple R	0.9906
R Square	0.9812
Adjusted R Square	0.9809
Standard Error	0.3019
Observations	330

الجدول (3-12-1) قيمة معامل الارتباط الخطي المتعدد لأثر المتغيرات المستقلة في المتغير التابع.

يتضح من الجدول (3-12-1) أن:

- قيمة معامل الارتباط الخطي المتعدد Multiple R= 0.9906 وهو ما يفسر وجود علاقة طردية قوية بين المتغيرات المستقلة وبين المتغير التابع ((كمية المنتج المعيب)).
- قيمة معامل التحديد المعدل Adjusted R Square= 0.9809 أي أن المتغيرات المستقلة التي لدينا تفسر 98.09 % من أسباب المتغير (التابع) وهو ظهور منتج معيب أما الباقي يعود لعوامل أخرى.

- الخطأ المعياري (خطأ التقدير) Standard Error= 0.3019 وهي قيمة منخفضة وهذا يدل على انخفاض خطأ النموذج.
- عدد المشاهدات Observations هو 330 مشاهدة.

ولمعرفة الدلالة الإحصائية للقوة التفسيرية لنموذج الانحدار الخطي المتعدد من الناحية الإحصائية عن طريق إحصائية F، قام الباحث بتطبيق تحليل التباين الذي يمكن من خلاله معرفة الدلالة الإحصائية للقوة التفسيرية للنموذج (معنوية النموذج) الجدول (3-12-2).

ANOVA					
	df	*SS*	*MS*	*F*	*Significance F*
Regression	6	1540.555	256.759	2817.204	0.000
Residual	323	29.438	0.091		
Total	329	1569.993			

الجدول (3-12-2) الدلالة الإحصائية لاختبار القوة التفسيرية لتباين نموذج الدراسة

يبين الجدول (3-12-2) تحليل التباين عن طريق إحصائية F=2817,204 ومعنوية الدلالة الحسابية (Sig = 0000) وهي أصغر من معنوية الدلالة القياسية Sig = 0.05 وبالتالي نقبل الفرضية البديلة ونرفض العدم مما يؤكد أن هذا النموذج معنوي الدلالة (جيد التمثيل) أي أن نموذج الانحدار الخطي له دلالة إحصائية، وبالتالي يوجد أثر ذو دلالة إحصائية للمتغيرات المستقلة في المتغير التابع (كميات المنتج المعيب).

ولتحديد العلاقة بين كل متغير مستقل مع المتغير التابع ولتحديد معنوية الدلالة الإحصائية لكل متغير مستقل على حدى من خلال اختبار الانحدار الخطي المتعدد قام الباحث بتطبيق تحليل التباين الذي يمكن من خلاله معرفة الدلالة الإحصائية للمتغيرات المستقلة للنموذج (أثر كل متغير مستقل في المتغير التابع) الجدول (3-12-3).

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95%*	*Upper 95%*
Intercept	-1.891	4.318	-0.438	0.662	-10.387	6.604	-10.387	6.604
زمن الصهرة الكلي	0.229	0.003	82.202	0.000	0.224	0.235	0.224	0.235
وزن السائل المصهور	-0.015	0.008	-1.738	0.083	-0.031	0.002	-0.031	0.002
وزن الخبث في البوتقة	0.065	0.047	1.378	0.169	-0.028	0.157	-0.028	0.157
درجة حرارة وصول الصهرة إلى فرن المعالجة	-0.003	0.001	-2.381	0.018	-0.006	-0.001	-0.006	-0.001
زمن معالجة الصهرة في فرن المعالجة	0.001	0.002	0.429	0.668	-0.003	0.005	-0.003	0.005
درجة حرارة وصول الصهرة إلى ماكينة الصب المستمر	-0.004	0.003	-1.254	0.211	-0.009	0.002	-0.009	0.002

الجدول (3-12-3) الدلالة الإحصائية للمتغيرات المستقلة

من خلال الجدول (3-12-3).. قام الباحث بتحليل أثر كل من التوابع المستقلة في المتغير التابع عن طريق معنوية الدلالة الحسابية (P-value) لكل متغير من المتغيرات المستقلة بالمقارنة مع معنوية الدلالة القياسية Sig = 0.05.

	P-value
Intercept	0.662
زمن الصهرة الكلي	0.000
وزن السائل المصهور	0.083
وزن الخبث في البوتقة	0.169
درجة حرارة وصول الصهرة إلى فرن المعالجة	0.018
زمن معالجة الصهرة في فرن المعالجة	0.668
درجة حرارة وصول الصهرة إلى ماكينة الصب المستمر	0.211

نجد أن:

1- زمن الصهرة الكلي: قيمة P= 0.0000 الحسابية وهي أصغر من معنوية الدلالة القياسية Sig = 0.05 وبالتالي نقبل الفرضية البديلة ونرفض العدم، وبالتالي يوجد أثر ذو دلالة إحصائية لهذا المتغير المستقل في المتغير التابع (كميات المنتج المعيب) وإدخاله كمتغير مستقل مفسر يحسن من قدرة النموذج التنبؤية.
2- وزن السائل المصهور: P= 0.083 الحسابية وهي أكبر من معنوية الدلالة القياسية Sig = 0.05 وبالتالي نقبل فرضية العدم مما يؤكد أن هذا المتغير المستقل غير معنوي الدلالة وإدخاله كمتغير مستقل مفسر لا يحسن من قدرة النموذج التنبؤية.
3- وزن الخبث في البوتقة: P= 0.169 الحسابية وهي أكبر من معنوية الدلالة القياسية Sig = 0.05 وبالتالي نقبل فرضية العدم مما يؤكد أن هذا المتغير المستقل غير معنوي الدلالة وإدخاله كمتغير مستقل مفسر لا يحسن من قدرة النموذج التنبؤية.
4- درجة حرارة وصول الصهرة إلى فرن المعالجة: قيمة P= 0.018 الحسابية وهي أصغر من معنوية الدلالة القياسية Sig = 0.05 وبالتالي نقبل الفرضية البديلة ونرفض العدم، وبالتالي يوجد أثر ذو دلالة إحصائية لهذا المتغير المستقل في المتغير التابع (كميات المنتج المعيب) وإدخاله كمتغير مستقل مفسر يحسن من قدرة النموذج التنبؤية.
5- زمن معالجة الصهرة في فرن المعالجة: P= 0.668 وهي أكبر من معنوية الدلالة القياسية Sig = 0.05 وبالتالي نقبل فرضية العدم مما يؤكد أن هذا المتغير المستقل غير معنوي الدلالة وإدخاله كمتغير مستقل مفسر لا يحسن من قدرة النموذج التنبؤية.

