المكتبة التكنولوجية

إشراف المهندس سعيد عبد الغفار

٢

صناعة الصلب في المحولات

مهندس/ صبحي محمد علي

تقديم

مهندس/ عدلي كريم

الهيئة المصرية العامة للكتاب

المكتبة التكنولوجية

٢

الهيئة العامة لمكتبة الإسكندرية

• ٢٨٦

صناعة الصلب فى المحولات

المكتبـــة التكنولوجيـــة

سلسلة تصدر عن الهيئة المصرية العامة للكتاب

باشراف : مهندس / سعيد عبد الغفار

المكتبة التكنولوچيّة

٢

صناعة الصلب فى المحولات

مهندس صبحى محمد على

تقديم

مهندس عدلى كريم

الهيئة المصرية العامة للكتاب

١٩٨٧

اخراج : زهور السلام

الاشراف الفني : محمد قطب

تقـــديـــم

لعلى لا أكون مبالغا اذا اعترفت أنى غمرنى شعور بالرضـــا حـــين تصفحت هذا الكتاب العلمى المتخصص ·· ذلك أن الكتاب قد ملأ فراغا كان يعيب مكتبتنا الهندسية العربية وهو مجال انتاج الصلب بأساليبه المتنوعة · ومما لا شك فيه أن حاجة العاملين فى صناعة الحديد والصلب ـ وقد تنوعت شركاتها وأساليب انتاجها ـ أصبحت ماسة للغاية الى كتاب يغطى هذا المجال ويزود هؤلاء العاملين بما يـلزم من معلـومات أساسية ·

ولقد أدركت قيمة الكتاب انطلاقا من الجهد المخـلص الذى بذلـه المؤلف كى يبسط المعلومات والحسابات دونما اخلال بأمانة الجهد العلمى وشمولية المجال الهندسى ·

ونأمل أن تضطرد الجهود حتى تستكمل المكتبة الهندسية العربية جميع جوانبها ·

مهندس عدلى عبد الشافى كريم

الفصل الاول

المبادىء الأساسية لصناعة الصلب فى المحولات

فى الواقع يعتبر الحديد الزهر سبيكة من الحديد والكربون فهـــو يحتوى على ٣ر٥ ــ ٤ر٥٪ من الكربون ، ٢ر٥ ــ ٤ر٥٪ من الشوائب التى أهمها السليكون والمنجنيز والفوسفور والكبريت ٠

ويحتوى الحديد الزهر اللازم لصناعة أنواع الصلب الخاصة عـلى عناصر الكروم والنيكل والفانديوم ٠ وهـذه العنـاصر هى التى تكسب الصلب الخواص التى صنع من أجلها ٠

ونقل كثيرا نسبة الشوائب فى الصلب العـادى عنها فى الحديـد الزهر اذ تكون فى مجموعها نسبة تتراوح بين ٥ر٠ ــ ٥ر١٪ بينما تتراوح بين ٥ر٢ ــ ٥ر٤٪ فى الحديد الزهر ٠ وهذا التباين الكبير فى نسب الشوائب فى الحديد الزهر والصلب هو المسئول عن الفروق الجوهريـة فى الخواص ٠

ويتميز الصلب بمقدرته على تقبل الطرق والثنى والشد وتتيح هذه الخواص امكانية تشكيل الصلب بطرق التشكيل المختلفة كالطرق عـلى الساخن والسحب والثنى على البارد ٠٠ ويمكننا انتاج تشكيلة كبيرة من الصلب تختلف فيما بينها اختلافا بينا فى الخواص الميكانيكية والخواص الأخرى وذلك بالتحكم فى التركيب الكيميائى وكذلك بواسطة المعالجـة الحرارية ٠

ويتسم الحديد الزهر بالصلادة والهشاشية وعدم قابليته للمطيلية ٠ ولا يكتسب الحديد والزهر خاصية المطولية عند التسخين (باستثناء الحديد الزهر المطاوع فانه يكتسب هذه الخاصية بعد اجراء عمليـات معقدة من المعالجة الحرارية) وتقوم صناعة الصلب أساسا على التخلص من الغالبيـه العظمى من الشـوائب الموجودة بالحـديد الزهر فباتحـاد الشوائب (الكربون ــ المنجنيز ــ السليكون ــ الفوسفور ــ الكروم ــ الفانديوم) بالأكسجين الموجود فى هواء النفخ يمكننا التخلص منها على

هيئـــه أكاسيد . اما الكبريت فتمكن من ازالته على صـــورة كبريتيد الكالسيوم وكبريتيد المنجنيز · ويتتج حاليا بواسطة أفران سيمنز مارتن والأفران الكهربائية وأيضا يصنع بواسطة المحولات والأفران الدوارة ·

وقد يتم صنع الصلب على مرحلتين : فى المرحلة الأولى تقوم المحولات بانتاج الحديد الزهر ثم تتكفل أفران سيمنز مارتن أو الأفران الكهربائية بتحويل الحديد الزهر الى صلب فى المرحلة الثانية ·

ونعرف الطريقة التى يتم فيها صناعة الصلب على مرحلتين بالطريقة المزدوجة وفى الافران الكهربائية وأفران سيمنز مارتن يقوم الخام المضاف الى الشحنة بتمويل الأكسجين اللازم لأكسدة الشوائب الى منطقة التفاعل والحدود المشتركة بين الخبث والفلز · كذلك يشترك الهواء المحيط بالشحنة فى مدها بالاكسجين ·

وينتقل الاكسجين خلال الشحنة بواسطة الانتشار ويتوقف معدل الانتشار على درجة حرارة الشحنة وكذلك على درجة لزوجة كل من الخبث والفلز المنصهر ولذا فان انتشار الأكسجين يكون بطيئا نسبيا ·

وفى صناعة الصلب بطريقة المحولات ينم الحصول على كمية الاكسجين المطلوبة بواسطة هواء النفخ والذى يعمل على تقليب الشحنة مما يتيح للاكسجين فرصة الاتحاد مع الشوائب بسهولة ·· لذا كان الانتشار هنا أقل أهمية ·

١ ـ القواعد لعامة لصناعة الصلب فى المحولات

تقوم صناعة الصلب فى المحولات أساسا على نفخ الحديد الزهـر بالهواء الجوى أو بالهواء الجوى المشبع بالأكسجين أو بخليط من الأكسجين النقى وبخار الماء أو الاكسجين النقى مع باقى أكسيد الكربون ·

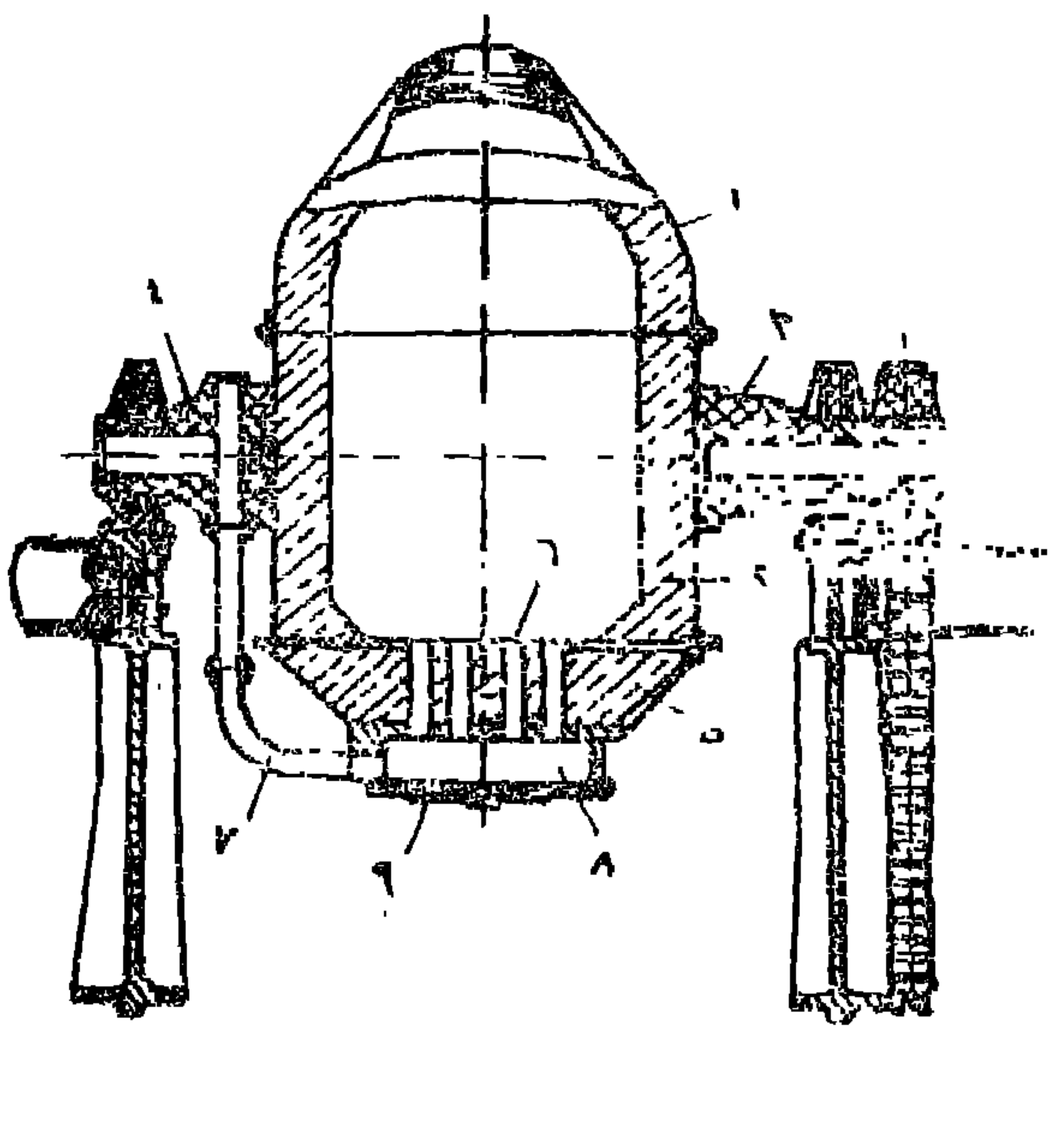
وينم النفخ بواسطة ودنان ينفذ منها الهواء الى قاعدة المحول التى تحتوى على عدد كبير من الثقوب لدخول الهواء ·

وفى التطورات الحديثة لصناعة الصلب فى المحولات يوضع شحنة الحديد الزهر فى محول ذى قاعدة صماء (ليس بها ثقوب) ثم يسلط على الشحنة تيار من الاكسجين الخالص خلال الفتحة العليا للمحول فيتأكسد عنصر الحديد فى أول الأمر ويتحول الى أكسيد الحديدوز الذى يقوم بعد

ذلك بأكسدة الشوائب بواسطة ما يحتويه من اكسجين ولا يخلو الأمر من أن بعض الشوائب قد تتأكسد مباشره بأكسجين النفخ ٠

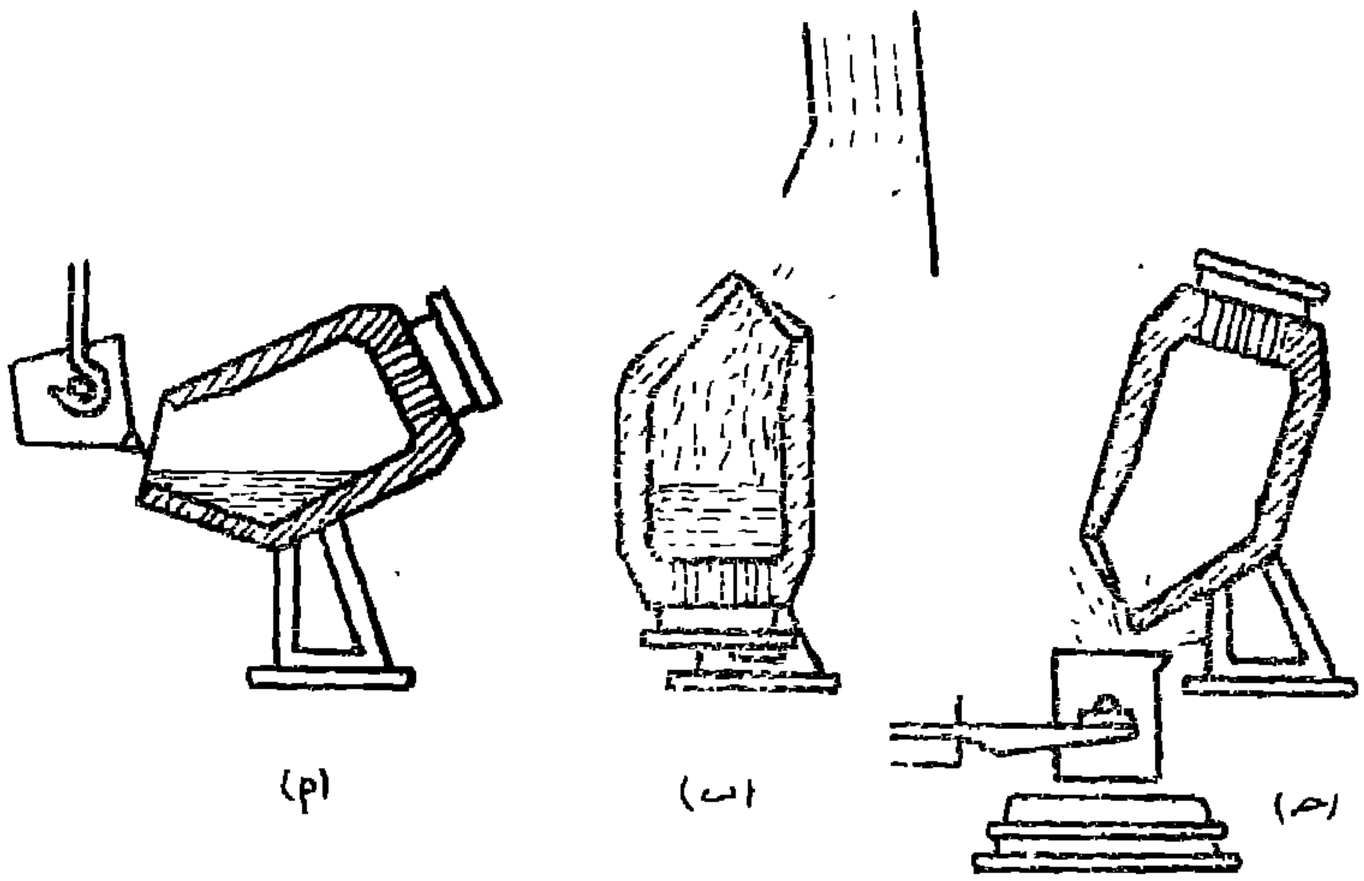
ونتيجة لاتحاد اكسجين النفخ بعنصر الحديد والشوائب الموجـودة بالحديد الزهر تنبعث كمية لا بأس بها من الحرارة وباضافة كمية الحرارة الطبيعية التي يحتويها الحديد الزهر تكون لدينا الحرارة اللازمة ليس فقط لتسخين المعدن المنصهر ولكن أيضا لصهر كمبـة مناسبه من الخردة أو لاختزال كمية محسوبة من خام الحديد ٠

ويبين شـكل (١) تصميما لاحد المحولات قاعدية النفخ . ويتركب المحول من وعاء معدنى كمترى الشكل مبطن من الداخل بطوب حرارى يحدد نوعه تبعا للطريقة المستخدمة فى صناعة الصلب ويستطيع المحول الدوران حول محور أفقى ٠



شكل (١) : اشكال الطوب التى تستخدم لبناء الأجزاء المختلفة من المحول ٠

١ ـ هيكل المحول	٢ ـ حرارات البطانة
٣ ، ٤ ـ مرتكز الدوران	٥ ـ قاعدة المحول
٦ ـ فصبات الهواء وفتحاتها	٧ ـ أنبوبه الهواء
٨ ـ صندوق الهواء	٩ ـ غطاء الصندوق



(٦) : المحول فى أوضاعه المختلفة :

أ ـ عند شحنه بالحديد الزهر

ب ـ اثناء النفخ

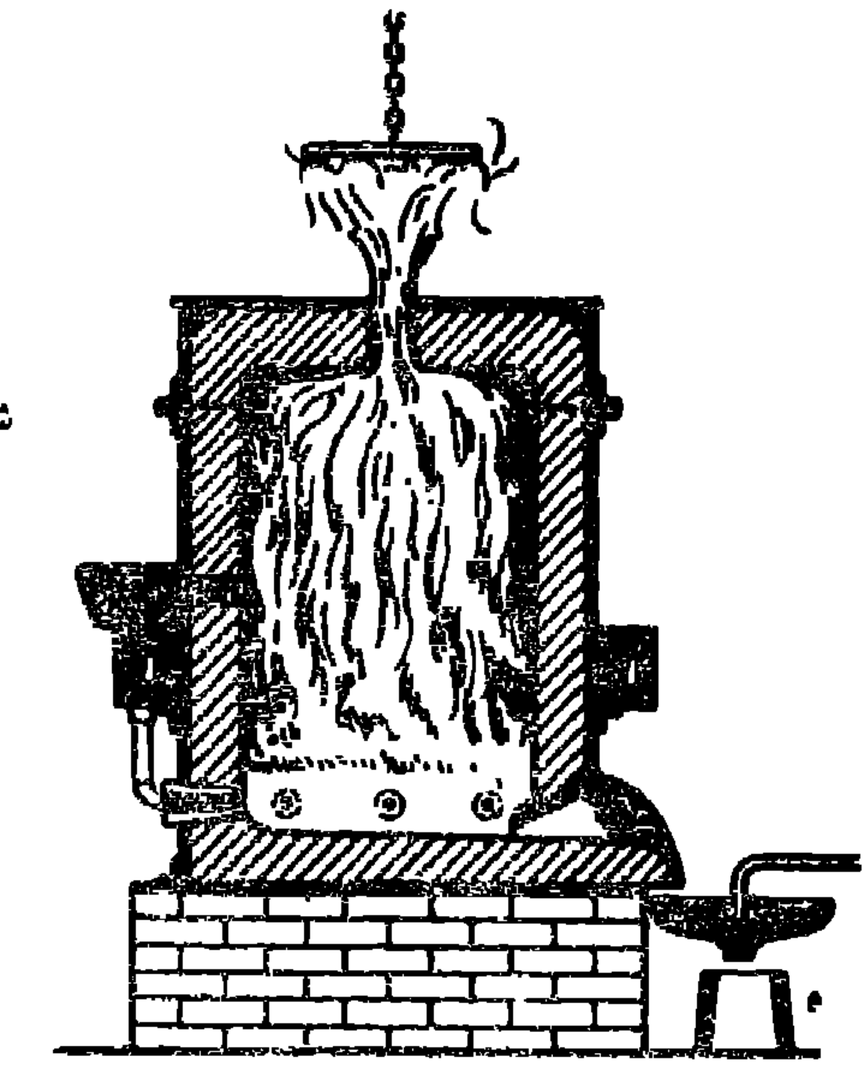
ج ـ عند صب الصلب منه

٢ ـ نبـذة تاريخيـة

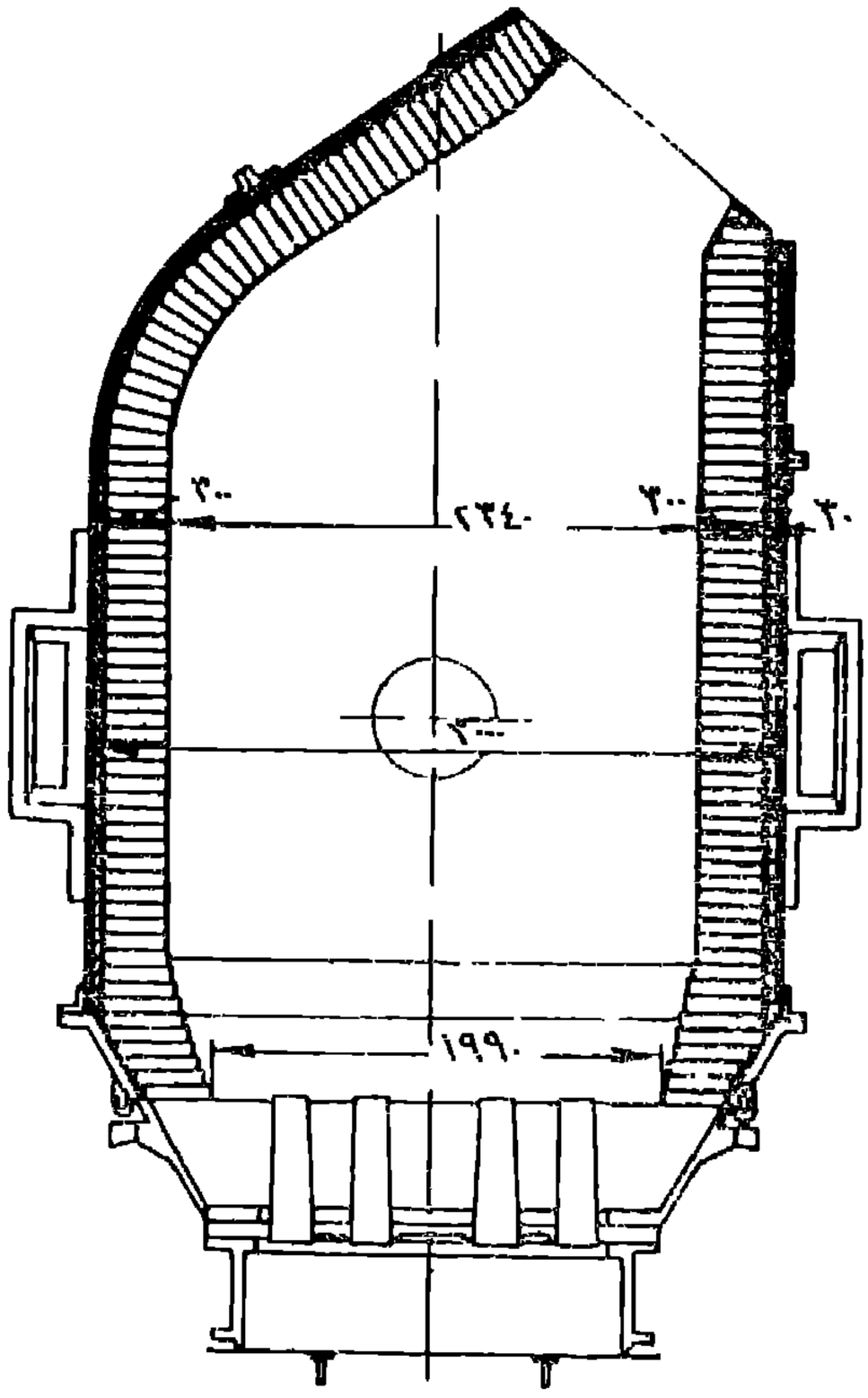
اكتشفت صناعة الصلب بواسطة المحولات سنه ١٨٥٩ م ومكتشفها هو هنرى بسمر الذى قام بأبحاثه بعد تمكنه من قبل حكومته من انتاج الصلب من الحديد الزهر بنفخه بالهواء دون الاستعانة بأى وقود ٠

ويعتبر محول بسمر المبين بشكل (٣) بداية المحاولات لصنع أول محول فى تاريخ صناعة الصلب وهو يتركب من وعاء معدنى ثابت ذى فتحة جانبية عند منتصف ارتفاعه اصب الحديد المنصهر داخل المحول ويوجد بالقرب من قاعة ودنات يمر منها الهواء الى الداخل ويحتوى الجزء الاسفل للمحول على فتحة لاخراج الصلب الناتج وتهرب الغازات المتكونة أثناء التفاعلات الكيميائية من فتحة موجودة عند قمة المحول حيث يصطدم بلوح من الصلب يستخدم كعاكس للغازات كما هو مبين بالشكل ٠

ويبطن المحول بطوب دينامس الحامضى ، وهذا النوع من الطوب يكون مناسبا اذا أحتوى الحديد الزهر على أقل كمية من الفوسفور والكبريت وعندئذ يمكننا انتاج صلب ذى جودة عالية ٠



شكل (٣) اول محول فى تاريخ
صناعة الصلب
(بلاحظ نبوته فى مكانه)



شكل (٤) محـــول
بسعر سعته ٢٠ طنا

ويلاحظ على الفور قصور مثل هذا المحول عن أداء مهمته على الوجه الأكمل نظرا لنيوته في موضعه ولهذا يحتم علينا بدء نفخ الهواء فى المحول قبل صب الحديد الزهر ·· كما يجب انهاء عملية النفخ بعد أن يتم صب الصلب مما يعرض كثيرا من الحديد للضياع نتيجة لتأكسده وخصوصا اذا تعطلت فتحة صب الصلب لسبب أو لآخر ·

وبعد سلسلة من المحاولات باءت كلها بالفشل ، تمكن بسمر فى سنة ١٨٦٠ من بناء أول محول متحرك وهو لا يختلف كثيرا عن المحولات التى نراها اليوم ·

٣ ـ مبادىء الكيمياء الطبيعية فى صناعة الصلب

يحدث كبير من العمليات الطبيعية المعقدة والتفاعلات الكيميائية أثناء نفخ الحديد الزهر فى المحولات فيقوم الأكسجين الموجود بهواء النفخ وخام الحديد بأكسدة المواد غير المرغوب فيها « كربون ، منجنيز ، سليكون ، فوسفور » أما الكبريت فنتمكن من ازالته اذا كانت الطريقة المستعملة قاعدية ، وبمجرد تكوين هذه الاكاسيد فانها تتحد مع الاضافات التى بالشحنة وأهمها الجير الحى (أكسيد الكالسيوم) لتكون خبثا ، وتشترك بطانة المحول بجزء لا بأس به فى تكوين الخبث ومع هذا فان جزءا من هذه الأكاسيد يذوب فى الصلب الناتج ·

وبالنسبة للكربون فانه بمجرد أن يتأكسد فانه يبتعد عن منطقة الفاعلات على صورة أول أكسيد الكربون ··

وبالرغم من هذا فانه فى نهاية عملية النفخ نتمكن بعض هذه العناصر غير المرغوب فيها (النفايات) التى تم تأكسدها من التنصل من الأكسجين بواسطة الاختزال وبذلك تعود سيرتها الأولى ، وتأخذ صورتها العنصرية ثم تشترك فى تركيب الصلب الناتج من جديد فمثلا يختزل ثانى أكسيد السليكون الذى يذوب فى الصلب الناتج كذلك نختزل أكاسيد المنجنيز والفوسفور فى محولات توماس ·

ونعتبر دراسة الظروف التى يتم فيها أكسدة الشوائب واختزالها وكذلك تكوين الخبث أمرا مهما الى حد بعيد لكى نتمكن من التحكم فى صناعة الصلب والسيطرة على التفاعلات التى تحدث داخل المحول ·

(أ) المجموعة ـ الصنف ـ المحلول وتركيزها :

يطلق على عدد من المواد التى تتفاعل مع بعضها لفظ (مجموعة) فمثلا يطلق لفظ « مجموعة » على : الفلز المتكون ، الخبث ، البطانة ·

ومن الواضح أنه أثناء صناعة الصلب تحدث كثير من التفاعلات الكيميائية داخل هذه المجموعة · وتكون المجموعة متجانسة ، اذا كانت جميع المواد المكونة لها متشابهة طبيعيا ولا تختلف فى خواصها فاذا اختلفت هذه المواد عن البعض فى خواصها الطبيعية أطلق عليها « مجموعة غير متجانسة » ويطلق لفظ (صنف) على أى جزء من مجموعة غير متجانسة يختلف خواصها الطبيعية عن باقى المجموعة ·

وتحتوى على مجموعة المواد المتفاعلة داخل المحول على أربعة أصناف على الأقل وهى : الفلز المنصهر ـ الخبث ـ بطانة المحول ـ والغازات وكل صنف من هذه الأصناف يكون متجانسا باعتباره منفصلا بينما تكون هذه الأصناف مجتمعة مجموعة غير متجانسة ·

وأثناء عملية النفخ تحدث كبر من التفاعلات الكيميائية فى كل صنف على حدة وكذلك بين الأصناف المختلفة ويطلق لفظ (محلول) على كل صنف متجانس يحتوى على مواد ممتزجة ببعضها امتزاجا تاما ·

ولما كان الصلب مذيبا لكثر من الأصناف المختلفة كالشوائب وبعض الأكاسيد وعدد من الغازات فهو يعتبز محلولا معقدا ·

أيضا يعتبر الخبث محلولا مكونا من الأكاسيد المختلفة ومركباتها ونظرا للامزاج التام بين الغازات يعتبر خليط من الغازات أبسط أنواع المحاليل ·

ولخليط من الغازات ضغط كلى يكون مساويا لمجموع الضغوط الجزئية لكل منها منفردا ·

والضغط الجزئى لخليط من الغازات هو ضغط كل منها على حده حين يسمح له بشغل كل الحيز الذى يشغله الخليط عند نفس درجة الحرة ·

ويتناسب تركيز كل غاز فى الخليط مع ضغطه الجزئى طرديا ·· ولقد اتفق على التعبير عن مقدار من المادة مذابا فى محلول ما بدرجة تركز هذه المادة فى هذا المحلول فمثلا اذا احتوى نوع من الفولاذ على ٥ر٠ / من المنجنيز مذابا فيه قيل ان درجة تركيز المنجنيز فى هذا الفولاذ ٥ر٠٪ ·

وقد اصطلح على التعبير عن تركيب الغازات فى محلول منها بالنسبة المئوية حجما أما في حالة السوائل فيكون التعبير بالنسبة المئوية وزنا ·

(ب) قانون فعل الكتلة ـ معدل التفاعلات الكيميائية :

التأثير الحرارى :

نعرف المواد التى تشترك فى تفاعل ما بالمواد الداخلة فى التفاعل ونكتب عادة فى الطرف الأيسر من معادلة كيميائية تحدد هذا التفاعل (هذا اذا كتبت المعادلة باللغة الانجليزية) كما تعرف المواد التى تنكون نتيجة لهذا التفاعل « بناتج التفاعل » وتكتب بالطرف الأيمن للمعادلة الكيميائية ٠

وينص قانون فعل الكتلة على أن معدل سرعة تفاعل ما مقيسا بمقدار المواد المتفاعلة فى وحدة الزمن يكون متناسبا مع درجة تركيز المواد الداخلة فى التفاعل ومساويا لحاصل ضربها مرفوعة للقوة العددية المناظرة للمعاملات الحسابية لكل منها وعلى سبيل المثال بعتبر التفاعل الآتى :

$$٢\ فو + ٥\ حأ = فو_{٢}\ أ_{٥} + ٥\ ح$$

تكون الاعداد ٢ قبل فو ، ٥ قبل ح أ هى المعاملات الحسابية لكل منها واذا لم يكن هناك عدد حسابى مكتوب مثل $فو_{٢}\ أ_{٥}$ فانه من الضرورى التعبير عن معدل التفاعلات كالآتى :

$$ع = ث \times (\%فو)^{٢} \times (\%ح أ)^{٥}$$ حيث

ع = سرعة التفاعل

ث = ثابت (معدل سريان التفاعل) ٠

ويتوقف هذا التابت على عدد من العوامل منها درجة الحرارة وطبيعة المواد الداخلة فى التفاعل ٠ وعادة ما تكون قيمة ن كبيرة جدا فى غالبية التفاعلات الحادثة فى صناعة الصلب أى أن التفاعلات تسير بمعدل سريع جدا ٠ ويلزم امداد عناصر التفاعل باستمرار الى منطقة التفاعل مع سحب نواتج التفاعل بصفة دائمة حتى يسير التفاعل فى الاتجاه الصحيح بسرعة مقبولة على المستوى الصناعى ويعتمد ذلك فى النهاية على عمليات انتشار للمواد التفاعلة خلال منطقة التفاعل وهى عمليات يقل معدلها عادة عن معدلات التفاعلات الكيميائية لذلك يعتبر معدل الانتشار هو المحك فى معدل تقدم التفاعلات وليس المحك هو السرعة النظرية لهذه التفاعلات ٠

ويزيد من سرعة معدل الانتشار تحسن ظروف التقليب فى حمام المعدن المنصهر بفعل تأثير الشوائب وهواء النفخ (أو الأكسجين) ٠٠

وتختزن كل مادة كمية من الطاقة الداخلية تقاس بالسعرات الحرارية وعندما تتفاعل المادة مع غيرها تفاعلا كيميائيا فقد ينخفض مقدار الطاقة الداخلية لانتقال جزء منها الى البيئة المحيطة أو يزيد باستقبال طاقة من الخارج فاذا احتوت المواد المتفاعلة على طاقة أكبر من طاقة نواتج التفاعل تصاعد الفرق على شكل حرارة ويمكن لهذا التفاعل أن يستمر اذا تم سحب الحرارة المتصاعدة من منطقة التفاعل · وعلى العكس اذا كان محتوى الطاقة لنواتج الفاعل أكبر من المواد المتفاعلة استلزم الأمر امداد كمية خارجية من الحرارة الى منطقة التفاعل كشرط لاستمرار هذا التفاعل ويطلق على التفاعل الذى تتصاعد الحرارة من جراء حدوثه اصطلاح « تفاعل طارد للحرارة » وعلى النوع الآخر اصطلاح « تفاعل ممتص للحرارة » ·

فمثلا : يعتبر التفاعل :

$$٢ح_{٢}أ + س \longrightarrow س أ_{٢} + ح$$

تفاعلا طاردا للحرارة ، حيث يعتق ٧٨ر٩٩٠ سعرا من الحرارة من كل ذرة سليكون تتفاعل مع جزيئين من أكسيد الحديدوز ·

فى حين أن التفاعل :

$$م أ + ك أ \longrightarrow م + ك أ$$

يعتبر تفاعلا ممتصا للحرارة حيث يحتاج الوزن الجزيئى من مواد هذا التفاعل الى ٦٦ر٧٥٠ سعرا حراريا كى يتم ·

جـ ـ اتزان التفاعـــلات

نفترض أن مادتين أ ، ب تتفاعلان مع بعضهما البعض فينتج من هذا التفاعل مادتان جـ . د ومع تقدم التفاعل ينخفض تركيز

$$أ + ب \rightleftarrows جـ + د$$

المادتين أ ، ب بينما يزداد تركيز المادتين جـ ، د بفرض استمرار تغذية أ ، ب واستمرار تصريف جـ . د الى ومن منطقـة التفاعل · وتقل سرعة التفاعل فى اتجاه اليسار مع انخفاض تركيز المادتين أ ، ب ثم ينعكس اتجاه التفاعل بعد زيادة تركيز المادتين جـ ، د ويسمى مثل هذا التفاعل تفاعلا قابلا للانعكاس ·

ويستمر الحال حتى يتساوى معدلا التفاعل فى كلا الاتجاهين وبذلك يبلغ التفاعل مرحلة الاتزان ويتوقف سريانه ·

ويكون معدل التفاعل فى اتجاه اليمين ع ١ = ث١ × أ٠ب

ويكون معدل التفاعل فى اتجاه اليسار ع٢ = ث٢ × جـ٠د

وفى حالة الاتزان يصبح : ع١ = ع٢ أى أ٠ب = جـ٠د

$$\frac{\text{ث ٢}}{\text{ث ١}} = \text{ثر٠ (ثابت التفاعل عند الاتزان)}$$

$$\text{ثر٠} = \frac{\text{جـ ، د}}{\text{أ ، ب}} \qquad \text{ثر٠ = ثابت الاتزان}$$

$$= \frac{\text{نسبة تركيز المواد المتفاعلة}}{\text{نسبة تركيز نواتج التفاعل}}$$

ويكون لثابت الاتزان قيمة ثابته عند كل درجة حرارة وتتجه كل مجموعة متفاعلة الى نقطة الاتزان عادة بتغيير نسب تركيز المواد المشتركة فى التفاعل ٠

وفى حالة التفاعلات التى تجرى داخل المحلولات يلاحظ أن المواد الموجودة فى الخبث تتفاعل مع المواد الموجودة فى المعدن وللتمييز بين تركيز المادة فى المعدن وفى الخبث جرى العرف على التعبير عن تركيز المواد فى المعدن بوضعها بين قوسين مستطيلين [ ] وتركيز المواد فى الخبث بوضعها بين قوسين مستديرين ( ) ٠

ويعبر عن المواد الغازية الداخلة فى تفاعل ما عادة بضغطها الجزئى (ض) أى أن ثابت الاتزان للتفاعل :

ك٢أ + أ٢ ⟷ ك٢أ٢ كالآتى :

$$\text{ثر٠} = \frac{\text{ض}_{٢}\ \text{ك أ}_{٢}}{\text{ض}_{٢}\ \text{ك} \times \text{ض أ}_{٢}}$$

٤ ـ المبادىء الأساسية لتحويل الزهر

يحتوى الحديد الزهر على عنصر الحديد متحدا مع عدد من العناصر الكيميائية الأخرى أهمها الكربون والمنجنيز والفوسفور والكبريت والسليكون ٠

وتتوقف نسب هذه العناصر في الحديد الزهر على التركيب الكيميائى للمواد الخام المكونة لشحنة الفرن العالى وفى مقدمتها خام الحديد وفحم الكوك والحجر الجيرى كما تتوقف أيضا على طريقة تشغيل الفرن العالى نفسه وعموما يحتوى الحديد الزهر على ٣ ـ ٥ر٤٪ من الكربون ، ١٥ر٠ ـ ٥ر٢٪ للمنجنيز وتصل نسبة الكبريت به الى ٣ر٠٪ ، ٠٢٥ر ـ ٥ر٢٪ من الفوسفور ، ٥ر٠٪ ـ ٤٪ من السليكون ٠

وعند تنقية الحديد الزهر بتحويله الى صلب يجب أن تزال هذه العناصر جميعا أو على الأقل تخفض نسبتها كثيرا وتنقسم طرق انتاج الصلب ـ ومنها طرق النفخ ـ من وجهة النظر الكيميائية الى **أسلوبين رئيسيين** :

الأسلوب الحمضي ، والأسلوب القاعدى :

ويمكن ازالة كل من الكربون والمنجنيز والسليكون بسهولة نسبية فى أى من هذه الطرق سواء كانت حمضية أو قاعدية ولكن ازالة كل من الفوسفور والكبريت تتطلب ظروفا خاصة يمكن توافرها فقط بتطبيق الأسلوب القاعدى حيث يضاف الجير الى الشحنة لتكوين خبث قاعدى ويستطيع الخبث القاعدى تكوين مركبات مع الفوسفور والكبريت أثناء عمليات التنقية وبذلك يتخلص المعدن من كليهما ٠

وتبعا لطبيعة الخبث الكيميائية يجب أن تجرى كل طريقة فى جهاز يبطن بحراريات لها تركيب كيميائى خاص والا تفاعلت مع الخبث وتعادلت مع مكوناته فتتدهور البطالة سريعا ٠

ويتحد الاكسجين بالعناصر غير المرغوب فيها (**باستثناء الكبريت**) والتى يطلق عليها اسم الشوائب كما يتحد بعض الحديد ـ وهذا أمر لا مفر منه وتتكون أكاسيد يغادر بعضها منطقة التفاعلات على هيئة غازات ويشترك البعض الآخر فى تكوين الخبث ٠

والكبريت لا يمكن ازالته باتحاده مباشرة مع الاكسجين ولكن ازالته تعتمد بدلا من ذلك على قاعدين الخبث ودرجة حرارته ٠

وتتابع عمليات تنقية الحديد الزهر على نحو مطرد ويلازم ذلك ارتفاع مستمر فى درجة انصهار الشحنة مما يوجب مدها بكمية وفيرة من الحرارة حتى تظل منصهرة ٠

وبوجه عام تتشابه جميع أنواع الصلب ذات التركيب الكيميائى الواحد ـ مهما اختلفت طرق صناعتها ـ فى الخواص الميكانيكية والفيزيقية٠

فالصلب الذى يصنع بطرق النفخ وله نفس التركيب الكيميائى لذلك الصلب الذى يتم صنعه فى الفرن المفتوح القاعدى ـ خاصة فيما يتعلق بنسبة كل من الفوسفور والكبريت والنتروجين ـ سوف تكون خواصهما متقاربه ، وقد يستخدم فى نفس تطبيقاته العامة ٠

وهناك بعض تطبيقات يفضل فيها استخدام الصلب المصنوع بطرق النفخ ـ خاصة صلب بسمر ـ عن الصلب المصنوع بأى من الطرق الأخرى لما يتمتع به من خواص ميكانيكية وفيزيقيـة مطلوبـة نتيجـة لتركيبه الكيميائى ٠

(أ) قواعد انتاج الصلب بطرق النفخ :

لانتاج الصلب بطرق النفخ يدفع الهواء ـ أو غاز الاكسجين النقى أو ـ خليط منهما أو غيرهما من الغازات الأخرى المؤكسدة ـ تحت ضغط خلال الحديد الزهر أو فوق سطحه وبذلك يتحول الى صلب ٠

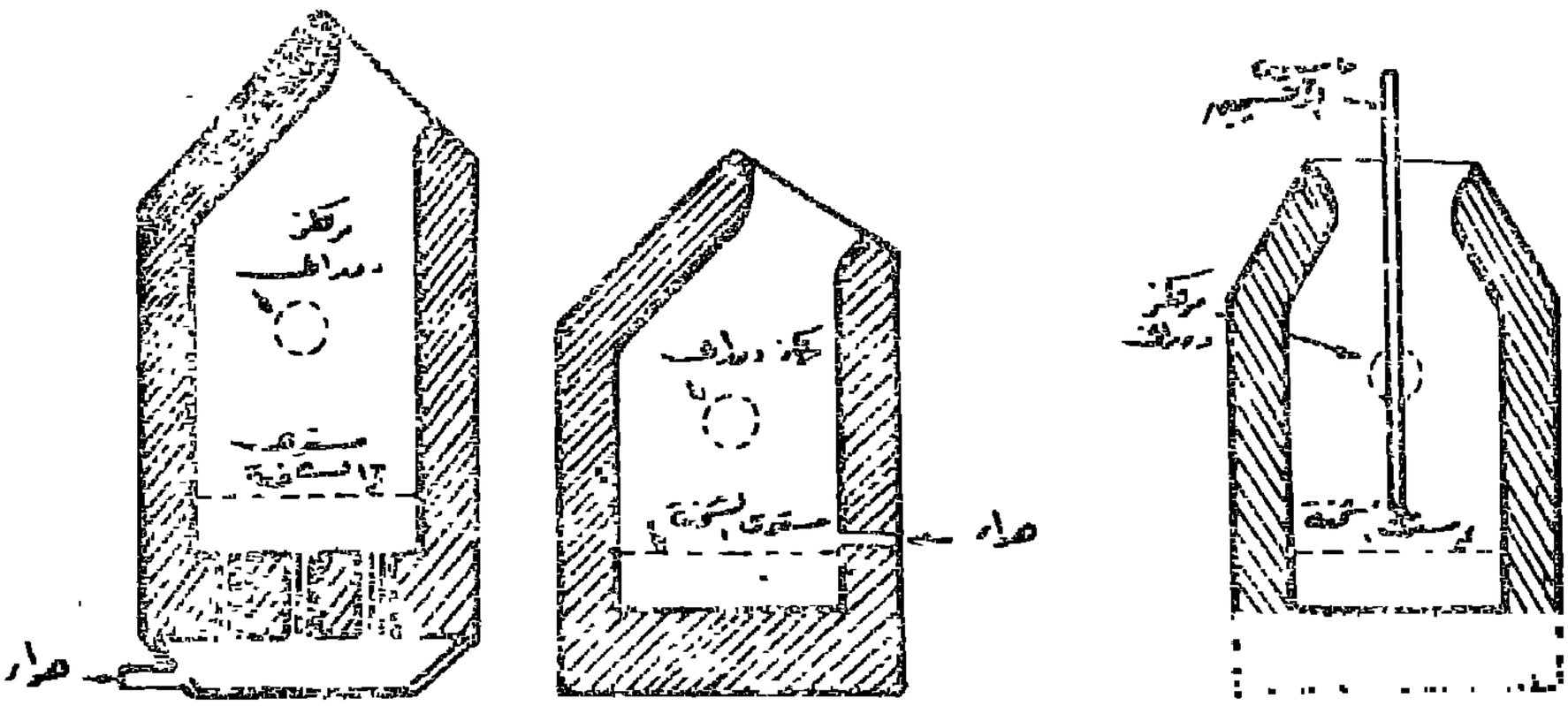
واذا استخدم الهواء منفردا لنفخ الحديد الزهر فان النتروجين الذى يمثل أربعة أخماس حجمه لا يقوم بأى دور مفيد بل على النقيض من ذلك فانه يأخذ معه عند مغادرته الشحنة المنصهرة كمية لا بأس بها من الحرارة كما يعمل من ناحية أخرى على افساد خواص الصلب المنتج عند تذاوب جزء منه فى المعدن المنصهر وعلى ذلك تختفى المشاكل التى تنشأ عن وجود النتروجين اذا استخدم الاكسجين نقيا فى نفخ الحديد الزهر ٠