6- درجة حرارة وصول الصهرة إلى ماكينة الصب المستمر: P= 0.221 وهي أكبر من معنوية الدلالة القياسية Sig = 0.05 وبالتالي نقبل فرضية العدم مما يؤكد أن هذا المتغير المستقل غير معنوي الدلالة وإدخاله كمتغير مستقل مفسر لا يحسن من قدرة النموذج التنبؤية.

نكتب معادلة الارتباط الخطي بين المتغير التابع والمتغيرات المستقلة:

$$\bar{Y} = b0 + b1.X1 + b2.X2 + b3.X3 + b4.X4 + b5.X5 + b6.X6$$

$$\bar{Y} = -1.891 + 0.229.X1 - 0.015.X2 + 0.065.X3 - 0.003.X4 + 0.001.X5 - 0.004.X6$$

1- في حال كانت جميع المتغيرات المستقلة مساوية للصفر، نجد أن قيمة المتغير التابع سوف تنخفض بمقدار 1891 كغ وبالتالي: $\bar{Y} = -1891$

أي أن قيمة المنتج المعيب ستنخفض بقيمة 1891 كغ.

2- في حال وجود المتغير المستقل زمن الصهرة الكلي فقط وكانت بقية المتغيرات المستقلة مساوية للصفر، نجد أن قيمة المتغير التابع سوف تزداد بمقدار 229 كغ عند X1 تساوي 1
وبالتالي: $\bar{Y} = -1662$

3- في حال وجود المتغير المستقل وزن السائل المصهور فقط وكانت بقية المتغيرات المستقلة مساوية للصفر، نجد أن قيمة المتغير التابع سوف تنخفض بمقدار 15 كغ عند X2 تساوي 1
وبالتالي: $\bar{Y} = -1906$

4- في حال وجود المتغير المستقل وزن الخبث في البوتقة فقط وكانت بقية المتغيرات المستقلة مساوية للصفر، نجد أن قيمة المتغير التابع سوف تزداد بمقدار 65 كغ عند X3 تساوي 1
وبالتالي: $\bar{Y} = -1826$

5- في حال وجود المتغير المستقل درجة حرارة وصول الصهرة إلى فرن المعالجة فقط وكانت بقية المتغيرات المستقلة مساوية للصفر، نجد أن قيمة المتغير التابع سوف تنخفض بمقدار 3 كغ عند X4 تساوي 1
وبالتالي: $\bar{Y} = -1894$

6- في حال وجود المتغير المستقل زمن معالجة الصهرة في فرن المعالجة فقط وكانت بقية المتغيرات المستقلة مساوية للصفر، نجد أن قيمة المتغير التابع سوف تزداد بمقدار 1 كغ عند X5 تساوي 1

وبالتالي: $\bar{Y} = -1890$

7- في حال وجود المتغير المستقل درجة حرارة وصول الصهرة إلى ماكينة الصب المستمر فقط وكانت بقية المتغيرات المستقلة مساوية للصفر، نجد أن قيمة المتغير التابع سوف تنخفض بمقدار 4 كغ عند X6 تساوي 1

وبالتالي: $\bar{Y} = -1895$

13-3 دراسة أثر المتغيرات المستقلة في المتغير التابع (كميات المنتج المعيب) في الفترات قبل وبعد تطبيق الدراسة

- ما هو الأثر الناتج عن تطبيق فرضيات الدراسة خلال فترة الدراسة؟

للإجابة عن هذا التساؤل قام الباحث بتطبيق اختبار t المقترن للعينة المزدوجة بالنسبة لمجموعة البيانات المتعلقة بكمية المنتج المعيب في الفترات قبل وبعد تطبيق الدراسة، وكانت النتائج وفق الجدول (3-13-1)

t-Test: Paired Two Sample for Means		
Billets Defected weight 2022	*Billets Defected weight 2021*	
2.68689	6.37276	Mean
0.87501	1.86389	Variance
165.00000	165.00000	Observations
	0.03694	Pearson Correlation
	0.00000	Hypothesized Mean Difference
	164.00000	Df
	29.11433	t Stat
	0.00000	P(T<=t) one-tail
	1.65420	t Critical one-tail
	0.00000	P(T<=t) two-tail
	1.97453	t Critical two-tail

الجدول (3-13-1) اختبار t-Test المقترن لكميات المنتج المعيب في الفترات قبل وبعد تطبيق الدراسة

وكانت النتائج كما هو موضح بالجدول (3-13-1):
بلغ متوسط الاختبار التمهيدي (قبل تطبيق الدراسة) هو 6.37276 أما بالنسبة للاختبار اللاحق (بعد تطبيق الدراسة) فهو 2.68689
وبالتالي فإن الفرق بين متوسط الاختبار القبلي ومتوسط الاختبار البعدي هو 3.68587

تعكس القيم الموجبة حقيقة أن الاختبار التمهيدي له متوسط أكبر من متوسط الاختبار اللاحق:

أي أن: (الاختبار التمهيدي - الاختبار اللاحق > 0)

بما أن القيمة (0.0000) P أصغر من معنوية الدلالة القياسية 0.05 =Sig هذا يؤكد أن هذا النموذج معنوي الدلالة (جيد التمثيل).

بما أن الهدف خفض كميات المنتج المعيب فإن الكميات الأصغر هي الأفضل، وبالتالي فإننا نجد أن اختبار t للعينة المزدوجة يشير إلى أن درجات الاختبار اللاحق أفضل بكثير من درجات الاختبار القبلي.