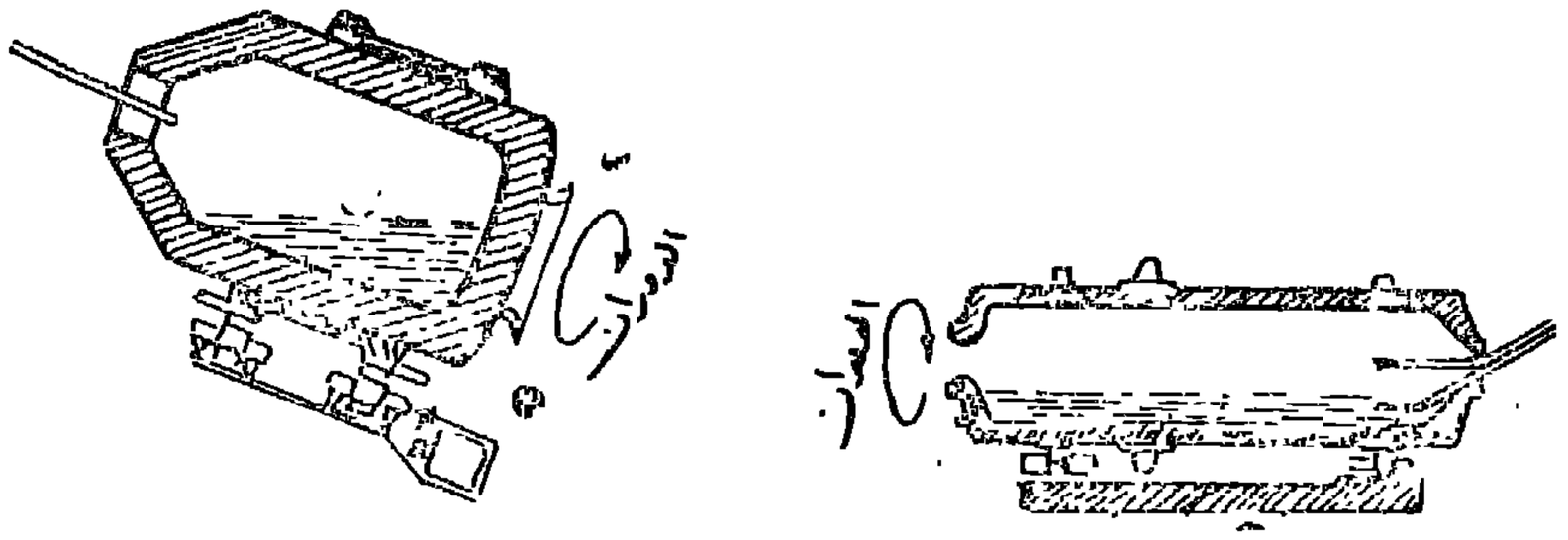
وهناك طرق مختلفة يمكن فيها مد الشحنة المنصهرة بالغاز المؤكسد ، وفى الوقت الحاضر تستخدم خمس طرق لانتـاج الصلب تجـاريا وهى موضحة تخطيطيا فى شكل (٧) ٠

ويعتبر انتاج الصلب بأسلوبيه الحمضى والقاعدى فى المحول من النوع الأول حيث ينفخ الهواء خلال قاعدته بمثابة العمود الفقرى لهذه الصناعة ٠ (أنظر شكل ٧) ٠

وفى هذه الطريقة ينتقل هواء النفخ خلال الارتفاع الكلى للمعـدن المنصهر حيث يقوم بأكسدة الشوائب وتحويل الحديد الزهر الى صلب ٠

أما المحول من النوع الثانى (ب) حيث ينفخ الهواء جانبا فيمـكن اعداده كى يكون النفخ خلال المعدن نفسه أو مماسا لسطحه ٠





شكل (٧) : يبين الطرق المختلفة لصناعة الصلب بطرق النفخ

وعلى الصعيد العالمى لم يحظ هذا النوع من المحـولات بالانتشـار الواسع اذ ظهر عند التطبيق كثير من مشاكل الصيانة وغيرها ٠

أما فى النوع الأخير من المحولات (ج) حيث ينفخ الاكسجين النقى من أعلى خلال فوهة المحول من ماسورة تبرد بالمياه ويندفع الغاز بسرعة عالية وتحت ضغط شديد الى المعدن المنصهر فيتقعر سطحه وتزداد المساحة المعرضة للتفاعلات المباشرة مع تيار الغاز ٠

وفى طريقة الكالدو يدخل تيار الاكسجين مائلا بزاوية صغيرة الى سطح المعدن المنصهر الذى يوجد فى محول شبه المحولات السابقة ويميل محوره على الأفقى بزاوية ملائمة (كما فى الشكل) ويدور بسرعة معينة ٠

أما فى طريقة الروتور فيحقن غاز الاكسجين النقى تحت سطح المعدن المنصهر فى فرن اسطوانى أفقى يدور ببطء بينما يدفع تيار من اكسجين تجارى (نقاوته أقل من عادية) فوق مصهور المعدن ٠

(ب) خصائص ومميزات الصلب المصنوع بطرق النفخ :

بينما تنفرد الطرق الغازية لصناعة الصلب بميزات عديدة أهمها سرعة الانتاج وبساطة التشغيل فانها فى نفس الوقت لا تخلو من بعض العيوب الكيميائية وهذه أمكن التغلب على الجزء الأكبر منها بتطبيق طرق النفخ الحديثة ٠ فمثلا يحتوى أنواع الصلب المصنوعة فى محول بسمر بنفخ الحديد الزهر بالهواء فقط خلال قاعدة المحول عموما على نسبة عالية من الفوسفور والكبريت والنتروجين بالقياس الى النسبة المناظرة لهذه العناصر فى أنواع الصلب المصنوعة فى الفرن المفتوح القاعدى وقد تضيق الهوة بين نسب العناصر عند المقارنة بين أنواع الصلب المصنوع فى كل من محول توماس أو بسمر القاعدى) والفرن المفتوح القاعدى اذا أخذنا فى الاعتبار : الفوسفور والكبريت ولكنه من المتعذر انتاج صلب توماس تنخفض فيه نسبة النتروجين اذا استخدم فى النفخ هواء منفرد ٠

وعندما تكون نسبة كل من الفوسفور والكبريت والنتروجين فى صلب توماس مرتفعة عند المقارنة بصلب الفرن المفتوح القاعدى فان ذلك يؤدى الى رتفاع نقطة الخضوع به وزيادة مقاومته للشد بينما تخفض مطيليته عن صلب الفرن المفتوح القاعدى ٠٠ وعلاوة على ذلك فانه اذا ما ارتفعت نسبة النتروجين فى الصلب المصنوع بطرق النفخ تعرض لفقد بعض مطيليته نتيجة لما يعرف بظاهرة الازمان ٠

ويمكن تفهم سبب انخفاض نسبة النتروجين فى الصلب المنتج فى محول جانبى النفخ (حيث يمر تيار الهواء مماسا لسطح المعدن المنصهر) عنه فى الصلب المنتج فى محولات بسمر أو توماس (حيث يتم نفخ الهواء خلال قاعدة المحول) مع أن غاز النفخ فى كلتا الحالتين هو الهواء اذ أن فرصة تعرض المعدن المنصهر للنتروجين فى هواء النفخ فى الحالة الأولى تكون أقل منها فى الحالة الثانية ٠ أما فى طريقة النفخ العلوية بالاكسجين النقى فتنعدم تقريبا فرصة تعرض المعدن المنصهر للنتروجين ــ اللهم الا من الهواء الخارجى ــ وعليه تنخفض كثيرا نسبته فى الصلب الناتج ٠

وهناك عيب آخر فى طرق النفخ لصناعة الصلب يكمن فى الصعوبة

النسبيه التى تواجه عملية ضبط نسبه الكربون فى المنتج النهائى باحكام ودقة كما يحدث عند صناعته فى الفرن المفتوح القاعدى اذ تمتاز الطريقة الأخيرة بفرصة مفتوحة لضبط نسبة الكربون فى الصلب المنتج ٠

ولما كانت طرق النفخ لصنع الصلب تتسم بالسرعة فانه من العسير ايقاف النفخ فى الوقت المناسب بالضبط عندما تصبح نسبة الكربون فى المعدن هى المنشودة وبالتالى كانت التشكيلة المتاحة من الصلب المنتج بهذه الطرق محدودة ولا تتعدى فى أغلب الأحيان الصلب منخفض الكربون (نسبة الكربون حوالى ٠٣ر٠٪) والصلب التجارى (نسبة الكربون حوالى ٠٥ر٠٪ أما اذا كان مطلوبا صنع صلب عالى الكربون فانه يمكن تحقيق ذلك بنفخ المعدن المنصهر حتى نسبة منخفضة من الكربون ثم اعادة كربنة الصلب باضافة مواد مكربنة ٠

يضاف الى ما سبق من العيوب عيب آخر لا يقل عنها شأنا ففى صناعة الصلب بطرق النفخ لا يمكن السيطرة بسهولة على درجة حرارة النفخ النهائى فهى رهن بعوامل عديدة منها :

الحرارة الطبيعية للحديد الزهر وهى التى يمكن قياسها بأجهزة القياس المختلفة كالمزدوجات الحرارية والحرارة الكيميائية له وهى الحرارة التى تتولد عند أكسدة الشوائب ويمكن حسابها من معادلات التأكسد ، ونسبة الغازات المؤكسدة فى غازات النفخ ودرجة حرارته وغيرها من العوامل الأخرى التى اذا ماأضيف اليها عامل السرعة فى هذه الطرق أصبح التحكم فى درجة الحرارة ضربا من المستحيلات ٠

وفى السنوات الأخيرة أصبح فى الامكان تطوير طرق النفخ حتى يمكن التغلب على القصور الموجود بالطرق القديمة السابقة وقد تحقق ذلك بفضل استخدام الاكسجين النقى والهواء المزود بالاكسجين وخليط من الاكسجين والبخار وخليط من الاكسجين وثانى أكسيد الكربون وغيرها من الغازات المؤكسدة الأخرى أو خليط منها ٠

الفصل الثانى

الحراريات المستخدمة فى المحولات

تعتبر المواد الحرارية من العناصر الأساسية التى تلزم انتاج الصلب من المحولات ، ذلك أنها تعد الجزء الواقى من تأثيرات الحرارة الشديدة التى تتسم بها عمليات انتاج الصلب ٠

ومن اللازم أن يكون انتقاء المادة الحرارية التى تصلح للتعامل مع الحديد الزهر الداخل الى المحولات بحيث تتمكن المادة الحرارية من مواجهة التأثيرات الحرارية والكيميائية للحديد الزهر والخبث بشتى التفاعلات المصاحبة لعملية تحويل الحديد الزهر الى صلب ٠ كذلك يشترط أن تتصف المادة الحرارية بقوة مقاومة ميكانيكية جيدة للصمود أمام الحركة الميكانيكية للمحول والتأثير الميكانيكى للنحات الناشىء عن حركة الهواء أو الأكسجين (الوسط المؤكسد) داخل المحول وحركة حمام المعدن المنصهر على سطح الحراريات ٠

ويحدث تأثير مشترك بين سطح المعدن والحراريات المكونة لبطانة المحول وقاعدته وكذلك بطانة الخلاط ٠

وينبغى أن تكون خواص المادة الحرارية فيزيقيا وكيميائيا بحيث يمكنها مقاومة هذا التأثير المشترك لفترة زمنية طويلة تختلف تبعا لاقتصاديات العملية وتسمى هذه الفترة بعمر آداء المادة الحرارية أثناء التشغيل وهى عامل هام لتحديد نظام تشغيل الوحدة ٠

وتتحدد الخواص المطلوبة من المادة الحرارية كالآتى :

١ ـ **الصمود للحرارة** : أى المقدرة على تحمل درجات الحرارة العالية بدون أن تتصدع ٠

٢ ـ **المقاومة للحريق** : اى المقدرة على أن تظل صلبة تحت أحمال عند درجات الحرارة العالية · وقد وجد ان الطوب الحرارى الذى يتعرض لأحمال معينة ـ مثلا وزن الطوب الذى قد شيد فوقه أو قد يعرض الضغوط جانبية نتيجة لتمدد الطوب المجاور له فى المحول ـ يبدأ فى فقد صلابته ونسوء أبعاده عند درجة حرارة أقل من صموده للحرارة ·

ودرجة الحرارة التى عندها يبدأ التشويه الديناميكى « أى تحت أحمال لها أهمية خاصة للحراريات المستعملة فى تبطين المحولات وتقاس بدرجة حرارة محسوبة عند ضغط قدره ٢ كجم/سم٢ على مساحته المطلوبة ·

٣ ـ **المقاومة للصدمات الحرارية** : أى مقدرة الطوب الحرارى على مقاومة التشقق عند التعرض لتغيير فجائى حاد فى درجة الحرارة ·

٤ ـ **المقاومة للنشاط الكيميائى مع الجلخ** : وهى قدرة الحراريات على الثبوت أمام التفاعلات الكيمائية فكلما قلت قدرة المعدن (والجلخ فى حالة الانصهار على استهلاك الحراريات) كلما زادت كفاءتها ·

أنواع الحراريـــات

تختلف الحراريات تبعا لاستعمالها ففى محولات بســمر تستخـدم الحراريات الحامضية وفى محولات توماس تستخـدم حـراريات قاعديـة وهكذا ··· وهناك أيضا حراريات متعادلة وحراريات خاصة ·

أولا : الحراريات الحامضية :

طوب دیناس :

ويصنع هذا الطوب من الكوارتز المجروش مضافا اليه كمية صغيرة من الطفل الحرارى وماء الجير كمادة لاصقة · ويتكون الكوارتز أساسا من ثانى أكسيد السليليكون س أ ٢ وهو يستعمل اما بللوريا أو غير بللورى·

عند تسخين الكوارتز يبدأ فى التحول الى أشكال مختلفة فهو يتحول الى تريديميت ثم كريستوباليت مع زيادة فى الحجم وتبعـــا لذلك تقل كثافة النوعية ·

ويتمدد طوب ديناس عند رفع درجة حرارته وتعتبر هذه الخاصية

ديرة لها أهميتها فعند تبطين المحول مثلا تتماسك حلقات الطوب بأحكام كبير نتيجة للضغط الناتج عن تمددها ٠

وطوب دينامس له مقاومة كبيرة للحريق وهو يفضل غيره من الحراريات فهو يتمدد حتى درجة ٦٠٠ درجة م ثم ينبت تقريبا عند درجات حرارة أعلى من هذه الدرجة ٠

ثانيا : الحراريات القاعدية

بودرة المجنزيت :

يتكون خام المجنزيت من كربونات الماغنسيوم مع أ ٣ وعند تحميص هذا الخام يتحول الى أكسيد الماغنسيوم مغ أ طاردا ثانى أكسيد الكربون ك أ ٢وبطحن أكسيد الماغنسيوم نحصل على بودرة المجنزيت ٠

وتستعمل بودرة المجنزيت كمادة أولية لصناعة طوب المجنزيت وكرومجنزيت لصناعة بطانة محولات توماس التى تستخدم أكسجينا فى النفخ ٠

الدولوميت المحروق :

الدولوميت الخام يتكون من كربونات الكالسيوم والماغنسيوم (كاك أ٣٠مغ ك أ٣) مع بعض الشوائب مثل السليكا والألومينا وأكاسيد الحديد ٠ ويكون الدولوميت صالحا للاستعمال اقتصاديا اذا احتوى على أكثر من ٢٠٪ أكسيد ماغنسيوم وعلى أقل من ٧٪ سليكا ٠ ويمر الدولوميت بمراحل مختلفة حتى يكون جاهزا للاستعمال كقوالب لبناء بطانة توماس أو قواعد له ٠

أولا : يخلط الدولوميت الخام (الكربونات) بالفحم بنسبة ١ : ١ حجما ثم يحمص فى الفرن الاسطوانى عندد درجة حرارة حوالى ١٤٠٠° م والفحم هو المصدر الوحيد لهذه الحرارة ٠٠ أثناء التحميض للدولوميت الخام تتصاعد ما به من رطوبة كلية ثم يتحلل الدولوميت طاردا ثانى أكسيد لكربون وفى النهاية نحصل على أكسيدى الكالسيوم والماغنسيوم تبعا للمعادلتين الآتيتين :

كاك أ٣ ← كا أ + ك أ٢

مغ ك أ٣ ← مغ أ + ك أ٢

ثانيا : يؤخذ الدولوميت المحروق الى اكسيدى الكالسيوم والماغنسيوم فور خروجه من الفرن الاسطوانى ثم يدخل فى طواحين لطحنه وتكسيره ٠

ثالثا : بعد طحن الدولوميت المحروق يمرر على مناخل متدرجة أى يمر **أولا** على مناخل ضيقة فسيقط الدولوميت الناعم ثم بعد ذلك يمر على منخل أوسع منه فيسقط الدولوميت الأصغر من فتحات هذا المنخل وهكذا وفى النهاية نحصل على تصنيف لهذا الدولوميت المحروق ٠

رابعا : يؤخذ خليط معين من هذا الدولوميت المصنف فيؤخذ من كل حجم كمية معينة تحددها المواصفات وذلك للحصول على أكبر قوة تحمل سواء فى قوالب الطوب أو فى القوالب تماما كما يحدث فى تصنيف خلطة المونة فى المبانى فخلطة المونة تتكون من نسب ثابتة من الرمل والزلط والركام والاسمنت والماء ٠

خامسا : تخلط تصنيفة الدولوميت بالقار بنسبة معينة وهذه النسبة تكون ١٢٪ للقواعد ، ٩ ـ ١٠٪ للطوب ويتم الخلط فى طواحين خلاطة ٠

ويقوم القار بمهمتين أساسيتين :

١ ـ يستخدم كمادة لاصقة ٠

٢ ـ يستخدم لحماية أكسيدى الكالسيوم والماغنسيوم من التميؤ بواسطة بخار الماء والرطوبة الموجودتين فى الجو اذ أن أكسيد الكالسيوم شره لامتصاص بخار الماء ٠

وهنا يكون الدولوميت القارى (أى المخلوط بالقار) معدا لاستخدامه فى صناعة قوالب الطوب والقواعد اللازمة لمحولات توماس ٠

طوب الدولوميت :

عجينة الدولوميت القارى التى سبق تجهيزها تستخدم لصناعة الطوب الدولوميتى ومن المستحسن أن تكون معظم حبيبات الدولوميت أقل من ٢ مم **ويضاف** الى هذه العجينة بقايا البطانة القديمة بعد تكسيرها ويمكن استخدام البقايا حتى ٥٠٪ من العجينة ٠

ولعمل القوالب تستخدم ماكينة القولبة حيث توضع العجينة فى قوالب وتضغط بشدة تحت ضغط حوالى ٣٠٠ كجم / سم ٢ فتأخذ شكل القالب والقالب يكون عادة مستطيلا أى مساحة مقطعة يكون على شكل شبه

منحرف حتى يمكن عمل الحلقات المتتالية للبطانة وهى نشبه عمود المنازل والمساجد ٠

وتحدد أبعاد الطوبة حسب استعمال المحـول ففى المحـول الذى ستخدم فيه أكسجينا خالصا تكون أبعاد الطوبة ٤٠ × ٥ر١٧ × ٥ر١٧ سم ووزنها ٣٦ كجم ٠

طوب المجنزيت :

طوب المجنزيت يصنع من بودرة المجنزيت الناعمة مضافا اليها من ٢ ــ ٥ر٢٪ طفل حرارى كمادة لاصقة ويرطب الخليط الى حوالى ٥ ــ ١٠٪ ثم يشكل الى طوب تحت ضغط عالى بعد ذلك يجفف ببطء تفاديا لحدوث أى تشققات ثم يحرق عند ٥١٥٠٠ م ولكى يستخدم طوب المنجنزيت بكفاءة فى محول ينفخ بالاكسجين الخالص لا بد وأن يخضع للمواصفات الآتية :

الصمود للحرارة ــ (°م)	٢٠٠٠°م على الأقل
أكسيد الماغنسيوم بها	٩١٪على الأقل
أكسيد الكالسيوم بها	٣٪ على الأكثر
أعظم قدرة لها على تحمل الضغوط	٤٠٠ كجم / سم ٢ على الأقل
الوزن النوعى	٦ر٢ كجم / سم ٣ على الأقل
التشويه الحرارى الديناميكى عند ٢ كجم / سم ٢	٥١٥٠٠ م على الأقل

وفى بعض الأحيان تصنع المادة الحرارية الملاصقة للمعدن والجلخ فى المحول من طوب مجنزيت خالص له **التركيب التالى :**

س أ٣	٩٥ر٠ــ١٠٦ /
ك٢أ٣	٨٥ر ــ ٠٧ر١٪
ح٢أ٣	٠٧ر٢٧ر٧ ٪
كاأ	٢٦ر٢ــ٦٨ر٢ ٪
مغأ	٧ر٨٦ــ٥ر٨٧ ٪
كب أ ٣	ــ ٪
فو أ	٨٥ر ــ ٧١ر ٪
رماد يفقد أثناء الحرق لغاية	٢٤ر ٪

وتكون له الخواص الطبيعية والتكنولوجية الآتية :

المسامية الظاهرية	١ر١٣ ـ ٦ر١٣٪
الكثافة	٣ر١٤ جم / سم ٣
الوزن النوعى	٣ر٦٢
التشويه الحرارى الديناميكى	
عند $\frac{٢}{٥}$ كجم/ رسم^{٢}	١٨٣٠ـ١٨٤٠°م

طوب الكرومنجنزيت :

يصنع هذا الطوب من خليط من بودرة المجنزيت والكروميت المطحون بنسب مختلفة ، والكروميت خام حرارى طبيعى متعادل يحتوى على أكسيدى الكروم والحديد ح أ ، كر٢ أ٣ مع بعض الشوائب مثل أكاسيد السيلكون والالومونيوم والماغنسيوم · وصمود الكروميت للحرارة عال نسبيا اذ يبلغ ٢١٨٠° م ولكن ما به من شوائب تخفض من نقطة الانصهار ·

ويمكن الحصول على طوب كرومنجزيت ذى صفات طبيعية وتكنيكية ممتازة وذلك باختيار التوزيع الحبيبى للمواد الأولية اللازمة لصناعة هذا الطوب وكذلك بتوفير أحسن الظروف للاحتراق ·

الحراريات الحمضية (الشاموت) :

تصنع منتجات الشاموت من خليط من بودرة الشاموت والطفل الحرارى الجاف بعد طحنه وكمية الألومنيا بالطفل الحرارى هى التى تحدد درجة هذا النوع من الحراريات (درجة أ ، ودرجة ب ، ودرجة حـ) ·

وهذه هى نسب مكونات طوب الشاموت :

س أ	٥٢ـ٦٠ ٪
كر٢أ٣	٣٠ـ٤٢ ٪
ح ٢ أ ٣	١ر٥ـ٣ ٪
كا أ	٣ر ـ ٧ر ٪
فو أ	١ر ـ ٥ر ٪

والمواصفات التى يجب أن تتوافر فى طوب الشاموت وهى :

	درجة أ	درجة ب	درجة جـ
الصمود للحرارة °م	١٧٣٠	١٦٧٠	١٦١٠
التشويه الحرارى الديناميكى عند ٢ كجم / سم ٢ °م	١٣٠٠		لم تحدد
مقدرة تحمله للضغط كجم /سم٢	١٢٠	١٢٥	١٠٠
المسامية الظاهرية	٣ ٪	٣٠ ٪	لم تحدد

ومن الشاموت يصنع الطوب الحرارى للبوادق كذلك يستخدم فى كثير من الادوات المستخدمة فى الصلب مثل عمود الصب ٠

(الفصل الثالث)

الخلاط

يوجد فى وحدات انتاج الصلب خلاط أو أكثر فى موقع وسط بين أجهزة انتاج الحديد الزهر وأجهزة انتاج الصلب فينقل الحديد الزهر فى بوادق تصب فى الخلاط حيث يختزن بعض الوقت لحين شحنه فى أجهزة الصهر بواسطة بوادق شحن ٠

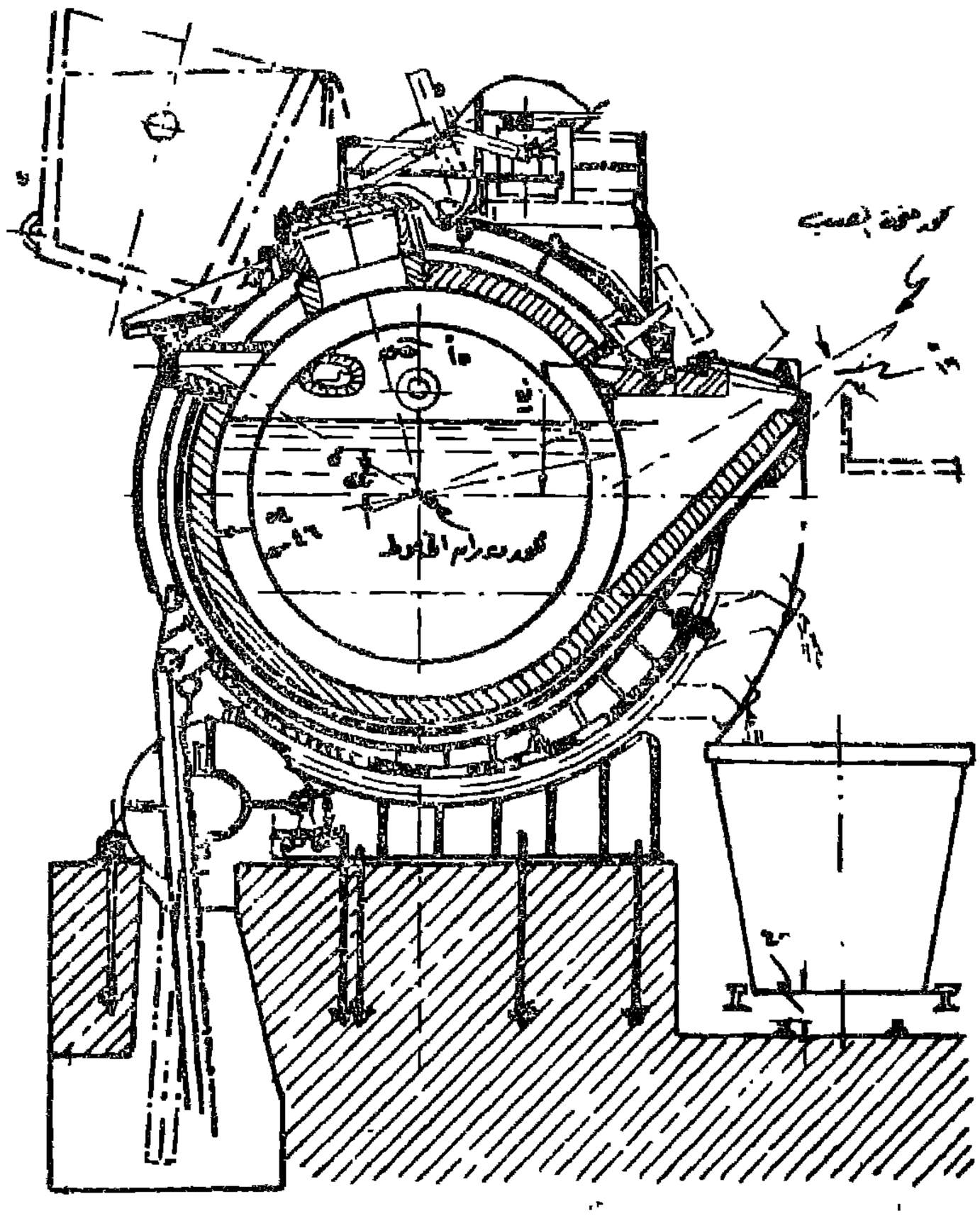
والوظيفة الأساسية للخلاط هى الاحتفاظ بالحديد الزهر منصهرا لحين استعماله حتى يمكن لأجهزة الصهر أن تواصل عملها بكيفية منتظمة ومرضية ٠

والخلاط وعاء اسطوانى كبير يصنع من ألواح الصلب المبرشمة أو الملحومة ويبطن من الداخل بطوب حرارى ٠

ويستقر الخلاط على محامل (كراسى) خاصة مثبته فى قاعدة متينة من الخرسانة المسلحة ويمكن امالة الخلاط كهربائيا أو هيدروليكيا حول محور أفقى بمساعدة اسطوانات تتدحرج على المحامل ، ويراعى عند تصميم الخلاط أن يكون محور دورانها مزاحا قليلا ناحية فتحة الصب حتى تعمل قوة الجاذبية الأرضية على اعادة الخلاط الى وضعه الأصلى (انظر شكل (٥) ٠

ولكى يحتفظ الخلاط بأكبر كمية من الحرارة أى يكون الفقد فى الحرارة أقل مايمكن يجب أن تكون المساحة السطحية للخلاط أقل مايمكن بالنسبة الى حجمه ويتحقق ذلك عندما تكون النسبة بين طول الخلاط الى قطره مساوية أو أكبر قليلا من الواحد الصحيح ٠

وللخلاط فتحتان احداهما لشحنه بالحديد الزهر والثانية لصبه منه الى أجهزة الصهر وتغطى كل فتحة بغطاء من الحديد المبطن بالطوب الحرارى ٠



شكل (٥) : خلاط سعته ٦٠٠ طن

وتستخدم غازات الافران والمازوت فى توليد الطاقة الحرارية اللازمة لحفظ درجة حرارة الحديد المنصهر داخل الخلاط عند ١٣٠٠ درجة م تقريبا ٠

وتحدد سعة الخلاط بمعرفة كمية الحديد الزهر اللازمة لتشغيل وحدات الصهر من ٨ ـ ١٠ ساعات ٠

واستعمال الخلاط بسعة مناسبة يحقق الاغراض التالية :

١ ـ استمرار وحدات الصهر فى التشغيل دون ارتباك اذا كان هناك أى عطل فى الأفران العالية أو تأخر الحديد الزهر القادم منها لسبب أو لآخر ٠

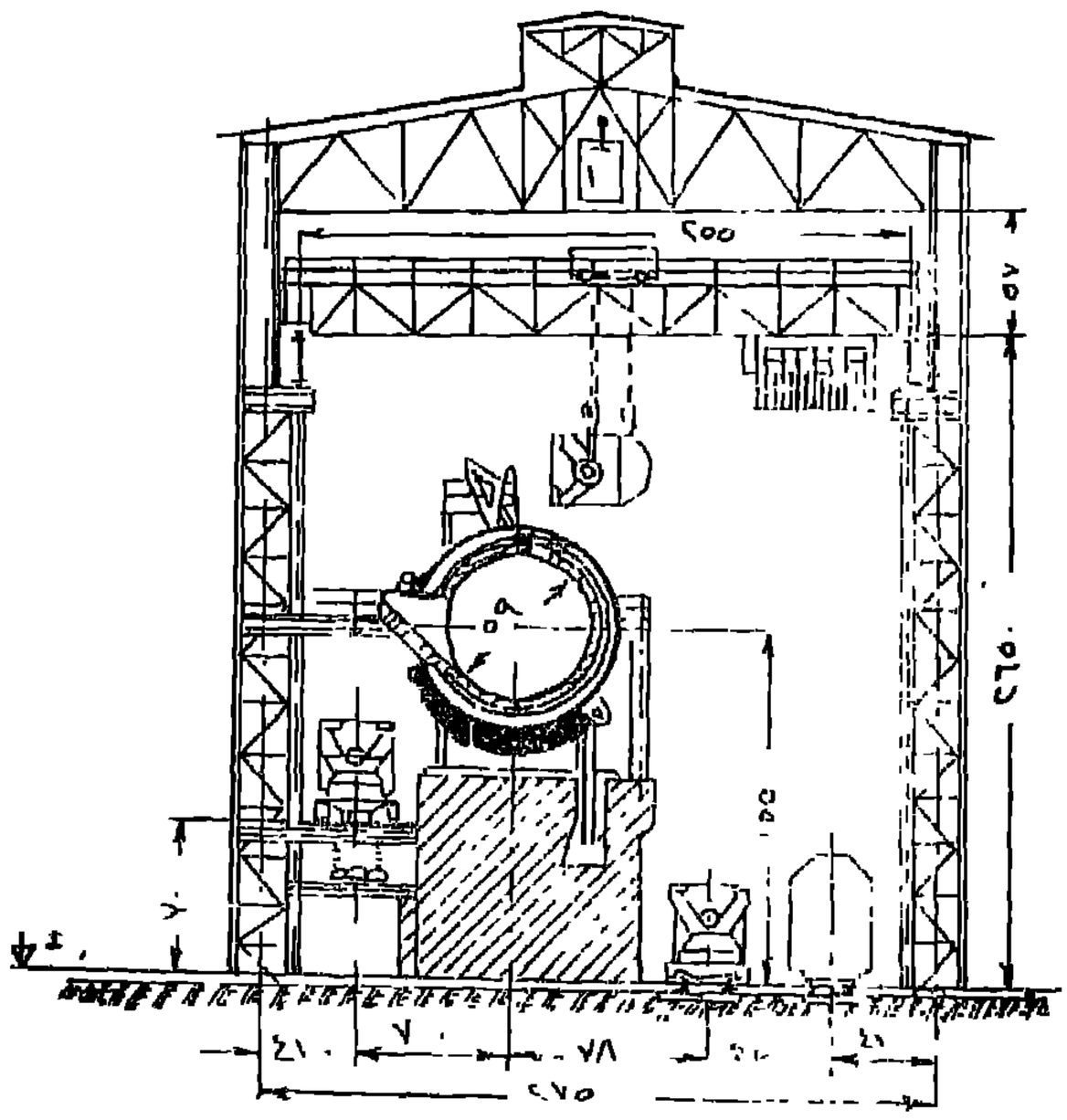
٢ ـ العمل على تجانس الحديد الزهر القادم من الافران المختلفة ومن الصبات المختلفة أيضا فتخرج الشحنات الى وحدة الصهر ذات تركيب كيميائى متماثل مما يساعده على انتظام التشغيل فيها ٠

٣ ـ المحافظة على درجة حرارة الحديد الزهر عند حد معين مناسب حتى تتم التفاعلات الكيميائية بكيفية سلسلة ومنتظمة ٠

٤ ـ اتاحة الفرصة لخفض نسبة الكبريت فى الحديد الزهر الى حد ما ويتحقق ذلك عن طريق التفاعل الطارد للحرارة الآتى :

ح كب + م = م كب + ح

وتعتمد ازالة الكبريت من الحديد الزهر على كمية المنجنيز الموجودة به كما تتوقف على زمن نقل الحديد الزهر من الافران العالية بواسطة البوادق الى الخلاط حيث ينضم كبريتيد المنجنيز الناتج الى الخبث ويشترك فى تكوينه ونتيجة للتفاعل المشار اليه يتكون على سطح الحديد الزهر فى الخلاط بعض الخبث المحتوى على نسبة كبيرة من الكبريت ويجب ازالة هذا الخبث سواء عند شحن الخلاط بالحديد الزهر أو صبه منه فى بوادق شحن أجهزة الصهر ٠

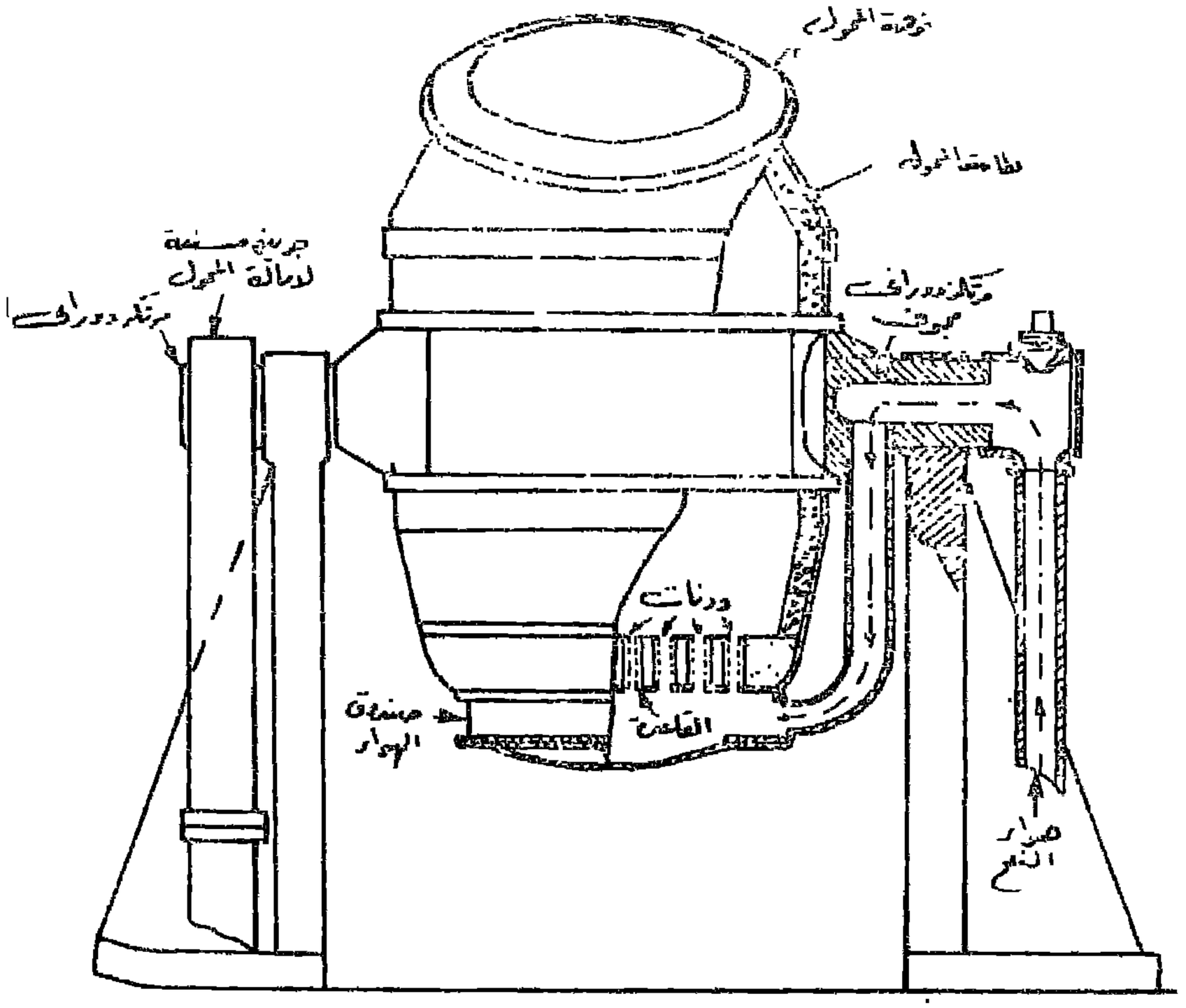


شكل (٦) : قطاع فى قسم الخلاط ـ وهو مقام فى مصنع حديث لمحولات بسمر ٠

الفصل الرابع

انتاج الصلب من محولات بسمر

تحدد أبعاد عملية تحويل الصلب فى محولات بسمر بناء على البطانة الحرارية الحامضية للمحول والتحليل الكيميائى للحديد الزهر . وتتم العملية بالاستفادة من الحرارة الفيزيقية للحديد الزهر المنصهر وكذلك الحرارة المتصاعدة نتيجة أكسدة الشوائب بفعل الاكسجين الموجود فى هواء النفخ ويعتبر السليكيون هو العنصر الأساسى للامداد الحرارى لصبة المحول ويكون الخبث الناتج من محول بسمر غنيا بالسايكا (س أ٢) الناتجة عن أكسدة السليكون الموجود فى الحديد الزهر والسليكا الموجودة



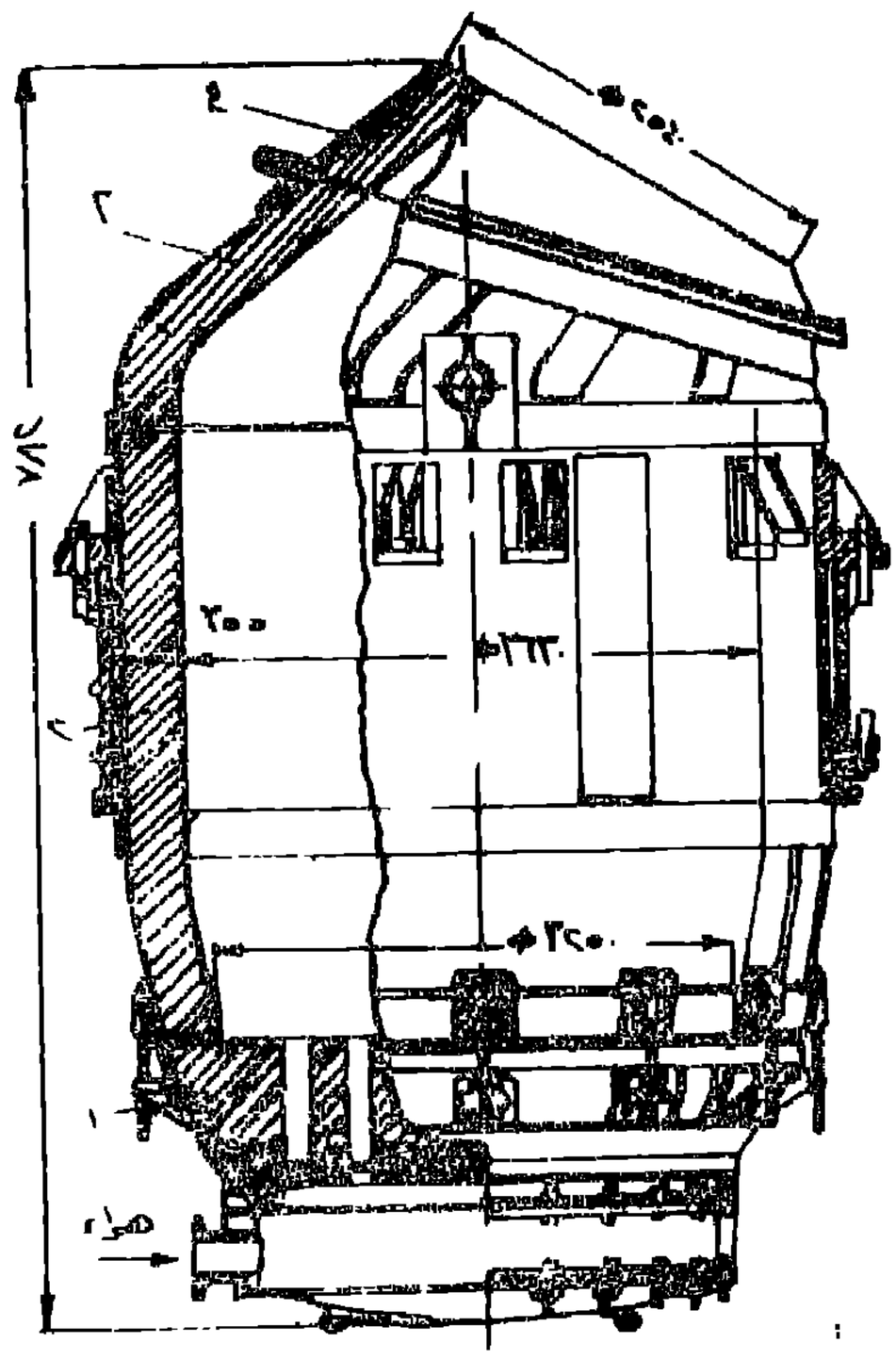
شكل (٨) يوضح تفاصيل المحول ، وكيفية دخول هواء النفخ فيه

فى البطانة الحامضية ونعوق الطبيعة الحمضيه لخبث محولات بسمر وجود سلبكا غير متحدة ازالة الكبريت والفوسفور من المعدن ٠

ويدخل الهواء الى المحول فيساعد على تقليب شحنة المحول بشـــده ويتخلل هواء النفخ حمام المعدن فيتأكسد الحديد فى أول الأمر باعتباره المكون الأساسى للحديد الزهر وينتشر أكسيد الحديد الناتج عن أكسدة الحديد خلال شحنة المحول مؤديا الى اختزال السليكون والمنجنيز والكربون الموجود فى الحديد الزهر ٠ وقد يتأكسد بعض هـذه الشـوائب مباشرة بالهواء الجوى ويؤدى التقليب الشديد فى حمام المعدن الى زيادة مساحة سطح التلامس للتفاعلات بدرجة كبيرة فتتعاظم سرعة التفاعلات ٠

١ـ تصميم محول بســمر

يبين شكل (٩) رسما تخطيطيا لاحد محولات بسمر وتبلغ سعتة ٣٥ طنا ٠



شكل (٩) محول بسمر يسع ٣٥ طنا :

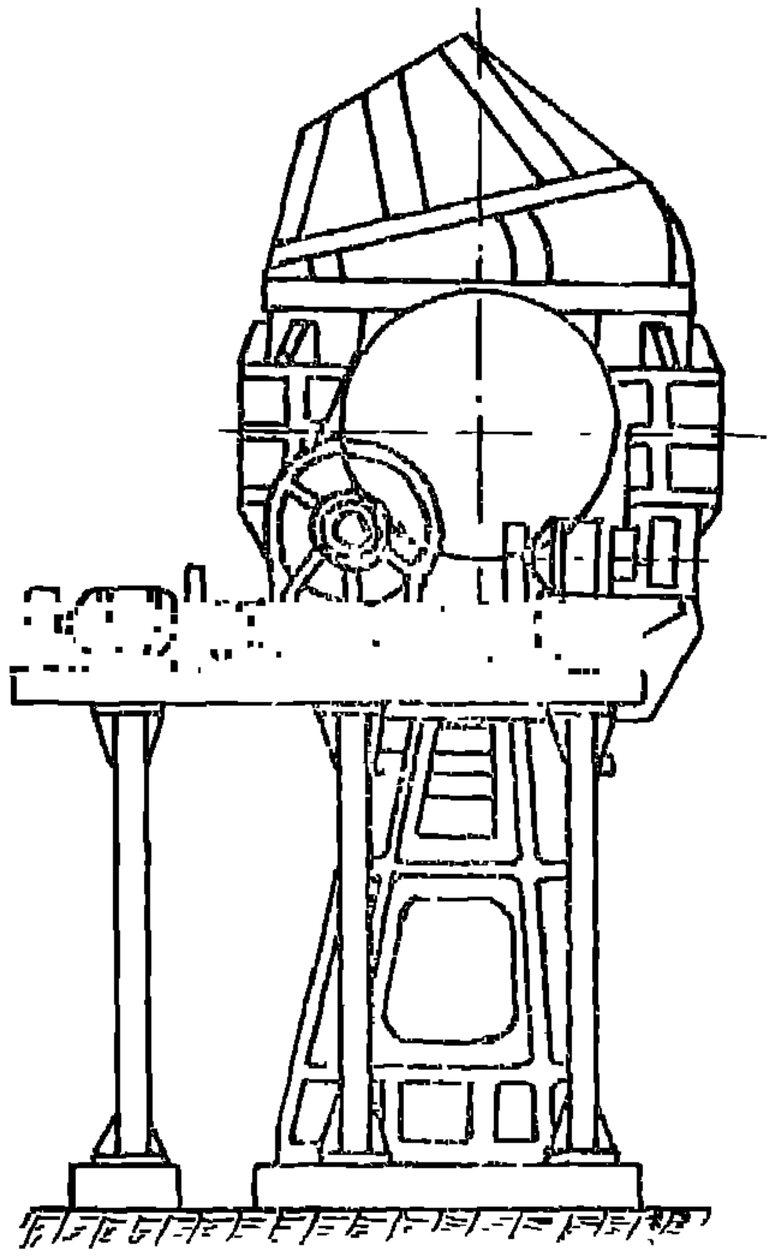
١ ــ قاعدة المحول ٢ ــ الجزء الاسطوانى
٣ ــ غطاء المحول ٤ ــ فوهة المحول

جسم المحول :

يصنع من ألواح فولاديه سميكة ملحومة مع بعضها البعض أو تمسكها مع بعضها سرائط حاكمه · ويتراوح سمك الألواح بين ١٥ ـ ٢٥ ملليمترا تبعا لسعه المحول ويتضمن جسم المحول ثلاثة أجزاء : وعاء اسطوانى له قاعده يمكن تغييرها وجزء مخروطى علوى وفوهه مايلة للاستبدال تصنع من الصلب المصبوب

وتكون قاعدة المحول ذات شكل أسطوانى أو مخروطى ويكون تصميمها بحيث يمكن تثبيت صندوق لهواء النفخ ليمر هذا الهواء من خلاله الى المحول وعند تغيير القاعدة يتم فصلها عن الجزء الاسطوانى وصندوق الهواء ·

ويحيط بالجزء الاسطوانى من جسم المحول حزام مصنوع من الصلب المصبوب يتصل بترسين مركبين على كراسى تحميل ويكون أحد الترسين مجوفا لمر خلاله هواء النفخ حتى صندوق الهواء ويرتبط الحزام بجسم المحول بمجموعة من المواسك (قباقيب) وعادة يكون قطر الحزام أكبر من



شكل (١٠) : محول قائم على قاعدته ، ويرى بالشكل جهاز ادارته بالكهرباء ·

قطر المحول وبينهما فجوة هوائية لتجنب الأضرار الناشئة على الحزام من تمدد جسم المحول والحيلولة دون تشوه الحزام ويمكن امالـة المحـول بواسطة مونوريين كهربائيين ويمكن لاحدهما منفردا أن يحرك المحـول ويكون الآخر احتياطيا ٠

وأحيانا تتم امالة المحول بطريقـة هيدروليكيـة عن طريق ترس وجريدة مسننة حيث يتصل الترس بحزام المحول وبتحريك الجريدة لأعلى وأسفل يمكن امالة المحول للأمام وللخلف ويبلغ الضغط الهيدروليكى اللازم لتشغيل المحول ٣٠ ـ ٥٠ جوى ٠

ويقع محور مركزى الترسين على ارتفاع من الأرض يسمح بدخـول عربة تحميل بودقة لتلقى صبة الصلب بعد انهائها من المحلول وكذلك دخول قطار سكك حديدية يحمل وعاء أو بودقة لتلقى خبث الصبة ٠

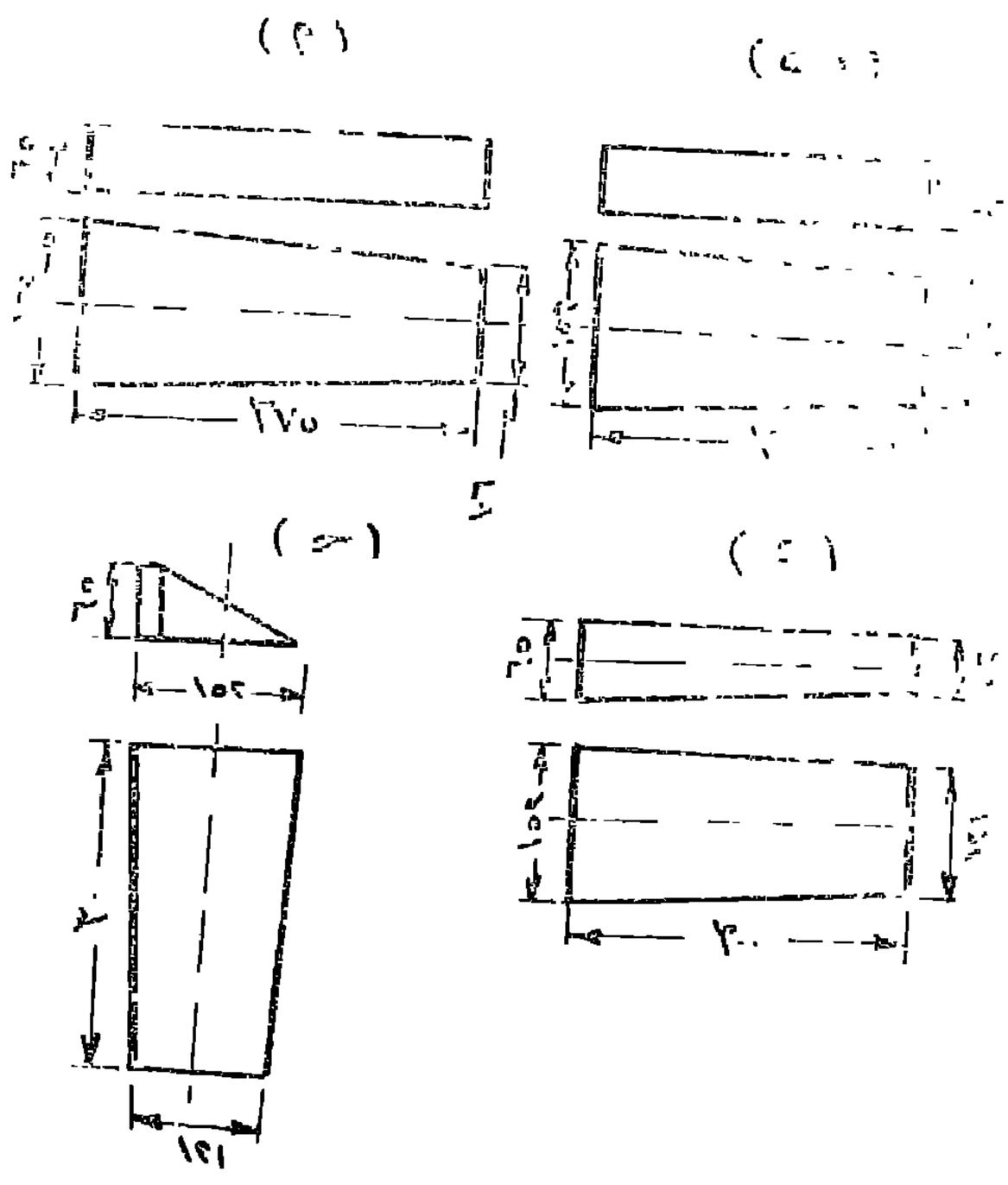
بطانة المحول :

تصنع بطانة محول بسمر من طوب دیناس ويتخذ الطوب هيئـة تتسق مع شكل جسم المحول وتتفق أبعاده مع قطر المحول ٠

وتترك مسافة ٣٠ ـ ٥٠ مم بين طوب البطانة وجسم المحول تمـلأ بحبيبات ناعمة من نفس مادة الطوب الحرارى بعد خلطها بالمونة اللازمـة لتماسكها ، ويتراوح سمك البطانة الحرارية بين ٢٥٠ ـ ٤٠٠ مم ويزداد السمك عند المناطق المعرضه أكثر من غيرها للتآكل ٠ وتحتوى المونـة المستخدمة على ٨٠ ـ ٩٠٪ من مسحوق الكوارتز بحجم حبيبى لا يزيد عن ملليمتر واحد ، ٢٠ ـ ١٠٪ من طفل حرارى مسحوق بعد خلطه بالماء حتى يصبح غليظ القوام ٠ ويراعى تخليط المونة جيدا قبل اضافة المـاء واستخدامها فى غضون ٦ ساعات بعد اضافة الماء ٠

ويوضح شكل (١١) انواع الطوب الحرارى المستخدم فى البطانـه وتصمم الصفوف العشرة السفلية من الطوب (أ) والجزء الاسطوانى من الطوب (ب) بينما يبنى الجزء الكروى والقوهة من النوعين (جـ) ، (هـ) بتوافقات محددة فى كل صف ٠

وينبغى العناية أثناء التبطين بحيث يوضع الطوب دون تنصيفه أو تجزئته مع ملء الفراغات بالمونة جيـدا ٠٠ وبعـد انتهاء التبطين ينبغى تجفيف البطانة وتسخينها (تحميصها) لتجنب التشقق الذى يمكن أن



شكل (١١) : أشكال الطوب التى ستخدم لبناء الأجزاء المختلفة من المحول ٠

يعتريها اذا تعرضت لصدمة حرارية (تسخين مفاجىء) وتجرى عملية التجفيف والتحميص بفحم الكوك أو الغاز الطبيعي مع الاستعانة ببعض الاخشاب ٠ فى أول الأمر ٠ ويراعى التحكم فى درجة الحرارة أثناء التحميص عن طريق ازدواجات حرارية توضع عند قمة الجزء الاسطوانى من المحول على بعد ٢٠ ــ ٢٥ مم من السطح الداخل للبطانة ويعطى البرنامج التالى صورة لعملية التحميص وسيرها :

من ١٠°م حتى ٢٢٠°م بمعدل ٢٠°م فى الساعة لمدة ٧ ساعات
من ٢٢٠°م حتى ٥٢٠°م بمعدل ٦٠°م فى الساعة لمدة ٥ ساعات
من ٥٢٠°م حتى ٩٠٠°م بمعدل ١٠٠°م فى الساعة لمدة ٤ ساعات

اجمالى فترة التسخين ١٦ ساعة :

وبعد تدفئة البطانه بالخشب وفحم الكوك ينفخ جزء من الهواء وتتبخر الرطوبة من البطانة نتيجة لذلك ، وبعد نفخ عدد من الصبات فى المحول

براعى فحص البطانة فحصا كاملا وتعالج العيوب والتشققات التى قد تظهر بها بواسطة مركب من الكوارتز والطفل الحرارى ٠

قاعدة المحول :

تتخذ قاعدة محول بسمر احدى صورتين : اما قاعدة جاسئة من الشاموت تحتوى على عدد كبير من الفتحات منتظمة المقطع وأما ما يسمى بالقاعدة الابرية التى تحتوى على عدد أقل من الفتحات يصلح أوضع ودنات حرارية من الشاموت الدخول هواء النفخ ويندر استخدام القواعد الأبرية فى محولات بسمر لضعف مقاومة مادة الودنات امام تأثير أكسيد الحديدوز عن القاعدة الشاموت ٠

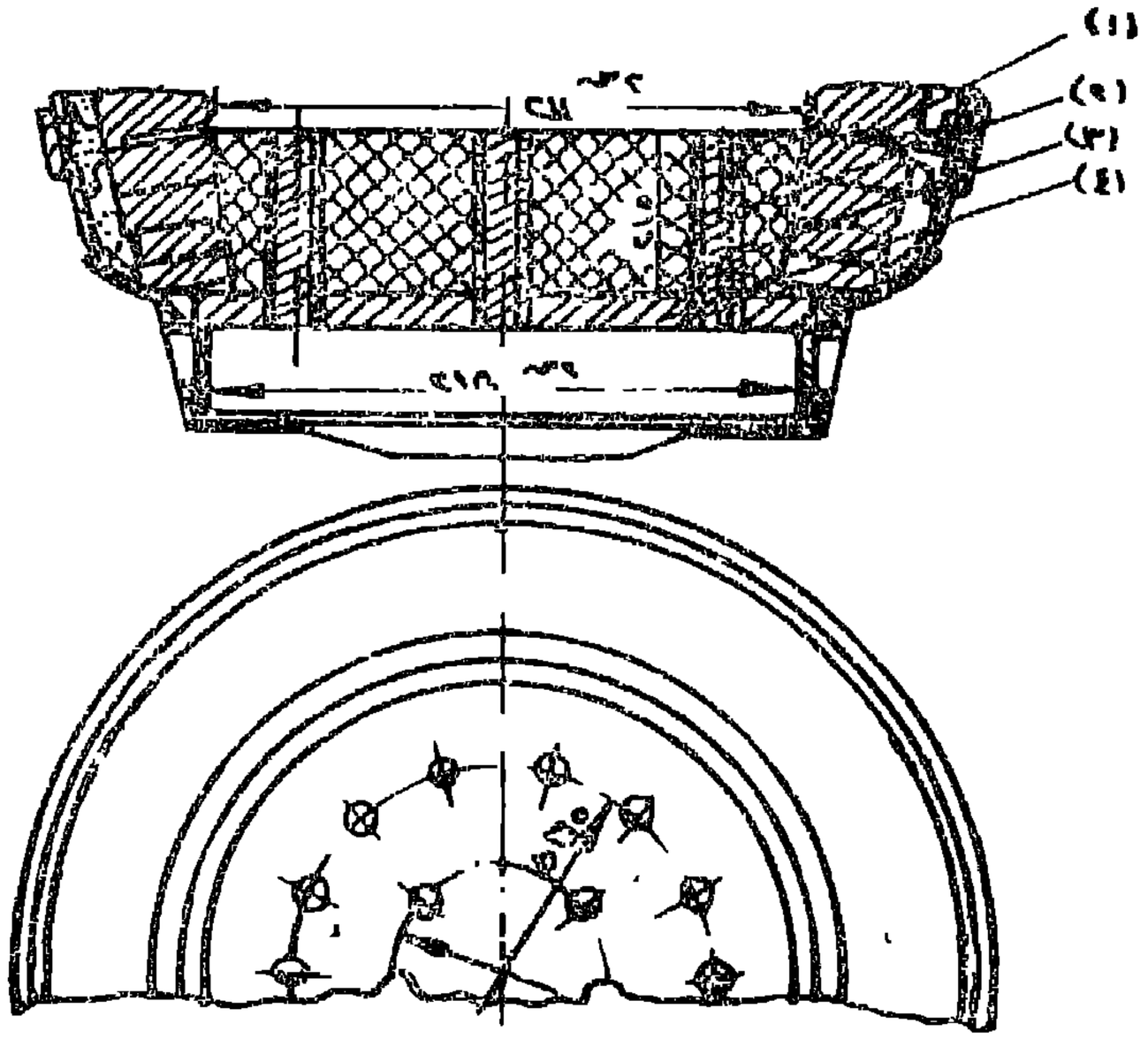
ويراعى أن تكون الخلطة المستخدمة فى دك القاعدة خلوا من الشوائب الضارة عند تشغيل القاعدة ويوضح الجدول التالى لنسب الوزنية للخلطات المستخدمة فى دك قواعد محولات بسمر (٤ خلطات) ٠

المواد	الخلطة الأولى	الخلطة الثانية	الخلطة الثالثة	الخلطة الرابعة
مسحوق كوارتز مصنع من كوارتز مبلور به				
٩٥٪ س أ ٢ حد أدنى	٥٠	٤٠ـ٥٠	٣٢	ـ
طفل كاولين به ٢٠٪ يد$_2$ أ$_3$ حد أدنى	٣٠	ـ	ـ	ـ
طفل حرارى لون به ٣٢٪ لو$_2$أ$_3$ حد أدنى	١٠	٣٠ـ٢٠	٢٨	٢٤
فحم كوك ناعم	١٠	٤ ـ ١٠	٤	٨
مسحوق شاموت	ـ	٣٠ـ٢٠	٣٦	٦
جانبستر	ـ	ـ	ـ	٥٦
مثلوط قواعد مستعملة	ـ	ـ	ـ	٦

وتتمثل النسب الحجمية فى الجدول التالى

المادة	٥ مم	٥ ـ ١ مم	١ ـ صفر مم
كوارتز	لا يزيد عن ٥	٤٠ـ٥٠	٥٠ـ٦٠
شامـوت	لا يزيد عن ٣	٣٠ـ٤٠	٦٠ـ٧٠
طفل حرارى	ـ	٢٥ـ٣٥	٦٥ ـ ٧٥

وتخلط مكونات الخلطة جيدا وهى جـافة ثم ترطب بالميـاه بنسب ٦ ـ ٨٪ ويتم دك الفراغ بين القاعدة الحرارية وجسم قاعدة المحول بمخلوط لملء هذا الفراغ مع معالجة العيوب الظاهرة فى الطوب المخروطى الشكل وتحتوى المونة الحرارية اللازمة للمخلوط المائى على ٤ أجزاء من الكوارتز ، وجزء واحد من الطفل الحرارى بالوزن ٠



شكل (١٢) يبين قاعدة من كوكة تناسب محول بسعر سعته ٢٠ طنا ٠

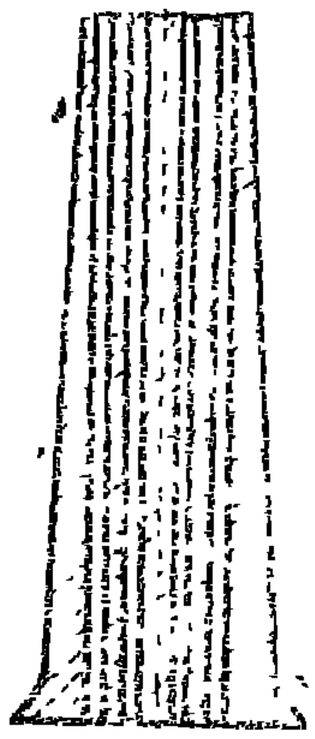
١ ـ الجزء المخروطى
٢ ـ الخليط الحرارى المدكوك
٣ ـ ودنه
٤ ـ اللوح المعدنى

ويجرى دك القاعدة على قرص من الحديد الصب به فتحات ينطبق على ودنات القاعدة ويراعى تنظيف القرص من الاتربة والمخلفات قبل أى عمل أخر وكذلك تنظيف الحراريات الخاصة بالحلقة المخروطية وذلك بالهواء المضغوط وتضبط مواضع الفتحات بالقرص على الودنات ثم يدك المخلوط بالهواء المضغوط الذى لا يقل ضغطه عن ٥ ضغط جوى ويتم الدك على طبقات منتظمة وبصفه مستمرة وبضغط منتظم وبعد انتهاء دك القاعدة توضع فى فتحات الودنات سدادات ملائمة لمنع انسدادها أثناء التجفيف و التحميص ٠

وتحمص القواعد فى أفران خاصة يتم اشعالها بغاز الكوك أو بالغاز الطبيعى ويستغرق تحميص القاعدة وتبريدها بعد ذلك داخل الفرن ٣٤ ساعة ٠

ويبلغ عمر تشغيل قاعدة محول بسمر المذكوكة ١٥ ــ ٢٥ صبه ويماثل الحيز الواقع بين القواعد الطوبية والودنات بطوب دیناس مع مونة سائلة من الكوارتز (١٢ جزءا) والطفل الحرارى (جزء واحد) بعد الخلط مع محلول مائى لسائل كبريتيدى ويستمر أداء القواعد الطوبية ١٢٠ ــ ١٣٠ صبه ولكن استخدامها ليس شائعا اذا يستلزم الأمر تغيير الودنات كثيرا أثناء التشغيل ٠

ويجرى تغيير القاعدة بواسطة عربة سكة حديد مجهزة خصيصا لهذا الغرض ٠



شكل (١٣) : قصبة من السامونت بها ١٢ فتحه للهواء ٠٠٠ قطر كل منها ١٦ مم ٠

وتحتوى القواعد المذكوكة على ٢٠ ــ ٣٥ ودنة بينما تحتوى القواعد الطوبية على ٧ ــ ١٢ ودنة ويؤدى زيادة عدد الودنات عن ذلك الى الاضرار بالبطانة ٠

عمر البطانة :

تتأثر بطانة المحول وقاعدته بتأثير الفعل الميكانيكي والكيميائي للمعدن والخبث ويبلغ التأثير أقصاه عند القاعدة والجزء السفلى من البطانة وتبلغ درجة الحرارة وتركيز أكسيد الحديدور أقصى حد لهما فى مناطق التفاعلات عند الودنات ويتفاعل أكسيد الحديدوز مع السليكا الموجودة فى البطانة وفى النهاية تتلف البطانة وكلما زادت لزوجة الخبث تبعا لنسبة السليكا به كلما ازداد احتمال البطانة وتؤدى زيادة نسبة المنجنيز فى الحديد الزهر الى تكوين خبث أكثر سيولة يحتوى على نسبة كبيرة من أكسيد المنجنيز يؤثر على البطانة الحمضية للمحول ٠

كما تتأثر البطانة كذلك بالتيارات الدوامية للمعدن والخبث أثناء النفخ وتبعا لطبيعة العملية (تحليل الحديد الزهر ، ودرجة حرارة التشغيل . والطريقة المتبعة لتبريد المعدن فى المحول ، وضغط الهواء ٠٠٠ الخ) فان البطانة المصنعة من طوب دينامس يمكن أن تستمر ١٣٠٠ ـ ٢٠٠٠ صبه ويراعى ازالة المخلفات التى تلتصق بفوهة المحول من حين لآخر اذ أن زيادة وزنها يمكن أن تؤدى الى تدمير مبانى الفوهة وتستمر حراريات الفوهة عادة ٣٠٠ ـ ٤٠٠ صبة فى الظروف العادية قبل أن يتطلب الأمر تغييرها وتجرى عدة عمليات ترميم للبطانة أثناء تشغيلها

الأبعاد الأساسية لمحولات بسمر :

يعتمد تصميم المحول على الحجم النوعى له وهو الحجم اللازم لطن واحد من الشحنة وكلما ازداد الحجم النوعى تنخفض شدة القذف وبالتالى يزداد العائد من المعدن ويجب أن يزداد الحجم النوعى عن واحد صحيح ٠

ويتحدد القطر الداخلى للمحول من الصيغة :

$$ح = ١٤ر٠ \times و \times \frac{ط\ ق\ ٣}{٤} \times ع$$ حيث

١٤ر٠ = الحجم النوعى للمعدن م ٣/طن

و = وزن المعدن فى المحول (وزن شحنة الحديد الزهر) بالطن

ق = القطر الداخلى للمحول بالمتر ٠

ع = ارتفاع المعدن داخل المحول بالمتر ٠

ويبلغ ارتفاع الجزء الأسطوانى من المحول (١ر١ ـ ٢ر١) ق ، وكلما ازداد الارتفاع كلما انخفض القذف ويبلغ القطر الداخلى للفوهة

(٤ر٠ ـ ٦ر٠) فى ونؤدى زيادة قطر الفوهة الى زيادة القذف وانخفاض العائد من المحول وعادة ما تخضع هذه الابعاد للظروف النوعية الخاصة بكل وحدة ٠

وتتأثر شدة التأكسد وكذلك شدة القذف « القطاع الدائرى » وهو الفرق بين المساحة الداخلية للمحول ومساحة القاعدة وتبلغ المساحة الاجمالية المودنات لكل واحد طن من شحنة الحديد الزهر ٩ ـ ١٥ سم ٢ ٠

ويتراوح سمك القواعد الجديدة بين ٥٠٠ ـ ٧٠٠ ميللمتر وتحددها الصيغة الحبرية التالية :

سميك القاعدة = ٤ر٠ + ٠٧ر٠ ، حيث

ق = القطر الداخلى للمحول بالامتار ٠

٢ ـ المواد الأولية لشحنة بسمر

الحديد الزهر :

من البديهى أن التركيب الكيميائى للحديد الزهر يؤثر الى حد بعيد فى سير العملية حيث أن أكسدة الحديد والسليكون والمنجنيز والكربون هى المصدر الوحيد للحرارة التى تكفل لنا الحصول على صلب منصهر عند درجة الحرارة المطلوبة ٠

واذا ارتفعت درجة الحرارة الطبيعية للحديد الزهر الداخل الى المحول أدى ذلك الى انخفاض نسبة الشوائب التى تتأكسد وبالتبعية الى اثبات كمية حرارة أقل ويحدث نفس الشىء عندما تتوالى الشحنات تباعا وبمعدل كبيرة وكانت بطانة المحول لا تفقد الا القليل من الحرارة ٠

ويبين جدول (١) التركيب الكيميائى النمطى لشحنة بسمر

درجة الحديد الزهر رتبة	النسبة المئوية للعناصر			
	س	م	فو	كب
١	١ر٢٦ـ١ر٧٥	٦ر ـ ٢ر١	٠٧ر	٠٦ر٠
٢	٧ر ـ ١ر٢٥	٥ر ـ ٨ر	٠٧ر	٠٦ر٠

وتتراوح نسبة ما يحتويه الحديد الزهر من الكربون بين ٣ر٨ – ٥ر٤٪ وقد وجد أن التركيب الكيميائى الأمثل للحديد الزهر اللازم لصنع القضبان الحديدية فى محول سعته عشرون طنا ودرجة حرارة بطانته ١٠٠٠م ودرجة حرارة الحديد الزهر بين ١٢٧٠ – ١٢٩٠م (مقاسة بواسطة بيرومتر ضوئى دقيق وبدون أى تصحيح) كما يلى :

س	٩ر–١ر١٪	كب	٤٥ر٪ على الأكثر
م	٦ر–٩ر ٪	فو	٠٦٦ر٪ على الأكثر

وقد وجد أنه يمكننا الحصول على أفضل النتائج فى حالة صب الصلب من أعلى اذا احتوى الحديد الزهر على ٧ر٠ – ٩ر٠ ٪ من السليكون ويؤدى زيادة نسبة السليكون فى الحديد الزهر المنفوخ الى ارتفاع الفاقد من الصلب كما يؤدى الى قصر عمر الودنات وحجرة الصهر بالمحول ويرجع ذلك الى تكوين مخلفات بسبب تراكم طبقات الخبث السليكونى تباعا · هذا بالاضافة الى أن فترة النفخ تستغرق وقتا طويلا ·

وتعمل زيادة نسبة المنجنيز فى الحديد الزهر المنفوخ (أكثر من ٩ر٪) على خفض عمر البطانة والقاعدة والودنات ·

وبارتفاع نسبه أكسيد المنجنيز (م أ) فى الخبث تزداد كثيرا درجة سيولته مما يجعله عاجزا عن تصيد المقذوفات الحديدية التى تنطلق بغزارة مخترقة طبقة الخبث ويتآكل القاعدة والبطالة فان الصلب الناتج يحتوى كثيرا من الشوائب غير المعدنية مما يفسد الكثير من خواصه ويحط من قيمته ·

ومن الاهمية بمكان أن نعلم أن النسب بين كمية السليكون وكمية المنجنيز لا تقل أهمية عن مقاديرهما المطلقة · فقد أثبتت التجارب أنه يمكننا الوصول الى أحسن النتائج اذا كانت نسبة السليكون بالمنجنيز تقع بين ١ر٨ – ٢ فاذا قلت النسبة عن ذلك نكون لدينا خبث يحتوى على كمية كبيرة من م أ تجعله ذا سيولة كبيرة وتساعد حراريات المحول على أن تبلى بسرعة ويكون الصلب الناتج منخفض الجودة ·

أما اذا تعدت النسبة الحد الأقصى كان هذا سببا فى تكوين طبقات على المحول نتيجة لتكون خبث يحتوى على نسبة عالية من السليكا ·

وفى كثير من الأحيان نعمل على ازالة الكبريت فى الحديد الزهر باضافة كربونات الصوديوم (صودا آش) فى البودقة فتتحلل كربونات

الصوديوم بواسطة الحرارة الى أكسيد الصوديوم الذى يتفاعل مع كبريتيد الحديدوز . كبريتيد المنجنيز ، منتجا كبريتيد الصوديوم

$$\text{ص}_2\text{ا} + \text{ح كب} = \text{ص}_2\text{كب} + \text{ح ا}$$

$$\text{ص}_2\text{ا} + \text{م كب} = \text{ص}_2\text{كب} + \text{م ا}$$

الذى لا يذوب فى الحديد الزهر فتتكون طبقة من الخبث الكبريتى تطفو على سطح الحديد الزهر فى البودقة · وهذه الطبقة من الخبث يجب تنشطها بعيدا عن الخلاط والمحول حتى لا تتلف البطانة الحرارية وحتى لا تزيد شدة المقذوفات الحديدية اذ أن وجود أى آثار من كربونات الصوديوم بالحديد الزهر المنفوخ يساعد على انطلاق هذه المقذوفات بغزارة ولهذا كان لزاما علينا أن نزيل كل الخبث المتكون نتيجة لاضافة كربونات الصوديوم بعيدا عن المحلول كما يجب علينا أن نراقب بكل دقة أى انخفاض فى درجة الحرارة يطرأ على الحديد الزهر بسبب اضافة الكربونات (اذ أن محللها تفاعل ماص للحرارة) ·

ولانخفاض درجة حرارة الحديد الزهر تمتد فترة النفخ طويلا عن معدلها العادى كما تزداد فرصة هروب الحديد مع الغازات المتصاعدة بشدة من المحول نتيجة لدرجة السيولة الكبيرة التى يضفيها على الخبث وجود وفرة من أكسيد الحديدوز به ولهذا السبب فانه يتحتم علينا أن نعمل بكل الوسائل على الحفاظ على درجة الحرارة التى تعطى لحديد الزهر السيولة المناسبة فى الخلاط وأيضا أثناء نقله من الخلاط الى المحول ·

ومن المستحسن عمليا أن نذر بعض فحم الكوك الناعم على سطح الحديد الزهر فى البودقة لتغطيها بغطاء مناسب وأن يتم نقله الى المحول بسرعة كما يجب أن تتراوح درجة حرارة الخلاط من الداخل بين ١٣٠٠ ـ ١٣٥٠ درجة مئوية ·

الخردة :

ينحصر الغرض الرئيسى من اضافة الخردة الى المحول فى تبريد شحنة الحديد الزهر اذا قفزت درجة الحرارة فوق معدلها المناسب ومن الطبيعى أن نزداد كمية الخردة المضافة اذا تم النفخ بالهواء المزود بالاكسجين أو الاكسجين النقى ·

ومن الأهمية بمكان فانه يجب ألا تتعدى نسبة الكبريت والفوسفور فى الخردة عن مثيلتها بالصلب المزمع انتاجه · وتضاف الخردة قبل أو أثناء النفخ ·

خام الحديد والنفايات الناتجة عن عمليات التشكيل (النفايات) :

يضاف خام الحديد أو النفايات المعدنية الناتجة عن عمليات الدرفله فى المحول بالشحنة وبهذا يتحقق هدفان أولهما تبريد الشحنة اذا كانت درجة حرارتها مرتفعة وثانيهما زيادة الناتج من الصلب نتيجة لاختزال الحديد والنفايات ٠

ويشترط فى الخام المضاف أن يكون غنيا بالحديد فقيرا للكبريت والفوسفور ٠

التحليل الكمى لخام بسمر (ويعطى التحليل الكمى لخام بسمر المستخرج من مناجم كريفوروج النتائج الآتية) :

ح٢ أ٣	٨٩ـ٩٥٪	فو	٠٣ر٪
س أ٢	٤ـ٩ ٪	كب	٠٢ر ـ ٠٤ر٪
لو٢ أ٣	١ـ٣ ٪		

وتحتوى النفايات المضافة الى الشحنة على نسبة أقل من السليكا (٢ ـ ٣٪) بينما تصل نسبة الحديد فيها الى حوالى ٧٠٪ وهى نسبة أكبر من تلك التى يحتويها الخام ٠

المختزلات والسبائك الاضافية :

يقوم الفيرومنجنيز بنزع الأكسجين من صلب بسمر الفوار والمخمد كما يقوم أيضا كل من الفيروسليكون والألومونيوم بنفس الدور وفى بعض الحالات الخاصة يستعمل السليكومنجنيز وغيره من السبائك الأخرى ٠

وتستعمل السبائك الحديدية لنزع الأكسجين من الصلب المنخفض الكربون أما فى حالة الصلب الكربونى فتصهر أولا فى فرن الدست أو الفرن الكهربائى أو غيرها ثم تستعمل بعد ذلك ٠

الحديد الزهر المرآوى :

ويضاف الى صلب بسمر الكربونى منصهرا ليقوم بنزع الاكسجين منه ويتوقف تركيبه الكيميائى تبعا لرتبه المختلفة فيتراوح ما به من منجنيز بين ١٠ ـ ٢٥٪ ، الكربون (٤ ـ ٥٪) ولا يزيد السليكون على ٢٪ ، ولا يتعدى ما يحتويه من فوسفور ٢٢ر٪ أما الكبريت فيجب أن لا يحتوى على أكثر من ٠٣ر٪ ٠

الفيرومنجنيز :

ويستعمل لنزع الاكسجين من صلب بسمر اما صلبا أو منصهرا ومن الطبيعى أن هذا الفيرومنجنيز الذى يتم صنعه فى الافران العالية ـ الأفران اللافحة يجب أن يخضع لمواصفات معينة فيحتوى على ٦ر٧٪ كربونا ، ٧٠ ـ ٨٠٪ منجنيزا ، حوالى ٢٪ سليكونا ، ٣ر ـ ٤ر٪ من الفوسفور كحد أقصى (وذلك للرتب . للدرجات المختلفة منه) ولا نزيد نسبة الكبريت به عن ٠٣ر٪

وفى الحالات الخاصة التى يكون المطلوب فيها انتاج صلب يحتوى على نسبة منخفضة من الكربون ونسبة عالية من المنجنيز يستخدم فيرومنجنيز لا تقل نسبة المنجنيز به عن ٨٠٪ ٠

الفيروسليكون :

يستخدم الفيروسليكون لنزع الاكسجين من الصلب المخمد ويمكن تقسيم الفيروسليكون الى ثلاث درجات تبعا لما يحتويه من سليكون :

(١) ٨٧ ـ ٩٤ ٪ ٠

(٢) ٧٢ ـ ٧٨ ٪ ٠

(٣) ٤٣ ـ ٥٠ ٪ والقسم الأخير هو الأكثر انتشارا فى صناعة الصلب ٠

وعند نزع الاكسجين من الصلب الكربونى بواسطة العوامل النازعة له وهى فى حالة الانصهار يضاف فى بعض الأحيان سبيكة الفيروسليكون الى شحنة أفران الدست أو الأفران الصهارة ٠٠ وهذه السبيكة تحتوى عادة على أكثر من ١٣٪ سليكونا ٠

السليكومنجنيز :

يقتصر استعمال هذه السبيكة على نزع الاكسجين من صلب بسمر المخمد وتكون جاهزة للاستعمال بعد صهرها فى الأفران الكهربائية ٠ ويختلف تحليلها الكمى من درجة لأخرى ٠٠ فهى تحتوى على ١٤ ـ ٢٠٪ سليكونا وأكثر ، و ٦٠ ـ ٦٥٪ منجنيزا على الأقل ويجب ألا تزيد نسبة الكربون عن ١ ـ ٥ر٢٪ أما الفوسفور فيجب الا تتعدى نسبته ١ر٠ ـ ٢ر٠٪ ٠

الألومنيوم الاضافى :

يضاف الى صلب بسمر المخمد لنزع ما به من أكسجين على شكل كرات صغيرة تحتوى على حوالى ٨٧ ـ ٩٦٪ من فلز الألومونيوم وتمثل النسبة الباقية الشوائب الموجودة بالسبيكة مثل السليكون ، والنحاس ، والزنك ٠

السليكوكالسيوم :

يندر استخدامه لنزع الأكسجين من صلب بسمر وتصل نسبة الكالسيوم فى هذه السبيكة الى ٢٣ ـ٣١٪ وربما أكثر تبعا للدرجات المختلفة للسبيكة ولكن نسبة السليكون والكالسيوم معا يجب أن تكون على الأقل ٨٥ ـ ٩٠٪ ومن الشوائب التى توجد مندمجـــة مع هـــذه السبيكة عنصر الألومونيوم الذى قد تصل نسبته الى ٥ر١ ـ ٣٪ ٠

فيروتيتانيوم :

تعتبر سبيكة الفيروتيتانيوم أفضل العوامل النازعة للأكسجين واحيانا تضاف الى الصلب لتحسين خواصه الميكانيكية ٠

وتبعا لدرجة هذه السبيكة يتغير تركيبها الكيمائى فهى تحتوى على أكثر من ٢٣ ـ ٢٥ ٪ من التيتانيوم على شوائب أهمها :

ألومنيوم ٥ ـ ٨ ٪ على الأكثر ، نحاس ٣ ـ ٤ ٪ وسيلكون بكميات متفاوتة ولكن نســـبة السليكون الى التيتانيوم فى الســـبيكة تتراوح بين ١٨ ر ـ ٢٨ر ٠

فيروكـــروم :

من النادر أن يضاف الى صلب سمر سبيكة الفيروكروم ولكنـه يحتوى على عنصر الكروم لغاية ٢٥ر٪ ويستخدم فى صنع ألواح الصلب الرقيقة ٠ وقد يضاف اليه جزء من سبيكة الفيروكروم حتى يصل الكروم با الى ٦ر ـ ٨ر٠ ٪ ٠

وفى الاتحاد السوفيتى تقسم سبائك الفيروكروم الى عشرة رتب عيارية استنادا الى نسبة ما تحتويه من كربون وتقع هذه النسبة بين ٠٦ر ـ ٨ر٠٪ ويشترط ألا تقل نسبة الكروم بالسبيكة عن ٦٠ ـ ٦٥٪ كما يجب ألا تزيد نسبة السليكون فى لســـبيكة من جميع الرتب عن ٥ر١ ـ ٥ر٣٪ ٠

٣ ـ فترات النفخ المختلفة والتفاعلات التى تحدث فى المحول بسمر

الفترة الاولى :

في أول الامر يتأثر عنصر الحديد بكل الأكسجين الموجود بهواء النفخ والداخل بالمحول خلال الفونيات الموجوده بالقاعدة ومخترقا ودنات الهواء ويتأكسد مكونا اكسيد الحديدوز كما فى المعادلة الآتية :

$$ح + \frac{1}{2}ا_2 \longrightarrow ح ا + \text{حرارة}$$

وبمجرد تكوين اكسيد الحديدوز يصبح المصدر الرئيسى لتمويل الاكسجين بشدة فيتأكسد السليكون وبدرجة أقل يتأكسد عنصر المنجنيز الى ثانى اكسيد السليكون ، وأكسيد المنجنيز على الترتيب ٠

ولكن جزءا صغيرا من السليكون وبدرجة أقل يتأكسد عنصر المنجنيز يتمكن من التأكسد مباشرة بواسطة الاكسجين الموجود بهواء النفخ ـ تبعا للتفاعلات الآنية : ـ

$$س + ا_2 \longrightarrow س ا_2 \qquad س ا_2 + ح \longrightarrow س_2 ح ا$$

$$م + ا_2 \longrightarrow م ا_2 \qquad م ا_2 + ح \longrightarrow م ح ا$$

وفى خلال هذه الفترة يحترق الكربون ببطء شديد مكونا أول اكسيد الكربون ، الذى يحترق جزئيا داخل المحول ٠

وتحتوى الغازات المتصاعدة خلال هذه الفترة (اذا كان النفخ بالهواء فقط) على ٨٥ ـ ٩٠٪ نتروجينا أما أول اكسيد الكربون فيكاد يكون منعدما ولهذا فان شعلة اللهب التى تظهر عند فوهة المحول تكون قصيرة وضعيفة الاضاءة ٠

وتتحد السلبكا مع اكسيد الحديدوز وأكسيد المنجنيز لتكون سليكات الحديد والمنجنيز على الترتيب :

$$س ا_2 + ح ا \longrightarrow ح س ا_3$$

$$س ا_2 + م ا \longrightarrow م س ا_3$$

وبجانب السلبكا المتكونة نتيجة لتأكسد عنصر السليكون الموجود بالحديد الزهر فان بطانة المحول تقدم جزءا منداعيا منها ليشترك فى تكوين الخبث الذى يحتوى خلال هذه الفترة على حوالى ٥٠٪ منه سليكا ،

١٥ ـ ٢٠٪ أكسيد حديدوز ويتكون هذا الخبث أثناء الفترة الاولى من فترات النفخ فى محول بسمر ٠

وتستغرق هذه الفترة وقتا يتوقف أساسا على درجة حرارة «شحنة» الحديد الزهر الداخلة بالمحول وبارتفاع درجة حرارة الشحنة تقل هذه الفترة وليس هذا مقياسا مطلقا فاذا ما وصلت درجة الحرارة الى درجة انتسخين المفرط أصبح الكلام عن سلوك الحديد الزهر فى هذه الفترة دربا من التكهنات ولا يمكننا الجزم بنتائجه ٠

الفترة الثانية :

بتأكسد كل من السليكون والمنجنيز ترتفع درجة حرارة شحنة الحديد داخل المحول وعندئذ يبدأ الكربون فى التأكسد بشدة وصخب ويتأكسد الكربون اساسا فى محول بسمر تبعا للتفاعل الآتى ويصحب هذا التفاعل امتصاص كمية من الحرارة :

ك + ح ا ← ك ا + ح

ويتأكسد جزء ضئيل من الكربون مباشرة كما يلى :

ك + ½ ا٢ ← ك ا

ك + ك ا٢ ← ك ا٢

وتبعا للتفاعلات السابقة ترتفع نسبة أول أكسيد الكربون فى الغازات المنبعثة من المحول الى ٣٠٪ وعند فوهة المحول يحترق أول اكسيد الكربون بواسطة اكسجين الهواء الجوى محدثا شعلة رهيبة من اللهب ذات ضوء ساطع يمتد طولها قرابة ٥ ـ ٦ أمتار ٠

ويستبد الكربون وحده بالفترة الثانية من فترات النفخ ومستغلا جزءا كبيرا من اكسيد الحديدوز للحصول على الأكسجين اللازم لأكسدته مما يؤدى الى انخفاض كمية اكسيد الحديدوز فى الخبث ٠ وبتداعى بطانة المحول وتآكلها ترتفع كثيرا نسبة السليكا فى الخبث كذلك فان ارتفاع درجة الحرارة يعمل على زيادة كمية السليكا أيضا ٠

والنسب الآتية قرين كل مركب توضح التركيب الكيميائى النمطى للخبث : ـ اثناء الفترة الثانية ٠