14-3 نتائج البحث

1- يوجد أثر جوهري ذو دلالة إحصائية لزمن الصهرة الكلي Tap to Tap Time في كميات المنتج المعيب، أي أن زيادة زمن الصهرة الكلي يفسر زيادة ظهور منتج معيب.
مما يؤكد أهمية انخفاض زمن الصهرة الكلي في تخفيض كميات المنتج المعيب.
2- يوجد أثر لوزن السائل المصهور المصبوب في البوتقة Tapped Weight في كمية المنتج المعيب ولكنه غير جوهري، أي أن انخفاض وزن السائل المصهور المصبوب في البوتقة Tapped Weight ليس له أثر جوهري في ظهور منتج معيب.
3- يوجد أثر لوزن الخبث المصبوب في البوتقة (Slag Weight) في كمية المنتج المعيب ولكنه غير جوهري، أي أن زيادة وزن الخبث المصبوب في البوتقة (Slag Weight) ليس له أثر جوهري في ظهور منتج معيب.
4- يوجد أثر جوهري ذو دلالة إحصائية لدرجة حرارة وصول الصهرة إلى فرن المعالجة LF Heat receive temperature في كمية المنتج المعيب، أي أن انخفاض درجة حرارة وصول الصهرة إلى فرن المعالجة LF يفسر زيادة ظهور منتج معيب.
مما يؤكد أهمية زيادة درجة حرارة وصول الصهرة إلى فرن المعالجة LF في تخفيض كميات المنتج المعيب.

5- يوجد أثر لزمن معالجة الصهرة في فرن المعالجة LF Heat Time في كميات المنتج المعيب ولكنه غير جوهري، أي أن زيادة زمن معالجة الصهرة في فرن المعالجة ليس له أثر جوهري في ظهور منتج معيب.
6- يوجد أثرلدرجة حرارة وصول الصهرة إلى قسم الصب المستمر CCM Heat receive temperature في كمية المنتج المعيب ولكنه غير جوهري، أي أن انخفاض درجة حرارة وصول الصهرة قسم الصب المستمر CCM ليس له أثر جوهري في ظهور منتج معيب.
7- من خلال تطبيق اختبار t-Test المقترن على كميات المنتج المعيب، بلغ متوسط الاختبار التمهيدي (قبل تطبيق الدراسة) هو 6.37276 أما بالنسبة للاختبار اللاحق (بعد تطبيق الدراسة) فهو 2.68689 مما يؤكد وجود أثر جوهري للمتغيرات المستقلة في المتغير التابع (انخفاض كميات المنتج المعيب).

مع العلم أن كل المتغيرات المستقلة قد ظهر لها تأثير قوي على المتغير التابع في اختبار الارتباط الخطي البسيط Simple linear Regression Statistics ولكن في اختبار الارتباط الخطي المتعدد Multiple Linear Regression Statistics لم يظهر لعدد من المتغيرات المستقلة تأثير جوهري على المتغير التابع.

15-3 التوصيات

1- الاهتمام بنوعية الخردة وفرزها بطريقة أكثر فعالية لتحقيق الكثافة والمحتوى المرغوب لمنع حصول تأخيرات في زمن الصهرة الكلي الناتجة عن نوعية الخردة وعدم فرزها وانخفاض كثافتها ومنها (كبس الخردة خلال الشحن وتخفيض محتوى العناصر غير المرغوبة خلال المعالجة).

2- للتخفيف من آثار مشاكل الخردة الكثيرة والمتنوعة والتي يصعب ضبطها جميعها معا" في نفس الوقت ينصح بـــ:

أ- شحن المعدن الساخن HBI (الحديد المقولب على الساخن) في حال توفره وبأسعار مناسبة يؤدي شحن المعدن الساخن في فرن القوس الكهربائي يؤدي إلى تقليل أثر حجم الخردة وكثافتها المنخفضة وبالتالي تقليل زمن التأخيرات، كما يؤدي إلى تقليل استهلاك الطاقة الكهربائية. هذا يقلل من زمن الصهرة الكلي وبالتالي يقلل من استهلاك الكربون واستهلاك الكهرباء.

ب- استخدام الحديد المختزل DRI في حال توفره وبأسعار مناسبة

يؤدي شحن DRI الساخن عند درجات حرارة تصل إلى 600 درجة مئوية بدلاً من DRI البارد يؤدي إلى تقليل أثر حجم الخردة وكثافتها المنخفضة وبالتالي تقليل زمن التأخيرات، وإلى تقليل طاقة الانصهار، ويعمل على زيادة الإنتاجية، وانخفاض محتوى العناصر الضارة، وتحسين رغوة الخبث، وزيادة محتوى الكربون في الشحنة.

3- عدم صب الصهرة من فرن القوس الكهربائي EAF قبل وصول درجة حرارة الصهرة إلى الحرارة المناسبة لبدء صبها في البوتقة والتأكد من ذوبان كامل الشحنة وبخاصة في قاع الفرن لتجنب انخفاض كمية المعدن المصبوب في البوتقة وبالتالي انخفاض درجة حرارة وصول الصهرة إلى فرن المعالجة LF.

4- عدم صب كمية كبيرة من الخبث في البوتقة لتجنب زيادة زمن المعالجة في فرن المعالجة LF وأن يقوم بعملية الصب السائل المصهور من الفرن شخص ذو كفاءة قادر على التمييز بين الخبث والمعدن خلال عملية الصب ليقوم بإيقاف الصب فور بدء نزول الخبث بالبوتقة.

5- الاهتمام والتأكيد على إعطاء الصهرة الحرارة المناسبة حسب رتبة الفولاذ الذي يتم إنتاجه قبل نقل الصهرة إلى قسم الصب المستمر لتجنب حالات الحرارة المرتفعة جدا" وبالتالي زيادة زمن الصب أو حصول هروب للمعدن تجنب حالات برودة السائل المصهور.

6- زيادة توعية العاملين بأقسام الإنتاج في معمل الصهر بأهمية ضبط مدخلات العملية الإنتاجية في زيادة الإنتاجية وخفض الهدر الذي ينتج عن إنتاج منتجات معيبة.

References-المراجع

المراجع العربية

1- الموسوعة العربية – الحديد والحديد الصب – الفولاذ - جميل أبو جهجاه.

2- مؤسسة الكويت للتقدم العلمي (عملية "صهر الحديد" والمراحل الزمنية التي أدت إلى تطور أساليب صهر المعادن) أكتوبر 12, 2018.