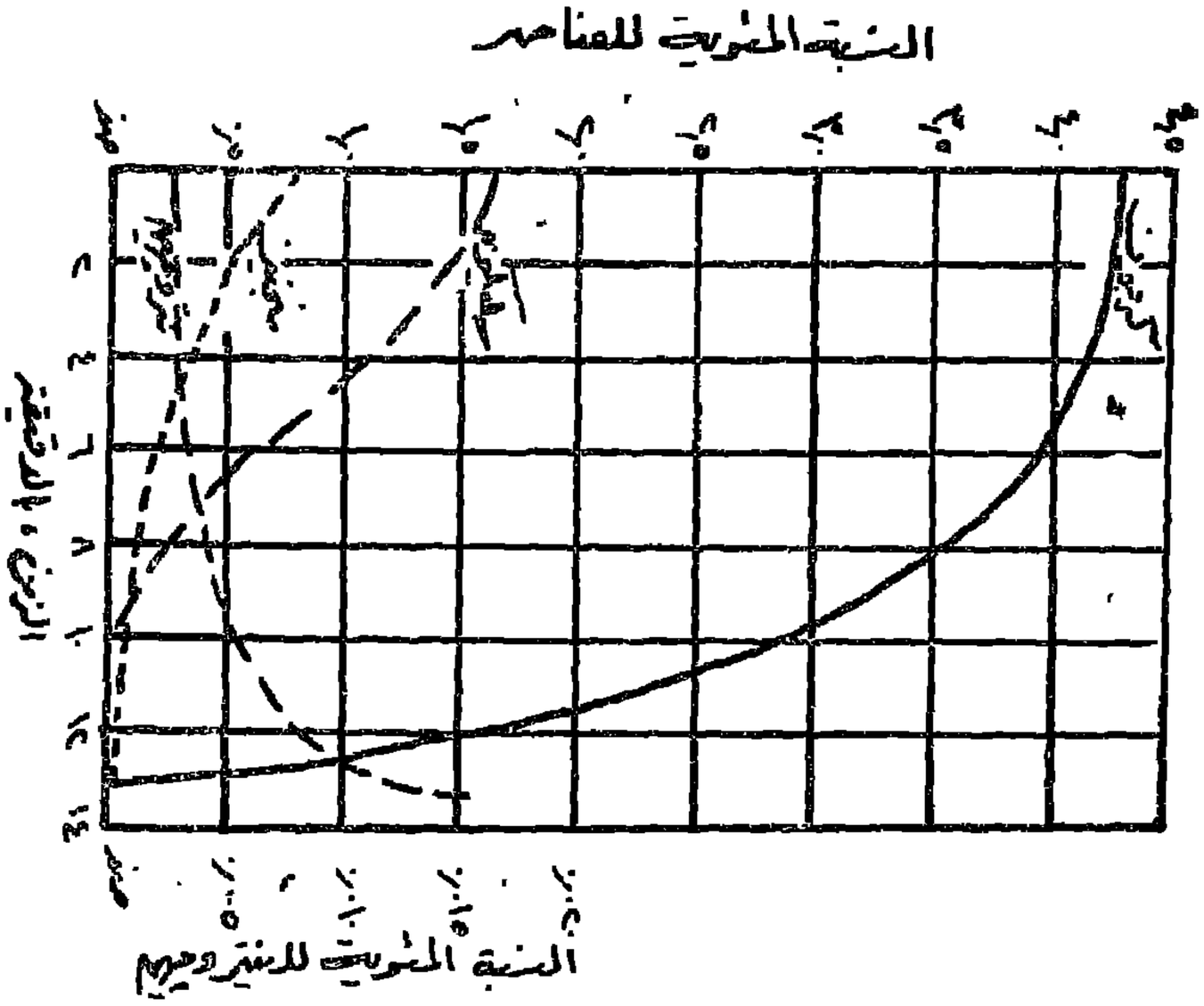
س أ ٢	١ر٦٥	ح٢ أ٣	٤ر٦٦
لو ٢ أ٣	١ر٧٤	ح	١٢ر٦١
كا أ	١ر٨	م أ	٢ ٢ر١٤
ح أ	١٢ر٠٠	فو ا	٨ ٤ر٠

وفى هذه الفترة أيضا يستمر تأكسد كل من السليكون والمنجنيز ولكن بمعدل منخفض للغاية عن الفترة الاولى ٠

الفترة الثالثـة :

وهى آخر فترات النفخ فى محولات بسمر وتظهر هذه الفترة فى حالة انخفاض نسبة الكربون وتبدأ هذه الفترة بانخفاض مفاجىء فى معدل تأكسد الكربون الى أول اكسيد الكربون ويظهر جليا فى انكماش طول شعلة اللهب وتنبعث أبخرة بنية كثيفة من فوهة معلنة عن تأكسد الحديد بشدة ولا تمتد هذه الفترة لاكثر من ثوان قليلة ٠

وللحصول على صلب متوسط الكربون يمكننا انهاء عملية النفخ أثنـــاء الفترة الثانية عنـدما تصل نســبة الكربون بالصلب النســبة المطلوبة ٠



شكل (١٤) : التغيرات الكيميائية التى تطرأ على المعدن المنصهر فى محول بسمر سعته ٢٥ طنا ٠

٤ ـ تغيير التركيب الكيميائى لكل من الصلب والخبث اثناء عملية النفخ

يوضح شكل (١٥) التغيير فى التركيب الكيميائى للحديد والخبث وكذلك التغيير فى درجات الحرارة طوال فترة النفخ ٠

وكمثال عملى اليك البيانات الاحصائية لسير عملية النفخ لشحنة من الحديد الزهر :

وزن الشحنة ٥ر١٩ طن

التحليل الكمى للشحنة ٪	فو	كب	س	م	ك
	٠٦ر	٠٣٦	١ر٥٨	٨٢ر	٤ر١

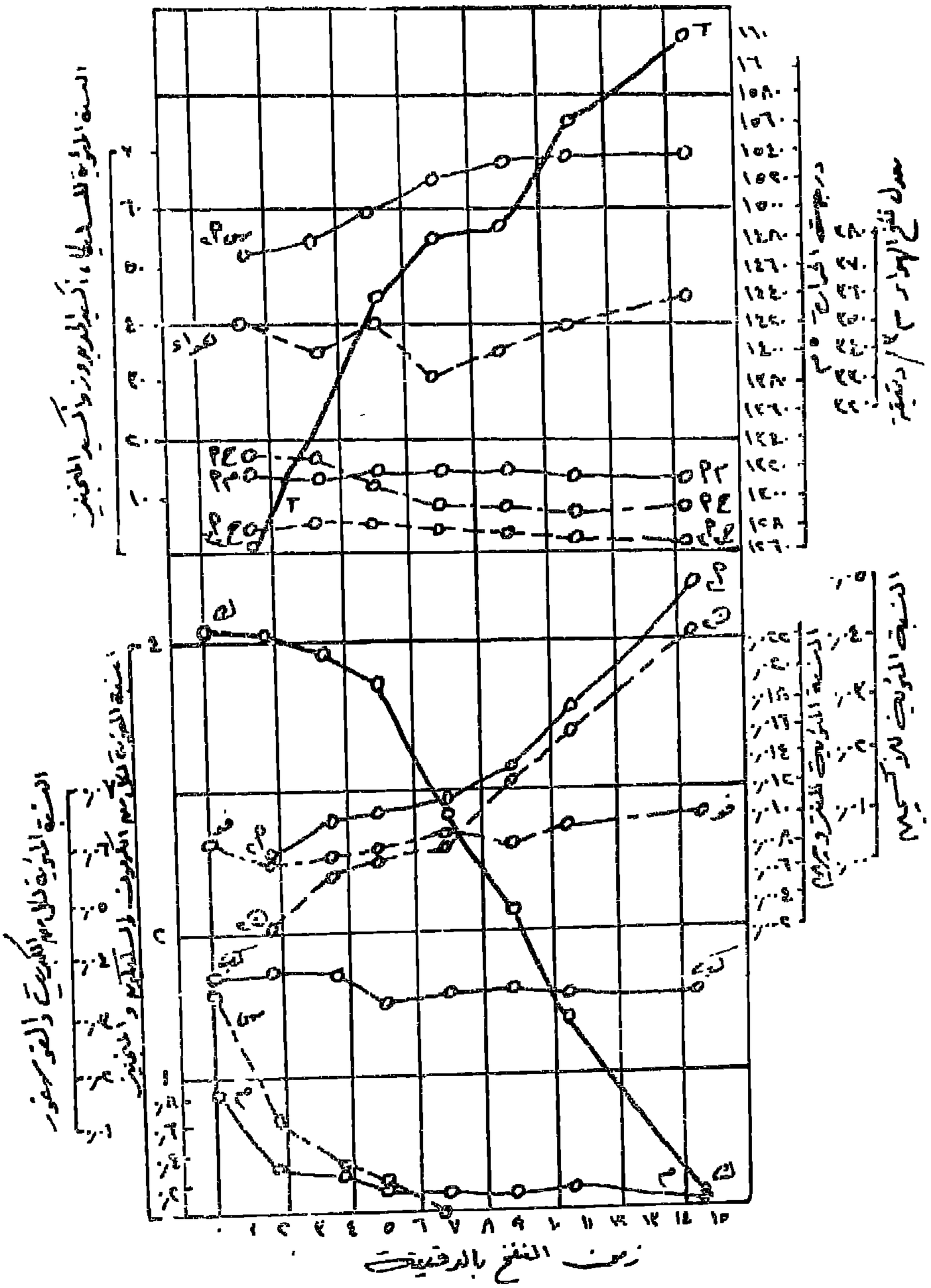
درجة حرارة الحديد الزهر ١٢٥٠ درجة مئوية

الارتفاع فى درجة الحرارة نتيجة عمليات الاكسدة ٣٦٠ درجة م ٠

(عادة يكون الارتفاع فى درجة الحرارة بين ٣٥٠ ـ ٥٠٠ درجة م تبعا للتركيب الكيميائى للحديد الزهر وكمية الاضافات السبائكية والمبردة وظروف تشغيل النفخ وتصميم قاعدة المحول) ٠

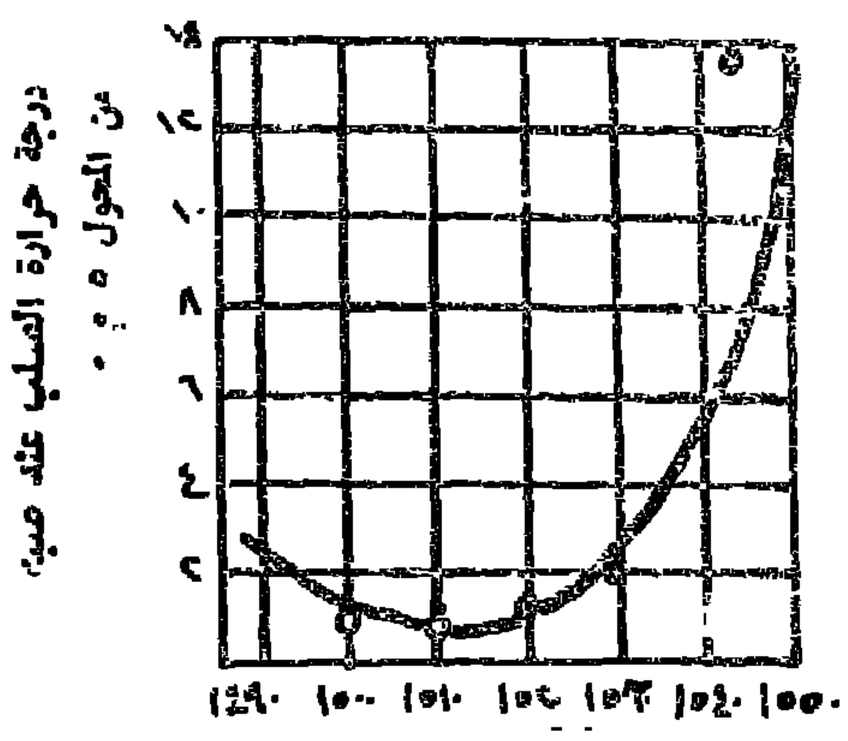
وبثبوت العوامل الاخرى فان عددا قليلا من الفتحات ذات الاقطار الكبيرة (القاعدة من الطوب) تهيىء ارتفاعا كبيرا فى درجة الحرارة عن العدد الكبير من الفتحات التى توجد فى القواعد التى تصنع دكا ٠ ويعزى الارتفاع الطفيف فى درجة حرارة المعدن خلال الفترة الثانية الى التفاعلات الماصة للحرارة التى تصاحب تأكسد الكربون بواسطة أكاسيد الحديد ٠

ومما هو جدير بالذكر أن مقدار السليكون المتخلف من عمليات الأكسدة أى المتبقى بالصلب يتخذ مقياسا صحيحا لدرجة حرارة الصلب فاذا كانت درجة الحرارة عالية وصلت نسبة السليكون بالصلب الى حوالى ١٥ر٪ بينما تصل هذه النسبة الى حوالى ٠٣ر ـ ٠٥ر٪ عند درجات



شكل (١٥) : التغيرات التى تطرأ على التركيب الكيميائى لكل من الصلب والخبث اثناء نفخ شحنة الحديد الزهر ٠

الحرارة المعتادة · ويوضح شكل (١٦) بيانيا العلاقة بين كتلة من الصلب الفوار ودرجة الحرارة التى عندها يصب الصلب من المحول · وتزداد المقذوفات الحديديه عند درجة حرارة ١٥٤٠ درجة م ـ ١٥٥٠ درجة م (مقيسة بواسطة بيرومتر ضوئى بدون أى تصحيح) ويمكن تفسير ذلك بارتفاع نسبة السليكون المتخلف فى الصلب اذ تبلغ نسبته ٠٦ر ـ ١ر٠٪ نظرا لارتفاع درجة حرارة الصلب اثناء سير العملية ·



شكل (١٦) رسم بيانى يوضح العلاقة بين نسبة المرفوض من الصلب نتيجة لاحتوائه على شقوق ودرجة حرارة الصلب عند صبه من المحول ·

وطوال عملية النفخ تزداد نسبة ما يحتويه الصلب من نتروجين وفي اثناء المرحلة الاولى من مراحل النفخ حيث تكون نسبة الكربون عالية يكون معدل تأكسده منخفضا وتكون درجة الحرارة هى الأخرى مازالت منخفضة فان ذوبان النتيروجين فى الصلب يكون فى حدود ٠٠٢ر ـ ٠٠٨ر٪ ·

وبارتفاع درجة الحرارة تنخفض نسبة الكربون فى الصلب بينما تأخذ نسبة النتروجين فى الارتفاع حتى تصل الى ٠٢٣ر٪ فى نهـــاية العملية ·

وتتوقف كمية النتروجين الذائب بصلب بسمر على عدة عوامـل أهمهـا :

(أ) كمية الكربون فى الصلب ومعدل تأكسده ·

(ب) درجة حرارة الشحنة ·

(جـ) ارتفاع المعدن فوق ودنات النفخ ٠

(د) ظروف تشغيل النفخ (ضغط الهواء المنفوخ وطبيعة النفخ)٠

ويساعد كثيرا انخاض نسبة الكربون بالصلب على ذوبان نسبة أكبر من النتروجين فيه فى حين أن ارتفاع معدل تأكسد الكربون وبالتالى تصاعد فقاعات أول أكسيد الكربون المتكون بشدة يعمل على طرد كمية أكبر من النتروجين المذاب ٠

ومن الطبيعى أن ارتفاع درجة الحرارة من شأنه أن يزيد من سيولة المعدن الامر الذى ينجم عنه تجزىء المعدن الى قطرات صـــغيرة فتزداد المساحة المتعرضة لهواء النفخ وتكون الفرص متاحة لامتصاص كمية اكبر من النتروجين ٠

ولقد أثبتت التجارب العملية أنه بارتفاع طبقة المعدن داخل المحول يزداد ما يحتويه الصلب من نتروجين بفرض ثبوت العوامل الأخرى ، ويرجع هذا الى طول عمود الهواء المخترق لطبقة المعدن مما يجعل فرصة التلامس أكبر ٠

وبزيادة ضغط الهواء تتسع منطقة تلامس المعدن بالهواء مما يؤدى الى امتصاص كمية أكبر من النتروجين رغما عن قصر مدة النفـــخ ٠ وبتزويد الهواء المنفوخ بالاكسجين النقى ينخفض الضـغط الجـــزئى للنتروجين فيقل معدل امتصاصه فى الصلب كما أن زيادة الضغط الجزئى للاكسجين يزيد من معدل أكسدة الكربون محدثا فورانا يساعد على طرد النتروجين من الصلب ٠ وبانتهاء أكسدة الكربون يأخذ تركيز الاكسجين بالصلب فى الزيادة وبتثبت العوامل الاخرى فان درجة تأكسد المعدن تتحدد سلفا بنسبة ما يحتويه من كربون مع اعتبار عوامل التشغيل فى الدرجة الثانية ، هذا وتتحكم فتحات الهواء بحجمها الفعلى لكل طن من الشحنة فى مقدار ما يفقده المعدن نتيجة لأكسدته كما تتحكم أيضا فى درجة الأكسدة فتزداد كلما كبر حجم هذه الفتحات ٠

وعندما يحتوى الصلب على حوالى ٠٫٠٥٪ كربونا تتراوح نســـبة الاكسجين به بين ٠٫٠٤٧ ــ ٠٫١٠١٪ وكقاعدة فانه يكون فى المتوســـط حوالى ٠٫٠٦٧٪ واذا كانت نسبة الكربون من ١ر ــ ١٣ر٪ كانت نسبة الاكسجين الذائب ٠٫٠٣٥ ــ ٠٫٠٨٢٪ وعادة تكون ٠٫٠٤٩٪ ٠

وتبلغ نسبة الاكسجين بصلب « القضبان » ٠٫٠٠٩ ــ ٠٫٠٢١٪ اذا احتوى على ٥ر ــ ٦٥ر٪ كربونا وعادة تكون نسبة الاكسجين به ٠٫٠١٦٪ (هذا اذا توقف النفخ عند نسبة عالية من الكربون) ٠

وترتبط كمية الاكسجين الذائبة بالصلب بمقدار وطبيعة الشوائب غير المعدنية الموجودة به وفي صلب بسمر الفوار تصل نسبة هذه الشوائب غير المعدنية والموجودة كأكاسيد الى حوالى ٠١٦٦ر ـ ٠٤١٦٪ من وزن المعدن بينما لا تتعدى هذه النسبة ٠١ر ـ ٠٢٥ر٪ فى الصلب المصنوع بواسطة الأفران المفتوحة (سيمنز مارتن) حيث تنخفض كمية المعدن المتأكسد (والتغيير فى المكونات الأساسية للخبث أثناء عملية النفخ (ممثلة بيانيا فى شكل ١٥) ، حيث يحتوى الخبث على ٣ر١ ـ ٨٢ر١٪ من أكسيد الألومونيوم ، ٢٦ر١ ـ ٩٢ر٢ ٪ أكسيد الكالسيوم ، ٣ر ـ ٠٥ر١ ٪ أكسيد ماغنسيوم ٠

أجريت عدة تجارب على شحنة من حديد زهر ذى تركيب كيميائى مجدد وفى ظروف معينه باضافات محسوبة لتنتا فى النهاية كتلا من الصلب ذات جودة عالية وقد وجد أن القصور الحرارى للحديد الزهر ينسبب فى تخفيض درجة حرارة الصلب الناتج ، ومثل هذا القصور يكون نتيجة اما لانخفاض كمية السليكون والمنجنيز بالحديد الزهر واما لانخفاض درجة حرارة شحنة الحديد الزهر الداخلة فى المحول وبرودته من الداخل أو الكلا هذين السببين ٠٠ وباضافة كمية السليكون أثناء الفترة الثانية من فترات النفخ فى صورة سبيكة الفيروسليكون التى تحتوى على حوالى ٤٥ ٪ من السليكون الى الشحنة يمكننا ليس فقط تعويض مثل هذا القصور الحرارى بل ورفع درجة حرارة الصلب الناتج ٠

وتتولد هذه الحرارة من أكسدة كمية السليكون المضافة الى الشحنة واذا كان هذا القصور الحرارى نتيجة للبرودة النسبية لدرجة حرارة شحنة الحديد الزهر الذى يحتوى على كمية كافية من السليكون أو نتيجة لانخفاض درجة حرارة المحول الداخلية فان نفخ المحول وهو فى وضع مائل لمدة دقيقتين أو ثلاث يكون كافيا لرفع درجة حرارة الشحنة بطيئا مما يزيد من تأكسد الحديد ٠

وبامالة المحول يصبح عدد فتحات الهواء المستخدمة فعلا أقل من عددها الحقيقى ولا يغطى الحديد الزهر جميع الفتحات الموجودة الامر الذى يؤدى الى تأكسد السليكون ببطء فيزداد الفاقد من الحديد وبالتأكسد ويكون نتيجة لها ارتفاع درجة حرارة الشحنة ٠

وبعد ذلك يثبت المحول فى وضع رأسى مع استمرار النفخ فيرتفع معدل تأكسد السليكون وفى النهاية يكون الارتفاع فى درجة الحرارة

كنتيجة حتمية لهذا الاجراء أمرا مؤكدا · والارتفاع الحرارى يكون نتيجة لنفخ الحديد الزهر الغنى بالسليكون وهو عند درجة عالية من الحرارة ·

وفى بعض الاحيان تتم صناعة الصلب بمثل هذه الحالة من الفيض الحرارى حيث يستغل فى صهر وتصنيع كمية مناسبة من الخردة · وعمليا تطبق مثل هذه الطريقة فى المصانع التى تفتقر الى الافران المفتوحة حيث يستفاد بتصنيع الاكوام المكدسة من الخردة ·

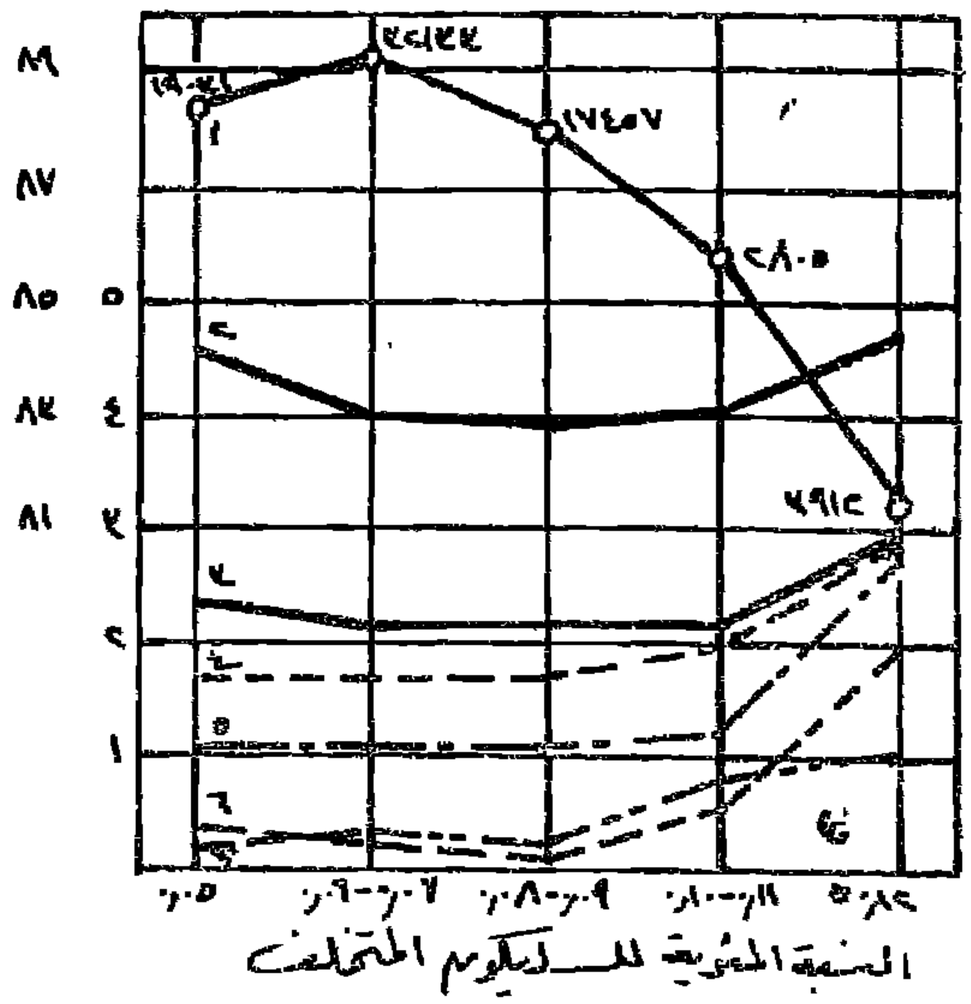
واذا تم النفخ عند زيادة من الحرارة كان الصلب الناتج أقل جودة واحتوى على كمية أكبر من السليكون المتخلف وارتفع معدل تأكسده ودرجة تشبعه بالغازات (اذ أن ارتفاع كل من الحرارة والسليكون بالحديد الزهر يزيد من فرصة ذوبان الغازات فى الصلب المنصهر) ·

وعند صب الصلب الفوار وهو فى درجة الحرارة العالية فان الكتل الناتجة يحدث لها فوران ويزداد حجمها ويتكون ما يشبه خلايا النحل التى تنظم قرب سطح المعدن · ولقد أوضحت التجارب أنه اذا احتوى الصلب على ٠٩ر - ١ر٪ من السليكون المتخلف فى صلب القضبان (عندما يتوقف النفخ عند نسبة الكربون المطلوبة) تنخفض جودة الصلب وقد يرفض لكثرة مابه من عيوب واضحة وتصدعات خطيرة وزيادة فى القصافة ·

ويمكن تدارك هذا الارتفاع فى درجة الحرارة باضافة كمية من الخردة فى المحول وهو فى وضع رأسى قبل أو أثناء عملية النفخ ، وتعتمد كمية الخردة المضافة على طريقة التشغيل ·

وقد أوضحت التجارب أنه باضافة ١٠٪ من قصاصات الدرفلة (نفايت الدرفلة) تنخفض درجة الحرارة حوالى ١٠٠ - ١٢٠ درجة م ·

ومن الأهمية بمكان أن نذكر الدور الكبير الذى يقوم به خام الحديد فى تنظيم درجة الحرارة فنظرا لقدرته الكبيرة على التبريد فهو يفوق الخردة فى هذا الصدد ولا تعجب أن كيلو جراما واحدا منه يحل محل ٤ - ٤ر٥ كيلو جراما من الخردة · ويجب اضافة خام الحديد فى المحول قبل شحنه بالحديد الزهر حتى يختزل الحديد بواسطة السليكون والمنجنيز أثناء الفترة الأولى وليس بالكربون ·



شكل (١٧) : يبين جودة صلب الفضبان المصنوع فى محول بسمر مقدرة بنسبة السليكون المتخلف الذى يحتويه الصلب

١ ـ درجة أولى
٢ ـ التشققات الدقيقة
٣ ـ مواضع الأكسيد
٤ ـ الرمل المحجوز
٥ ـ العيوب التى لصلب البيان الميكروسكوبى
٦ ـ القصافة
٧ ـ التشوق (الصدوع)

واذا أضيف خام الحديد أثناء المرحلة الثانية فان ذلك يؤدى الى اختزال الحديد بواسطة الكربون مكونا أول اكسيد الكربون مما يساعد المقذوفات المعدنية على الهروب خارج المحول حاملة معها بعض الخـــام المضـــاف •

ومن مزايا اضافة خام الحديد والنفايات المعدنية الى شحنة الحديد الزهر تقديم كمية لا بأس منها من الأكسجين اللازم للتفاعلات الكيميائية المختلفة فتتم بسهولة وفى وقت أقصر كما أن اختزال خام الحديد يزيد من ناتج الصلب المنصهر •

ومن الطرق المستخدمة لامتصاص الزائدة اضافة نسبة من بخار الماء الى الهواء الداخل الى المحول فتستهلك كمية كبيرة من الحرارة فى تحليل الماء الى عنصر به وتعتبر هذه الطريقة ذات فاعلية الى حـد بعيد الا أنها غير اقتصادية ولهذا فهى بعيدة عن المنطق اذ أن الحرارة الزائدة

فى هذه الحالة تضيع هباء فى حين أنه يمكن استغلالها فى اختزال كمية من خام الحديد أو لصهر كمية من الخردة ٠

هذا بالاضافة الى امتصاص جزء كبير من الهيدروجين (المنشق عن الماء) المتولد نتيجة لتحلل الماء مما يحط من جودة الصلب ٠ وقد يؤدى الى حدوث تشققات ذات تأثير خطير فى القضبان المصنوعة من هـــذا الصلب ٠

٥ ـ الطريقة الحديثة لصناعة الصلب

تتحسن كثيرا خواص الصلب المختلفة اذا نجحنا فى خفض نسبة النتروجين والفوسفور به ويمكننا العمل على الاقلال من النتروجين الذائب بالصلب (متوسط الكربون) بطرق مختلفة منها : ايقاف نفخ الهـواء عندما نصل الى نسبة الكربون المطلوبة ، واســتعمال النفخ الجانبى ، وخفض الضغط الجزئى للنتروجين فى الهواء المنفوخ بتزويده بالأكسجين النقــى ٠

ايقاف نفخ الهواء عند الوصول الى نسبة الكربون المطلوبة :

يصنع الصلب الكربونى فى محولات بسمر اما بنفخ الحديد الزهر بالهواء حتى تخبو شعلة اللهب نهائيا (وفى هذه الحالة تصل نسبة الكربون بالصلب الى حوالى ٠٫٠٥ ٪) ثم يتبع ذلك عمليـــة الكربنـــة أو بوقف ندفق الهواء الى المحول عندما تكون نسبة الكربون بالصلب هى النسبة المنشودة ، والطريقة الأخيرة تمتاز بعدم تعرض كثير مـــن الحديد المتأكسد كما أن الصلب الناتج يكون محتويا على كميـــة من النتروجين أقل من الصلب الذى تعرض لعملية الكربنة ٠٠ وقد عرفت هـــذه الطريقة منـــذ زمن طويل ولكنها لم تنتشر ولم تحظ بالانتشار الواسع الا بعد أن تم اعداد الأجهزة اللازمة والتى جعلت فى الاستطاعة معرفة نسبة الكربون فى الصلب فى فترة وجيزة لا تتجاوز دقيقة ونصف وذلك بواسطة اخذ عينات من المحول اثناء عملية النفخ ٠

ثم تؤخذ عينة من الصلب لتحديد نسبة الكربون فاذا كانت أكبر من النسبة المطلوبة كان استمرار النفخ أمرا مستلزما ٠

ويمكن التحكم فى النفخ بواسطة الزمن وظهور اللهب الخارج من المحول حتى تصل نسبة الكربون الى ٠٫٦ ـ ١ ٪ بعد ذلك تؤخذ عينة من

المعدن لتحديد نسبة الكربون واذا زادت نسبة الكربون عن القيمة الفعلية تضاف بعض المصهرات الشديدة ٠

ويمكن تحديد معدل أكسدة الكربون تحت ظروف النفخ المحددة معمليا ويمكن تسجيله فى جدول ٠

ويعطى جدول (٢) المعدلات المطلوبة للنفخ الزائد لصبة تزن ١٨ر٥ طن عند نسبة ٠ر٥٪ كربون وتغذية هواء بمعدل ٣٥٠ متر مكعب لكل دقيقة ٠

(جدول (٢))

محتوى الكربون فى العينة ٪	مدة النفخ الزائد بالدقيقة/والثانية
١ر٢	١ — ٤٠
١ر١	١ — ٢٦
١ر٠	١ — ١١
٠ر٩	٠ — ١٧
٠ر٨	٠ — ٤٣
٠ر٧	٠ — ٢٩
٠ر٦	٠ — ١٤

وتتراوح نسبة النيتروجين فى صلب القضبان الكربونى من ٠ر٠١٦ الى ٠ر٠٢٢٪ وعندما تتوقف العملية عند نسبة كربون ٠ر٥ — ٠ر٦٪ فان كمية النتروجين تتراوح بين ٠ر٠١٢ — ٠ر٠١٨٪ ويزداد عائد الصلب جيد الانصهار الى ١ر٥ — ٠ر٢٪ نتيجة انخفاض فاقد صهر الحديد ويمكن أن تتحسن الخواص الميكانيكية للقضبان ٠

النفخ الجانبى :

ترجع الجودة المنخفضة لصلب بسمر المنفوخ من القاع الى زيادة كمية النتروجين والمكونات غير الحديدية المتواجدة فيه ، وفى حالة النفخ الجانبى أو عندما تكون الودنات مغمورة قليلا فى المعدن تزداد مساحة التلامس المباشر بين الهواء والمعدن بمعدل بطىء مما يساعد على احتزال نسبة النيتروجين فى الصلب الى ٠ر٠٠٣ — ٠ر٠٠٨٪ بدلا من

٠٫٠١٥ ـ ٠٫٠٢٢٪ فى طريقة النفخ من أسفل ويمكن تحسين الخواص الميكانيكية للصلب لتصبح مشابهة لمثيلتها فى الافران المفتوحة ٠

وتنتج الافران الجانبية معدنا ذو درجة حرارة عالية من عمليـــة النفخ من أسفل ويمكن أن يعزى ذلك الى الاحتراق السفلى لأول اكسيد الكربون « ك أ » الى « كأ ٢ » على السطح عند تصاعده وينتج التسخين الشديد للمعدن زيادة اضافات الخردة والخام عن طريق زيادة العائـد من الصلب المنصهر وتساعد الحرارة الفائضة كذلك على نفخ الحـديد الزهر المحتوى على نسبة صغيرة من السليكون ٠

ومن الممكن أيضا صهر سبيكة الصلب لأن الاضافات السبائكيـة تذاب بسهولة بدون تبرير المعدن الى الحد الذى يصهر بالصب العادى وتتبع الاحتياطات التالية فى عملية النفخ الجانبى لمحول بسمر ٢٠ طنا المستخدم فى صهر الصلب المطاوع وصلب القضبان :

١ ـ أن تتراوح نسبة النتيروجين فى معدن القضبان بين ٠٫٠٠٦ ـ ٠٫٠٠٩٪ وفى الصلب الفوار من ٠٫٠٠٥ ـ ٠٫٠٠٨٪ (مع النفخ من أسفل تكون النسبة حوالى ٠٫٠١٨ ـ ٠٫٠٢٦٪ ٠

٢ ـ أن تتراوح نسبة الاكسجين فى الصلب المنفوخ من أســـفل بين ٠٫٠٢٧٣ ـ ٠٫٠٤٢٠٪ وفى الصلب المنفوخ من اسفل بين ٠٫٠٢٧٣ ـ ٠٫٠٤٢٠٪ وفى الصـــلب المنفوخ بالطريقة الجانبية من ٠٫٠٠١٨ ـ ٠٫٠٣٠٦ ٪ ٠

٣ ـ عندما يحتوى الحديد الزهر على ١٫٢٧ ـ ١٫٥٦٪ سيلكون ، ٠٫٧٩ ـ ٠٫٨٠٪ منجينز ويتم نفخه بالطريقة الجانبية لانتاج صـــلب طرى فان تركيب الخبث قبل عملية الاكسدة يكون كالآتى ٪ : ـ

س١ ٢	٧٠٫٥٥	مغ أ	٠٫٢٥
لو٢ ٣١٢	١٫٩٥	م أ	١٤٫٩٩
ك أ	٠٫٤٩	ح أ	٢٧٫١٧

وفى طريقة النفخ من أسفل :

فان محتوى « ح أ » فى الخبث يتراوح بين ١٥ ـ ١٧٪ وفى طريقة النفخ الجانبى فان الخبث يكون أكثر سيولة ٠

٤ ـ فى طريقة النفخ الجانبى تتراوح النسبة الكلية للعناصر غـير الحديدية فى صلب القضبان بين ٠٫٠٣١٢ ـ ٠٫١٠٣٩٪ (متوســـط

١١٨٥ر٠٪) ومن ثم يجب أن يؤخذ فى الاعتبار ان سيولة الصلب تكون عالية مع النفخ الجانبى عنها فى طريقة النفخ السفلى ٠

٥ ـ أن تبلغ متوسط قوة التصادم لمعدن القضبان فى مقطع العينة عند درجة حرارة الغرفة ١ر٢٨ كجم/سم مربع فى حالة النفخ الجانبى ، ٠ر٩٩ كجم / سم٢ فى حالة النفخ السفلى ٠٠ أما عند درجة حرارة ٦٠ ـ صفر درجة م فتكون تقريبا ٠ر٧٢ ـ ١ر٠٣ كجم / سم٢ ، ٠ر٥٢ ـ ٠ر٦٢ كم / سم٢ على التوالى كما تزيد كذلك مقاومة التصادم فى طريقة النفخ الجانبى للصلب الفوار سواء قبل الازمان أو بعده ٠

٦ ـ تزداد فترة النفخ من ١٣ ـ ١٥ الى ١٧ ـ ٢٧ دقيقة ٠

٧ ـ عمر بطانة المحولات والودنات قصير ٠

وفى الولايات المتحدة الأمريكية يستخدم محولان بسعة من ٦ ـ ٧ طن لانتاج كمية من الحرارة على سطح المصهور عندما يكون وضع الودنات فى مستوى حمام (مغطس) المعدن أو أعلى قليلا وفى هذه الحالة يدخل هواء النفخ تحت منسوب المعدن أى تكون الودنات مغمورة وأيضا عندما تكون الطريقتان مركبتين مع بعضهما وتبلغ نسبة النتروجين فى الطبقة السطحية للنفخ ٠ر٠٠٣٪ وداخل طبقة المعدن ٠ر٠٠٧٪ ، وفى الطريقة المركبة ٠ر٠٠٦٪ ٠

ويوضح جدول (٣) تركيب الخبث :

جدول (٣)

المصهور	محتوى المكونات٪			
	ح أ	ح٢ أ٣	س أ٢	او٢ آ٣
السطح	١٨ر٣٨	٤٣ر٣	١٠ر٤٩	١٨ر٣
اسفل طبقة المعدن	٧٣ر٢٨	٥٠ر١	٥٠ر٥٨	٣٤ر٢
القاع	٢٢ر١٦	٩١ر٢	٦١ر٦٧	١٢ر٢

ومن التركيب الكيمائى للخبث يتضح مباشرة أن الخبث الناتج من طريقة النفخ السطحى هو الذى يتمتع بأكبر درجة من السيولة ولهـــذا فقد أصبح من العسير فصله عن الصلب ٠

وقد يطول عمر بطانة المحول إذا كانت مصنوعة من الميكا فلا تتغير

الا بعد أن تؤدى ٦٦ صبة ويستمر النفخ من ١٠ ـ ٢/دقيقة حتى يتم صنع ضبة وزنها ٢٢ طنا ٠

وتنحصر مميزات طريقة النفخ الجانبى فيما يلى : ـ

١ ـ ارتفاع درجة الحرارة داخل المحول أثناء التشغيل مما يتيح لنا نفخ الحديد الزهر الذى يحتوى على نسبة منخفضة من السليكون كما يمكننا من اضافة كمية اكبر من الخردة وخام الحديد فتزداد تبعا لذلك الكفاءة الانتاجية للصلب الناتج ٠

٢ ـ تنخفض كثيرا نسبة النتروجين فى الصلب الناتج وقد تصل فى كثير من الأحيان الى النسبة التى يحتويها صلب الافران المفتوحة ٠

٣ ـ تقل كمية الشوائب غير المعدنية المحتواة فى الصلب الناتج ٠

٤ ـ يضارع الصلب الناتج فى خواصه الميكانيكية صلب الأفران المفتوحة ٠

ولولا ارتفاع درجة أكسدة الخبث وتداعى البطانة بعد أمد قصير لفاقت هذه الطريقة غيرها من الطرق بدون استثناء وارتقت عرش المثالية وأصبحت نموذجا تتضاءل بجانبه جميع الطرق المعروضة ٠

تزويد هواء النفخ بالأكسجين النقى :

ينفخ الحديد الزهر بخليط من الهواء والأكسجين لنتمكن من رفع السعة الانتاجية للمحول ، وخفض نسبة النتروجين بالصلب ولامكانية الاستفادة بكمية أكبر من الخردة عن الطريقة العادية باستعمال الهواء فقط فى النفخ ٠

ولم تأخذ طريقة النفخ السفلى بالأكسجين النقى طريقها فى الانتشار على الصعيد العالمى نظرا لقصر عمر أداء الحراريات المستعملة فى المحول ، وقد اتضحت هذه الظاهرة بما لا يدع مجالا للشك أثناء الاختبارات التجريبية التى أجريت فى الاتحاد السوفييتى وفى غيره من البلدان الصناعية الاخرى ٠

وبالقاء نظرة فاحصة على الحالة الحرارية لشحنة الحديد الزهر نجد أنه باستعمال الهواء فقط فى النفخ فان جزءا كبيرا من الحرارة يفقد بواسطة النتروجين الذى يتصاعد من المحول وفى درجة حرارة الشحنة تقريبا ٠ وكما هو معروف لنا يمثل النتروجين $\frac{3}{5}$ حجم الهواء الداخل ولهذا يصل الفاقد من الحرارة أكثر من ٢٥٪ من كمية الحرارة الكلية

وعليه كان لزاما علينا أن يكون الحديد الزهر غنيا بالسليكون حتى نتمكن من تعويض الحرارة المفقودة ٠

ولقد وجد أنه اذا كانت نسبة الاكسجين بهواء النفخ ٣٠٪ أمكن صهر ٩ركجم من الخردة لكل متر مكعب من النتروجين المرفوع من هواء النفخ ، فبالنفخ المعتاد تصل كمية الخردة المضافة الى ٨ر٪ طنا لكل من الحديد الزهر المنفوخ ٠

فاذا احتوى هواء النفخ على ٣٠ ــ ٣٥٪ منه أكسجينا زيدت هذه الكمية الى ٥ر٣٪ طنا كما أنه فى هذه الحالة نتمكن من نفخ الحديد الزهر الذى لا يزيد نسبة ما به من السليكون عن ٥ر٠ ٪ ٠

ويتناسب الانخفاض الزمنى فى فترة النفخ مع نسبة الاكسجين الموجودة بالهواء المنفوخ ، وجدول (٤) يعطينا فكرة عن هذا التناسب باجراء تجارب لنسب مختلفة من الأكسجين على شحنة من الحديد الزهر وزنها ٥ر٢٢ طنا ٠

جدول (٤)

نسبة الاكسجين فى هواء النفخ (٪)	مدة النفخ ــ (دقيقة)
٢١ هواء عادى	١٣ر٢٣
٢٥	١١ر١١
٣٠	٩ر٢٦
٣٥	٧ر٩٣
٤٠	٦ر٩٤
٤٥	٦ر١٩
٥٠	٥ر٥٦

ولقد تحققت النتائج الآتية بالتجارب العملية وأصبحت حقيقة لا يدانيها أى شك :

١ ــ ظلت درجة حرارة الشحنة فى حدود المعتاد باضافة ١٢٪ من الخردة ٠

٢ ــ ارتفعت السعة الانتاجية للمحول فأصبحت ٤ صبات فى الساعة بدلا من ثلاث ٠

٣ ـ زادت الكفاءة الانتاجية للصلب الجيد بمقدار ١٪ ٠

٤ ـ تحسنت خواص الصلب الناتج لانخفاض نسبة النتروجين به ٠

٥ ـ أصبح من المستطاع نفخ الحديد الزهر الذى يحتوى على نسبة منخفضة من السلكون ٠

٦ ـ ازالة الفوسفور من الصلب :

يزال الفوسفور من صلب بسمر باضافة خليط من أكسيد الكالسيوم (٥٠ جزءا) ونفايات التشكيل (٣٠ جزءا) والفلوريت (٢٠ جزاء) ٠

ويضاف هذا الخليط بعد طحنه وهو فى الحالة اثناء صب المعدن فى المحول بواقع ٣٠ كجم لكل طن من الصلب الناتج ٠

ويكون من جراء هذا حدوث تفاعلات سديدة فى البودقة التى تحوى الصلب الناتج ونتيجة لهذه التفاعلات تصل نسبة الفوسفور المزال الى ٥٠ ـ ٨٠٪ من الكمية الكلية بالصلب ٠

ويزن الخبث الناتج ٣٪ من وزن المعدن ٠ ومن الضرورى أن تكون سعة البودقة كافية حتى نتلافى فيضان الخبث خارج البودقة نتيجة لعنف التفاعلات التى تحث داخلها ويعطى التحليل الكمى للتركيب الكيميائى للخبث النسب الآتية :

٦ ـ ٤ لو ٢ أ ٣	٤٥ كا ١
١٠ ـ ٨ م أ	١٤ ـ ١٠ح أ + ح ٢أ ٣
٦ ـ ٤ فو٢ أ ٥	٢٥ ـ ١٥ س أ ٢

ويمكننا أيضا معالجة خبث محولات بسمر بخبث الحديد الجيرى وهو فى الحالة السائلة ٠

وبالرغم من النتائج الطيبة التى توصلنا اليها بهذه الطريقة الا انها لم تعمم وتستخدم على الصعيد الدولى نظرا لانها تتطلب وحدة مستقلة لصهر الخبث كما أن الدورة الانتاجية لهذه الطريقة معقدة الى حد بعيد ٠

٧ ـ نزع الأكسجين من الصلب
كربنة الصلب

يتم عمليا نزع الأكسجين والكربنة قبل عملية النفخ مباشرة والغرض من هاتين العمليتين كما هو واضح من تسميتهما سحب ما يمكن سحبه

من الأكسجين الذائب بالصلب ثم رفع نسبة الكربون بالصلب حتى تصل الى النسبة المطلوبة ٠

وفى صناعة الصلب الفوار ، يتم عادة نزع الأكسجين ورفع نسبة الكربون باضافة سبيكة الفيرومنجنيز الى المحول أو البودقة ٠

ويجب أن يكون الفيرومنجنيز المضاف ذا أحجام مناسبة ومندى بقليل من الماء حتى يتمكن من اختراق طبقة الخبث الكثيفة دون أن يحتجز بها ٠٠ وقد وجد أن أنسب الأحجام للفيرومنجنيز المضاف هو ٥٠ مم كقطر لمساحة المقطع وتضاف أثناء صب الصلب فى البودقة ٠

ويمكن تعيين وزن الفيرومنجنيز الذى يجب اضافته من قانون العلاقة الآتية :

$$\text{وزن الفيرومنجنيز المضاف} = \frac{\text{س}\cdot\text{ص} \times ١٠٠}{\text{أ}\ (١٠٠ - \text{ب})} =$$

حيث : س = وزن الشحنة بالطن (مثلا ٢٠ طنا)

ص = نسبة المنجنيز المراد الوصول اليها ٪ (مثلا : نسبة المنجنيز بالصلب = ٠٫٠٩٪

النسبة المطلوبة = ٠٫٤٪ ، ص = ٠٫٤ـ٠٫٠٩ = ٠٫٣١٪)

أ = نسبة المنجنيز فى السبيكة ٪ (مثلا ٧٥٪)

ب = نسبة ما يفقد من المنجنيز (عادة ٣٠ ـ ٤٠٪) عند اضافته فى المحول ١٥ ـ ٢٠ ٪ عند اضافته فى البودقة ٠

وكمثال يكون وزن الفيرومنجنيز الواجب اضافته تبعا للبيانات المعطـــاة ٠

$$= \frac{٢٠ \times ٣١ \times ١٠٠}{٧٥ \times (١٠٠ - ٣٥)} = ١٣٫٠ \text{ طنا}$$

وهذه الكمية من الفيرومنجنيز ترفع نسبة الكربون فى الصلب الناتج بمقدار

$$\frac{٠٫٠١ \times ٠٫١٣ \times ٦٫٥ \times ١٠٠}{٢٠} = ٠٫٠٤٪$$

حيث أن هذه السبيكة تحتوى على ٥ر٦٪ من وزنها كربونا مع افتراض عدم فقد أى كربون منها ٠

واذا كانت نسبة الكربون بالصلب بعد النفخ مباشرة ٠ر٠٥٪ فان النسبة النهائية تصبح مساوية ٠ر٠٩٪ وللمنجنيز الموجود فى صلب بسمر الفوار تأثير ملحوظ على خواص كتل الصلب أثناء درفلتها ٠

وبزيادة نسبة المنجنيز فى الصلب نحد من شدة فورانه فى قوالب الصلب وبهذا تصبح الكتل رفيقة للغاية ٠

أما اذا انخفضت نسبة المنجنيز بالصلب أصبح ضروريا اضافة قطع الالومنيوم ليقوم بنفس الدور الذى يقوم به المنجنيز ٠

ومن الأهمية بمكان أن تؤخذ كل هذه الاعتبارات فى الحسبان حتى يتم صنع الصلب بنجاح ٠ وتعترضنا كثير من العقبات مع صنع صلب بسمر المخمد ففى نهاية النفخ عندما تصل نسبة الكربون الى ١ر٠٪ فان كمية كبيرة من الأكسجين تبلغ ٠٦ر ـ ٠٩ر٪ تكون ذائبة فى الصلب وأحيانا لا يكون الصلب الناتج مخمدا تماما بالرغم من اضافه كميات وفيرة من الفيروسليكون والألومنيوم وفى هذه الحالة يمكننا نزع الأكسجين بنجاح بواسطة الكربون حيث تزداد قابليته للأكسجين عند درجات الحرارة العالية ٠ فبايقاف نفخ الهواء فور شحوب شعلة اللهب عند فوهة المحول (٠٥ر٪ كربونا) تضاف كمية من الحديد الزهر الى المحول ويحتوى (الحديد الزهر على ٢٥ر٤٪ كربونا ، ١٥٪ سليكونا وعندئذ يشتد التفاعل حتى اذا انتهت هذه التفاعلات يكون الصلب جاهزا لصبه فى البودقة حيث نضاف اليه الكميات المطلوبة من سبائك الفيرومنجنز والفيرسليكون والالومونيوم ولهذا يحتوى الصلب المخمد تماما على حوالى ١٥ر٪ كربونا ، ٠١٥ر٪ اكسجينا ٠

وقد تستخدم سبيكة السليكومنجنيز لنزع الأكسجين من بعض أنواع الصلب الخاصة ٠

وفى صناعة الصلب الكربونى أو صلب القضبان تستخدم عادة العوامل النازعة للأكسجين والكربنة بعد صهرها فى أفران الدست ، أو الأفران الكهربائية ٠

وعادة يكون التركيب الكيميائى للعوامل النازعة للأكسجين كما يأتى :

٣ر٥ ـ ٤ر٨ ٪	كربونا
٩ر٣ ـ ١٠ر٥ ٪	منجنيزا
٢٤ر ـ ٧١ر ٪	سليكونا
١٦ر ٪	فوسفورا

واذا استخدمت هذه العوامل بمقدار يتراوح بين ٩٣ ـ ٨٦ر٥ ٪ كجم ٪ طن من المعدن المنفوخ لانتاج صلب القضبان كانت نسبة ما يحتويه فى النهاية من السليكون ٠٩ر ـ ١٤ر٠ ٪ وفى هذه الحالة يضاف الفيروسليكون الى البودقة حتى ترتفع هذه النسبة الى ١٨ر ـ ٢٥ر ٪ وفى بعض الأحيان يكون الحديد الزهر المرآوى هو المادة المستخدمة لنزع الاكسجين وأيضا العامل المكربن لانتاج صلب القضبان ٠ ويمكن الاستغناء عن عملية الكربنة لانتاج صلب القضبان ويتأتى هذا بايقاف النفخ عند نسبة عالية من الكربون وباضافة الفيرومنجنيز منصهرا الى جانب الكربون الموجود فعلا بالصلب تتم عملية نزع الاكسجين بسهولة وتستخدم وحدة خاصة لصهر الفيرومنجنيز الذى يؤخذ فى بودقة صغيرة لاضافته الى الصلب الناتج أثناء تفريغه فى المحول كما يلقى أيضا الفيروسليكون والألومونيوم فى البودقة فى نفس الوقت ٠

ولصلب القضبان المصنوع فى محولات بسمر حساسية كبيرة للألومونيوم فباضافته تنخفض السيولة ويصبح غليظ القوام ٠

ومن الأهمية بمكان أن يراعى بكل دقة عدم تجاوز كمية الألومونيوم المضافة عن ١٠٠ ـ ٢٥٠ جرام لكل طن من الصلب الناتج اذ أن تعدى هذه النسبة يصيب صلب القضبان فى بنيانه الماكروسكوبى بعيوب عديدة تحط من جودته وتفقده قيمته ٠

وقد يستخدم كمواد مكربنة كل من : الكربون الناعم والانثراسيت وغيرها من المواد الكربونية الأخرى ٠

وينحصر استخدامها عادة فى رفع نسبة الكربون ٠٥ر ـ ١ر ٪ وتضاف ناعمة ـ بعد نخلها ووضعها فى أكياس من الورق ـ الى الصلب فى البودقة بعد تفريغه من المحول ٠

خواص واستعمالات صلب بسمر

يتميز صلب بسمر بارتفاع مقاومة النهاية للكسر ونقطة استسلامه اذا قورن بصلب الأفران المفتوحة ٠ وكلما انخفضت نسبة الكربون كلما

تباينت خواصه الميكانيكية تباينا كبيرا وتصل نسبة $\frac{6a}{6l}$ لصلب بسمر الى ٦٨ر٠ــ٧٤ر٠ وهى أكبر من مثيلتها لصلب الافران المفتوحة التى تساوى ٦٤ر٠ ــ ٦٧ر٠ ويمكن تفسير ذلك بارتفاع نسبة لكل من الأكسجين والنيتروجين والفوسفور ٠

ولكن لا يخلو صلب بسمر من بعض العيوب ، فقصافنه عالية خاصة عند درجات الحرارة المنخفضة ٠

وبسهولة كبيرة يمكن لحام صلب بسمر بواسطة الطرق بينما توجد صعوبة بالغة عند لحامه بواسطة الكهرباء مما يحد من مجال استعماله فى شتى النواحى العملية ولما كان صلب بسمر يحتوى على الفوسفور والنيتروجين بنسب عالية نوعا ، لذلك فانه يستحيل استخدامه اذا كانت خاصية اللدونة مطلوبة عند معالجته على البارد بواسطة الضغط كما فى حالات التشكيل بواسطة السحب ، الدرفلة على البارد ، ويستخدم صلب بسمر عمليا فى صناعة القطاعات الجانبية فى الانشاءات غير الحساسة ٠ كالمسامير والقضبان المدرفلة التى لايجرى عليها بعد ذلك عمليات تشكيل لاحقة كالسحب الى أسلاك ، الأنابيب الملحومة ، الفولاذ سريع القطع ٠

٨ ــ الموازنة المادية والحرارية لشحنة بسمر

١ ــ الموازنة المادية

فى حساباتنا الآتية نعتبر ١٠٠ كجم كوحدة أساسية لشحنة محول بسمر والجدول الآتى يبين البيانات الخاصة بشحنة بسمر ٠

جدول (٥)

	نسبة المواد المحتواة ٪				
	ك	س	م	فو	كب
الحديد الزهر	١ر٤	٢ر١	٩٢ر	٠٦٥ر	٠٤ر
المعدن المنفوخ	٠٦ر	ــ	١ر	٠٦٥ر	٠٤ر
كمية المواد المؤكسدة	٠٤ر٤	٢ر١	٨٢ر	ــ	ــ

١ ـ افترض ان ٢٠٪ فقط من الكربون الكلى يتأكسد الى ثانى أكسيد الكربون ، ٨٠٪ يتأكسد الى أول أكسيد الكربون ٠

٢ ـ ٢٥ر١٪ من وزن المعدن ـ يستهلك من بطانة المحول (ديناس) ويذهب الى الخبث ٠

٣ ـ تركيب البطانة كما يأتى : =

س أ ٢ ٩٦٪

لو ٢ أ ٣ ٥ر١٪

كا أ ٥ر٢٪

٤ ـ جميع م أ الناتج يتحد مع س أ٢ والباقى من س أ٢ يتحد مع ح أ مكونا (حأ ٠ سأ٢) ، وتهمل كمية س أ٢ التى تتحد مع كأ الناتج من البطانة ٠

وزن البطانة الذى يذهب الى الخبث = $\frac{١ر٢٥}{١٠٠}$ ١٠٠ = ١ر٢٥ كجم

وزن س أ٢ الذى يذهب الى الخبث = ٩٦ر×١ر٢٥ = ١ر٢ كجم

وزن م٢ أ٣ الذى يذهب الى الخبث = ٠١٥ر×١ر٢٥ = ٠١٩ر

وزن كأ الذى يذهب الى الخبث = ٠٢٥ر×١ر٢٥ = ٠٣١ر «

وزن م الذى تأكسد = $\frac{٨٢}{١٠٠}$ ١٠٠ = ٨٢ «

وزن م أ المتكون = $\frac{٨٢ر \times ٧١}{٥٥}$ = ١ر٠٦ «

هذه الكمية من م أ تتحد مع كمية مناظرة من س أ٢ يمكن حسابها كما يلى :

وزن س أ٢ الذى يتحد مع مأ = $\frac{١ر٠٦ \times ٦٠}{٧١}$ = ٩ر كجم

وزن س الذى تأكسد = $\frac{١ر٢}{١٠٠}$ ×١٠٠ = ١ر٢ «

وزن س أ٢ المتكون = $\frac{١ر٢ \times ٦٠}{٢٨}$ = ٢ر٥٨ «

...

هذه الكمية من س أ٢ سوف تتحد مع كمية مناظرة لها من حأ ، مأ
وسبق أن حسبنا كمية س أ٢ التى تتحد مع مأ وكانت ٩ر كجم

وزن س أ ٢ التى تتحد مع ح أ = ٢ر٥٨ — ٩ر = ١ر٦٨ كجم

وزن ح أ الذى يتحد مع ١ر٦٨ كجم س أ٢

$$= ١ر٦٨ \times \frac{٦٠}{٧٢} = ٢ر٠٢ \text{ كجم}$$

وهذه الكمية من ح أ نحصل عليها بتأكسد وزن من الحديد

$$= \frac{٢٠٢ \times ٥٦}{٧٢} = ١ر٥٧ \text{ كجم}$$

★★★

حساب الاكسجين اللازم لاكسدة الحديد والشوائب

الحديد الزهـــر

١ ــ وزن الكربون الذى تأكسد الى ك أ٢

= ٤ر٠٤ × ٢ر = ٨١ر كجم

٢ ــ وزن الكربون الذى تأكسد الى ك أ

= ٤ر٠٤ × ٨ر = ٣ر٢٣ »

وزن الاكسجين اللازم لتانى أكسيد الكربون

$$= ٨١ر \times \frac{٣٢}{١٢} = ٢ر١٦ \text{ »}$$

وزن الاكسجين اللازم لأول أكسيد الكربون :

$$= ٣ر٢٣ \times \frac{١٦}{١٢} = ٤ر٣١ \text{ »}$$

وبالمثل نحصل على أوزان الاكسجين اللازمـة لأكسـدة الشوائب الأخرى ، ويمكن تنظيم هذه العملية فى جدول كالآتى :

جدول (٦)

وزن العناصر التى تأكسدت كجم	الاكسيد الناتج	وزن الاكسجين اللازم / كجم	وزن الاكاسيد الناتجة / كجم
ك ٨١ر	ك أ٢	٨١ر × ٣٢/١٢ = ٢ر١٦	٢ر٩٧
ك ٣ر٢٣	ك أ	٣ر٢٣ × ١٦/٣٢ ٤ر٣١	٧ر٥٤
س ١ر٢	س أ٢	١ر٢ × ٣٢/٢٨ = ١ر٣٨	٢ر٥٨
م ٨٢ر	م أ	٨٢ × ١٦/٥٥ = ٢٤ر	١ر٠٦
ح ١ر٥٧	ح أ	١ر٥٧ × ١٦/٥٦ = ٤٥ر	٣ر٠٢
مواد مفقودة أثناء الانصار			٨ر٥٤
			٧ر٦٣

وزن وتركيب الخبث :

س أ٢	٢ر٥٨ + ١ر٢ = ٣ر٧٨ كجم	٧٥ر٥٤٪
ح أ	٢ر٠٢ »	٢ر٢٩٪
م أ	١ر٠٦ »	٣ر١٥٪
لا٢ أ٣	٠١٩ر »	٣ر ٪
كا أ	٠٣١ر »	٤٥ر ٪
	٦ر٩١ كجم	١٠٠ ٪

٣ ـ حساب كمية الهواء اللازم

الجدول الآتى يبين تكوين الهواء :

جدول (٧) :

العناصر	النسبة حجما	النسبة وزنا	النسبة الوزنية مع الأخذ فى الاعتبار تحلل المياه
$آ_{٢}$	٢٠ر٧٩	٢٣ر٠٧	٢٣ر٦٢
$ن_{٢}$	٧٨ر٢١	٧٦ر٣١	٧٦ر٣١
$يا_{٢}$ أ	١	٠٢ر	ـ
$يا_{٢}$	ـ	ـ	٠٦ر

وزن المتر المكعب من الهواء = ١ر٢٩ كجم

وزن الهواء اللازم لنفخ ١٠٠ كجم من الحديد الزهر

$$= \frac{\text{٨ر٥٤ x ١٠٠}}{\text{٢٣ر٦٢}} = \text{٣٦ر١٥ كجم}$$

، حجم الهواء اللازم لنفخ ١٠٠ كجم من الحديد الزهر

$$= \frac{\text{٣٦ر١٥}}{\text{١ر٢٩}} = \text{٢٨ م}^{٣}$$

اذاً الكمية المطلوبة من الهواء نظريا لنفخ ١ طن من الحديد الزهر

= ٢٨٠م٣

، ٣٦ر١٥ كجم من الهواء تحتوى على : ٨ر٥٤ كجم من الاكسجين

٢٧ر٥٩ كجم من $ن_{٢}$ ٠٢ر كجم من يد

ويكون تركيب الغازات الخارجة من المحول كما يلى :

كأ٢ الناتجة = ٢ر٩٧ ×	٢٢ر٤ / ٤٤	= ١ر٥٣ م٣	١٢ر٥٪
كأ الناتجة = ٧ر٥٤ ×	٢٢ر٤ / ٢٨	= ٦ر٠١ م٣	٢ر٢٠٪
ن٢ الناتجة = ٢٧ر٥٩ ×	٢٢ر٤ / ٢٨	= ٢٢ر٠٧م٣	٧٣ر٩٤٪
يد٢ الناتجة = ٠٢ر ×	٢٢ر٤ / ٢	= ٢٢ر م٣	٠ر٧٤٪
الوزن الكلى ٣٨ر١٢ كجم		٢٩ر٨٣م٣	١٠٠٪

ويمكن تنظيم الموازنة المادية فى جدول كالآتى

جـدول (٨)

	المعطى		الناتج
الحديد الزهر	١٠٠	صلب	١٠٠ـ٧ر٦٣ = ٩٢ر٣٧
هـــواء	٣٦ر١٥	غازات	٣٨ر١٢
بطانة	١ر٢٥	خبث	٦ر٩١
المجموع الكلى	١٣٧ر٤٠		١٣٧ر٤٠

وفى المحول يتراوح الفاقد من الصلب من ١ : ٥ر١٪ نتيجة لعـدم سيولة الخبث لدرجة تكفى لفصل الصلب تماما ٠

٢ ـ الموازنة الحرارية

يعتمد حساب الموازنة الحرارية لشحنة المحولات على الأساس التالى :
الطاقة الحرارية الداخلة + الطاقة الحرارية المتولدة من التفاعلات = الطاقة الحرارية الخارجة ٠

اذ أنه لا يمكن للطاقة أن تفنى أو أن تخلق من عدم ، ويمكن ادماج الطاقة الحرارية المتولدة من التفاعلات مع الطاقة الحرارية الداخلة تحت الحرارة الداخلة بالمحول ٠

اذا / الحرارة الداخلة = الحرارة الخارجة

والحرارة الداخلة تشمل البنود الآتية :

١ ـ كمية الحرارة التى يحتويها الحديد الزهر ٠

٢ ـ كمية الحرارة التى يحتويها الهواء الداخل اذا كان ساخنا ٠

٣ ـ كمية الحرارة المتولدة من احتراق الشوائب ٠

٤ ـ كمية الحرارة المتولدة من تكوين الخبث ٠

والحرارة الخارجة تشمل البنود الآتية : =

١ ـ كمية الحرارة التى يحتويها الصلب ٠

٢ ـ كمية الحرارة التى يحتويها الخبث ٠

٣ ـ كمية الحرارة التى يحتويها الغازات ٠

٤ ـ كمية الحرارة التى يحتويها الاشعاع ٠

حساب الحرارة الداخلة : =

١ ـ كمية الحرارة التى يحتويها الحديد الزهر =

= ١٠٠ [١٧٨ر × ١١٥٠ + ٥٢ + ٢٥ر (١٢٥٠ ـ ١١٥٠]

= ٢٨١٧٠ سعرا

حيث :

١١٥٠ : درجة انصهار الحديد

١٧٨ر : السعة الحرارية للحديد الزهر قبل نقطة الانصهار

سعر/كجم٠م°

٥٢ : الحرارة الكامنة اللازمة لانصهار الحديد سعر/كجم

١٢٥٠ : درجة حرارة الحديد الزهر عند دخوله المحول م°

٢٥ : السعة الحرارية للحديد الزهر سعر/كجم٠م°

٢ ـ كمية الحرارة التى يحتويها الهواء الداخل

= ١٥ر٣٦ × ٢٣٣ر × ٥٠ = ٤٢٠ سعرا حيث :

٥٠ هى درجة حرارة الهواء الداخل بالمحول م°

٢٣٣ر = السعة الحرارية للهواء عند ٥٠ م°

٣ ـ كمية الحرارة المتولدة من احتراق الشوائب : =

(أ) من انكربون :

= ٨١٣٧ × ٨١ر + ٢٤٥٢ × ٣٠٢٣ = ١٤٥١١ سعرا

(ب) من السليكون :

= ٧٠١٥ × ١ر٢ = ٨٤٢٠ سعرا

(ج) من المنجنيز :

= ١٧٥٨ × ٨٢ر = ١٤٤٢ »

(د) من الحديد :

= ١١٩١ × ١ر٥٧ = ١٨٧٠ »

حيث : ـ

٨١٣٧ : كمية الحرارة المتولدة من احتراق الكربون سعرا

٢٤٥٢ : كمية الحرارة المتولدة من احتراق الكربون سعرا

٧٠١٥ : كمية الحرارة المتولدة من احتراق السليكون سعرا

١٧٥٨ : كمية الحرارة المتولدة من احتراق المنجنيز سعرا

١١٩١ : كمية الحرارة المتولدة من احتراق الحديد سعرا

٤ ـ كمية الحرارة المتولدة من تكوين الخبث :

(أ) تكوين م أ ٠ س أ ٢ ١٤٠ سعر / كجم

(ب) تكوين ح أ ٠ س أ ٢ ١٠٥ سعر / كجم

اذا / كمية الحرارة من أ = ٨٢ر × ١٤٠ = ١١٢ سعرا

كمية الحرارة من ب = ١ر٥٧ × ١٠٥ = ١٦٥ سعرا

الحرارة الخارجة :

درجة حرارة الصلب والجلخ = ١٦٥٠ م°

درجة حرارة الغازات الخارجة = ١٥٠٠ م°

١ ـ كمية الحرارة الخارجة مع الصلب

= ٩٢ر٣٧ [١٦٧ر × ١٥٠٠ + ٦٥ + ٢ر (١٦٥٠ — ١٥٠٠)]

= ٣١٩١٤ سعر

حيث :

١٥٠٠ م° = انصهار الصلب

١٦٧ر٠ = السعة الحرارية للصلب قبل نقطة الانصهار

سعر / كجم م°

٦٥ = الحرارة الكامنة لانصهار الصلب سعر / كجم م°

٢ر = السعة الحرارية للصلب المنصهر سعر / كجم م°

٢ ـ كمية الحرارة الخارجة مع الجلخ : ـ

= ٦ر٩١ (٢٦٤ر × ١٦٥٠ + ٥٠) × ٣٣٥٥ سعرا

حيث :

٢٦٤ر = السعر الحرارية للجلخ قبل نقطة الانصهار

سعر / كجم م°

٥٠ = الحرارة الكامنة اللازمة لانصهار الجلخ

سعر / كجم م°

٣ ـ كمية الحرارة الخارجة مع الغازات : ـ

كأ٢ ١ر٥٣ × ٥٣٤ر٠ ١٥٠٠٠ = ١٢٢٥ سعرا

كأ ١ر٠٦ × ٣٢٩ × ١٥٠٠ = ٢٩٦٠ سعرا

ن٢ ٢٢ر٠٧ × ٣٢٩ × ١٥٠٠ = ١٠٩١٠ سعرا

يد ٢أ ١٢ر × ٣٢٩ر × ١٥٠٠ = ١٠٨ سعرا

حيث أن :

٥٣٤ر السعة الحرارية للغاز ك أ ٢

٣٢٩ر السعر الحرارية للغاز ك أ ، ن ٢ ، يد ٢ عند ١٥٠٠ م°

ويمكن وضع الموازنة الحرارية فى جدول كالآتى :

جدول الموازنة الحرارية

جدول (٩)

الحرارة الداخلة	سعرا	النسبة ٪
الحرارة المحتواة فى الحديد الزهر	٢٨١٧٠	٥١ر١
الحرارة المحتواة فى الهواء الداخل	٤٢٠	٧٦ر
الحرارة المتولدة من الأكسدة :		
١ ـ الكربون	١٤٥١١	٢٦ر٣١
٢ ـ السليكون	٨٤٢٠	١٥ر٣٠
٣ ـ المنجنيز	١٤٤٢	٢ر٦٢
٤ ـ الحديد	١٨٧٠	٣ر٤٠
الحرارة المتولدة من تكون الخبث	٢٢٨٠ تقريبا	٠ر٥١
المجموع الكلى	٥٥١١٣	١٠٠٪
الحرارة الخارجة	سعرا	النسبة ١٠٠٪
الحرارة المحتواة فى الصلب	٣١٩١٤	٥٨
الحرارة المحتواة فى الخبث	٣٣٥٥	٦ر١
الحرارة المحتواة فى الغازات الخارجية	١٥٢٠٣	٢٧ر٥
الحرارة المفقودة بواسطة الاشعاع ،		
تحليل الرطوبة الى عناصرها	٢٧٥٦	٥
الحرارة المستهلكة لانصهار الخردة	١٨٨٥	٣ر٤
المجموع الكلى	٥٥١١٣	١٠٠٪

والحرارة المفقودة بالطرق المختلفة يمكن اعتبارها ٥٪ تبعا للبيانات العملية ٠

الفصل الخامس

انتاج الصلب فى محولات توماس
(طريقة بسمر القاعدية)

١ ـ القواعد الأساسية لانتاج صلب توماس

تستخدم محولات توماس ذات البطانة القاعدية لنفخ الحديد الزهر الذى يحتوى على نسبة عالية من الفوسفور ٦ر١ـ٢٪ وتصنع هذه البطانة القاعدية من طوب الدولوميت المقطرن ٠

ويشحن المحول أولا بالكمية اللازمة من الجير (أكسيد الكالسيوم) كاأ ، وبعد أكسدة الكربون يبدأ الحديد فى التأكسد ، ويستمر فى تأكسده حتى يتجمع فى الخبث كمية كبرة من أكاسيد الحديد ويبدأ الجير فى الذوبان فى محلول الخبث وأكاسيد الحديد ، وعندئذ يبدأ الفوسفور فى التأكسد بشدة مكونا خامس أكسيد الفوسفور الذى يدخل فى الخبث فور تكونه ٠

ومن هذا يتضح أن انتاج الصلب بالطريقة القاعدية (طريقة توماس) يتم باستعمال الهواء فقط فى النفخ ، ويستمر دفع الهواء فى المحول حتى نسبة منخفضة من الكربون (٠٤ر ـ ٠٥ر ٪) ولهذا تجرى عملية الكربنة بعد انتهاء النفخ للحصول على الصلب الكربونى ٠

ومن الناحية الحرارية فانه يمكن القول بأن كمية الحرارة المتولدة من أكسدة الفوسفور تكون كافية لرفع درجة حرارة الصلب الناتج الى الدرجة المطلوبة للصلب ٠

وتحت ظروف خاصة قد ترتفع درجة الحرارة كثيرا عن معدلها المعتاد ويكون مناسبا فى هذه الحالة اضافة كمية من الخردة حتى تعود الحرارة الى المعدل المطلوب ٠

ومن هذا يمكننا القول ان الفوسفور يقوم بنفس الدور الذى يقوم به السليكون فى محول بسمر تماما ٠

ويحتوى خبث توماس على نسبة عالية من حامس أكسيد الفوسفور ولهذا فانه باجراء بعض العمليات الخاصة عليه يصبح صالحا للاستعمال كسماد فى الأراضى الزراعية فيقوى تربتها ويريد خصوبتها ٠

وما ان عرفت طريقة توماس حتى أخذت طريقها فى الانتشار فشملت معظم بلدان غرب أوربا حيث تمتلك هذه البلدان احتياطيا ضخما من خامات الحديد الغنية بالفوسفور ، ولهذا فلا غرو فى أن تحظى طريقة توماس بالمقام الأول فى صناعة الصلب بهذه البلدان ٠

وقد قام الاتحاد السوفيتى بمجهود لا بأس به فى تطوير طرق انتاج الصلب فى محولات توماس حتى يمكن الانتفاع بها فى استغلال خـــام اللبمونيت الذى يحتوى على ٤٣ / حديدا ، وحوالى ٨ر١٪ فوسفورا ، ويوجد خام اللبمونيت هذا فى رسوبيات عديدة بمنطقتى كوستانيا وكازاخستان حيث تستخدم هذه الخامات فى انتاج حديد زهر يحتوى على ٨ر١ـ٢ر١٪ فوسفور ٠

٢ ـ تصميم وتشغيل محولات توماس

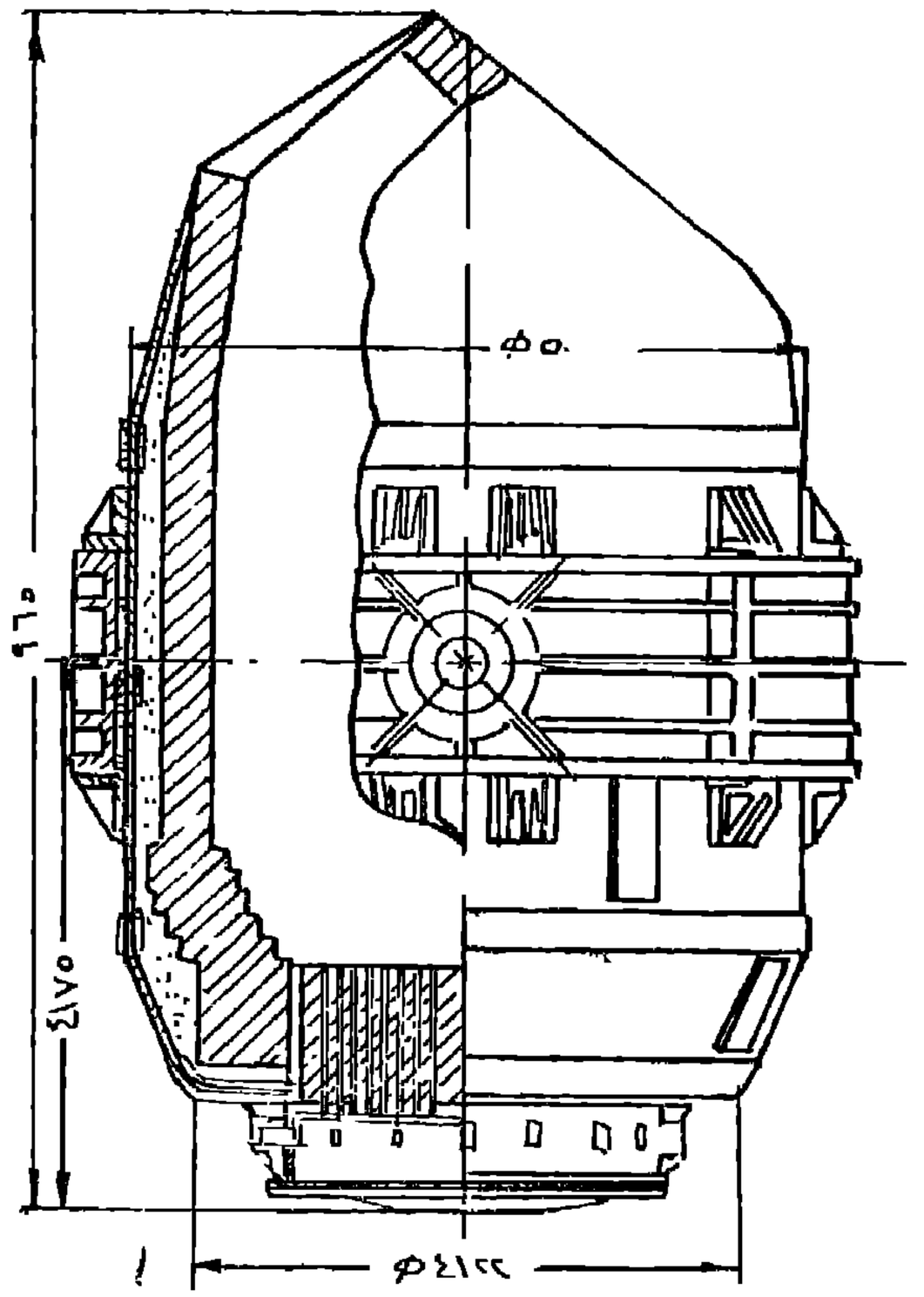
يعتبر تصميم البطانة فى محول توماس وكذلك الأبعاد الهندسيـة لبعض أجزائه هو نقطة الاختلاف الوحيدة بين محولى توماس وبسمر ٠

ونرى فى شكل (١٨) رسما تفصيليا لأحد محولات توماس ذى سعة ٤٠ ـ ٤٥ طنا ٠

البطانـة :

فى العادة يستخدم طوب الدولوميت المقطرن لتبطين محول توماس وينـدر استعمال الدك فى تبطينه (سواء كان الدك كليـا أم جزئيا) ، ويصنع طوب الدولوميت المقطرن ، يستخدم خليط من الدولوميت المحروق حديثا ذى تصنيف حجمى خاص وبقايا الدولوميت المستهلـك فى مرات سابقة (بنسبة ١ : ١) بالاضافة الى كمية من القار ، سبق أن انتزع منه ما يحتويه من الماء بالاضافة الى نسبة من القار اللامائى المسخن الى درجة ٥٠ ـ ٧٠°م ٠

ويجرى خلط هذه المواد ببعضها فى طواحين دوارة ويتم تشكيـل هذا الخليط حسب الأشكال المطلوبة بوضعه فى قوالب ذات أشكال مختلفة ثم يتعرض لضغط شديد وتقضى المواصفات الخاصة بصناعة هذا الطوب أن



شكل (١٨) : محول توماس يسع ٤٠ ـ ٤٥ طنا ٠

يحتوى الدولوميت على أقل نسبة من السليكا (٥ر١ـ٢٪) كما يجب أن لا تتعدى نسبة الألومينا + أكسيد الحديديك (٥ر٢ـ٣٪) ٠

وأثناء التحميص (الكلسنة) لا تتعدى نسبة ما يفقد من الدولوميت ١٪ بأى حال من الأحوال ويستغل المستهلك فى عمل طبقة حشو تملأ الفراغ ما بين هيكل المحول وجدار الطوب الدولوميتى المعرض للمعدن ٠ هذا بعد اضافة القار اليه حتى يتماسك ٠

وبديهى أن تتعرض الأجزاء السفلى من البطانة للتآكل بشدة عن الأجزاء العليا منها الأمر الذى أوجب أن نزداد البطانة سمكا كلما اقتربت من قاعدة المحول (كما فى جدول ١٠) ٠

وقبل أن يصبح المحول جاهزا للاستعمال تسخن البطانة بواسطة فحم الكوك أو الغاز ويجب أن يكون التسخين شديدا حتى لا يتسرب القار

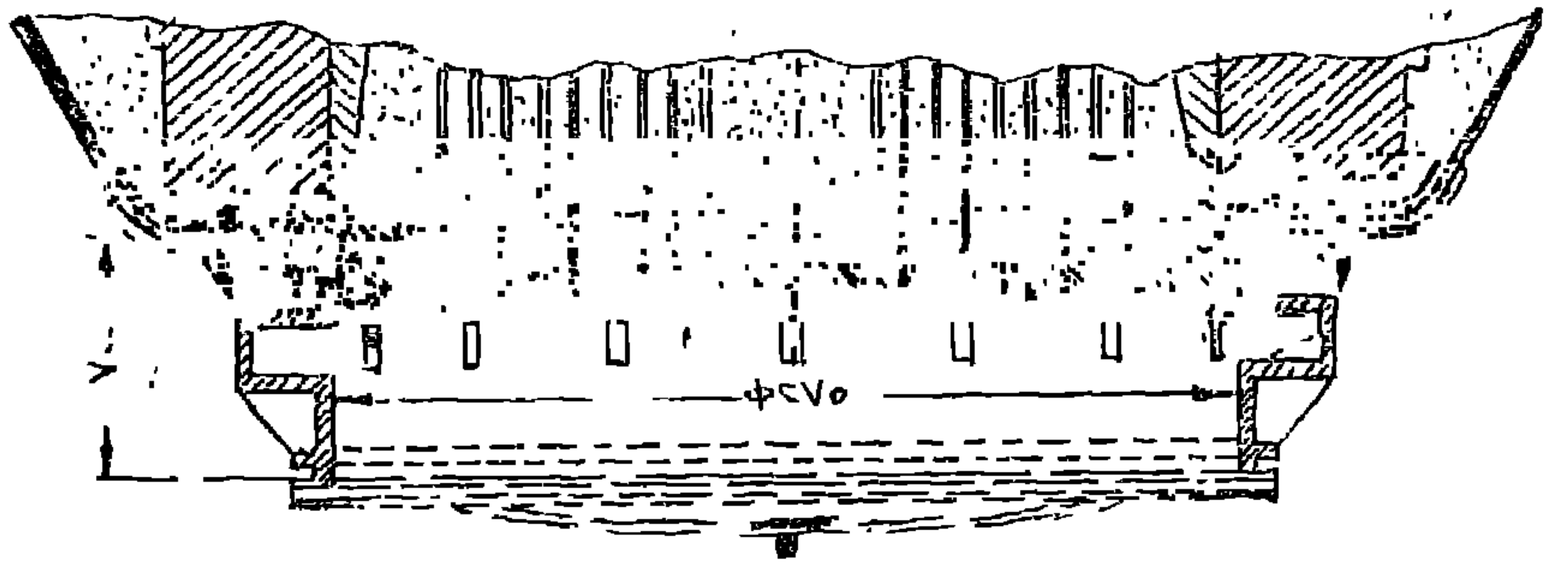
خارج الطوب اذ ينعرض الفار للنسحين الشديد فيتفحم ويقوم بدور المادة اللاصقة لحبيبات الدولوميت ٠

وتتأثر البطانة تأثيراً كبيراً بالتفاعلات الكيميائية والظروف الميكانيكية التى تحدث بين المعدن والخبث وفى المتوسط لا تتغير البطانة الا بعد عمل ٣٠٠ صبة وكحد أقصى ٤٠٠ صبة ٠

قاعدة المحول :

كقاعدة عامة ـ تتميز قواعد محولات توماس عن تلك المستخدمة فى محولات بسمر باحتوائها على أنابيب ابرية (كما فى شكل ١٩) ٠

ويتم صنع هذه القواعد بدك خليط من الدولوميت المقطرن ويتوقف عمر هذه القواعد وقوة تحملها أساسا على نوع كل من الدولوميت المستخدم والقار وأيضا على ظروف حرقها ٠



شكل (١٩) : قاعدة ابرية لمحول توماس يسع ٢٠ طنا ٠

ولا يقل عامل التجانس الحجمى لحبيبات الدولوميت أهمية عن العوامل السابقة وقد وجد أن أنسب الأحجام ٢ ـ ٤ مم ، ولنسبة السلكا التى يحتويها الدولوميت تأثير مماثل ويجب أن لا تزيد هذه النسبة على ٥ر١٪ كما أن حرق القواعد بطريقة سليمة وصحيحة عامل كبير فى تحديد عمر هذه القواعد (يجب أن لا تتعدي نسبة القاقد أثناء الحرق ١٪) ٠

جدول (١٠)

قطر فوهة المحول	زاوية ميل فوهة المحول ـ ٥	الارتفاع الكلى مم	ارتفاع القاعدة وهى بجديلة مم	سمك الطبقة العازلة مم	سمك البطانة		القطر الخارجى مم	السعة بالطن
					الجزء العلوى	الجزء السفلى		
٨٠٠	٣٣	٥١٨٠	٨٨٠	ـ	٤٠٠	٤٥٠	٣٠٥٠	١٤ـ١٥
١٠٠٠	٥٣	٦٢١٠	٨٠٠	ـ	٤٥٠	٥٠٠	٣٧٠٠	٢٥
١١٨٠	٤٥	٧٠٩٢	٨٠٠ـ٩٠٠	١٥٠	٥٠٠	٦٠٠	٤٢٠٠	٣٠
١٣٠٠	٤٠	٧٧٥٠	١٠٠٠	السمك الدائم للبطانة لغاية ٣٠٠				

ويجب نزع الماء من القار نزعا تاما (فيجب أن تكون نسبة الرطوبة به اقل من ٥ر٠٪) ٠

ونمر قواعد المحول بالمراحل التالية حتى تصبح جاهزة للاستعمال : فيوضع اطار معدنى له نفس الشكل المطلوب للفاع على لوح من الحديد المصبوب سمكه ٥٠ مم ، ولسهولة الفك والتركيب يتكون هذا الاطار من جزئين أو أكثر ٠ وتنحصر أهمية الاطار فى تشكيل القاعدة وتحميصهـا (حرقها) وبعد ان يتم حرق القاعدة ينزع الاطار ٠

وعلى طبقات منفصلة يدك خليط الدواوميت دكا جبـدا بواسطـة ماكينات الدك الرجاجة والهزازة ويتم الكبس على طبقات منفصلة يبلـغ سمك كل منهما ٢٠٠ ـ ٣٠٠ مم وفى نفس الوقت تثقب هذه الطبقات بواسطة أسياخ فولاذية لعمل فتحات الهواء (الودنات) فى القاعدة ٠

واستنادا الى طول فطر القاعدة يكون ترتيب هده الفتحات (الفونيات) موزعة بانتظام على ٥ ـ ٩ دوائر منمركزة ٠

ويتراوح قطر هذه الفتحات بين ١٣ ـ ٦١ مم ، وعلى مدى كبير تغير المساحة الكلية لهذه الفتحات لكل طن من الشحنة فهى تتراوح بين ١٣ ـ ٢٦ سم ٢ تبعا لسعة المحول وعادة تقع بين ١٥ ـ ١٧ سم ٢ ٠

أما ارتفاع القاعدة عندما تكون جديدة فتتراوح بين ٧٠٠ ـ ١١٠٠مم. وتحرق القواعد فى أفران خاصة لمدة ٩٦ ـ ١٢٠ ساعة ٠ حيث ترتفع درجة الحرارة سريعا الى ٥٠٠ ـ ٦٠٠°م حتى يتسرب القار الى خـارج الخليط ٠

وأثناء فتره التحميص تنفصل المواد الطيارة الموجودة بالقار حيث يتفجر القار فيعمل على تماسك حبيبات الدولوميت ويزيد من متانته ٠ وأثناء الاستعمال تتآكل القواعد بشدة عند فتحات الهواء ٠٠ وبالاضافة الى نوع المواد المستخدمة فى صناعة القواعد بتأثر الى حد بعيد عمر القاعدة بعوامل التشغيل المختلفة ، وظروف النفخ ، فمثلا ينخفض استهلاك القاعدة اذا قلت مدة النفخ وكان اندفاع الهواء خارجا من الفتحات سريعا بينما يقل عمر القاعدة اذا حوت عدداً كبيرا من الفتحات وطل الضغط المستعمل ثابتا أو بمعنى آخر انخفضت سرعة الهواء الخارج من الفتحات ٠

وعليه فانه اذا زيد ضغط الهواء ، من ١ر٥ الى ٢ ـ ٢ر٥ ضغطـا جويا (مقيسا بمقياس الضغط) مع تثبيت العوامل الأخرى ، طال عمر

القاعدة وفى المنوسط يستمر عمر القاعدة حتى تؤدى ٤٠ ـ ٧٥ صبه ، وقد تبلغ فى بعض الأحيان ١٠٠ صبة ٠

وتفوق القواعد التى استعمل فى دكها الماكينات الهزازة فى صمودها للتآكل تلك التى دكت بواسطة ماكينات الدك ٠

وقد يستخدم المجنزيت فى بعض الأحيان فى عمل الودنات الهوائية الموجودة بالقاعدة وأحيانا تستعمل القواعد ذات الودنات المصنوعة من المجنزيت حيث تشكل تحت ضغط عال ثم يكون حرقها بطريقة خاصة ٠ وفى هذه الحالة تصل قوة تحمل هذه الودنات للضغط ٣٥٠ ـ ٦٢٠ كجم/سم٢ ويطول بقاؤها كلما كانت متانتها أشد عند درجات الحرارة العادية ٠

توضع الخلطة على قاعدة من الحديد المصبوب ثم ينحكم فيها بواسطة مسامير خلال الفتحة الوسطى ثم يبدأ العامل فى ملء الفراغات بينها طبقة طبقه بخليط من الدولوميت المقطرن الذى يبلع درجة حرارته مابين ٧٠ ـ ٨٠°م وتكبس بواسطه ماكينات الدك أو الماكينات الهزازة ٠ وقبل وضع الطبقه الأخيرة تولج أبر خشبية فى فتحات الفصبات حتى تمنع انسدادها ٠٠ ثم تحرق القاعدة بعد دلك بطريقة خاصة تناسب أنواع الحراريات المستخدمة فتسخن القاعدة أولا الى ٢٥٠° م ثم ترفع درجة حرارتها الى ٦٥٠ ـ ٧٥٠° م وتركب فى المحول قبل أن تبرد تماما ٠

ويجب أن نأخذ جانب الحيطة والحذر فى عدم تعرض القواعد ذات الفتحات المصنوعة من المجنزيت لعوامل التبريد اذ يفتقر المجنزيت الى الثبوت الحرارى المناسب ولهذا فعند عدم استعمال المحول يجب أن يظل ساخنا بواسطة فحم الكوك أو الغاز ٠

ويستهلك هذا النوع من القواعد بانتظام ويكفى لصنع عدد كبير من الصبات يصل الى أكثر من ١٠٠ صبة (من ٧٠ ـ ١٤٠ صبة) ٠