English References

3- **Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Iron and Steel Production-Industrial Emissions Directive 2010/75/EU Integrated Pollution Prevention and Control.**

4- **continuous casting / c. Thomas, in Encyclopedia of Materials: Science and Technology, 2001**

5- **R OSENQUIST, TERKEL, Principles of Extractive Metallurgy (McGraw-Hill 1991).**

6- **K. BUGAYEV & OTHERS, Iron and Steel Production (Mir, Moscow 1971).**

7- **دراسة (10/3/2008 Jeremy A. T. Jones, Nupro Corporation) / Electric Arc Furnace Steelmaking**

8- **دراسة (Satyendra Kumar Sarna - April 23 2014)/ Steel Making In-Electric-Arc-Furnace.**

9- **دراسة (Satyendra Kumar Sarna - April 23 2014) Ladle Slag And Its Role In Secondary.**

10- **دراسة (Keyvan Rahmani, Vincent Thomson McGill University-September 2017) / A ladle Heat Loss Model For Daily Production.**

11- **https://images.app.goo.gl/uKyVDJieC3XAom8U9.**

الملحقات

الملحق رقم (1)

تعاريف بعض مصطلحات الحديد

1- **خام الحديد:** المادة الخام الأساسية في صناعة الصلب والتي من الممكن أن تأتي في صورة كتل من الحديد (أي في الصورة التي تم استخرجها من المناجم) أو في صورة مكورات خام الحديد بعد تعرضها إلى مزيد من عمليات التصنيع والمعالجة.

2- **سبائك الحديد:** منتج معدني يستخدم عادة كمادة مضافة في صناعة الصلب، ويكون غنياً بعنصر واحد على الأقل من العناصر السبائكية (مثل: المنجنيز والسيليكون والكروم) إلى جانب الحديد. يتم استخدامه كعامل مساعد في بعض مراحل إنتاج الصلب مثل: إزالة الأكسدة وإزالة الكبريت بالإضافة لمساهمته في إضافة القوة والمتانة للصلب. أمثلة: سبائك (الحديد - المنجنيز) و(الحديد – السيليكون) و(الحديد – الكروم).

3- **سبائك الصلب:** مادة مكونة من معدنين أو أكثر، أو من مادة معدنية وأخرى غير معدنية، تنصهران معاً. في حالة صناعة الصلب، يتم إضافة عناصر مثل النيكل والبورون والفناديوم إلى الصلب لتحسين خصائص معينة مثل الطواعية والقوة والليونة والاستطالة.

4- **الصلب الكربوني:** الصلب الكربوني هو نتاج الجمع بين الحديد والكربون. ويحتوي على كميات ضئيلة من العناصر السبائكية ويمثل 90% من إجمالي إنتاج الصلب، تعتمد خصائص الصلب الكربونى على نسبة الكربون الموجودة به.

5- **خردة الحديد:** خردة المواد التي تحتوي بشكل أساسي على الحديد.

6- **الفرن العالي:** فرن يستخدم في العمليات المتكاملة التقليدية لصناعة الصلب والذي يتم بداخله تفاعل الفحم مع خام الحديد نتيجة تدفق الهواء الساخن للحصول على المعدن السائل. ويمكن توصيف هذا الفرن بشكل أساسي بالأسطوانة كبيرة الحجم ومبطنة بطوب حراري عازل للحرارة.

7- **الاختزال المباشر**: مجموعة من العمليات الخاصة بتحويل خام الحديد إلى حديد دون الحاجة إلى الوصول لدرجة حرارة انصهار الحديد، حيث لا يتطلب الأمر استخدام الفرن اللافح العالي. وتتم عملية إزالة الأكسجين من خام الحديد بواسطة الغازات المختزلة، مثل أول أكسيد الكربون والهيدروجين، في حين يحتفظ خام الحديد بصورته الصلبة وبالتالي يتم الحصول على حديد مختزل بالطريقة المباشرة في حالة أنقى من حالته الخام.

8- **الحديد المختزل المباشر أو الحديد الإسفنجي:** حديد ذو نقاوة مرتفعة تم الحصول عليه عن طريق اختزال خام الحديد، وهو يستخدم كبديل للخردة التي قد تكون مرتفعة السعر في عمليات صناعة الصلب باستخدام فرن القوس الكهربائي. وهو يمكِن المصانع صغيرة الحجم من الاستغناء عن وجود الأفران العالية، وله جدوى فقط في الأماكن التي يتوفر فيها الغاز الطبيعي وبأسعار زهيدة.

9- **فرن القوس الكهربائي:** هو فرن يستخدم عادة لإنتاج الصلب مستخدماً الخردة والحديد المختزل المباشر. بمجرد تغذية الفرن وتغطيته، يتم إنزال أقطاب الجرافيت من خلال فتحات في السقف، حيث يُولد القوس الكهربائي المنبعث بين الأقطاب الكهربائية والشحنة المعدنية حرارة فائقة تقوم بصهر الخردة والحديد المختزل المباشر. يمكن إضافة بعض العناصر السبائكية خلال هذه العملية أو لاحقاً في حالة استخدام فرن البوتقة.

10- **فرن البوتقة:** وحدة وسيطة لمعالجة الصلب والتي تقوم بمزيد من المعالجة الكيميائية والحرارية للصلب المصهور أثناء وجوده بالبوتقة. وتأتى خطوة المعالجة الميتالورجية للصلب بعد صهر وتنقية الصلب في فرن القوس الكهربائي أو فرن الأكسجين ولكن قبل البدء فى عملية الصب المستمر.

11- **البوتقة:** وعاء أسطواني كبير يتم فيه صب الصلب المصهور القادم من وحدات صناعة الصلب. ومن الممكن أن يتم المزيد من المعالجة الميتالورجية والحرارية للصلب في هذه البوتقة قبل توصيلها إلى ماكينة الصب.

12- **البوتقة الوسيطة (حوض الصب أو التاندش):** هو الوعاء الوسيط المستخدم في نقل الصلب المصهور من البوتقة إلى القوالب بشكل متساوي وبمعدل تدفق محدد وحرارة معينة دون التسبب في تلوث الصلب بواسطة الشوائب. يساعد هذا الوعاء على إمكانية تنفيذ عملية الصب المستمر بوصفه مستودع للصلب السائل خلال فترات تغيير البوتقة مع إمكانية الاستمرار في صب الصلب المصهور في القوالب.

13- **ماكينة (آلة) الصب:** ماكينة تستخدم في قولبة الصلب السائل إلى صورته الصلبة الأولية: بلاطات الصلب ومربعات الصلب وهما منتجات شبه نهائية يتم درفلتها لاحقاً إلى منتجات نهائية.

14- **عملية الصب المستمر:** هي عملية تجميد الصلب المصهور في شكل عروق ممتدة بدلاً من قوالب منفردة. يصب الصلب المصهور في قوالب مفتوحة القاع ومبردة بالماء. وبينما يمر الصلب المصهور داخل هذه القوالب، تبدأ القشرة الخارجية في التصلب. وبعد انتهاء المرور على هذه القوالب، يتم رش الماء على العروق مباشرةً مما يساعد على اكتمال عملية التصلب للمقطع العرضي لبلاطات ومربعات الصلب.

15- **مربعات (عروق) الصلب البليت:** منتج شبه نهائي للصلب يتميز بمقطع عرضي مربع ويأتي في أطوال مختلفة. ويعد هذا المنتج نتاج عملية الصب والتي يتم فيها تحويل الصلب المصهور من الحالة

السائلة إلى الحالة الصلبة عن طريق التبريد. تتعرض مربعات الصلب إلى مرحلة أخرى من التصنيع وهي الدرفلة للحصول على منتجات نهائية من الأطوال مثل حديد التسليح.

16- **الصبة:** تسمى صهرة الإنتاج المستخدمة في مصانع الصلب بـ "الصبة". وكل صبة تتسم بتكوينها الكيميائي الخاص وفقاً لرتبة الصلب المستهدفة.

17- **زمن الصبة:** الوقت المستغرق بين بداية صب صبة من فرن القوس الكهربائي وبداية صب الصبة التالية.

18- **الخبث:** منتج ثانوي ناتج عن انصهار المواد الغنية بالحديد (مثل الحديد المختزل المباشر أو الخردة) مع الحجر الجيري أو الجير المحروق وهو ما يطفو على سطح الصلب السائل. يتم عادةً إعادة تدوير الخبث البارد المعالَج لعمل المواد الخرسانية وطبقات بناء ورصف الطرق.

19- **الحجر الكلسي (الحجر الجيري):** المادة المُكوَنة طبيعياً في صورة كربونات الكالسيوم الموجودة في المحاجر، وهي مادة تستخدم في صناعة الصلب (إما في حالتها الأصلية أو بعد تحويلها لجير محروق) لتنقية الصلب من الشوائب. يستخدم أيضاً في بعض الأحيان الحجر الجيري الغنى بالماغنيسيوم، والذي يطلق عليه الدولوميت، في عملية التنقية.

20- **الكلس (الجير المحروق)**: نتاج حرق (كلسنة) الحجر الجيري اللازم لتكوين الخبث أثناء عملية صهر الصلب.

الملحق رقم (2)

جدول بيانات الدراسة الفترة الأولى: الاختبار التمهيدي (قبل تطبيق الدراسة)

2021							
Billets Deffected weight [ton]	CCM Receive temp [c]	LF Heat Time [min]	LF Receive temp [c]	Ladle slag [ton]	Tapped weight [ton]	EAF Heat Time [mm]	Heat No.
5.04	1557	49	1547	1.65	79	79.03	1
4.74	1545	34	1531	2.31	75.9	86.63	2
6.63	1545	46	1546	2.44	81.4	82.63	3
5.64	1523	35	1555	1.88	77.8	77.92	4
4.46	1538	41	1545	1.64	78	99.33	5
9.80	1554	47	1539	1.85	77.2	85.47	6
6.34	1535	61	1543	2.16	78.2	83.95	7
5.97	1530	38	1551	1.7	76.9	83.63	8
5.89	1555	56	1526	2.24	75.8	98.33	9
9.55	1545	51	1557	1.94	76.1	91.45	10
7.83	1542	40	1537	1.84	77.4	85.90	11
6.45	1557	34	1552	2.06	76	91.98	12
7.97	1547	37	1530	1.63	78.2	85.88	13
6.45	1537	45	1545	2.14	80.2	82.65	14
5.64	1539	37	1557	1.93	78.5	83.07	15
5.75	1536	61	1549	1.78	75.3	79.97	16
4.97	1540	40	1534	1.67	78.5	84.58	17
6.12	1540	40	1542	1.9	80.4	84.47	18
6.09	1536	40	1555	1.6	77.6	86.12	19
6.51	1547	36	1526	2.09	78.6	78.35	20
4.57	1543	35	1551	1.48	78	82.45	21
5.59	1547	43	1553	2.19	75	86.35	22
6.56	1546	47	1544	1.66	77.7	80.20	23
5.03	1553	45	1532	1.83	78.1	98.75	24
9.65	1547	38	1527	1.59	80.3	82.77	25
5.67	1546	36	1551	1.86	77.4	77.92	26
4.46	1551	43	1547	1.56	77.8	82.10	27
5.50	1542	40	1545	2.05	78.2	90.42	28
7.58	1545	50	1557	1.11	77.8	84.72	29
6.16	1539	40	1545	1.79	80	87.32	30
6.80	1538	40	1548	1.65	76.5	81.47	31
5.35	1541	33	1525	2.73	77.5	84.55	32
6.11	1553	35	1526	2.22	78.6	79.65	33
4.89	1535	57	1543	1.8	75	95.67	34
8.88	1531	40	1523	1.67	77.5	95.33	35
8.80	1547	43	1547	1.79	81.3	88.00	36
6.97	1544	35	1552	1.58	77.3	80.63	37
5.14	1542	51	1554	1.73	77.6	79.30	38
4.81	1545	39	1548	2.01	77.5	92.30	39