وطريقة تغيير القاعدة فى محول توماس هى نفس الطريقة المستخدمة فى محول بسمر ويستخدم لملء الفراغ بين القاعدة والمحول خليط من الدولوميت المقطرن دكا وفى جدول (١٠) تعطى الأبعاد الأساسية لبعض محولات توماس المختلفة السعة ٠

وفى الوقت الحاضر تستخدم صناعيا محولات سراوح سعتها بين ١٥ ـ ٦٠ طنا ٠

وفى محولات توماس يكون الحجم النوعى (حجم المحول لكل ١ طن

من الشحنة) اكبر منه فى محول بسمر وقد أوجب هدا ضخامة حجم الخبث المتكون وسدة التفاعلات التى تحدث داخل المحول ٠

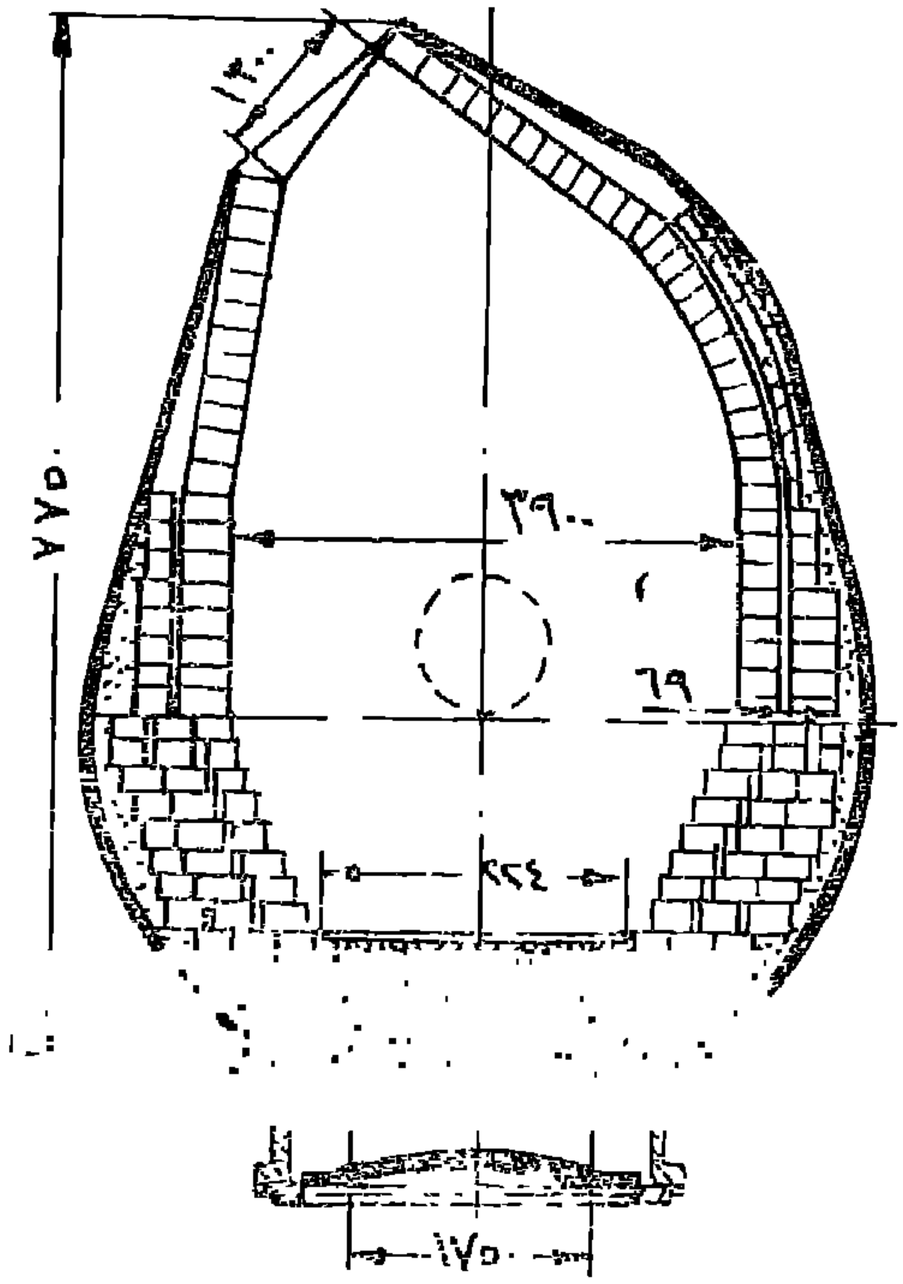
ومن الطبيعى أن تغير قيمة الحجم النوعى بين ١ر١ ــ ٦ر١ م٣/طن فى تول عمر البطانة ، ٣٥ر١ ــ ٣ر٢ م٣/طن فى أواخر عمر البطانة ٠

وتتراوح نسبة ارتفاع المحول الى قطره الخارجى ٣ر١ ــ ٨ر١ ونسبة الارتفاع الى القطر الداخلى (فى حالة البطانة الجديدة) بين ٦ر١ ــ ٣ر٢ تبعا لسعة المحول ٠

وقد أوضحت أبحاث عديدة ان الفترة الزمنية لعملية النفخ ونسبة النتروجين فى الصلب تنخفضان مع انخفاض ارتفـاع حمام (مغطس) المعدن ٠

ويمكن تحقيق ذلك بزيادة قطر المحول مع تثبيت وزن الشحنة وهو ما يحدث فى المحولات ذات الشكل البيضاوى أو التى على شكل الكمثرى وتبلغ النسبة بين محورى البيضاوى (١ : ٤ر١) كذلك يمكن خـفض ارتفاع المعدن فى المحول بانقاص سمك البطانة فى الجانب الذى يتعرض لظروف نحات وتآكل أقل ٠

ويبلغ ارتفاع الحمام فى محولات توماس ٦٠٠ ميلليمتر ٠



شكل (٢٠) : يبين احد المحولات له شكل الكمثرى وسعته ٥٠ طنا ٠

٣ ـ المواد الأولية اللازمة
لصناعة صلب توماس

نشمل المواد الأولية اللازمة لصنع صلب توماس : الحديد والزهر ، الخردة ، الجير ونفايات التشكيل ، ولقد بحثنا آنفا دور الخردة وخام الحديد في هذه الصناعة ٠

ويجب أن يحتوى الجير على أكبر نسبة من أكسيد الكالسيوم كما يجب أن يكون ما يحتويه الكبريت والسلبكا والالومنيا أقل ما يمكن اذ أنه بانخفاض نسبة الكبريت في الجير ١ر٠ / ننخفض فى الصلب الناتج ٢٠ر٠٪٠

ويستحسن أن يكون الجير المستعمل حديث الحرق لا يحتوى على أى رطوبة وتنص المواصفات على أن يكون التركيب الكيميائى للحديد الزهر كما يلى :

سليكون	**٢ر٠ـ٦ر ٪**
منجنيز	**٨ر٠ـ٣ر١٪**
فوسفور	**٦ر١ـ ٢٪**
كبريت	**٠٨ر٠٪**

ويلاحظ هنا أنه ليس للسليكون الموجود بالحديد الزهر أية أهمية حرارية نذكر وبارتفاع نسبه السليكون فى الحديد الزهر يصبح الخبث ذا طبيعية رعوية مما يؤدى الى زيادة المقذوفات الحديدية أثناء النفخ وبذلك تنخفض الكفاية الانتاجية للصلب النانج وأيضا تزداد كمية الخبث ويعمل ذلك على سرعة تآكل البطانة القاعدية ٠

ومن هذا كله يتضح خطورة تواجد السليكون بكميات كبيرة نسبيا فى الحديد الزهر وقد وجد أن أصلح النسب هى ما بين ٢ر ـ ٣ر ٪ خاصة اذا زود هواء النفخ بالأكسجين النقى أو خليط منه مع بخار الماء ٠

واستنادا الى الحقيقة التى مؤادها أنه بنخفيض نسبه السليكون بالحديد الزهر فى الأفران العالية نرتفع نسبة الكبريت به فانه فى كثير من الاحيان نجرى عملية لنزع السليكون من الحديد الزهر التوماسي باستخدام الاكسجين ويتم هذا فى البوادق أو عند صب الحديد الزهر من الأفران العالية ٠

وكثيرا مايضاف الحجر الجيرى الى الحديد الزهر بواقع ١٪ منه وزنا فى البودقه قبل عملة النفخ ٠

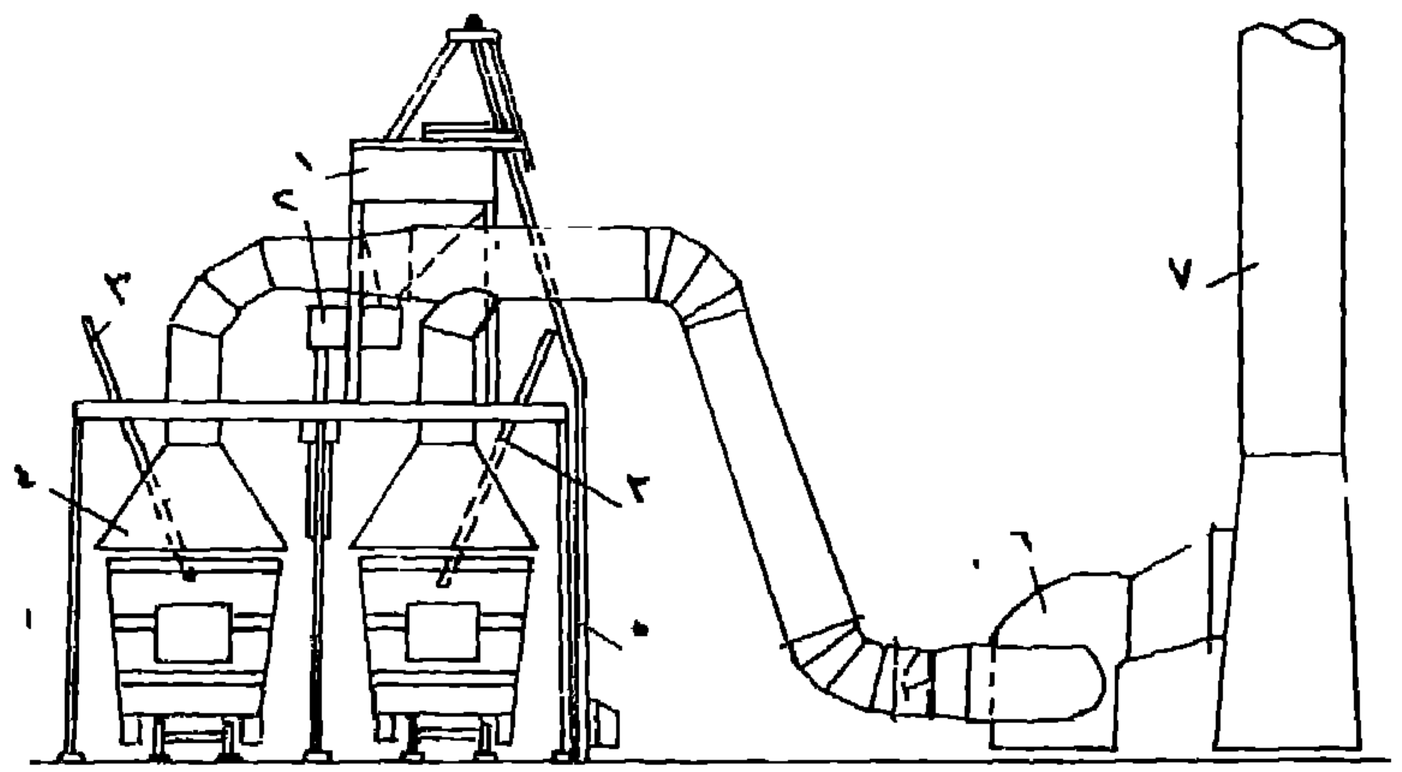
وبعض البيانات الخاصه بعملية نزع السليكون من الحديد الزهر موضحة بجدول (١١) ٠

جدول (١١)

	وزن الحديد الزهر (طن)				
	٣٠ر٢	٣٢	٢٩ر٨٥	٣٣ر٥٥	٣٠ر٩
نسبة السليكون الموجود أولا ٪	٧٨ر	٥٣ر	٤٢ر	٢٧	٢٥ر
الانخفاض فى السليكون ٪	٣٦ر	٢٢ر	١١ر	٢ر	١٦ر
نسبة المنجنيز الموجود أولا ٪	١٤ر١	١ر١٧	١ر١	١ر٠٢	٠ر٩١
الانخفاض فى المنجنيز ٪	٣٦ر	٣٣ر	١٩ر	٣٣ر	٤٢ر
نسبة الكربون الموجود أولا ٪	٣ر٩٨	٤ر١٣	٤ر١٥	٤ر٠٨	٣ر٨٩
الانخفاض فى الكربون ٪	١١ر	٠٨ر	٠٩ر	٠٦ر	١١ر
نسبة الفوسفور الموجود أولا ٪	١ر٤٧	١ر٤٦	١ر٤٩	١ر٥	١ر٤٣
الانخفاض فى الفوسفور ٪	٠١ر	٠٢ر	٠١ر	٠٤ر	٠٤ر
حجم الأكسجين المستخدم فى (البودقة) م٣	٢١٣ر٣	١٣١ر٧	١٤٨ر٥	١٤٣ر١	١٧٠ر١
مدة النفخ / دقيقة	٢٠	٢٠	١٧	١٨	١٩

وما هو جدير بالملاحظة انعدام تصاعد الابخرة البنية فى الحديد الزهر التوماسى عندما ينم النفخ فى البودقه بواسطة خليط من بخار الماء والأكسجين ٠

وقد بينت التجارب التى أجريت أنه باستخدام تيار من الاكسجين بمعدل ٨ر٤م٣/طن وبخار ماء بمعدل ٤ كجم/طن عند ضغط ٥ر٤ ضغط جوى فان ٢٠ر٠ ٪ من السليكون يتم تأكسده (وهذه النسبة تعادل ٥ر٤١/ من الكمية الابتدائية) . ٥٥ر٠ ٪ من المنجنيز (٥ر٢٩٪ من الكمية الأصلية) أما الفوسفور فقد وجد عمليا أنه لا يطرأ عليه أى تغيير ٠



شكل (٢١) : وحدة تصنيع الحديد الزهر فى البوادق بمعالجتها بالاكسجين :

١ ـ بنكر الحجر الجيرى
٢ ـ المغزى بالاضافات
٣ ـ ودنة الأكسجين
٤ ـ الهوت
٥ ـ فادوس الرفع
٦ ـ العادم
٧ ـ الأتربة

واذا أضيف الى البودقه خليط من خام الحديد والحجر الجيرى بواقع ١٥ كجم/طن من الحديد الزهر أدى ذلك الى زياده فى كمية النسوائب المزالة ٠

وبذلك ترتفع نسبة السليكون المتأكسد الى ٧ر٦٦٪ ، والمنجنيز الى ٤٠٪ من نسبتهما الأصلية ويتم النفخ خلال انبوبة فولاذية قطرها بوصة واحدة ومغمورة فى المعدن الموجود فى البودقة حتى عمق ١٥٠ ـ ٢٠٠ مم ٠

ومن الصعوبة بمكان ازالة الكبريت من الحديد التوماسى ولهذا كان لزاما أن تصل به الى أقل نسبة ممكنة ودائما يحتوى الحديد الزهر التوماسى على كربون أقل مما يحتويه الحديد الزهر البسمرى ٠

وتنحصر نقطة انصهار الحديد الزهر التوماسى بين ١٠٥٠ ـ ١١٠٠°م ويعمل ارتفاع نسبة الفوسفور به على زيادة سيولته مما يساعد على خلط الهواء بالمعدن جيدا ٠

٤ ـ فترات النفخ المختلفة والتفاعلات التى تحدث فى محول توماس

تغيير التركيب الكيميائى للصلب والخبث أثناء مراحل النفخ المختلفة

يوضح شكل (٢٢) التغييرات المتوقعة فى تركيب الصلب والخبث كما يبين درجات الحرارة طوال عملية نفخ الهواء فى محول توماس ٠

ويمكن تقسيم مراحل النفخ المختلفة الى ثلاث مراحل فرعية :

الفترة الأولى :

يشحن المحول بالجير الحى والخردة والحديد الزهر ثم يثبت فى وضع رأسى مع تشغيل هواء النفخ فتستهل أولى الفترات فى عملية النفخ مع ظهور لهب قصير وضعيف الاضاءة وتشبه هذه المرحلة نظيرتها فى مراحل النفخ بمحولات بسمر حيث تختص بأكسدة المنجنيز والسليكون :

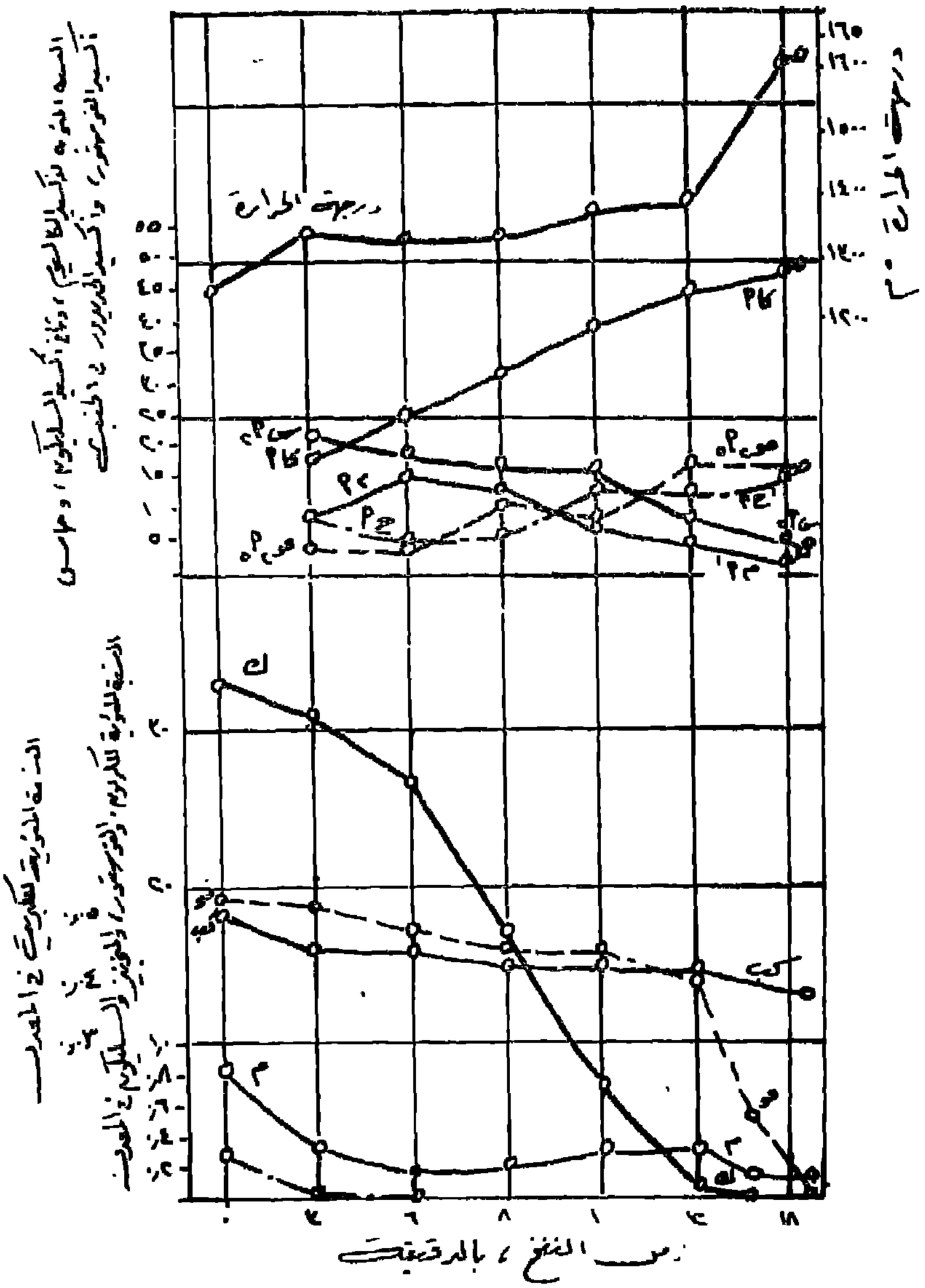
$$س + ٢ح أ \longleftarrow ٢ ح + س أ_٢$$

$$م + ح أ \longleftarrow ح + م أ$$

ويحدث هذان التفاعلان خلال الدقائق الأولى للنفخ :

ويتأكسد الكربون أيضا خلال هذه المرحلة ولكن بمعدل منخفض جدا يكاد يكون غير ملحوظ وذلك لانخفاض درجة الحرارة ويتكون خبث هذه المرحلة من م أ ، س أ٢ ، ح أ كما فى المرحلة الأولى من النفخ فى محولات بسمر وتذوب فى الحديد المصهور نسبة ضئيلة من الجير الحى (أكسيد الكالسيوم) ويظل الباقى محتفظا بحالته الصلبة ومنفصلا عن الشحنة المنصهرة مما يؤدى الى احتواء الخبث على جزء كبير من سليكات الحديد التى تتكون تبعا للمعادلة الآتية نطفو فوقها كتل الجير الحى :

$$٢ ح آ + س أ_٢ \longleftarrow س أ_٢ (ح أ)_٢$$


درجات الحرارة
ك
م
ك
م
ك
م

وتستغرق هذه المرحلة نحو ثلاث دقائق وتحتوى الغازات الناتجة عنها على حـــوالى ٧ ـ ١٢ ٪ من الأكسجين ، ١٠ ٪ من ثانى أكسيد الكربون ، ٨٠ ٪ من النيتروجين ٠

٢ ـ الفترة الثانية :

وتنفرد هذه المرحلة بأكسدة الكربون متميزة بنمو سريع وواضح فى طول اللهب المنبعث من فوهة المحول مع وميض وشدة فى الأضاءة لكنها تكون أقل اضاءة عن تلك التى فى حالة محول بسمر ويرجع هذا الى انخفاض نسبة السليكون فى شحنة توماس عن نسبة السليكون فى شحنة بسمر السبب الذى يؤدى الى انخفاض نسبى فى درجة الحرارة كما أن التفاعل : ح أ + ك ⟵ ح + ك أ الماص أيضا للحرارة يعمل على خفض درجة الحرارة أيضا ٠

وأثناء هذه الفترة يتأكسد الفوسفور أيضا بنسبة غير محسوسة ويمكن اهمالها ، وبارتفاع درجـة الحرارة فى نهاية هذه المرحلة يتمكن أكسيد المنجنيز من الاختزال وهـذا بديهى نظرا لأن تأكسد المنجنيز تفاعل طارد للحرارة وهذا تعليل مناسب ومعقول يوضح سبب ارتفاع نسبة المنجنيز ثانية فى الصلب الناتج ٠

والمنحنى الذى يبين سلوك المنجنيز أثناء عملية النفخ يشبه تلك الحدبة (التى تشبه سنام الحمل) وهذه الحدثة تمثل الارتفاع المفاجىء فى نسبة المنجنيز فى الصلب ٠

وتتوالى تباعا فى هذه المرحلة العمليات المختلفة لتكوين الخبث فيبدأ الجير فى الذوبان ويتحد بالسليكا كما فى التفاعل :

$$٢ \text{ ح أ} + (\text{كا آ}) \; ٢ \text{ س أ}_{٢} = ٢ \text{ كا آ} \cdot (\text{ح أ}) \; ٢ \cdot \text{س أ}_{٢}$$

كما يتحد جزئيا بخامس اكسيد الفوسفور فو ٢ أ ٥ كما فى التفاعل

$$٤ (\text{كا أ}) + ٥ (\text{ح آ}) + ٢ \text{ فو} \longleftarrow (\text{كا أ})_{٤} \text{ فو}_{٢} \text{ أ}_{٥} + ٥ \text{ ح}$$

وبينما تزداد نسبة الجير كا أ فى الخبث تنخفض كمية السليكا فيه وعندما تصل الى نهاية المرحلة تبدأ شعلة اللهب فى الشحوب والقصر نتيجة لتأكسد معظم الكربون فقد تصل نسبة الكربون الى حوالى ٠٫٠٥ ٪ ٠

وبتحليل الغازات الناتجة فى أول المرحلة الثانية من مراحل النفخ نجد أنها تحتوى على نسبة عالية من غاز أول أكسيد الكربون ك أ قد تصل الى

أكثر من ٣٠٪ بينما نسبة ثانى أكسيد الكربون ك أ ٢ لا تتعدى ٥٪ ونسبة النتروجين تكون تقريبا ٦٥٪ وبالاقتراب من نهاية هذه المرحلة نجد أن نسبة أول أكسيد الكربون فقد انخفضت بشدة فى الوقت الذى ترتفع فيه نسبة النتروجين التى تبلغ ٩٢٪ ولا يظهر اللأكسجين أى أثر فى هذه التحاليل بينما يظهر وجود الهيدروجين فى الغازات الناتجة ولو أن نسبته تكون ضئيلة جدا لا تتجاوز ٣ر/ ويكون ذلك نتيجة لتحلل الرطوبة الموجودة بهواء النفخ ٠

٣ ـ الفترة الثالثة :

المرحلة الثالثة والأخيرة هى المرحلة التى يتم فيها ازالة الفوسفور ، وعندما تكون كمية الكربون منخفضة تزداد كمية أكسيد الحديدوز فى الخبث ويذوب الجير الحى فى المحول بسهولة وتعتبر هذه أحسن الظروف لأكسدة الفوسفور واتحاده بالجير كما فى التفاعلات ٠

$$٥\ ح أ + ٢\ فو \longrightarrow فو_{٢} أ_{٥} + ٥\ ح$$

$$٢\ فو_{٢} أ_{٥} + ٣\ كا أ \longrightarrow ٢\ (فو_{٢} أ_{٥})\ .\ ٣\ كا أ$$

ومما هو واضح أن كمية كبيرة من الحرارة تتكون نتيجة لعمليات الأكسدة والخبث مما يعمل على رفع درجة حرارة المعدن ويزيد من سيولته، ويستمر النفخ فى هـذه الفترة حتى نحصـل على النسـبة المطلوبة من الفوسفور ٠

ويتخلل هذه الفترة عمليات تصحيح فنؤخذ عينة من المعدن داخل المحول ويكشف عن الفوسفور بمجرد النظر خلال نظارة خاصة ، وتحتاج هذه العملية الى خبرة طويلة ٠

وأثناء هذه الفترة تتأكسد كمية لا بأس بها من الحديد فتنبعث من فوهة المحول أبخرة بنية كثيفة من أكاسيد الحديد ٠

ويتعذر التنبؤ بالدرجة التى وصلت اليها عملية ازالة الفوسفور بمجرد النظر الى شعلة اللهب المنبعثة من فوهة المحول بل يمكن عمل تقدير مبدئى ذى دقة كافية لدرجة ازالة الفوسفور وذلك استنادا الى عملية التوقيت الزمنى بعد الفترة الثانية مباشرة حيث يظهر بوضوح اختزال اللهب فى هـذه الفترة ويصـبح الخبث مشبعا بخامس أكسيد الفوسفور وأكاسيد الحـديد المختلفة بينما تنخفض نسبة ثانى أكسـيد السليكون وترتفع كمية الجير الحى (أكسيد الكالسيوم) نسبيا ٠

أما الغازات المتصاعدة خلال هذه الفترة فتتكون أساسا من النتروجين كما يتصاعد أول وثانى أكسيد الكربون بنسبة ضئيلة ٠

ويتضـــح من ترتيب هـــذه الفترات استحالة توقف عملية النفخ للحصول على صلب عالى الكربون لأنه فى هذه الحالة سوف يحتوى على نسبة عالية من الفوسفور ولكن يمكننا رفع نسبة الكربون باضافة مواد مكربنة مثل الشبيجل ٠

٥ ـ ازالة الكبريت من محول

تومـــــاس

اذا احتوى الحديد الزهر التوماسى على نسبة زيادة من المنجنيز ١٪ فان التفاعل الطارد للحرارة يحدث أثناء نقل الحديد الزهر الى الخلاط وأيضا فيه ويكون نتيجة لهذا تكون كبريتيد المنجنيز م كب وهذا المركب شحيح الذوبان فى الصلب عن كبريتيد الحديد ح كب أما فى المحول فلا توجد الظروف الملائمة لحدوث مثل هذا التفاعل ٠

وقد يتم ازالة الكبريت بتكوين كبريتيد الكالسيوم كا كب وذلك بتفاعل م كب . ح كب مع أكسيد الكالسيوم كا أ ٠

وبفحص ظروف الاتزان وتكوين كبريتيد الكالسيوم يتضح أنه لازالة الكبريت جيدا يجب أن يكون الخبث محتويا على كمية كبيرة من أكسيد الكالسيوم المنفرد ، محتويا على كمية منخفضة من أكسيد الحديدوز ، وأكسيد المنجنيز ٠

وفى محول توماس عندما تقترب عملية النفخ من الانتهاء يبدأ الجير فى الذوبان فى الخبث ويصبح عندئذ ذا أثر كبير عندما تكون نسبة الكربون منخفضة وكمية أكسيد الحديدوز بالخبث عالية وهذا يقيد (أو يحدد) درجة ازالة الكبريت وفى الصبة المبينة بشكل (٢٢) لا تزيد درجة الازالة ٥ر٢٣٪) ٠

ولهذا السبب فانه لانتاج صلب منخفض الكبريت يجب اجراء عملية ازالة الكبريت على الحديد الزهر قبل صبه فى الخلاط أو المحول ٠

ويمكن ازالة الكبريت من الحديد الزهر باضافة (الصودا آش) أو خليط يحتوى على الصودا ، الجير ، الفلويت ٠

وقد أجريت عدد من التجارب لاختبار حقن الحديد الزهر التوماسى بالجير الناعم بواسطة تيار من النتروجين وفى بودقة خاصة ٠ وقد وجد أن الكبريت المحتوى قد انخفض بنسبة ٩٠٪ خلال ثلاث أو أربع دقائق بينما تظل درجة الحرارة ثابتة ،

٦ ـ خبث تومـــاس

نظرا لارتفاع نسبة خامس أكسيد الفوسفور بخبث توماس فانه بعد معالجته بطريقة خاصة يصبح نافعا لاستخدامه كسماد للأرض الزراعية وقد أوضحت الأبحاث أن خامس أكسيد الفوسفور هـذا يكون مرتبطا بأكسيد الكالسيوم على هيئة (كا أ)٤ (فو٢ أ٥) كما يحتوى الخبث أيضا على عدد من المركبات ٢كا أ ٠ س أ٢ . كا أ ٠ لو٢ أ ولكى يكون الخبث مفيدا للتربة الزراعية كسماد يجب أن يحتوى على كمية مناسبة من السليكا ٠ ولهذا فانه أحيانا يضاف بعض رمل الكوارتز الى الخبث أثناء صبه فى حلل الخبث ، ويجب أن تقل نسبة خامس أكسيد الفوسفور بخبث توماس عن ١٤ ـ ١٦٪ وعادة ما تكون التحاليل الكيميائية النهائية لخبث توماس الناتج عن نفخ الحديد الزهر بالهواء فى هذه الحدود ٠

ويقع تركيب خبث توماس عند نهاية النفخ بالهواء فى الحدود التالية :

كا أ ٤٥ ـ ٥٠٪ ، س أ٢ ٥ر٣ ـ ٦٪ ، فو٢ أ٥ ١٦ ـ ٢٢٪ ، م أ ٤ ـ ١٠٪ ح أ ٥ر١٢ ـ ١٧٪ ، لو٢ أ٣ ١ ـ ٢٪ ، مغ أ ٥ر٢ . ٦٪ كما هو موضح بجدول (١٢) ٠

جدول (١٢)

تركيب الخبث ٪								
كا أ	س أ ٢	فو٢ أ٥	م أ	لو٢ أ٣	ح أ	مغ أ	كا أ	س أ٢ + فو٢ أ٥ كا أ
٤٨٫٣١	٥٫١٧	١٧٫٨٨	٤٫١٩	١٫٩٢	١٧٫٧٢	٣٫٨٢	٠٫٩٣	٢٫٠٩
٤٧٫٨٢	٦٫٠٥	١٧٫٥٧	٤٫٨٣	١٫٥٧	١٨٫٠٨	٢٫٨٩	٠٫٤٨	٢٫٠٤
٥٠٫٨٠	٤٫٨	٢١٫٣٠	٤٫٣٢	١٫٣٢	١٣٫٩	٢٫٤٨	٠٫٥٨	١٫٩٥

٧ ـ الانحرافات فى تشغيل محولات توماس
وطرق علاجهـــا

الانخفاض فى درجة حرارة الشحنة :

لا شك فى أن أهم المستلزمات للحصـول على صـلب بالمواصفات المطلوبة هو :

١ ـ حديد زهر ذو تحليل كيميائى ودرجة حرارة ثابتتين ٠

٢ ـ توافر الجودة العالية فى الخام ، والجير ، والخردة ٠

وفى أثناء التشغيل يكون هناك احتمال كبير لحدوث الانحرافات المختلفة بالرغم من ثبوت العوامل المختلفة والظروف الأخرى ٠ ففى كثير من الأحيان ترتفع درجة الحرارة داخل المحول كثيرا وبذلك تزداد الفرصة لهروب المقذوفات الحديدية وتناثرها خارج المحول ٠ وفى أحيان أخرى تنخفض درجة الحرارة بشدة وفى هذه الحالة يفقد كثير من المعدن نسبة لصبه عند هذه الحرارة المنخفضة ٠

ويرجع الارتفاع الشديد فى درجـة الحرارة الى تواجد الشـوائب (السليكون ، منجنيز ، والفوسفور) فى الحديد الزهر بكميات كبيرة وفى مثل هذه الظروف يكون من المناسب تصحيح الحرارة الى الدرجة المطلوبة باضافة كمية من الخردة ، والخام ، والنفايات المعدنية أو الجير ٠

وفى أغلب الأحيان يكون الارتفاع الشديد فى درجة حرارة الحديد الزهر وارتفاع نسبة أحد مجموعة الشوائب مرده الى حدوث بعض الأخطاء العارضة والتى يجب تلافيها ٠

واذا كان الارتفاع الشديد فى درجة الحرارة راجعا الى زيادة نسبة السليكون فى الحديد الزهر الشديد السخونة فانه يمكن تبريد الشحنة الى الدرجة المطلوبة باضافة الخردة وبعض الجير أثناء الفترة الثانية ٠ وبعد عدة دقائق من النفخ يزال الخبث المتكون ثم يضبط الخبث الجديد بواسطة اضافة الجير وعندئذ نتمكن من ضبط درجة حرارة الشحنة وتتلافى ثنائر المقذوفات خارج المحول بسبب صغر حجم الخبث ٠

واذا كان المنجنيز هو المسئول عن هذا الارتفاع فى درجة الحرارة أضيفت الخردة وحدها ٠

وزيادة نسبة الفوسفور تعمل على رفع درجة الحرارة فى الفترة الثالثة

وفى هذه الحالة يكون التصحيح باضافة قطع صغيرة من الخردة والنفايات المعدنية حتى يتم انصهارها فى وقت قصير ·

وأحيانا يكون التبريد خلال الفترة الثالثة بواسطة قوالب من النفايات المعدنية والجير اذ أنه ليس من المنطق فى شىء اضافة الجير فقط فى الفترة الثالثة لأنه باضافته يصبح الخبث غليظا (غليظ القوام) وتزداد لزوجته مما يؤدى الى فقد كثير من الصلب الناتج نسبة لتصبد الخبث له ··· هذا بالاضافة الى ضخامة كمية الخبث ·

ومن المستحسن اضافة خام الحديد والنفايات المختلفة من عمليات الدرفلة بقصد تبريد الشحنة وذلك قبل الفترة الثالثة من فترات النفخ · وتتوقف الاضافات على درجة التسخين المطلوبة ·

وباضافة خام الحديد والنفايات المعدنية قرب نهايه الفترة الثانية تقلل نسبة النتروجين الموجود بالصلب لأنها تعتبر مصدرا ثانويا للأكسجين اللازم لعمليات الأكسدة وعلى هذا الأساس يتحدد مدة النفخ تبعا لكمية هذه الاضافات وبذلك تقل فرصة ذوبان النتروجين فى الصلب ·

ويفضل اضافة النفايات المعدنية من خام الحديد حيث انها لا تحتوى على السليكا ويضاف الخام على هيئة كتل مناسبة فى الحجم حتى لا يتطاير بعيدا عن المحول أثناء النفخ ·

القصور الحرارى :

يرجع القصور الحرارى هذا الى انخفاض الحرارة الطبيعية والكيمائية للحديد الزهر والمقصود بالحرارة الكيمائية هو ما يحتويه الحديد الزهر من شوائب قابلة للتأكسد مثل السليكون ـ المنجنيز ، والفوسفور وتعالج مثل هذه الحالة باضافة السليكو شبيجل فى المحول فيتأكسد ما به من سليكون ومنجنيز وبذلك نرتفع درجة الحرارة ·

أما اذا كان هذا القصور الحرارى نتيجة لاضافة الجير بكميات كبيره كان مناسبا اضافة الفيروسليكون وعندئذ يتحد الجير الزائد مع السليكا الناتجة ويصبح الخبث أكثر سيولة ·

ومما هو جدير بالذكر أنه اذا لم يكن الجير قد تم تحميصه جيدا لتحليل الحجر الجيرى تماما أدى ذلك الى استهلاك كمية كبيرة من حراره الشحنة فى هذا الغرض وانخفضت درجة الحرارة ولاستعمال مثل هذا الحجر يجب تأخير صب الحديد الزهر فى المحول بعض الوقت حتى يمكن استغلال بعض حرارة المحول فى تحميص الجير المضاف جيدا ويجب أيضا اضافة بعض الاضافات المسخنة فى مثل هذه الحالة ·

٨ ـ الطريقة الحديثة لانتاج الصلب التوماسى

منخفض النتروجين ـ منخفض الفوسفور

يختلف صلب توماس عن صلب الافران المفتوحة اذ يحتوى على نسبة أعلى من النتروجين والفوسفور فيحتوى صلب توماس المطاوع والذى تم صنعه بنفخ الهواء فقط على ٠١٢ر ـ ٠٩ر٪ نتروجينا (يحتوى صلب الأفران المفتوحة على ٠٤ر ـ ٠١ر٪ نتروجينا) ، ٠٥ر ـ ٠٩ر٪ فوسفورا وهذه النسبة أقل من ٠٣ر٪ فى صلب الأفران المفتوحة ٠

ووجود مثل هذه الشوائب بالنسب المذكورة فى صلب توماس يكسبه كثيرا من الخواص التى تجعل ميدان استعماله وتطبيقاته محدودا وضيقا فهو أكثر هشاشة عن صلب الأفران المفتوحة وقابليته للحام الكهربائى ضعيفة ومن الصعوبة تشكيله باردا ٠

ويمكن تلافى مثل هذه العيوب بتخفيض نسبة النتروجين الممتص فى الصلب أثناء النفخ والاقلال مما يحتويه من فوسفور ٠٠ ولقد أجريت أبحاث واسعة فى هذا المجال أدت الى وجود العوامل الآتية والتى لها التأثير المباشر والأساسى فى نسبة النتروجين الممتص بصلب توماس ٠

١ ـ درجة الحرارة عند نهاية النفخ ، وقد وجد انه اذا كانت درجة حرارة الشحنة أثناء النفخ معتدلة فان الصلب الناتج يحتوى على نتروجين أقل عند نفس درجة الحرارة النهائية ٠

٢ ـ عملية النفخ ٠

بديهى أنه كلما قل زمن النفخ كلما قلت فرصة تلامس النتروجين والصلب ٠

٣ ـ معدل تأكسد الكربون : يتناسب معدل ازالة النتروجين مع معدل احتراق الكربون ٠

٤ ـ ارتفاع الشحنة المنصهرة داخل المحول ٠

يقل ذوبان النتروجين فى الصلب كلما قل ارتفاع طبقة المعدن داخل المحول ٠

٥ ـ كمية النتروجين فى غازات المحول ٠

يمكن الحصول على صلب توماس منخفض النتروجين بمراقبة الظروف المطلوبة ، وتستخدم الطرق الآتية فى مثل تلك الظروف :

(أ) ضبط درجة الحرارة باضافة خام الحديد والنفايات المعدنية ٠

(ب) استعمال النفخ الجانبى والسطحى واختزال عمق سطح المعدن فى المحول ٠

(جـ) استعمال خليط من الهواء والبخار فى النفخ ٠

(د) نزويد هواء النفخ بالاكسجين ٠

(هـ) استعمال خليط من الأكسجين والبخار فى النفخ ٠

(و) استعمال خليط من الاكسجين وثانى اكسيد الكربون فى النفخ ٠

ضبط درجة الحرارة باضافة خام الحديد والنفايات المعدنية :

يمتص الفولاذ الجزء الاكبر من النتروجين أثناء الفترة الأخيرة من فترات النفخ عندما ترتفع درجة الحرارة بحدة ويقدر الارتفاع فى نسبة النتروجين بمقدار ٠٠٢ر/ لكل ٥٠° م فى درجة الحرارة ارتفاعا اذا استخدم الهواء فقط فى النفخ ، وعلى هذا الأساس فان ضبط درجة الحرارة عند نهاية النفخ كعامل أساسى وهام لاختزال نسبة النتروجين الدائبه فى الصلب الى أقل حد ممكن ٠ ويمكن استخدام كل من الخردة ــ الجير ــ الحجر الجيرى ــ خام الحديد ــ النفايات كعوامل مبردة وكلما زادت الاضافات المبرده كلما قلت نسبة النتروجين عند ثبــوت درجة الحرارة النهائيــة للعملية ٠

وباضافة خام الحديد أو النفايات المعدنية نحصل على نتائج أفضل لانه فى مثل هذه الحالة الى جانب الانخفاض فى درجة الحرارة فاننا نحتاج الى فترة نفخ أقصر بسبب اشتراك هذه المبردات فى مد الشوائب بما تحتويه من أكسجين وتقل تبعا لذلك نسبة النتروجين فى الصلب الناتج ٠ واستنادا الى درجة الحرارة أثناء النفخ وكمية السليكون بالحديد الزهر يمكننا تحديد كمية الخام والخردة التى يجب اضافتها وتتراوح فى الغالب بين ٣ ــ ٨٪ من وزن الحديد الزهر سواء كان ذلك فى بداية النفخ أم خلاله ٠ وتنخفض نسبة النتروجين بالصلب بحدة خصوصا عند نهاية فترة أكسدة الكربون ٠

واذا كانت كميه المبردات المضافه كبيرة نسبيا فانه فى هذه الحاله يجب سطرها فسمين يضاف أولهما أثناء الفترة الأولى من فترات النفخ والثانى خلال فترة النفخ الثانية حتى تتلافى انخفاضا كبيرا فى درجة الحرارة عند نهاية النفخ ٠

ولقد ثبت أنه باضافة ٥٠ كجم من هذه المبردات لكل طن من الصلب تقل نسبة النتروجين به ٠٠٢ر٪ ٠

وباضافة خام الحديد بكميات تتراوح بين ٢ ـ ٢ر٢٪ من وزن الحديد الزهر قبل النفخ ، يزداد معدل احتراق الكربون وتقل تبعا لذلك نسبة النتروجين (فلا تزيد عن ٠١٢ر٪) ٠ والفوسفور أيضا ٠ ويعزى الانخفاض فى نسبة الفوسفور الى سرعة تكون الخبث عند اضافة خام الحديد وارتفاع نسبة أكاسيد الحديد به ٠

طريقة النفخ المزدوج (النفخ على مرتين) :

وفى هذه الطريقة توضع ٥٠ ـ ٦٠٪ من الشحنة فقط فى المحول بعد شحنه بكمية الجير اللازمة كلها ثم يبدأ النفخ بالضغط الكلى ويستمر النفخ حتى نصل بالكربون الى نسبة ٠٤ر ـ ٠٥ر٪ فيتوقف النفخ ثم تضاف كمية الحديد الزهر المتبقية وعندئذ تبدأ تفاعلات عنيفة بين الشوائب الموجودة بالحديد الزهر وبين الخبث الغنى بأكاسيد الحديد ونتيجة لهذا يزال الفوسفور جزئيا من الصلب المتكون وعندما تقل التفاعلات عنفا يعاد النفخ مرة ثانية لمدة دقيقتين عند ضغط أقل من الضغط الأول ٠