8.05	1550	35	1553	1.63	75.5	81.72	40
5.41	1542	35	1538	2.37	76.8	85.43	41
6.33	1538	50	1541	2.35	84	92.13	42
8.00	1546	43	1557	2.18	75.6	92.78	43
8.17	1540	38	1555	1.38	76.9	84.62	44
6.13	1542	58	1547	2.22	77.2	84.17	45
6.02	1551	40	1550	1.49	80.3	75.12	46
3.77	1545	34	1542	1.93	77.1	79.27	47
4.80	1545	47	1546	2.08	77.2	85.72	48
6.41	1545	47	1556	2.71	77.8	81.80	49
5.43	1545	37	1555	1.57	75.6	84.98	50
6.22	1551	57	1557	2.1	76.4	90.35	51
7.56	1541	48	1548	1.62	78.1	94.80	52
8.67	1543	36	1551	2.1	76.5	87.60	53
6.87	1534	48	1534	1.78	76	80.18	54
5.03	1538	47	1545	2.16	76.1	80.02	55
4.99	1540	36	1540	1.87	76.6	79.95	56
4.97	1546	44	1549	1.52	77.4	84.87	57
6.19	1541	37	1555	2.27	80	96.80	58
9.17	1542	40	1532	1.93	76.5	82.07	59
5.50	1536	53	1537	1.77	76.1	82.42	60
5.58	1543	43	1545	1.62	79.3	82.90	61
5.70	1541	40	1524	2.32	80.5	88.07	62
6.99	1547	49	1550	2.29	75.5	79.85	63
4.94	1536	55	1551	2.67	78.1	89.38	64
7.32	1547	38	1552	2.31	79.1	91.23	65
7.78	1542	34	1543	1.79	76.3	89.57	66
7.36	1542	52	1546	2.66	76.7	89.12	67
7.25	1548	39	1545	1.53	77	81.83	68
5.44	1535	46	1555	1.95	77.3	83.82	69
5.93	1546	38	1557	1.81	77.3	80.52	70
5.11	1542	37	1524	1.7	77.3	79.53	71
4.87	1537	47	1538	2.56	77.2	90.12	72
7.50	1545	36	1528	1.61	82.4	79.92	73
4.96	1536	35	1547	1.77	76.8	77.35	74
4.32	1538	61	1533	2.16	77	85.82	75
6.43	1535	36	1517	1.48	76.8	82.73	76
5.66	1539	35	1528	2.07	77.9	90.65	77
7.63	1532	57	1549	2.02	78	85.60	78
6.38	1532	38	1543	1.68	76.8	94.25	79
8.53	1536	50	1543	2.58	77.7	93.97	80
8.46	1545	36	1534	1.91	77.6	83.60	81

5.88	1556	38	1552	2.94	79	84.32	82
6.06	1540	49	1555	2.82	82	79.73	83
4.92	1542	35	1550	2.65	76.5	99.87	84
9.93	1550	55	1541	1.68	76.8	78.05	85
4.50	1544	50	1533	2.47	77.2	93.33	86
8.30	1542	34	1524	1.81	82.2	83.77	87
5.92	1537	37	1542	1.49	77.5	84.45	88
6.09	1544	53	1538	1.82	76.5	82.42	89
5.58	1546	41	1549	2.2	75.9	78.87	90
4.70	1533	40	1534	1.46	76.7	94.17	91
8.51	1551	38	1549	2.13	80	81.77	92
5.42	1543	50	1553	1.87	76.3	77.50	93
4.36	1541	41	1544	1.61	76.1	91.97	94
7.96	1541	37	1548	2	76.6	85.48	95
6.35	1536	53	1527	1.58	80	90.55	96
7.61	1534	33	1547	1.81	76.2	79.03	97
4.74	1541	45	1538	2.87	77.1	84.18	98
6.02	1545	41	1551	1.86	78.5	89.20	99
7.27	1541	38	1547	1.5	77.4	87.57	100
6.87	1546	34	1540	2.5	77	81.55	101
5.37	1535	51	1557	1.52	78	95.68	102
8.89	1534	40	1536	1.9	78.6	82.68	103
5.65	1542	36	1549	1.35	76.5	85.25	104
6.29	1532	53	1558	2.85	78	85.42	105
6.33	1539	38	1530	2.15	78.4	80.95	106
5.22	1543	33	1541	2.27	80.8	100.58	107
10.11	1537	37	1536	2.8	76	87.55	108
6.86	1545	53	1557	1.52	67.4	84.80	109
6.18	1546	37	1532	2.21	76	85.25	110
6.29	1539	31	1549	1.6	77.6	90.88	111
7.69	1539	53	1553	2.4	75.5	84.35	112
6.07	1537	39	1517	1.82	80.1	91.17	113
7.76	1538	39	1536	1.5	78.5	85.27	114
6.29	1550	33	1530	2.75	75.8	87.97	115
6.97	1536	48	1538	1.63	75.6	85.28	116
6.30	1532	42	1553	1.76	75.4	86.07	117
6.49	1543	39	1548	2.4	76.9	99.52	118
9.84	1540	34	1519	2.31	80	79.88	119
4.95	1542	35	1544	1.51	79.6	88.08	120
6.99	1552	50	1556	1.99	79	87.22	121
6.78	1547	39	1547	2.26	77.6	92.20	122
8.02	1543	34	1551	1.87	77.5	86.27	123

6.54	1542	51	1557	1.68	80.1	87.70	124
6.90	1539	42	1547	1.8	78.1	85.98	125
6.47	1543	37	1536	2.44	75.3	79.57	126
4.87	1551	48	1548	1.67	78.5	78.72	127
4.66	1547	38	1543	1.87	83.2	85.87	128
6.44	1537	40	1546	2.78	75.4	78.33	129
4.57	1546	54	1557	2.44	76.3	83.37	130
5.82	1543	41	1535	1.59	77.6	79.28	131
4.80	1540	40	1548	2.4	78	82.55	132
5.62	1552	44	1540	1.99	76.1	86.15	133
6.51	1546	34	1546	1.66	76.6	84.17	134
6.02	1543	35	1537	2.23	76	78.37	135
4.57	1535	40	1530	1.75	77.4	81.33	136
5.31	1536	61	1538	2.56	76.8	88.07	137
6.99	1538	40	1523	1.4	76	78.55	138
4.62	1557	65	1532	1.84	76.4	89.37	139
7.31	1545	54	1551	2.22	76.9	92.37	140
8.06	1541	51	1557	1.93	76.3	87.03	141
6.73	1535	57	1535	1.45	76.5	78.62	142
4.64	1537	42	1541	1.54	82.1	89.80	143
7.42	1549	36	1551	1.47	77.1	79.28	144
4.80	1545	37	1534	1.74	78.2	92.27	145
8.04	1536	56	1527	1.56	78.3	79.77	146
4.92	1541	42	1545	1.85	77	78.92	147
4.71	1537	35	1538	2.8	77.7	83.22	148
5.78	1538	59	1542	1.66	77.1	86.45	149
6.59	1549	43	1541	2.15	81	88.72	150
7.15	1537	39	1550	1.87	77.4	91.23	151
7.78	1545	36	1533	1.56	76.3	84.88	152
6.20	1534	39	1536	1.84	75.9	78.63	153
4.64	1563	38	1534	2.86	77.4	81.48	154
5.35	1534	41	1557	2.79	76.6	82.12	155
5.51	1547	63	1550	1.59	76.5	92.60	156
8.12	1549	44	1547	2.14	79.8	80.25	157
5.04	1540	40	1538	1.66	77.1	88.52	158
7.10	1534	41	1556	1.97	76.4	92.37	159
8.06	1545	61	1539	1.45	77.1	94.32	160
8.55	1534	41	1525	2.22	77.3	81.40	161
5.33	1541	35	1542	2.34	75.7	91.10	162
7.75	1533	38	1547	2.29	78.1	82.47	163
5.60	1541	40	1525	1.59	77.5	88.30	164
7.05	1541	38	1533	2.25	76.8	68.50	165

الملحق رقم (3)

جدول بيانات الدراسة الفترة الثانية- الاختبار اللاحق (بعد تطبيق الدراسة)

2022							
Billets Deffected weight [ton]	CCM Receive temp [c]	LF Heat Time [min]	LF Receive temp [c]	Ladle slag [ton]	Tapped weight [ton]	EAF Heat Time [mm]	Heat No.
2.12	1561	34	1567	1.8	80.7	74.15	1
3.52	1550	33	1580	1.1	81.2	75.72	2
3.91	1549	35	1554	1.4	83.1	74.13	3
3.52	1550	26	1564	0.8	80.9	73.43	4
3.35	1558	48	1565	1.6	81.6	73.53	5
3.37	1547	33	1557	1.7	80.7	73.77	6
3.43	1555	29	1555	1.6	82.3	75.18	7
3.78	1547	52	1560	1.6	80.7	67.87	8
1.96	1552	29	1566	1.5	80.3	74.92	9
3.72	1547	32	1567	2.2	84.4	75.17	10
3.78	1558	35	1580	1.7	82	75.82	11
3.94	1549	31	1561	0.7	82.9	72.07	12
3.01	1546	49	1560	1.5	80.5	74.20	13
3.54	1547	39	1584	1.6	84.8	75.15	14
3.77	1552	25	1552	1.8	81.1	75.35	15
3.82	1550	26	1559	1.6	80.7	69.42	16
2.35	1550	37	1581	1.1	81.2	75.53	17
3.87	1546	28	1546	1	81	73.25	18
3.30	1548	36	1573	1.2	83.3	70.33	19
2.57	1557	30	1581	1.5	84.3	67.05	20
1.76	1546	25	1565	1.6	81.2	72.02	21
2.99	1547	53	1559	1.8	86.7	71.48	22
2.86	1551	28	1583	1.1	83.4	73.87	23
3.45	1570	31	1571	1.6	81.9	74.72	24
3.67	1557	52	1551	1.7	83.1	75.72	25
3.91	1551	39	1547	1.6	81.3	74.78	26
3.68	1551	32	1578	1.4	80.8	74.53	27
3.62	1564	31	1582	1.6	82.5	60.35	28
0.00	1558	32	1566	1.7	81.6	75.37	29
3.83	1547	42	1571	1.6	83.9	73.42	30
3.34	1550	38	1569	2	82	70.90	31
2.71	1547	31	1566	1.6	85.3	73.30	32
3.31	1548	29	1562	1.1	81.4	72.18	33
3.03	1552	43	1572	1.6	84.2	71.70	34
2.91	1568	42	1588	1.7	81.1	71.47	35
2.86	1547	26	1565	1.5	83	66.77	36
1.69	1551	44	1570	2.1	83.3	70.30	37
2.57	1548	39	1547	1.5	82.7	48.87	38
0.00	1551	25	1563	1.6	82.1	74.70	39

3.66	1547	26	1548	1.7	82.8	70.82	40
2.69	1546	42	1558	1.4	84.5	70.83	41
2.70	1565	31	1563	1.6	83.8	72.03	42
3.00	1555	29	1550	1.5	84.7	69.43	43
2.35	1549	27	1553	1.7	81.5	73.87	44
3.45	1551	29	1576	1.6	81.5	72.07	45
3.01	1551	24	1556	1.7	80.7	73.70	46
3.41	1552	54	1569	1.5	83	71.85	47
2.95	1547	36	1575	1.7	81	70.67	48
2.66	1548	28	1568	2	82.2	73.75	49
3.42	1551	34	1573	1.6	83	74.35	50
3.57	1567	28	1574	1.4	81	72.40	51
3.09	1553	24	1583	1.5	81.1	69.75	52
2.43	1551	31	1550	1.6	80.7	72.17	53
3.03	1548	33	1557	2.2	83.7	67.95	54
1.98	1549	21	1545	1.8	82.3	74.48	55
3.61	1547	36	1546	1.6	81.7	71.68	56
2.91	1550	37	1583	1.7	83.6	71.33	57
2.82	1551	33	1573	1.4	82	69.00	58
2.24	1556	34	1562	1.5	81.4	70.13	59
2.52	1553	34	1580	1.3	83.2	75.57	60
3.88	1550	33	1599	1.7	80.9	70.90	61
2.71	1561	26	1577	1.6	81.8	71.45	62
2.85	1553	28	1583	1	81.4	73.32	63
3.32	1550	52	1548	1.3	81.9	69.18	64
2.29	1547	41	1588	1.7	82.4	73.25	65
3.30	1552	36	1563	1.7	81.7	75.15	66
3.77	1558	28	1568	1.5	82.2	65.40	67
1.00	1550	42	1552	1.7	81	69.77	68
2.43	1562	33	1567	0.8	82	69.33	69
2.32	1550	33	1573	1.6	87.1	46.03	70
0.00	1551	31	1548	1.6	82.3	74.08	71
3.51	1565	43	1563	1.7	82.9	73.33	72
3.32	1562	28	1563	2.1	84.1	75.25	73
3.80	1553	47	1559	1.7	81.9	74.80	74
3.69	1557	44	1565	1.6	83	67.70	75
1.92	1566	39	1581	1.5	85	68.78	76
2.19	1555	42	1571	1	80.7	69.02	77
2.25	1552	50	1585	1.5	82.8	73.22	78
3.29	1554	27	1570	1.1	81.8	73.28	79
3.31	1547	39	1556	2.1	84.9	70.52	80
2.62	1565	41	1580	1.8	82.7	69.83	81