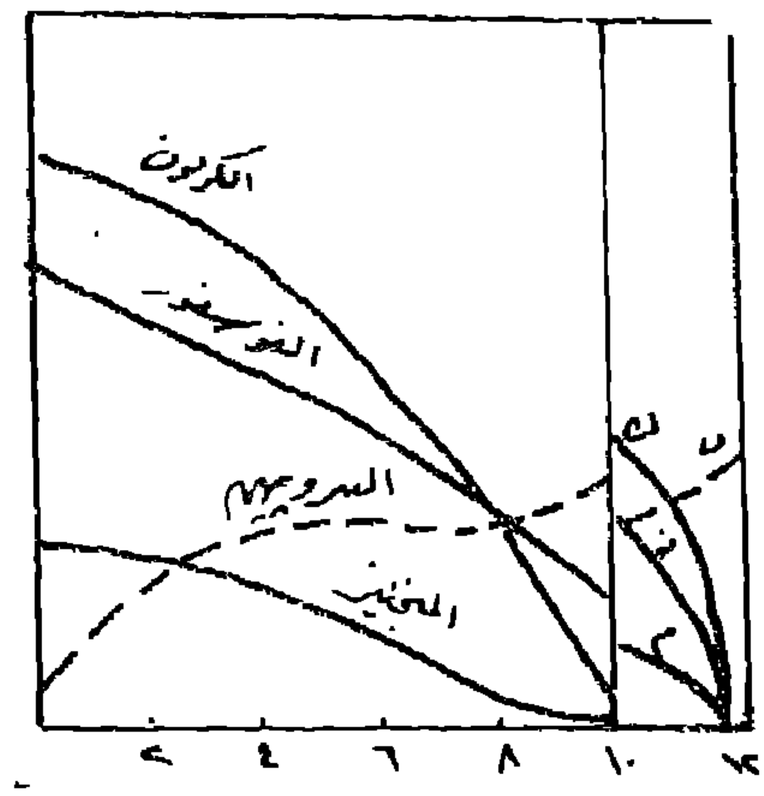
وعند نهاية النفخ فى المرة الثانية تهبط كمية الفوسفور بنسبة ٠٤٥ر٪ ٠

ولما كان النفخ فى المرة الثانية قد بدأ عند نسبة من الكربون عالية نسبيا لذا كانت كمية الحديد المفقودة من جراء التأكسد أقل منها فى حالة النفخ بالطريقة العادية (النفخ دفعة واحدة) ٠ فمثلا اذا كانت تحاليل الخبث المتكون بطريقة النفخ العادية هى : ـ

١٠٪ حديدا ، ٥٪ منجنيزا ، ١٧٪ خامس أكسيد الفوسفور فانه بتطبيق طريقة النفخ على مرتين تصبح التحاليل كالآتى : ٥ر٨٪ من الحديد ، ٤٪ من المنجنيز ، ١٧٪ فو ٢ أ ٥ ٠

ومن أهم مميزات هذه الطريقة انخفاض نسبة النتروجين بالصلب الناتج حيث يتم النفخ فى المره الاولى وارتفاع المعدن بالمحول فيكون الانخفاض للنصف وفى مدة زمنيه أقصر اذا قورنت بالطريقة العادية ٠

ويبين الشكل رقم (٢٣) سلوك الشوائب أثناء تأكسدها بتطبيق طريقة النفخ المزدوج ٠



شكل (٢٣) : يبين أكسدة الشوائب بالطريقة المزدوجة

النفخ الجانبى والسطحى :

تقل مدة تعرض الحديد لهواء النفخ بانخفاض سطح المعدن فى المحول وبالتبعية يقل ذوبان النتروجين فى الصلب الناتج ٠

ولقد آثبت التجارب أنه عند انتهاء عمر بطانة المحول أى عندما تكون البطانة قد بلغت تماما يقل النتروجين الممتص بالصلب ٠

ولقد بات مؤكدا أنه بخفض سطح المعدن فى المحول ١٠٠ مم تقل نسبة النتروجين فى الصلب بمقدار ٠٠٢ر٪ ٠

وفى النفخ الجانبى يدفع تيار الهواء فى المحول تحت طبقة رقيقة من المعدن أو عند سطحه بالكاد ، ولهـــذا فان الجزء الاعظم من المعدن لا يكون اتصاله بهواء النفخ مبـــاشرا ٠ الأمر الذى من شأنه أن تكون فرصة ذوبان النتروجين بالصلب أقل ٠

وتتاكسد الغالبية العظمى من الشوائب تأكسدا غير مباشر اذ يقوم أكسيد الحديدوز منتشرا فى شتى أنحاء المعدن بتقـــديم ما يحمله من أكسجين لها ولهذا تستغرق عملية التأكسد هذه مدة أطول وتطول عملية النفخ ٠

فمثلا ستغرق عملية النفخ العادية (النفخ خلال قاع المحول) ٢٦ ثانية لكل طن من الصلب الناتج بينما تستغرق فى حالة النفخ الجانبى ٦٠ ثانيـــة / طن صلب وبمعنى آخـــر تهبط ســـعة المحـــول الى النصف عموما ٠

ولقد جعلت الحرارة الزائدة والنانجه عن احتراق أول آكســـيد الكربون فى الامكان عمليا نفخ الحديد الى الدرجة المطلوبة لصب الصلب حتى لو احتوى الحديد الزهر على ٢ر ـ ٣٥ر ٪ فوسفورا ٠

ومما يجب معرفته احتواء الخبث على نسبة من آكاسيد أعلى فى حاله استخدام طريقة النفخ من خلال قاع المحول ، ولهـــذا فان عملية ازاله الفوسفور تكون أكثر فاعلية ونجاحا باستخدام طريقة النفخ الجانبى لمحول توماس فى حالات خاصة وعندما تكون نسبة الفورسفور بالحديد الزهر حوالى ٥ر١٪ فان الصلب الناتج يحتوى على فوسفور لغاية ٠٣ر/ دون اعادة عملية النفخ ، وبصيغة أخرى يزال الفوسفور أثناء حرق الكربون ٠

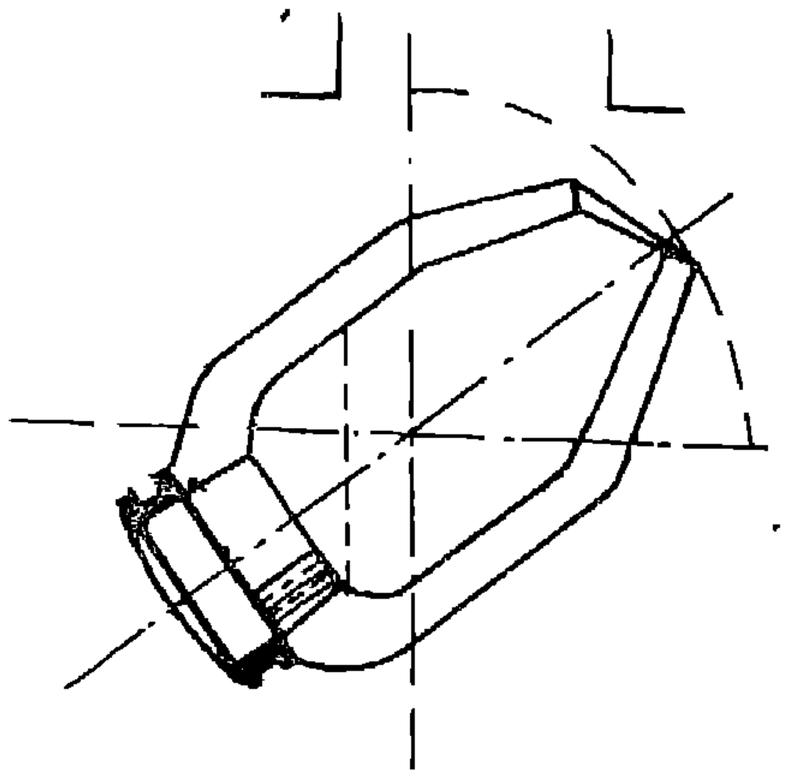
وقد أمكن فى معظم الحالات (٩٨ ٪) منها الوصول بالفوسفور فى الصلب الى أقل من ٠٥ر٪ اذا كانت نسبته أصلا فى الحديد الزهر ٣٥ر٪ دون اعـادة عملية النفخ ولا تتعدى نسبته النتروجين فى هذا الصلب ٠٠٤٦ر ـ ٠٠٩ ٪ ٠

وتستخدم هذه الطريقة من طرق النفخ بنجاح لنفخ الحديد الزهر الذى يحتوى على التحاليل الآتيه : ـ

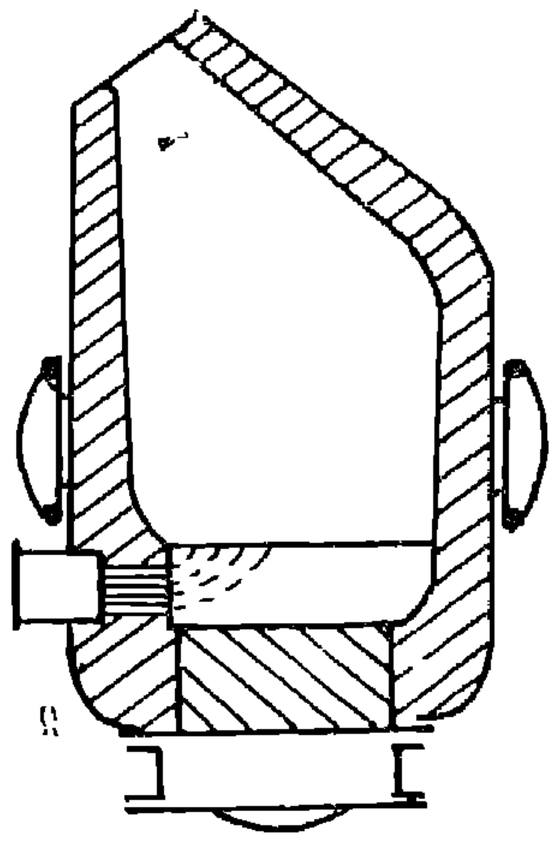
٠٩ر ـ ٢ر١ ٪ ســليكونا ، ٣ر١ ـ ٢٪ منجنيزا ، ٢٥ر ـ ٢ر١٪ فوسفورا (وفى بعض الأحيان قد تصل نسبة الفوسفور الى ٨ر١٪) ٠

ويمكننا النزول بنسبة النتروجين فى المحول العادى بتنظيم فونيات دخول الهواء بكيفية خاصة وتشغيل هواء النفخ والمحول مائل ٠

ومثل هذا المحول موضح فى شكل (٢٥) وتبلغ قطر قصـــبات الهواء ٢٥ مليمترا وتنظم فى خمسة صفوف على جانب قاعدة المحول المقابل لاامه المحول وتبلغ نســبة النتروجين بالصلب الناتج فى محـول كهذا ٠٠٨ر٪ أما الحديد فتصل نسبته فى الخبث الى ٩٪ ويلاحظ شدة تناثر المقذوفات الحـديديه خارج المحـول وأثنـــاء النفخ بالرغم من المميزات العديدة التى تنفرد بها هذه الطريقة فلا ندعش اذا لم يكن النجاح الكبير والانتشار الواسع من نصيبها اذ أننا اذا بحثنا عن عمر المحول وسعته وجدنا انخفاضا فيهما الى النصف ٠



شكل (٢٤) : يبين النفخ السطحى
فى المحول ٠



شكل (٢٥) : يبين النفخ الدانبى
فى محول يسع ٢٠ طنا ٠

استعمال خليط من الهواء وبخار الماء فى نفخ محول توماس :

يزود هـــواء النفخ بالأكسجين عندما يستبدل جزء من الهـــواء ببخار الماء ويحتوى المتر المكعب من البخار على حوالى ٧ر كجم من الاكسجين بينما لا يحتوى المتر المكعب من الهواء على أكثر من ٣ر٠ كجم منه وبمعنى آخر فان بخار الماء يكون أغنى بالاكسجين من الهواء ٠

أثنـــاء النفخ يتحلل تمـــاما بخار الماء الموجـــود بالخبث ويستخدم الاكسجين الناتج عن هذا التحلل فى أكسدة الكربون ولهذا نختزل الفترة الثانية من فترات النفخ ــ فترة نزع الكربون ٠

وبخار الماء ذو تأثير مبرد قوى وفعال فالحرارة المستفزة لتحليل طن واحد منه تعادل الحرارة اللازمة لصهر الـ ٤ طن من الخردة ٠ وتنخفض هذه الحرارة الى ما يعادل صهر ٣ طن من الخردة اذا ارتفعت درجة حرارة البخار الى ٣٠٠م ٠

وكنوع من المقارنة يوضح جدول (١٣) الفرق بين الصلب الناتج بواسطة النفخ بالهواء والنفخ بخليط من الهواء وبخار الماء يزن المتر المكعب من البخار حوالى ٨ر كجم . ١٨ كجم من الماء تحتوى على ١٦ كجم من الأكسجين وعليه فان المتر المكعب من البخار يحتوى على $\frac{١٦ \times ٨ر}{١٨}$

= ٧ر كجم من الأكسجين ٠

جدول (١٣)

	النسبة المئوية للعناصر				
	ك	م	فو	كب	ن
النفخ بالهواء	٠٧ر	٢٦ر	٠٥٩ر	٠٣ر	١٣ر
	٠٦ر	٣١ر	٠٥ر	٠٣٧ر	٠١٣ر
النفخ بخليط من الهواء	٠٥ر	٣٢ر	٠٣١ر	٠٢٩ر	٠٠٧ر
وبخار الماء	٠٥ر	٢٩ر	٠٣٨ر	٠٣١ر	٠٠٥ر
	٠٤ر	٣٢ر	٠٣٤ر	٠٣١ر	٠٠٧ر

وبمقارنة الطريقتين نجد أن نسبة الحديد فى الخبث الناتج بالطريقة الثانية تبلغ ١٠٪ مقابل ١٢٪ فى الطريقة الأولى ٠

وفى هذه الطريقة الثانية يصب الصلب الناتج عند درجة حراره أقل ١٥٤٠ ــ ١٥٦٠م مما يجعل من الصعوبة بمكان امكانية الصب الفاعى . وتزداد كمية الفاقد من الصلب فيقل العائد فى بوادق الصب ٠

ويمتاز الصلب الناتج بهذه الطريقة بخواصه الميكانيكية التى تضارع الخواص الميكانيكية لصلب الأفران المفتوحة والتى لهـا نفس التركيب الكيميائى ٠

هذا ولم يلحظ أى تأثير ضار على خواص الصلب من جراء استعمال البخار الا أنها تقصر من عمر الفواعد ٠

٩ ــ استعمال الأكسجين فى محولات توماس

باستخدام الاكسجين فى نفخ شحنة الحديد الزهر بمحول توماس سمكن من انتاج صلب يضاهى صلب الأفران المفتوحة من حيث انخفاض نسبة النتروجين والفوسفور به وأيضا من حيث الخواص الميكانيكية التى تتحكم فى عمليات التشغيل المختلفة ٠

واذا استغنينا عن كمية من الهواء بأخرى من الأكسجين أو اذا تم النفخ طيلة الوقت أو لجزء منه فقط باستخدام خليط من الأكسجين البقى وبخار الماء أو ثانى أكسيد الكربون أدى ذلك الى تحسن ملحوظ فى الموازنة الحرارية لانخفاض نسبة النتروجين فى الغـازات المتصاعدة من المحول والى قصر وقت النفخ وزيادة الكفاءة الانتاجية لاستغلال كمية أكبر من الخردة وخام الحديد ٠

ومن مزايا هذه الطريقة أنها تسهل ازالة الفوسفور وتقلل من نسبة النتروجين بالصلب لدرجة كبيرة حيث انه بارتفاع درجة الحرارة نتمكن من اضافة كمية مناسبة من خام الحديد والنفايات المعدنية كعوامل مبردة وقد يضاف الحجر الجيرى عوضا عن الجير ٠

هذه وتستخدم فى وقتنا الحاضر طرق النفخ الحديثة الآتية لتحويل الحديد الزهر التوماسى :

١ ـ النفخ بالهواء المزود بالأكسجين ٠

٢ ـ النفخ بخليط من الأكسجين والبخار ٠

٣ ـ النفخ بخليط من الأكسجين وثانى أكسيد الكربون ٠

٤ ـ النفخ العلوى باستخدام الأكسجين الخالص ٠

النفخ بالهواء المزود بالأكسجين :

يحتوى الهواء على ٢١٪ منه أكسجينا ، ٧٩٪ نتروجينا فاذا زيدت نسبة الأكسجين فى الهواء الداخل الى ٢٠٪ أو أكثر انخفضت كمية النتروجين فى هواء النفخ وبالتالى نقل كمية الحرارة المفقودة التى يحملها النتروجين معه خارج المحول ٠

وقد تتملكنا الدهشة اذا علمنا أن الحرارة المفقودة بواسطة متر مكعب واحد من النتروجين تكفى لصهر ١ر٤٥ كجم من الخردة بينما باستخدام ١م٣ من الأكسجين فى النفخ نتمكن من صهر ٥ر٦ كجم من الخردة ٠

ومميزات هذه الطريقة متعددة ويمكن حصرها فيما يلى :

١ ـ بارتفاع درجة الحرالة يذوب الجير فى المعدن المنصهر ويتحد بالسليكا فى فترات النفخ الأولى التى تتم فى جو من الهدوء النسبى ويطول استخدام بطانة وقواعد المحول كما أن ارتفاع درجة الحرارة يسمح باضافة كميات أكبر من الخردة ٠

٢ ـ وبسبب الاتزان الحرارى عند درجة من الحرارة عالية فانه بارتفاع الأكسجين فى هواء النفخ الى ٣٠٪ نتمكن من نفخ الحديد الزهر مهما انخفضت نسبة الفوسفور به فمثلا ١ر١٩ ـ ١ر٣٧٪ فوسفورا ، ٢٤ر ـ ٤٧ر٪ سليكونا ، ٩ر ـ ١ر١٤ ٪ كما لا يكون لحرارته الطبيعية أى اعتبار فى هذه الحالة ٠

٣ ـ تزداد سعة المحول نتيجة لنقص مدة النفخ ٠

٤ ـ ترتفع الكفاءة الانتاجيـــة للصلب الجيد الناتج الى حوالى ٨٧ـ٨٨٪ (مقابل ٨٦٪ فى حالة استخدام الهواء فقط فى النفخ) وذلك بسبب انخفاض نسبة الحديد الضائع فى الخبث الى حوالى ١٢ ـ ١٣٪ (بدلا من ١٣ـ١٤٪ فى حالة النفخ دون استخدام الأكسجين) ٠

٥ ـ يساعد الارتفاع فى درجة الحرارة كثيرا على ازالة الكبريت ٠

٦ ـ يطـرأ تحسن ملحوظ على خواص الصلب الناتج لانخفاض نسبة النتروجين به واذا ضبطنا درجة الحرارة بنجاح أو بمعنى آخر اذا توقف تدفق الأكسجين عند الوقت المناسب أمكن النزول بنسبة النتروجين الى ٠ر٠١٪ (تتراوح النسبة بين ٠ر٠٨ ـ ٠ر١٢ ٪) ٠

ويمكننا تقليل نسبة النتروجين عن هذا الحد باضـافة النفايات المعدنية أو باستبدال جزء من الجير بجزء مناظر من الحجر الجيرى دون أن نخشى هبوط درجة الحرارة عن مستواها العادى فالأكسجين الموجود بهواء النفخ يقوم بتعويض الحرارة المفقودة ٠

وبتحليل الحجر الجيرى (كربونات الكالسيوم) ينبعث ثانى أكسيد الكربون الذى يتفكك بدوره الى أول أكسيد الكربون والأكسجين حيث يقوم الأكسجين بأكسدة الكربون ولهذا تنخفض كمية النتروجين فى هواء النفخ حيث يستعان بنانى أكسيد الكربون الناتج عن تحلل الحجر الجيرى بواسطة جزء من هواء النفخ وبالتبعية تقل مدة النفخ ٠

ومن الأهمية بمكان عدم استطاعة تطبيق هذه العملية فى حالة النفخ بالهواء فقط اذ أن عمليات التحلل الســـابقة تحتـاج الى كميـة هائلة من الحرارة ٠

والتبريد الناجم عن استبدال ١ كجم من الجير يسـاوى التبريد الناشىء عن اضافة ٩ر١ كجم من الخردة ولهذا السبب أصبح من الضرورى زيادة نسـبة الأكسجين فى هواء النفخ حتى نحافظ على كمية الخـردة المضـافة ٠

ولخفض نسبة الفوسفور فى الصلب الناتج فى حالة النفخ بالهواء المزود بالأكسجين يزال فى بعض الأحيان الخبث الابتدائى ، (المتكون أولا) ثم يتكون خبث جديد وتضاف الصـــودا ثم يستمر النفخ لمدة وجيزة (حوالى ٢٥ ثانية) وحتى نتلافى التبريد الشديد نتيجة لاضافة وتحلل الصودا نرفق هذه الصودا باضافات أخرى كالسليكو كالسيوم مثـلا التى تمد المعدن بكمية وفيرة من الخردة عند تأكسـدها هذا الى جانب

ضبطها لقاعدية الخبث وذلك باتحاد السليكا المتكونة بأكسيد الكالسيوم. وقد يضبط الخبث باضافة الصودا فقط اذا سمحت الحرارة بذلك ·

وتصل نسبة الفوسفور الى حوالى ٠٥٥ر٪ بالصلب قبل كشط الخبث الأصلى ثم تهبط هذه النسبة الى حوالى ٠٤٠ر٪ بعد النفخ فى وجود الخبث الصودوى ·

ويحتوى الخبث الناتوى على حوالى ١٥٪ من الحديد وهى نسبة عالية نسبيا ولكن يمكن التغاضى عن كمية الحديد الضائعة فى الخبث لضآلة كميته ·

وتحتل طريقة النفخ باستخدام الهواء المزود بالأكسجين المقام الأول فى وقتنا الحاضر للحصول على أجود أنواع الصلب فى محولات توماس وكقاعدة عامة فان نسبة الأكسجين فى الهواء المنفوخ تصل الى ٣٠٪ منه ·

وجدول (١٤) الآتى يعطينا فكرة عن نسبة النتروجين ، والفوسفور ، والكبريت فى الصلب استنادا الى طريقة النفخ ونوع الاضافات ·

جدول (١٤)

	ن٢	فو	كب
النفخ بالهواء الجوى مع اضافة الخردة	٠٠٩ر–٠١٢ر	٠٤٥ر	٠٣٥ر
النفخ بالهواء المزود بالاكسجين لغاية ٣٠٪ مع اضافة الخردة ، والحديد أو الحجر الجيرى	٠٠٨ر	٤٥ر	٠٣٥ر
باستخدام الخبث الثانوى	٠٠٥ر	٠٢٥ر	٠٢٠ر
النفخ بخليط من الاكسجين والبخار	٠٠٢٥ر	٠٢٠ر	٢٠ر

طريقة النفخ بخليط من الأكسجين والبخار :

من الواضح أنه بتخفيض الضغط الجزئى للنتروجين فى الغازات داخل المحول الى أقل درجة ممكنة يقل ذوبانه فى الصلب ويمكن جعل ضغطه الجزئي صفرا بالتخلص منه نهائيا في هواء النفخ ولكن يجب أن

لايغيب عن خاطرنا استحالة النفخ بالأكسجين الخالص خلال قاع المحول لأنه فى هذه الحالة يرتفع معدل استهلاك القاعدة وودنات الهواء ارتفاعا حادا ويرجع هذا الى الارتفـــاع الزائد فى درجة الحرارة عندما يندفع الأكسجين من فوهات النفخ الى المعدن ولهذا السبب يجب اضافة بعض الغازات الأخرى التى لا تحتوى على النتروجين الطبيعى ، وحدينا يستخدم البخار وثانى أكسيد الكربون كمبردات فى محولات توماس ٠

وعند استعمال منل هذا الخليط من الغازات (أكسجين + بخار) فان حوالى ٣٠٪ من البخار يمر خـلال المعدن دون أن يتحلل ولايشترك بأى نصيب فى عملية النفخ (ولا يكون له أى دور يذكر فى هذه العملية) بيد أن ما يحمله من حرارة أثناء مغادرته المحول يعتبر الدور الوحيد الذى يقوم به اما ما تبقى من البخار (حوالى ٧٠٪ منه) فانه يتحلل الى عنصريه : الأكسجين والايدروجين مستهلكا لذلك طاقة حرارية هائلة ٠

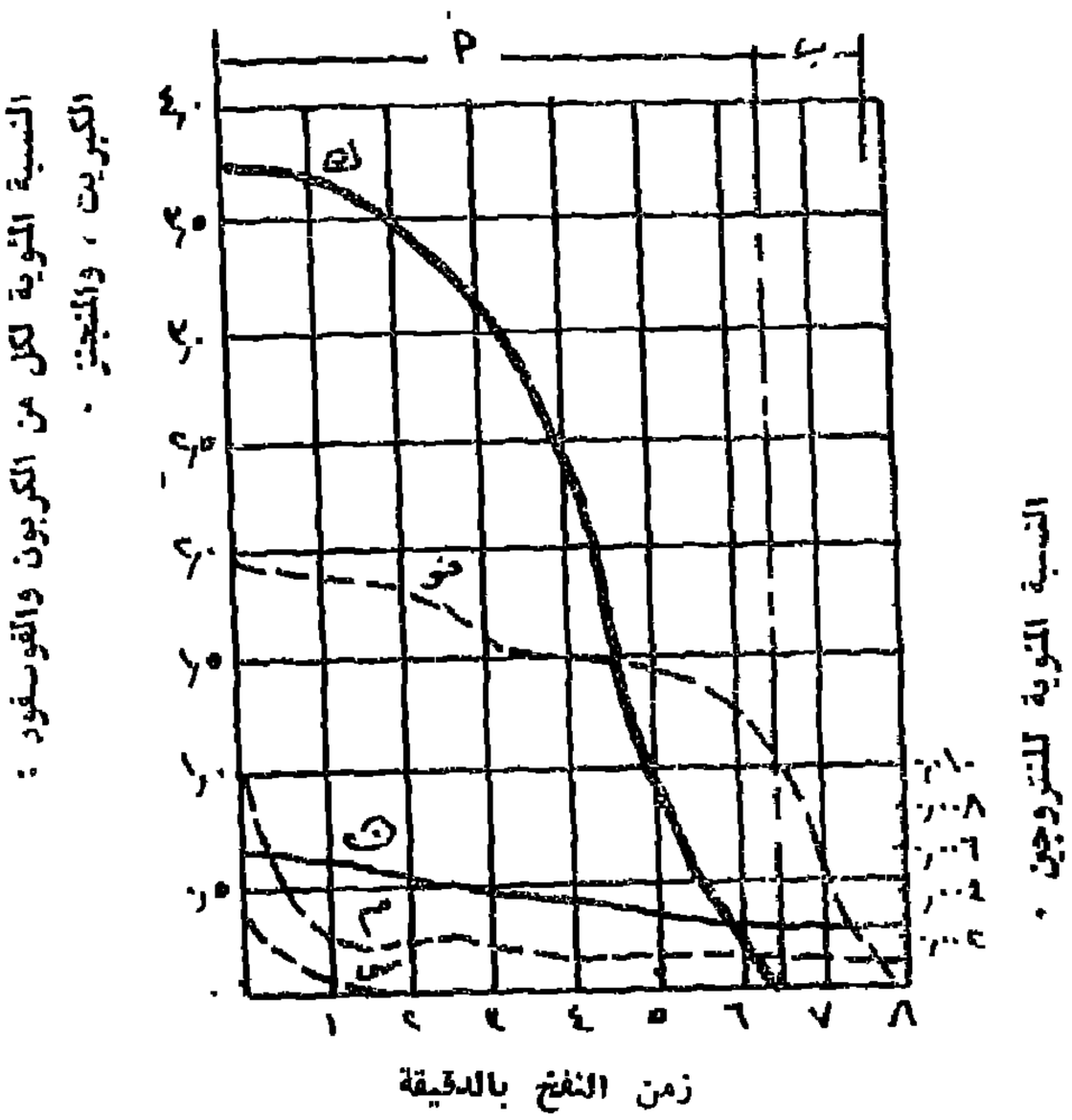
ولقد أثبتت الشواهد من وجهة النظر الحرارية أن ١ كجم من البخار تعـادل من حيث تأثيرها فى التبريد وزنـا من الخردة يقـدر بحوالى ٦ر٨ كجم ٠

وتتساوى حراريـا خليط يحتوى على ٦٠٪ منه أكسجينا والباقى بخارا ساخنا مع النفخ واستنتاجا لما سبق فانه كلما كانت نسبة البخار فى الخليط أقل كلما أمكن صهر كمية من الخردة أكبر ٠

وتعتمد درجة امتصاص الصلب للنتروجين على درجة نقاء الأكسجين ونادرا ماتزيد عن ٨ ــ ١٠٪ وعليه فان نسبة النتروجين بالصلب المصنوع بهذه الطريقة تتغير فيما بين ٠٠١٥ر ــ ٠٠٤ر٪ وبمعنى آخر فان هذه النسبة تكون أقل من تلك الموجودة فى حالة صلب الأفران المفتوحة ٠

ويبين شكل (٢٦) التغيرات التى تطرأ على التركيب الكيميائى للصلب أثناء نفخ الحديد بخليط من الأكسجين والبخار ٠

وقد وجد أنه أثناء فترة احتراق السليكون والمنجنيز تتم أيضـــا ازالة الفوسفور ولكن بدرجة أقل ٠ وينتهى احتراق الكربون بعد حوالى ٥ــ٦ دقائق وعندئذ تبـدأ عمليـة ازالة الفوسفور ويستمر النتروجين الذائب في الصلب في الانخفاض طيلة فترة النفخ كلها ٠



شكل (٢٦) : التغيرات التى تطرأ على تركيب الحديد الزهر فى محول توماس أثناء النفخ بخليط من الأكسجين والبخار .

أ ـ أكسدة الكربون ب ـ ازالة الفوسفور

وباستعمال خليط من الأكسجين والبخار فى النفخ مساويا ١ر٢ : ١ر١ : ١ر٤ تتراوح نسبة النتروجين فى الصلب ٠٠٣ر٪ .

وفى هذه الطريقة تتم ازالة الفوسفور بنجاح وسرعة عما اذا استخدمنا الهواء أو الهواء المزود بالاكسجين فى النفخ وتتغير مدة النفخ باختلاف كمية الأكسجين الداخلة الى المحول فى وحدة الزمن .

وبمقارنة الكفاءة الانتاجية لمحول سعة ١٦ طنا فى الطرق الثلاث نجد أن سعته فى حالة النفخ فى الهواء لاتزيد عن ١ر١ طنا / دقيقة بينما تصل هذه السعة الى ١ر٥ طنا / دقيقة اذا كان النفخ بالهواء المزود بالأكسجين (استهلاك الأكسجين٢٧م٣/ طن) فى حين تبلغ ١ر٩ طنا / دقيقة اذا استعمل خليط الأكسجين والبخار فى النفخ .

ومن ناحية الخواص الميكانيكية للصلب الناتج فلا نضع فى حسابنا أى خوف من تأثير الهيدروجين الضار عليها ، فقد ثبت هذا عمليا بما لا يدع مكانا للشك ومما يشجع على اتباع هذه الطريقة ذلك الهواء الذى

يسيطر على التفاعلات طوال عملية النفخ فمهما ارتفعت نسبة السليكون فى الحديد الزهر فلن يزيد ذلك من المقذوفات المتناثرة خارج المحول ويرجع هذا الى الصغر النسبى فى حجم وسرعة الغازات المارة خلال شحنة الحديد بالمحول ٠

كما يمكن نفخ الحديد الزهر الذى يحتـوى على نسبة عاليـة من السليكون دون اجراء عملية الازالة مقدما قبل النفخ ٠

ويمكن تميز شعلة اللهب المتكونة فى حالة تطبيق هذه الطريقة عن تلك المتكونة فى الطريقة العادية باضاءتها الساطعة الناتجة عن احتراق الابدروجين واختفاء الأبخرة الداكنة المصاحبة لها ٠

ولا تقل درجة حرارة الغازات المتصاعدة عن ١٣٠٠° م اذ تتراوح بين ١٢٠٠ ــ ١٥٠٠° م وتتسـاوى قوة تحمل البطانة باستخدام هـذه الطريقة مع تلك التى يستخدم فيها خليط الهواء والأكسجين ويمكن اطالة عمر القواعد المصنوعة من الدولوميت بتركيب قصبات من النحاس ٠

وبحساب الموازنة الحرارية بين كمية الحرارة المتولدة من احتراق الشوائب فى الحديد الزهر وكمية الحرارة المفقودة نجد أنه يكاد يكون مستحيلا استخدام الهواء فقط فى تحويل الحديد الزهر اذا كان منخفضا فى نسبة الفوسفور حتى يصل الى درجة الحرارة المناسبة لصب الصلب فى حين أنه لاتصادفنا أية صعوبة فى تحويل نفس الحديد الزهـــر اذا استعملنا خليطا من الأكسجين والبخار بل يمكننا تحويل الحديد الزهر الذى له نفس المواصفات للحديد المستخدم فى الأفران المفتوحة ٠

ولقد ظلت تلك الدراسات مجرد أبحاث نظرية ثبت صحتها وتأكدت صلاحيتها حتى أتت الأبحاث العملية والتجارب الواقعية بالدليل القاطع وحسمت الموقف بما لايدع مجالا للشك ٠

فلقد أصبح يقينا امكانية نفخ حديد زهر الأفران المفتوحة الذى يحتوى على ٧٨ر٠ ــ ١٤ر٪ فوسفورا ، ٧ر٠ ــ ١٪ سليكونا ، ٧ر ــ ١ر١٪ منجنيزا وتصل نسبة الكبريت به الى ٠٥ر٪ باستخدام خليط من الأكسجين والبخار فى النفخ فى مصانع اناكيفر للحديد والصلب ٠ ويصل استهلاك الجبر الذى يحتوى على حـوالى ١٥٪ من وزنه جيرا غير تـام الاحتراف (حجر جيرى) الى ٣ ــ ٧ر٧٪ من وزن الحديد الزهر بينما يكون استخدام الأكســـجين واقـع ٦٥ ــ ٨٠م ٣/ دقيقـــة (٤٥ ــ ٦٠م ٣/ طن) ، ٣٠ ــ ٣٥كجم / دقيقة من بخار الماء أى أن كمية الأكسجين المنفرد تتراوح بين ٦٥ ــ ٨٠٪ وزنا ٠

ويستحسن عند استخدام هذه الطريقة أن يبطن المحول بطوب الكرومنجنزيت ويلزم لنفخ شحنة من الحديد الزهر زنتها ٥ر١٣ ـ ٥ر١٤ طنا مدة تتراوح بين ٣٨ر٦ ـ ١٢ دقيقة وفى حوالى ٥٠٪ من هذه الحالات تقل مدة النفخ عن ٨ دقائق ٠

ومما هو جدير بالذكر أن معدل تحول الحديد الزهر الى صلب يرتفع نسبيا باستخدام هذه الطريقة اذ يصل الى ٢ر١ ـ ٢ر١ طنا/دقيقة ٠

واذا كان لنا أن نضع رقما عمليا لنسبة النتروجين الذائب فى الصلب المصنوع بهذه الطريقة فانه فى المتوسط لاتزيد هذه النسبة عن ٠٠٢١ر٪ اذ تتراوح بين ٠٠١ر ـ ٠٠٠٥ر٪ ويعتبر هذا الرقم قياسيا ومثل هذا الصلب يحتوى على ٠٢٨ر٪ من الأكسجين ٠

ويكون التركيب الكيميائى للخبث فى النهاية كما يأتى :

١١ ـ ١٢ر٧١٪ ح أ ٠ ٧١ر٢ ـ ٧٨ر٥٪ ح$_{٢}$ أ$_{٣}$ ، ٨٦ر٦ ـ ٠٤ر٨٪ م أ ، ١٣ر٧ ـ ١٩ر٢٦٪ س أ$_{٢}$ ، ٩٨ر٣٢ ـ ٤٢٪ كا أ ، ٩٤ر ـ ١٩ر٢٪ فو$_{٢}$ أ$_{٥}$

أما تحليل الغازات (باستبعاد النتروجين) فيكون كالآتى :

٣٦ر٥٪ ك أ$_{٢}$ ، ٧٧٪ ك أ ، ١ر٢٪ ك بد$_{٤}$ ، ٣ر٣٪ أ$_{٢}$ ، ٣ر١٢٪ يد$_{٢}$

وباستخدام خليط من الأكسجين والبخار فى النفخ نحصل على الميزات الآتية :

١ ـ امكانية نفخ الحديد الزهر دون النظر الى نسبة الفوسفور به ٠

٢ ـ السعة الانتاجية للمحول تكون أكبر منها فى الطرق الأخرى ٠

٣ ـ تحتوى الغازات المتصاعدة على نسبة أقل من الأبخرة الداكنة ٠٠ ولذا فهى لاتحتاج لأجهزة خاصة لتنقيتها ٠

٤ ـ يضاهى الصلب المصنوع بهذه الطريقة صلب الأفران المفتوحة فى خواص ولاسيما فى قلة احتوائه على النتروجين ٠

أما عيوب هذه الطريقة فتنحصر فى ارتفاع نسبة الحديد الضائع فى الخبث كما أنه لايمكننا استغلال كمية كبيرة من الخردة هذا اذا قورنت بطريقة النفخ بالأكسجين الخالص من أعلى ٠

النفخ بخليط من الأكسجين وثانى أكسيد الكربون :

يضاف غاز ثانى أكسيد الكربون كعامل مبرد اذ يتطلب تحلل الكيلوجرام الجزيئى منه كمية من الخردة تعادل ٦٦٥٦٠ سعرا حتى يتحلل الى أول أكسيد الكربون والأكسجين أى أنه لتحلل ١م٣ من ثانى أكسيد الكربون يلزم له كمية من الحرارة تساوى

$$\frac{٦٦٥٦٠}{٤ر٢٢} = ٣٠٠٠ \text{ سعرا}$$

حيث : ٤ر٢٢م٣ = حجم الكيلوجرام الجزيئى من ثانى أكسيد الكربون ٠

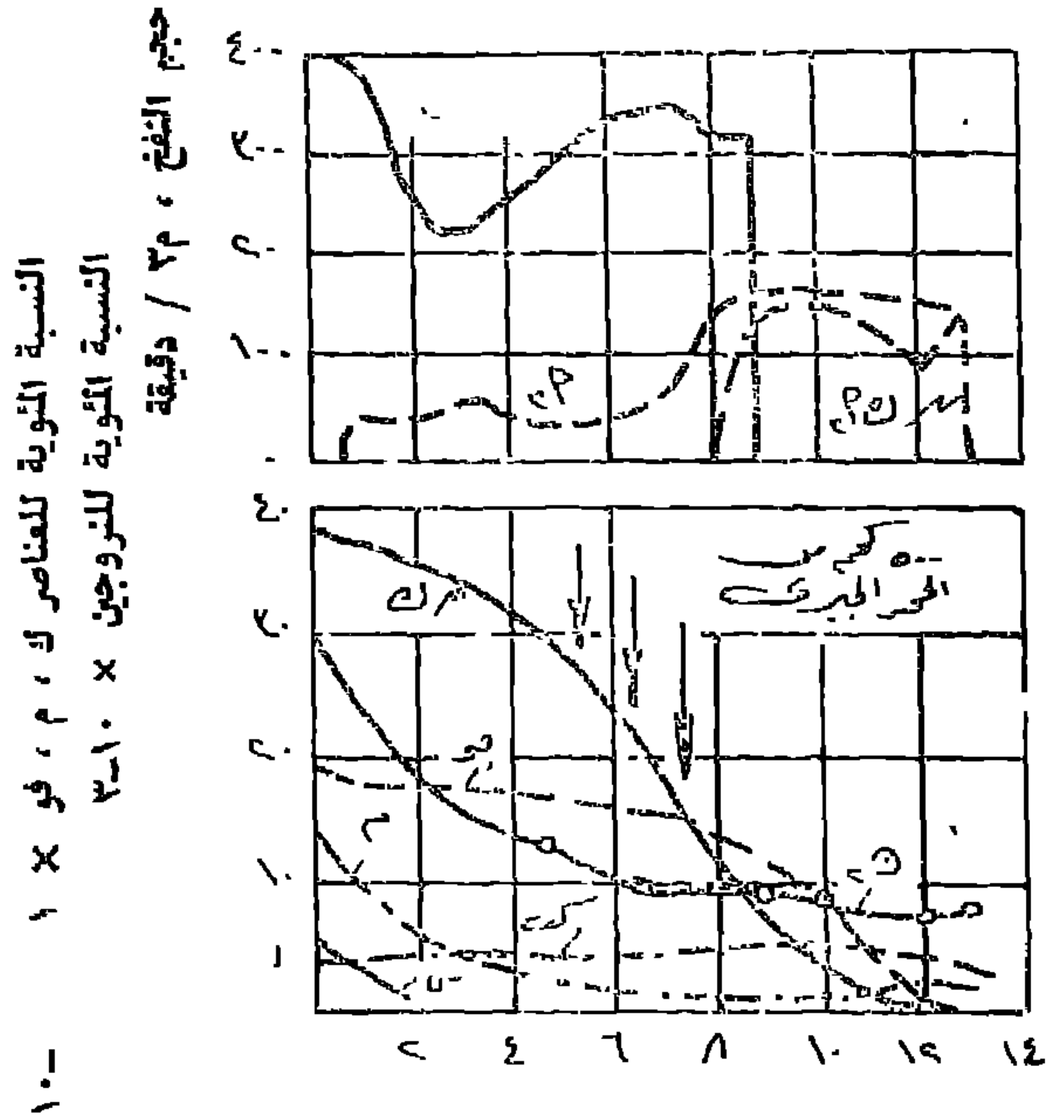
ولقد ثبت بالتجربة أن ٩٠٪ من ثانى أكسيد الكربون يتحلل باستعمال خليط منه والأكسجين فى النفخ ويفوق ثانى أكسيد الكربون البخار من ناحية التبريد وقد افترض أن ١م٣ من ثانى أكسيد الكربون يكافىء ٢٠ر٩ كجم من الخردة فى تأثيره المبرد ٠

وفى العادة يستعمل ذلك فى فترات النفخ الأولى ثم عند نهاية الفترة التى يتأكسد فيها الكربون يصير النفخ بخليط من الأكسجين وثانى أكسيد الكربون ٠ ويمكن ضبط درجات الحرارة والسيطرة عليها بالتحكم فى كمية غاز ثانى أكسيد الكربون المندفعة الى المحول عند ثبوت معدل الأكسجين المنفوخ فى الخليط ٠

ويلاحظ أن شعلة اللهب عند فوهة المحول تكون ساطعة الاضاءة جدا لارتفاع نسبة غاز أول أكسيد الكربون اذ تبلغ نسبته فى الغازات المتصاعدة ٥٥٪ وتقل نسبة النتروجين فى الصلب الى ٠٠٣ر٪ ٠

ويبين شكل (٢٧) طريقة النفخ فى محول توماس باستخدام خليط من الأكسجين وثانى أكسيد الكربون ٠ ويكون النفخ خلال ثمانى الدقائق الأولى بخليط من الهواء والأكسجين وبعد ذلك حتى النهاية يكون النفخ بخليط من الأكسجين ، كأ٢ بنسبة ١ : ١ الى ١ : ٤ر١ ٠

وسوف نتناول بالشرح والتحليل فيما بعد طريقة النفخ بالأكسجين الخالص للحديد الزهر الذى يحتوى على نسبة عالية من الفوسفور ٠



شكل (٢٧) : يوضح طريقة النفخ فى محول توماس باستخدام خليط من الاكسجين وثانى اكسيد الكربون ٠

١٠ – خواص واستعمالات صلب توماس

أصبح ميدان استخدام صلب توماس الذى ينتج بالطرق العادية محدودا وبالرغم من هذا فانه من الممكن استخدامه بنجاح فى صـــناعة الأدوات الحديدية التى تتطلب لدونة عالية ومقاومة كبيرة للتآكل وقابلية كبيرة للتشغيل ٠

ويمكن لحام هذا النوع من الصلب بواسطة اللحام التراكبى ولهذا فهو يستخدم بكرة فى صـــناعة الشرائح اللازمة لصـــناعة الأنابيب الملحومة ٠

ويستخدم هذا الصلب أيضا فى صناعة القطاعات الجانبية للمنشآت كما يستخدم فى صناعة الألواح والصفائح التى يجـــرى تشكيلهـــا على البارد ، والقضبان ، والأسلاك وغيرها من المنتجات الأخرى ٠

وباستخدام الأكسجين فى صناعة صلب توماس أصبح منافسا لصلب الأفران المفتوحة فى الخواص والجودة ويمكن استخدامه على نطاق واسع فى كثير من المجالات الصناعية فمثلا لا يختلف عن الصلب الفوار

المصنوع فى المحولات بنفخ الحديد الزهر بخليط من الهواء والأكسجين وبخار الماء فى جودته عن الصلب الفوار المصـــنوع فى الأفران المفتوحة ولذلك فهو يستخدم فى صناعة الألواح والصفائح والألواح اللازمة لعمليات التشكيل المختلفه كالسـف والدرفلة الى سرائط سواء بطرق الدرفلة على الساخن أو على البارد ٠

كما يدخل فى عمل الأنابيب ـ والأسلاك والمسامير وغيرها ٠٠٠

ويتفرد هذا النوع من الصلب ببعض المزايا فمثلا يمكننا سحب أعواد الصلب التى قطرها ٥ مم الى أسلاك رفيعة يبلغ قطرها ٠ر٣٠ ـ ٠ر١٩ مم دون حاجة الى اجراء عملية تلدين متوسطة بينما نضطر الى اجراء هذه العملية اضطرارا عند استخدام صلب الأفران المفتوحة فى عمـــل هذه الأســلاك ٠