2.45	1556	39	1571	1.5	85.9	72.77	82
3.18	1555	32	1563	1.6	82.8	71.07	83
2.76	1555	30	1542	1.7	83.9	67.23	84
1.80	1561	27	1582	1.6	84.4	67.78	85
1.94	1561	30	1545	1.1	82.8	74.35	86
3.57	1557	43	1578	1.1	81.7	65.75	87
1.00	1551	35	1550	1.8	83	65.12	88
1.00	1553	32	1551	1.6	86.2	64.65	89
0.57	1555	30	1547	2.3	82.1	72.72	90
3.17	1559	31	1563	1.1	82.3	64.53	91
0.57	1563	29	1566	1.1	83.9	67.85	92
1.96	1555	32	1598	1.5	84.4	66.35	93
1.58	1556	27	1583	1.6	84.3	70.15	94
2.53	1551	42	1550	1.7	83.7	67.60	95
1.89	1547	39	1548	1.5	83.9	71.37	96
2.83	1549	32	1586	1.6	82.3	67.45	97
1.86	1549	33	1567	1.5	83.3	72.97	98
3.23	1550	31	1561	1.5	82.7	66.48	99
1.61	1546	28	1572	1.6	82.7	65.95	100
1.12	1548	26	1556	1.8	83.2	72.03	101
3.00	1554	35	1584	1.3	82.5	71.93	102
2.97	1546	35	1558	1.6	81.6	71.80	103
2.94	1550	36	1573	1.7	82.2	69.93	104
2.47	1552	30	1579	1.6	83	45.50	105
0.00	1552	35	1553	2.2	84.4	71.12	106
2.77	1554	34	1555	1.3	84.8	67.98	107
1.99	1546	37	1567	1.1	83.4	68.90	108
2.22	1550	33	1572	1.7	84.6	67.97	109
1.98	1547	37	1546	1.8	80.9	64.10	110
0.57	1555	32	1567	1.4	80.7	71.12	111
2.77	1551	38	1557	1.6	83.2	74.02	112
3.49	1551	34	1572	1.5	80.1	72.28	113
3.06	1551	35	1599	1.6	84.8	70.27	114
2.56	1547	35	1553	1.2	81.4	73.63	115
3.40	1547	33	1575	1	82.6	71.37	116
2.83	1551	26	1545	1.5	82.8	73.13	117
3.27	1552	35	1545	1.6	82.4	73.98	118
3.48	1553	33	1566	1.5	84.3	72.50	119
3.11	1551	27	1546	1.9	81.3	67.97	120
1.98	1554	34	1576	1.7	82.4	68.98	121
2.24	1550	36	1565	2.3	82	70.57	122
2.63	1555	33	1578	0.8	82.8	68.60	123

2.14	1557	26	1578	1.7	81.9	69.90	124
2.47	1546	33	1559	2.2	81	66.88	125
1.71	1553	34	1581	1.7	85.1	75.32	126
3.82	1550	30	1562	1.4	82.1	61.02	127
0.00	1547	31	1563	1.1	83	73.53	128
3.37	1551	24	1598	1.1	80.8	70.85	129
2.70	1546	28	1545	1.6	82.6	71.73	130
2.92	1549	53	1571	2.3	83.2	70.28	131
2.56	1555	37	1577	1.8	81.6	72.43	132
3.10	1547	37	1586	1.6	85	66.58	133
1.64	1557	33	1560	1.6	80.7	66.12	134
1.52	1550	31	1549	1.4	84.2	68.23	135
2.05	1546	35	1578	1.5	81.7	72.43	136
3.10	1549	32	1562	2.1	80.3	72.57	137
3.13	1555	23	1572	1.3	83.4	71.30	138
2.81	1547	35	1581	1.3	86.1	72.38	139
3.08	1555	29	1553	1.1	83.2	68.38	140
2.09	1546	24	1568	1.3	83	69.85	141
2.45	1549	21	1576	1.2	84.2	69.20	142
2.29	1546	27	1561	1.5	81.8	58.57	143
0.00	1553	21	1552	1.7	82.4	74.58	144
3.63	1563	23	1567	1.2	82.2	71.05	145
2.75	1550	23	1549	1.5	85.5	67.32	146
1.82	1550	33	1543	1.7	83.8	72.37	147
3.08	1547	31	1565	1.6	82.8	66.12	148
1.52	1548	23	1552	1.3	82.3	72.63	149
3.15	1551	37	1569	1.6	81.2	70.82	150
2.69	1553	30	1566	1.3	82.7	71.60	151
2.89	1546	20	1577	1.5	82.2	71.43	152
2.85	1548	50	1546	1.3	81.9	70.80	153
2.69	1547	38	1550	1.4	80.5	70.72	154
2.67	1546	31	1559	1.6	81.7	75.18	155
3.78	1549	25	1561	1.8	80.9	73.87	156
3.45	1552	22	1585	1.7	85.8	68.97	157
2.23	1564	34	1575	1.6	82.1	75.42	158
3.84	1559	31	1550	1.5	82.4	74.52	159
3.62	1561	29	1549	1.6	82.9	70.32	160
2.57	1553	20	1565	1.6	81.7	73.07	161
3.25	1547	32	1563	1.5	85.2	75.42	162
3.84	1563	29	1549	1.8	81.7	61.53	163
0.00	1557	26	1577	1.5	80.9	74.38	164
3.58	1556	30	1545	1.7	83.1	74.38	165