وتمتاز المنتجات المصنوعة من هذا النوع من الصلب بخلوها من أى شقوق أو عيوب مشابهة تحط من جودتها ٠

وباجراء اختبارات المنى والقابلية للحام على هـــذا الصلب كانت النتائج طيبة ومرضيه وعلى وجه العموم فانه بتطبيق الطرق الحديثة فى صناعة صلب توماس تحسنت جودته بدرجـــة ملحوظة واتسع مجال استعماله فى حياتنا العمليه الى حد كبير ٠

١١ ـ الموازنة المادية والحرارية لشحنة توماس

أولا : الموازنة المادية

يوضح الجدول الآتى البيانات اللازمة لحساب الشحنة :

جدول (١٥)

	العنـــاصر ٪				
	ك	س	م	فو	كب
الحديد الزهر	٣ر٣٥	٠ر٣٠	١	٢	٧ ر
الصلب الناتج	٠ر٠٥	ـ	٠ر٢	٠ر٠٦	٠ر٠٥
كمية العناصر المؤكسدة	٣ ر٣	٠ر٣٠	٨ر	١ر٩٤	٠ر٠٢

هذا بفرض أن (١) ٪ الكربون قد تحول الى ثانى أكســـيد الكربون والباقى (٣٪ الكربون) قد تحول الى أول أكسيد الكربون ٠

٢ ـ الفاقد من الحديد ٢ ٪ ٠

٣ ـ اشترك ٢ ٪ من وزن بطانة المحول لتكوين الخبث ٠

٤ ـ التركيب الكيميائى للدولوميت :

مغ أ	كا أ	لو٢ أ٣	س أ٢
٣٦ر٥٪	٥٩ /	٢٪	٢ر٥٪

٥ ـ التركيب الكيميائى للجير الحى (أكسيد الكالسيوم)

ك أ٢	كا أ	لو٢ أ٣	س أ٢
٤٪	٩٣٪	١ /	٢ /

هذا مع العلم بأن الكبريت قد أريل على شكل كبريتيد المنجنيز الذى يتحول الى كبريتيد الكالسيوم (حوالى ٠٢٪ من الكبريت قد أريل) ٠

اذا / كمية المنجنيز التى ترتبط بكمية الكبريت الموجودة لتكوين كبريتيد المنجنيز :

$$= \frac{٠ر٠٢ \times ٥٥}{٣٢} = ٠٣٤ر٠ \text{ ٪ من المنجنيز ٠}$$

أما باقى المنجنيز الذى تأكسد = ٨ر − ٠٣٤ر = ٧٦٦ر ٪

ولسهولة العمليات الحسابيه نعتبر ١٠٠ كجم من الشحنة :

حساب الأكسجين اللازم لأكسدة الشوائب والأكاسيد الناتجه :

وزن الكربون الذى تأكسد الى ثانى أكسيد الكربون =

٢٥ر × ٣ر٣ = ٨٢٥ر كجم

وزن الكربون الذى يتأكسد الى أول أكسيد الكربون =

٧٥ر٠ × ٣ر٣ = ٢ر٤٧٥ كجم

والجدول الآتى يوضح كمية الأكسجين اللازمة لأكسدة الشوائب المختلفة :

جدول (١٦)

وزن الشوائب المطلوب ازالتها	المركبات	الأكسجين المطلوب / كجم	وزن الأكاسيد الناتجة كجم
ك ٨٢٥ر٠	ك أ ٢	٨٢٥ر × $\frac{٣٢}{١٢}$ = ٢ر٢	٣ر٠٢٥
ك ٢٤٧٥ر	ك أ	٢٤٧٥ر × $\frac{١٦}{١٢}$ = ٣ر٣	٥ر٧٧٥
س ٣ر٠	س أ ٢	٣ر × $\frac{٣٢}{٢٨}$ = ٣٤ر٠	٠ر٦٤٠
فو ١٩٤ر١	فو$_{٢}$ أ$_{٥}$	١٩٤ر١ × $\frac{٨٠}{٦٢}$ = ٢ر٥	٤ر٤٤٠
م ٧٦٦ر	م أ	٧٦٦ر × $\frac{١٦}{٥٥}$ = ٢٢ر٠	٠ر٩٨٦
م ٠٣٤ر	م كب	—	٠ر٠٥٤
ح ٢٠٠ر	ح أ	٢ر٠ × $\frac{١٦}{٥٦}$ = ٥٧ر٠	٢ر ٥٧
الفاقد أثناء النفخ = ٣٤ر٨		٩ر١٣	

ولتبسيط العمليات الحسابية التالية ، دعنا نتغاضى عن كمية الرطوبة الموجودة بهواء النفخ ، ولنفرض تركيب الهواء وزنا كالآتى : ـ

٢ر٢٣٪ آ ٢ ، ٨ر٧٦٪ ن ٢

اذا / كمية الهواء اللازمة لأكسدة الشوائب = $\frac{٩ر١٣}{٢٣٢ر}$ = ٣٩ر٣٥ كجم

ويساوى أيضا = $\frac{٣٩ر٣٥}{١ر٢٩}$ = ٥ر٣٠ م ٣

وذلك لكل ١٠٠ كجم من الحديد الزهر

اذا / نظريا يلزم لكل طن من الحديد الرهر ٥ر٣٠ م ٣ من الأكسجين

= ٥ر٣٠ × $\frac{١٠٠٠}{١٠٠}$ = ٣٠٥م٣

ومن الواضح أن كل ٣٩ر٣٥ كجم من الهواء نحتوى على ٩ر١٣ كجم أكسجينا ، ٣٠ر٢٢ كجم نيتروجينا فيمكننا حساب وزن الهواء النفخ كما يأتى : ـ

١ م ٣ من هواء النفخ يصبح محنويا على ٣٠٪ أ٢ ، ٧٠٪ ن٢ ٠

ويصبح وزن الأكسجين = (٣٠ر × ١ر٤٣ + ٧٠ × ١ر٢٥)
= ١٣ر كجم

فى هذا الخليط = $\frac{٣٠ر \times ١ر٤٣}{١ر٣}$ × ١٠٠ = ٣٣٪

اذا / كمية الخليط من الهواء والأكسجين المطلوب =

$\frac{٩ر١٣}{٣٣ر}$ = ٢٧ر٧ كجم

$\frac{٢٧ر٧}{١ر٣}$ = ٢١ر٣ م٣

(= ٢١٣ م ٣ لكل طن من الحديد الزهر)

ويحتوى ٢٧ر٧ كجم من هواء النفخ المزود بالأكسجين على ٩ر١٣ كجم من الأكسجين ، ١٨ر٥٧ كجم من النتروجين أى أقل بكثير من حالة الهواء المنفوخ فقط ٠

وفى حالة النفخ بخليط من الأكسجين وبخار الماء يحتوى على ٦٠٪

وزنا من الأكسجين ذى نقاوة تصل الى ٩٢٪ ، ٤٠٪ بخار ماء فان ١ كجم من هذا الخليط تحتوى على : —

١ر٠ (٦٠ × ٩٢ + ٧ر ٨) = ١٦ / ١٨ = ٨ر كجم أكسجين

وهذا بغرض أن ٧٠٪ من بخار الماء ينحلل الى عنصريه ·

نسبة وزن الأكسجين فى بخار الماء = ١٨ / ١٦

وفى هذه الحاله تكون نتيجه التحليل ٠٣ر٠ كجم من الهيدروجين لكل كجم من الخليط ·

اذا / وزن خليط الأكسجين وبخار الماء اللازم لتكوين ٩ر٣١ كجم من الأكسجين : —

= ٩ر١٣ / ٨ر = ١ر٤ كجم

ويكون فى النهاية لدينا التحليل الآتى :

٩ر١٣	كجم	أكسجينا
١ر٣٧	كجم	بخار ماء لم يتحلل
٣٤ر٠	كجم	هيدروجينا
٥٦ر٠	كجم	نتروجينا

ويبلغ وزن المتر المكعب من خليط الأكسجين وبخار الماء ١ر١٢ كجم ويمكن التوصل الى هذه النتيجة كما يلى : —

١٠٠ كجم من الخليط تشغل حجما قدره

٢ر٥٥ / ١ر٤٣ + ٨ر / ١ر٢٥ + ٤٠ / ٨٠٤ر = ٨٨ر٨٤ م٣

حيث :

١ر٤٣	=	وزن	١ م٣ من الأكسجين
١ر٢٥	=	وزن	١ م٣ من النتروجين
٨٠٤ر	=	وزن	١ م٣ من بخار الماء

اذا / كثافه الخليط = ٨٨ر٨٤ / ١٠٠ = ١ر١٢ كجم / م٣

اذا / حجم الخليط المطلوب = ١١ر٤ / ١ر١٢ = ٢ر١٠ م٣

أى أن ١٠٢ م٣ هو الحيز الذى يشغله ١ طن من الخليط

تعيين التركيب الكيميائى للخبث

يحتوى الخبث على ٢ ٪ سليكا ٠

نسبة أكسيد الكالسيوم اللازمة للاتحاد بالسليكا لتكوين المركب =

٢ كا أ ٠ س أ ٢

$$= ٠٢ر٢ \times \frac{١١٢}{٦٠} \times ١٠٠ = ٧٤ر٣٪$$

نسبة كا أ المنفردة فى الجير = ٩٣ − ٧٤ر٣ = ٢٦ر٨٩ ٪

اذا / وزن أكسيد الكالسيوم اللازم للاتحاد بالسيلكا وخامس أكسيد الفوسفور اللازم أيضا لعملية ازالة الكبريت

اللازمة للاتحاد بالسيليكا لتكوين ٢ كا ١ ٠ س أ ٢ =

$$\frac{٦٤ر٢ \times ١١٢}{٦٠} = ١ر٢ \text{ كجم}$$

اللازمة للاتحاد بخامس أكسيد الفوسفور ٤ كا أ ، فو ٢ أ ٥ =

$$\frac{٤٤ر٤ \times ٢٢٤}{١٤٢} = ٧ \text{ كجم}$$

اللازمة للاتحاد بالكبريت كا كب $\frac{٥٦ \times ٠ر٠٢}{٣٢}$ = ٠٣٥ر كجم

الوزن الكلى ٨ر٢٣٥ كجم

اذا / وزن الجير اللازم = $\frac{٨ر٢٣٥}{٨٩٢٦ر}$ = ٠٢٢ر٩ كجم

ولكن الجير يحتوى على شوائب أخرى يمكن حساب أوزانها كما يأتى :

وزن السليكا = ٢٢ر٩ × ٠ر٠٢ = ١٨٤ر٠ كجم

وزن الألومينا = ٢٢ر٩ × ٠ر٠١ = ٠٩٢ر٠ كجم

وزن أكسيد الكالسيوم = ٢٢ر٩ × ٩٣ر = ٥٧٤ر٨ كجم

ويكون نصيب بطانة المحول فى الاشتراك فى انتاج مثل هذه الشوائب كالآتى :

وزن السليكا = ٠٢٥ر × ٢ = ٠٥ر٠ كجم

وزن الألومينا = ٠٢ر × ٢ = ٠٤ر٠ كجم

وزن أكسيد بكالسيوم = ٥٩ر × ٢ ١٨ر١ كجم

وزن الماغنسيوم = ٣٦٥ر × ٢ = ٧٣ر كجم

ويمكن تنسيق ما سبق فى جدول كالآتى :

جدول (١٧)

المكونات	وزن المكونات نتيجة أكسدة الشوائب	وزن المكونات من أكسيد الكالسيوم كجم	وزن المكونات من بطانة المحول / كجم	الوزن الكلى	النسبة المئويه
س أ ٢	٦٤ر	١٨٤ر	٠٥ر	٨٧٤ر	٤ر٥
لو ٢ أ ٣	—	٠٩٢ر	٠٤ر	١٣٢ر	٦٦ر
كا أ	—	٨ر٥٧٤	١ر١٨	٩ر٧٥٤	٥٠
مع أ	—	—	٧٣ر	٧٣ ر	٣ر٧٤
فو ٢ أ ٥	٤ر٤٤	—	—	٤٤ ر٤	٢٢٧٥
م أ	٠ر٩٨٦	—	—	٩٨٦ر	٥ر٠٥
ح أ	٢ر ٥٧	—	—	٢ر ٥٧	١٣ر٢
كب	٠ر ٠٢	—	—	٠ر ٠٢	٠١ر
المجموع الكلى			٧٣ر	١٩ر٥٠٦	٪١٠٠

تركيب الغازات

هواء النفخ ك أ ٢ ٣ر٠٢٥ كجم

من الحجر الجيرى :

ك أ ٢ = ٠ر٠١ × ٩ر٢٢ × ٤ = ٠ر٣٧ كجم

ثانى أكسيد الكربون الكلى

= ٣ر٣٩٥ كجم = $\frac{٣ر٣٩٥ \times ٢٢ر٤}{٤٤}$ = ١ر٧٣ م٣ ٠٠٠٠ر٦٦ر٥ ٪

ك أ = ٧٧٥ر٥ كجم = $\frac{٧٧٥ر٥ \times ٢٢ر٤}{٢٨}$ = ٤ر٦٢ م٣ ٠٠٠٠ر١٤ر١٥ ٪

ن ٢ = ٣٠ر٢٢ كجم = $\frac{٣٠ر٢٢ \times ٢٢ر٤}{١٨}$ = ٢ر٢٤م٣ ٠٠٠٠ر٢ر٧٩ ٪

المجموع ٣٩ر٣٩ كجم ٣٠ر٥٥ م٣ ١٠٠٪

وعندما تكون درجة تزويد الهواء بالأكسجين مساوية ٣٠٪ يصبح تركيب الغازات كما يلى : ـ

ك أ ٢ = ٣ر٣٩٥ كجم = ١ر٧٣ م٣ ٠٠٠٠ر٢٠ر٨ ٪

ك أ = ٧٧٥ر٥ كجم = ٤ر٦٢ م٣ ٠٠٠٠ر٨٠ر٢١٪

ن ٢ = ١٨ر٥٧ كجم = ١٤ر٨ م٣ ٠٠٠٠٠ ٧٠ ٪

المجموع ٢٧ر٧٤ كجم ٢١ر١٥ م٣ ١٠٠٪

وفى حالة تزويد هواء النفخ بخليط من الأكسجين وبخار الماء يصبح تركيب الغازات الناتجة : ـ

ك أ٢ = ٣ر٣٩٥ كجم = ١ر٧٣ م٣ ١٤٪

ك أ = ٧٧٥ر٥ كجم = ٤ر٦٢ م٣ ٣٧ر٧٪

يد أ٢ = ١ر٣٧ كجم = ١ر٧ م٣ ١٣ر٨ ٪

يد ٢ = ٣٤ر٠ كجم = ٣ر٨ م٣ ٣٠ر٨٪

ن ٢ = ٥٦ر٠ كجم = ٤٥ر٠ م٣ ٣ر٧ ٪

المجموع ٤٤ر١١ كجم = ١٢ر٣ م٣ ١٠٠ ٪

ويمكننا وضع الموازنة المادية فى جدول للسهولة والتوضيح

جدول (١٨)

الشحنة			النواتج		
	هواء	هواء + أكسجين	هواء + أكسجين + بخار ماء		هواء	هواء + أكسجين	هواء + أكسجين + بخار ماء
حديد زهر	١٠٠	١٠٠	١٠٠	صلب	٩٠٫٦٦	٩٠٫٦٦	٩٠٫٦٦
هواء النفخ	٣٩٫٣٥	٢٧٫٧	١١٫٤	غازات	٣٩٫٣٩	٢٧٫٧٤	١١٫٤٤
الجير	٩٫٢٢	٩٫٢٢	٩٫٢٢	خبث	١٩٫٥١	١٩٫٥١	١٩٫٥١
البطانة	٢	٢	٢	المقذوفات الحديدية	١	١	١
				الفروق	٠٫٠١	٠٫٠١	٠٫٠١
	١٥٠٫٥٧	١٣٨٫٩٢	١٢٢٫٦٢		١٥٠٫٥٧	١٣٨٫٩٢	١٢٢٫٦٢

وقد وجد عمليا أنه أثناء صـــــناعة الصلب يفقد منه ٨ر٣٤ كجم كمقذوفات حديدية ، ١ كجم كصـــلب ضائع فى الخبث اى أن الناتج = ١٠٠ - ٨ر٣٤ - ١ = ٩٠ر٦٦ كجم

ثانيا : الموازنة الحرارية

أولا الحرارة الداخلة الى المحول

١ ـ الحرارة المحتـــواة فى الحديد الزهـــر = ١٠٠ (١٧٨ر٠ × ١١٣٠ + ٥٢ + ٢٦ر٠ (١٢٣٠ - ١١٣٠) = ٨٠٠ر٢٧ سعرا

حيث : ١١٣٠ = درجة انصهار الحديد الزهر القاعدة ٥ م

١٧٨ر٠ = السعة الحرارية للحديد الزهر قبل الانصهار سعرا / كجم ٥م ٠

٥٢ = الحرارة الكامنة اللازمة للانصهار سعرا / كجم

٢٦ر٠ = السعة الحرارية للحديد الزهر المنصهر سعرا / كجم٥م

١٢٣٠ = درجة حرارة الحديد الزهر المشحون بالمحول ٥ م

٢ ـ الحرارة المحنواة فى هواء النفخ :

(درجة حرارة هواء النح = ٥٠٥م

= ٧ر٢٧ × ٢٣٣ر٠ × ٥٠ = ٣٢٢ سعرا

وعندما يكون النفخ بالهواء المزود بخليط من الأكسجين وبخار الماء عند درجة ١٨٠ ـ ٢٠٠ ٥م (الوزن الكلى للخليط ٤ر١١ كجم ، يحتوى على : ٦ر٠ × ٤ر١١ = ٨٤ر٦ كجم من الاكســـجين ، ٥٦ر٤ كجم من الاكسجين تحتوى على ٩٢/ فقط من الاكسجين النقى = ٨٤ر٦ = ٨٤ر٦ × ٩٢ر = ٢٨ر٦ كجم اكسجينا ، ٥٦ ر كجم نتروجينا ٠

٥٦ر٤ كجم من بخار الماء يتحلل منهـــا ٧٠/ أى وزن بخار الماء المتحلل = ١٩ر٣ كجم وهذه الكمية تعطى مقدارا من الأكسجين يساوى :

$$\frac{١٩ر٣ \times ١٦}{١٨} = ٨٥ر٢ \text{ كجم أ ٢ ، } ٣٤ر٠ \text{ كجم من الايدروجين}$$

ونتيجة لهذا تتكون عندنا الكمية المطلوبة من الأكسجين والتى تساوى ٢٨ر٦ + ٨٥ر٢ = ١٣ر٩ كجم أ٢

السعة الحرارية = ٢٠٠ (٢٨ر٦ × ٢٢٣ر٠ + ٥٦ر × ٢٤٩ر + ٥٦ر٤ × ٤٥٢ر = ٧٢٠ سعرا

حيث ٠ر٢٢٣ = السعة الحرارية للأكسجين عند ٥٢٠٠٠ م سعرا/ كجم ٥م

٠ر٢٤٩ = السعة الحرارية للنتروجين عند ٢٠٠ ٥م سعرا / كجم ٥م

٠ر٤٥٢ = السعة الحراريه لبخار الماء عند ٢٠٠ ٥م سعرا / كجم ٥م

٣ ـ الحرارة المتولدة من تأكسد الكربون الى أول أكسيد الكربون وثانى أكسيد الكربون

= ٨٢٥ × ٨ر١٣٧ + ٢ر٤٧٥ × ٢٤٥٢ = ١٢٧٦٥ سعرا

٤ ـ الحرارة الناتجة عن تأكسد وتخبيث السليكون الى كا أ ٠س أ

= ٠ر٣ × ٧ر٤٢٨ = ٢٢٢٧ سعرا

٥ ـ الحرارة الناتجة عن تأكسد وتخبيث الفوسفور الى (كا أ) ٤ فو ٢ أ

= ١ر٩٤ × ٨٥٥٥ = ١٦٦٠٠ سعرا

٦ ـ الحرارة الناتجة عن أكسدة المنجنيز :

٠ر٧٦٦ × ١٧٥٨ = ١٣٤٧ سعرا

الحرارة الناتجة عن تأكسد الحديد

= ١١٩١ × ٢ = ٢٣٨٢ سعرا

ثانيا الحرارة الخارجة من المحول

١ ـ الحرارة المحتواة في الصلب

= ٦٦ر٩٠ (١٦٧ر × ١٥٠٠ + ٦٥ + ٢ر (١٦٥٠ − ١٥٠٠)

= ٣١٢٧٨ سعرا

حيث : ١٦٧ر = السعة الحرارية للصلب قبل نقطة الانصهار سعرا / كجم ٥م

١٥٠٠ = نقطة انصهار الصلب ٥م

٦٥ = الحرارة الكامنة اللازمة للانصهار سعرا / كجم

٠ر٢ = السعة الحرارية للصلب المنصهر سعرا / كجم / ٥م

١٦٥٠ = درجة الحرارة للصلب الناتج ٥م

٢ ـ الحرارة المحتواة فى الخبث

= ٥٠٦ر١٩ × (٢٩٤ر٠ × ١٦٥٠ + ٥٠) = ١٠٤٥٠ سعرا

حيث ٢٩٤ر٠ = السعة الحرارية للخبث سعرا / كجم / ٥م

٥٠ = الحرارة الكامنة للانصهار سعر / كجم

٣ ـ كمية الحرارة التى تحملها الغازات المتصاعدة من المحول عند ١٤٠٠ ٥م (النفخ بالهواء)

ك أ ٢ ١ر٧٣ × ٥٣٤ × ١٤٠٠ = ١٢٩٠ سعرا

ك أ ٢ ٤ر٦٢ × ٣٢٩ر × ١٤٠٠ = ٢١٣٠ سعرا

ن٢ ٢ر٢٤ × ٣٢٩ر × ١٤٠٠ = ١١١٤٧ سعرا

المجموع ١٤٥٦٧ سعرا

(النفخ بالهواء والأكسجين) :

ك أ ٢ ١٢٩٠ سعرا

ك أ ٢١٣٠ سعرا

ن ٢ ١٤ر٨ × ٣٢٩ × ١٤٠٠ = ٦٨٠٠ سعرا

ك أ ٢ ١٢٩٠ سعرا

ك أ ٢١٣٠ سعرا

ن ٢ ١٤ر٨ × ٣٢٩ × ١٤٠٠ = ٦٨٠٠ ســـعرا

المجموع ١٠٢٢٠سعرا

باستخدام خليط من الأكسجين والبخار مع الهواء :

ثانى أكسيد الكربون ١٢٩٠ سعر

أول أكسيد الكربون ٢١٣٠ سعر

ن٢ ٠ر٤٥ × ٣٢٩ × ١٤٠٠ = ٢٠٦

يد ٢ أ ١ر٧٠٠ × ٠ر٤٣٤ = ١ر٠٣٠ كالورى

يد ٢ ٣ر٨٠٠ × ١ر٤٠٠ = ١ر٧٥٠ كالورى

ويكون تحليل حرارة البخار : =

٢٨ر٩٥٠ × ٠ر٣٤ = ٩ر٨٤٠ كالورى

ويوضح جدول (١٩) الاتزان الحرارى وتكون الفواقد نتيجـــة الاشعاع وتحلل الجير تحت الاحتراق وبعض كمبات معملية أخرى حتى ٥ ٪ ويستخدم لاختلاف لايجاد الحرارة الفائضة التى يمكن استخدامها فى صهر الخردة ٠

وتكون الفواقد الكبيرة مع غازات المحـولات الهـاربة والموجودة مع الهواء اللافح ٠

ويكون التأثير الحرارى على الحمام نتيجة خليط من ٦٠ / ـ ٩٠٪ أكسجين نقى ، ٤٠٪ أبخرة مختلفة ولكن قليلا من الهواء اللافح ـ وأقصى كمية من الخردة يمكن صهرها مع الهواء اللافح الفنى بالأكسجين لا تتعدى ٣٠ ٪

الحرارة الداخلة

جدول (١٩)

الاستهلاك	الهواء اللافح		الهواء اللافح الغنى بالأكسجين		بخار الماء والأكسجين فى الهواء اللافح	
	كالورى	٪	كالورى	٪	كالورى	٪
حرارة انصهار الحديد الزهر	٢٧ر٨٠٠	٤٣ر٧	٢٧ر٨٠٠	٤٣ر٩	٢٧ر٨٠٠	٣ر٦
حرارة الهواء اللافح	٤٥٨	٠ر٧	٣٢٢	٠ر٥	٧٢٠	١ر١
حرارة أكسدة الكربون	١٢ر٧٦٥	٢٠ر١	١٢ر٧٦٥	٢٠ر٢	١٢ر٧٦٥	٢٠ر٠
أكسدة وتجليخ السليكون	٢ر٢٢٧	٣ر٥	٢ر٢٢٧	٣ر٥	٢ر٢٢٧	٣ر٥
أكسدة وتجليخ الفوسفور	١٦ر٦٠٠	٢٦ر٢	١٦ر٦٠٠	٢٦ر٢	١٦ر٦٠٠	٢٦ر٢
أكسدة المنجنيز	١ر٣٤٧	٢ر١	١ر٣٤٧	٢ر١	١ر٣٤٧	٢ر١
أكسدة الحديد	٢ر٣٨٢	٣ر٧	٢ر٣٨٢	٣ر٦	٢ر٣٨٢	٣ر٧
	٦٣ر٥٧٩	١٠٠ر٠	٦٣ر٤٤٣	١٠٠ر٠	٦٣ر٨٤١	١٠٠ر٠

جدول (١٩) ملحق

الاستهلاك	الهواء اللافح		الهواء اللافح الغنى بالاكسجين		بخار الماء والاكسجين فى الهواء اللافح	
	كالورى	٪	كالورى	٪	كالورى	٪
حرارة انصهار الصلب	٣١ر٢٧٨	٤٩ر٢	٣١ر٢٧٨	٤٩ر٤	٣١ر٢٧٨	٤٩ر٠
حرارة الخبث	١٠ر٤٥٠	١٦ر٤	١٠ر٤٥٠	١٦ر٥	١٠ر٤٥٠	١٦ر٤
حرارة الغازات	١٤ر٥٦٧	٢٢ر٩	١٠ر٢٢٠	١٦ر١	٦ر٤٠٦	١٠ر٠
تحلل بخار الماء	—	—	—	—	٩ر٨٤٠	١٥ر٤
الاشعاع والفواقد الحرارية الأخرى	٣ر١٧٩	٥ر٠	٣ر١٧٢	٥ر٠	٣ر١٩٢	٥ر٠
الحرارة الفائضة المستخدمة لصهر الخردة	٤ر١٠٥	٦ر٥	٨ر٣٢٣	١٣ر٠	٢ر٦٧٥	٤ر٢
	٦٣ر٥٧٩	١٠٠ر٠	٦٣ر٤٤٣	١٠٠ر٠	٦٣ر٨٤١	١٠٠ر٠

الفصل السادس

الطريقة العلوية للنفخ فى المحولات

مما لا شك فيه أن أ أهم ما يعيب صلب المحولات المصنوع بطريقه النفخ السلفيه بالهواء هو الفقـــاقة الزائدة خاصه عند درجات الحـــرارة المنخفضة ·· كما أن ميل هذا الصنب يعطى ميلا واضحا لظاهرة الأزمان (الانخفاض فى تحمله للصدمات) أثناء فترة استخدامه وتشغيله وقابليه ضعيفة للحام بالكهرباء ·

والسبب الرئيسى لظهـور مـــل هـــده العيوب هو ارتفـــاع نسبة النتروجين والأكسجين والفوسفور وكثير من الشوائب غير المعدنية اذا قورن هذا الصلب بصلب الأفران المفتوحة ·

والى جانب هـــذا فان محـــول بسمر ذا البطانة الحامضيه يمكن استخدامه لنفخ الحديد الزهر المحتوى على نسبة منخفضة من الكبريت والفسفور بينما يجب أن يحتوى الحديد الزهر النوماسى على نسبة عالية من الفوسفور ·

وفى كلتا الطريقتين فانه يلزم لنا تركيب كيميائى خاص ومحدود للمواد الخام الأمر الذى يضع استغلال الخامات والمواد الأولية اللازمة لهذه الصناعة فى أضيق الحدود ·

وباستخدام الأكسجين الخالص لنفخ الحديد الزهر من أعلى المحول أصبح فى الامكان الحصـــول على صلب يحتـــوى على نسبة منخفضة من النتروجين ، الأكسجين ، ويتم النفخ فى محول قاعدى البطانة ذى قاعدة حـــماء ·

ولقد أصبح من المسلم به أن الصلب الناتج بهذه الطريقة لا يقل فى جـودته بأى حال من الأحـــوال عن نظيره المصـــنوع فى الأفـــران المفتوحة ·

١ ـ المبادىء الأساسية لطريقة النفخ العلوية

فى هذه الطريقة تصب شحنة الحديد الزهر فى محول ذى قاعدة صماء ثم تضاف كمية الجير اللازمة وخام الحديد بعد ذلك يوجه تيـار الأكسجين على سطح المعدن خلال ودنات تبرد بالماء (مائية التبريد) ذات فوهات نحاسية ٠

ويضبط وضع الفوهات على ارتفاع محدد من سطح المعدن ثم يسلط على المعدن تيار الاكسجين الذى تبلغ درجة نقائه أكثر من ٩٩٪ وتحت ضغط حوالى ١٠ ـ ١٤ ضغطا جويا (مقيسا بجهاز الضغط) ٠

وتتوقف كمية الاكسجين على شحنة الحديد بالمحول وأيضا على حجم وشكل الفوهات المستخدمة فمثلا لنفخ ٢٥ر٥ طنا من الحديد الزهر يوجه تيـار الأكسجين بمعدل ٦٥ ـ ٨٠م٣ فى الدقيقـة خلال فوهة دائرية قطرها ٤٢ مم ٠

واذا كان وزن الشحنة ٣٧ طنا كانت كمية الأكسجين المطلوبة بين ١٤٠ ـ ١٦٠ م ٣/دقيقة ٠

ويتغير معدل سريان الاكسجين تبعا لتغير فترة وطبيعة الحرارة ٠

وفى خلال عملية النفخ يتخلل تيار الأكسجين طبقات المعدن وتتكون منطقة للتفاعلات (شكل ٢٨ ـ أ) حيث ترتفع درجة الحرارة فيها الى حوالى ٢٤٠٠° م وتتعرض جزئيات المعدن للأكسجين فى منطقة التفاعلات فتتأكسد مباشرة عن آخرها ويكون نتيجـة لتأكسد الحديد والشوائب الأخرى الموجودة بالحديد الزهر تكون : ح أ ، س أ٢ ، م أ ، فو٢ أ٥ ، ك أ ولأكاسيد الحديد المتكونة قدرة كبيرة على الحركة بسرعة مما يساعد على أكسدة الشوائب الموجـودة فى المنـاطق الموجـودة بجانب منطقـة التفاعلات ٠

وباستمرار تدفق تيار الاكسجين وانبعاث كمية كبيرة من غاز أول أكسيد الكربون تتحرك أكاسيد الحديد بسرعة خلال المعدن ويؤدى هذا الى خلط كمية الشحنة وتجانسها جيدا ٠

واذا احتوى الحديد الزهر على ٣ر٥٪ كربونا يتصاعد ١ر٨٠ حجما من أول أكسيد الكربون عند ٥١٥٠٠ م لكل حجم من الاكسجين المنفوخ عند الصفر المئوى ٠

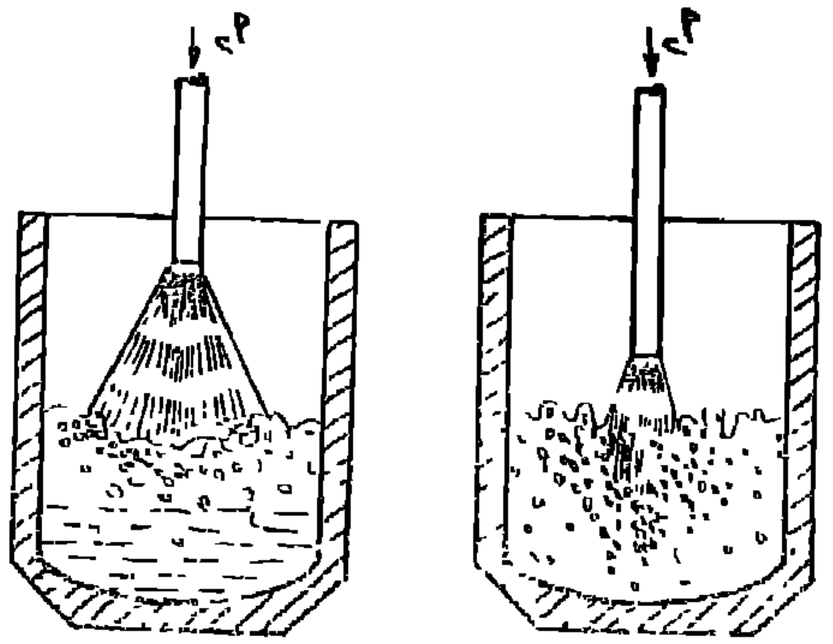
وفى طريقة النفخ العلوية تتأكسد الشوائب الموجودة بالحديد الزهر اما مباشرة بالأكسجين أو خلال الخبث ويمكن التحكم فى النسبة بين

الطريقين (طريقه التأكسد المباشر وغير المباشر) بتغيير معـدل سريان الأكسجين فكلما زاد سريان الاكسجين واقتربت ودنات النفخ من سطح المعدن زاد اختراق تيار الاكسجين لطبقاته وكانت التفاعلات التى تتم بالأكسدة المباشرة أكثر نشاطا · وعندما ينخفض معدل تدفق الاكسجين وتضبط ودنات النفخ عاليا فوق سطح المعدن تصبح منطقة التفاعلات ضحلة (شكل ٢٨) وتفاعلات الأكسدة عند السطح أكبر بسبب تشتت الأكسجين على مساحة كبيرة من سـطح المعدن وفى هـذه الحالة تزداد اكاسيد الحديد فى الخبث ويصبح الخبث عندئذ سببا لتفاعلات الأكسدة غير المباشرة ·

وبضبط معدل تدفق الأكسجين وارتفاع ودنات النفخ يمكننا التحكم فى كمية أكاسيد الحديد بالخبث الذى يحتوى على أكسيد الحديدوز ·

وتكوين خبث الجير الحديدى فى بادى العملية يساعد كثيرا على ازالة الفوسفور بغض النظر عن كمية الكربون الذى يحتويها المعدن وفى هذه الطـريقة يتأكسـد الفوسـفور فى نفس الوقت الذى يتأكسـد فيه الكربون ·

ولما كان النفخ بالأكسجين الخالص فان غازات المحول المتصاعدة لا تحتوى بالمرة على أى نتروجين ولهذا السبب تقل كمية الحرارة المفقودة فى هذه الطريقة عن تلك المفقودة فى طريقة بسمر وتوماس وينتفع بكمية الحـرارة الزائدة فى صـهر كمية من الخـردة أو اختزال مقدار من خام الحديد ·



شكل (٢٨) : يبين منطقة التفاعلات فى حالة

ا ـ قصبة دفع الأكسجين فى وضع معتاد عن سطح المعدن

ب قصبة دفع الأكسجين فى وضع مرتفع عن سطح المعدن

كمـا سبق بمكنا نفخ الحديد الزهر الخالص بالأفران المفتوحة والبارد كيميائيا · وتقدم لنا طريقة النفخ العلوية للحديد الزهر بالأكسجين الخالص المزايا الآتية :

١ ـ بساطه التصميم فى صنع المحولات اذ اننا لسنا بحاجة الى قواعد قابله للفك والتركيب كما تدوم الودنات مائبة التبريد الى تمد المحول بالأكسجين اللازم لفترة طويلة (أكثر من ١٠٠ صبة) ·

٢ ـ ازالة الفوسفور بنجاح مهما كانت كمية الكربون بالصلب ·

٣ ـ انخفاض نسبة النتروجين والأكسجين بالصلب الناتج ·

٤ ـ مناسبة الصلب الناتج بهذه الطريقة صلب الأفران المفتوحة فى خواصه الميكانيكية وطرق تشغيله ·

٥ ـ زيادة الفرصة لصهر الانواع مختلفة من الخامات الأوليه اللازمة لصنع الحديد المطاوب ·

٦ ـ امكانية صهر الخردة واحتزال كميه كبيرة من خام الحديد مما يؤدى الى رفع الكفاية الانتاجية للصلب الناتج ·

٧ ـ راس المال اللازم لصناعة هذه المحولات أقل من رأس المال المطلوب لصنع الأفران المفتوحة والتى لهـا نفس السـعة الانتاجية للمحولات ·

٨ ـ كبر سـعة المحول ·

ولا يعيب هـذه الطريقة الا غزارة انبعاث الأبخـرة الداكنة والتى تحمل معها الدقائق الصغيرة من الجير وخلافه ولهذا فانه من الواجب تشييد وحدة خاصة لتنقية هذه الغازات ·

٢ ـ تصميم المحول ذى النفخ العلوى

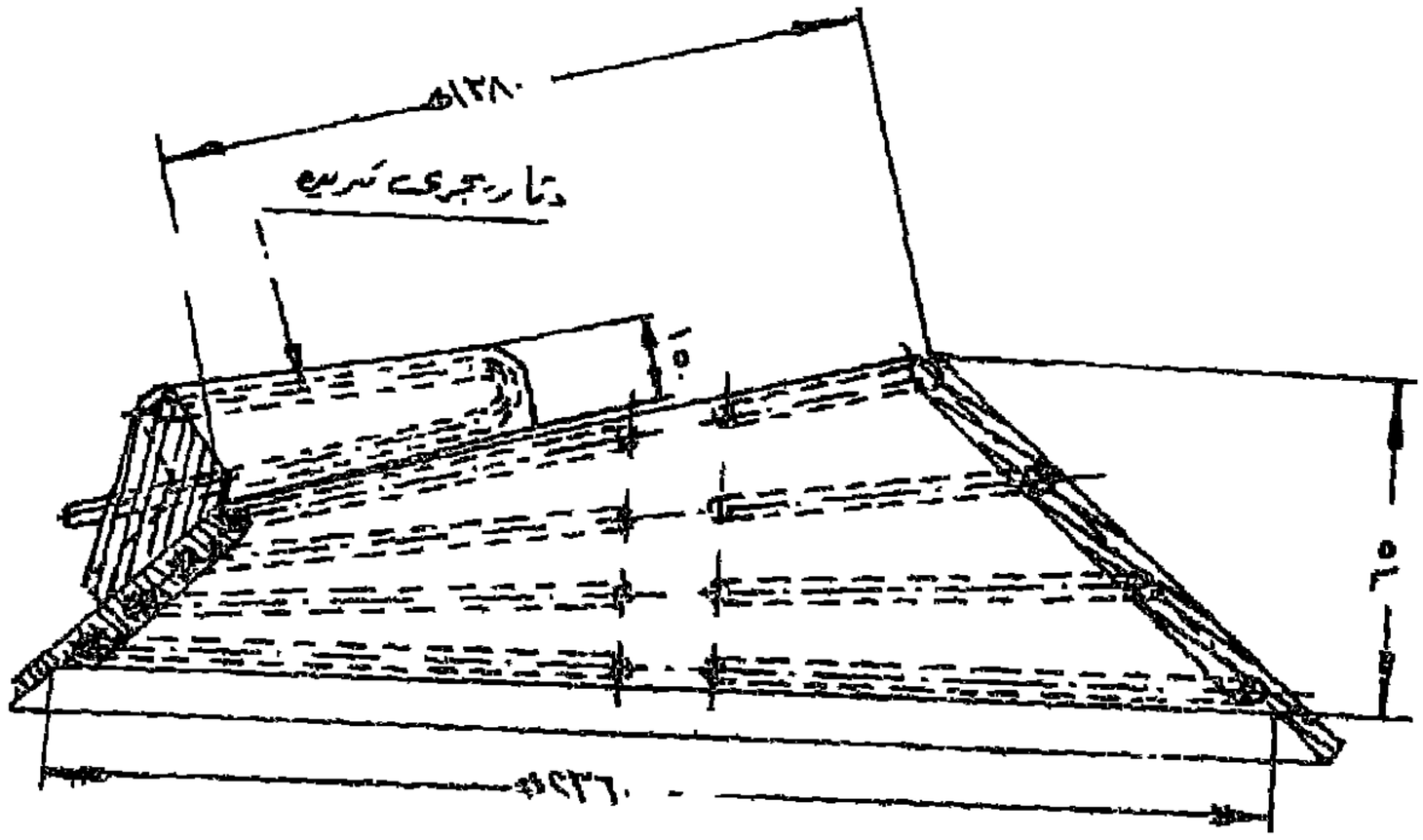
ومن ناحيه التصميم لا يوجد هناك أى تباين بين هذا النوع من المحولات وبين محولات بسمر بيد أن هـذا النوع لا يحتاج الى ودنات للنفخ . أو الى صندوق الهواء اذا أن قاعدته صماء ·

ولسهولة عمليات الصيانة فانه فى العادة تصنع هذه القاعدة بحيث يمكن فصلها وتركيبها كيفما نشاء ·

فـــوهة المحـــول :

تشبه تماما فوهه المحول العادى أى قاعدى النفخ وتزاح قلـــلا بالنسبة الى محور المحول حتى يكون تفريغ (صب) المعدن اكثر يسرا وســـهولة ٠

وفى احدى الوحدات الصناعية للاتحاد السوفيتى تستخدم محولات ذات فوهات تحتوى على أنابيب بها مياه تبريد دورية ٠



شكل (٢٩) : استعمال المياه فى تبريد فوهة المحول ٠

وتمتاز مثل هـذه الفوهات بعدم تعرضها للحـريق وباحتفاظها بأبعادها الأساسية خلال العمل كما يمكن تنظيفها بسهولة مما يعلق بها من بقايا المعدن والخبث (ببر) ٠

لفوهة هذا النـوع من المحولات نفس الابعاد التى لفوهة محـولات بسمر وتوماس . ولأبعاد فوهة المحول تأثير كبير فى كمية النتروجين الممتص فى الصلب الناتج . فاذا كان قطر الفوهه كبيرا أدى ذلك الى اتاحة الفرصة لاختلاط الهواء الجوى بالمعدن ويذوب كبر من النتروجين بالمعدن الذى يكون عند درجة حرارة عالية جدا ٠

ويحدد سعتها حجم المقذوفات الحديديه التى يلفظها المحول خارجه ومنها تحدد الكفاية الانتاجية للصلب الناتج تبعا لاتساع فوهة المحول ٠

وقد لاحظ عمال المسبك فى احدى مصانع الصلب بهذه الطريقة أن أعلى كفاية انتاجية لمحول حجمه ٥ر١٦م٣ يسع ٢٠ طنا يمكن الحصول عليها اذا تراوح قطر فوهة المحول بين ١٣٠٠ ـ ١٦٠٠ مم ٠

وينفخ الأكسجين على الحديد الزهر بمعدل ٥٥ ـ ٦٠م٣ تكون كفاءته أعلى من الكفاية الانتاجية لنفس المحول اذا كان قطر فوهته ١٦٠٠ مم ٠

وفى المحول الأول الذى يبلغ قطر فوهته ١٣٠٠مم تتراوح نسبة النتروجين فى الصلب المنتج بين ٠٠٥ر ـ ٠٠٧ر٪ بينما تتراوح هذه النسبة بين ٠٠٦ر ـ ٠٠٩ر ٪ فى المحول الذى يبلغ قطر فوهته ١٦٠٠ ميلليمتر ٠ وهذه النقطه لها أهميتها ٠

ويجب ان يوضع فى الاعتبار عند تصميم المحول أن يكون شكل وأبعاد فوهة المحول مناسبة حتى نسمح لصب الحديد الزهر فيه بسهولة ويكون الفاقد منه أقل ما يمكن ٠

وفى العادة يصمم المحول المعد لنفخ الأكسجين والذى يسع ٢٤ ـ ٤٠ طنا بحيث يكون القطر الخارجى لفوهته بين ١ر٥ ـ ١ر٨ مترا ٠

وقد وجد أن أنسب طول للقطر الداخلى لفوهة محول من هذا النوع سعته ٦٠ طنا هو ١٥٠٠مم ٠

بطانة المحول وعمر مدة أدائها :

يمكن صنع طبقة البطانة التى تتعرض مباشرة للمعدن من طوب الدولوميت المخلوط بالقطران كمادة لاصقة أو من طوب المجنزيت القارى الذى لم يتعرض للحريق بعد ، أو من طوب المجنزيت العادى الذى تم حرقه كما يمكن استعمال الطوب عالى الجودة (ذى الأداء الممتاز) الذى له صمود كبير للحرارة وأنواع الطوب الحرارى الخاصة كالكرومجنزيت ٠

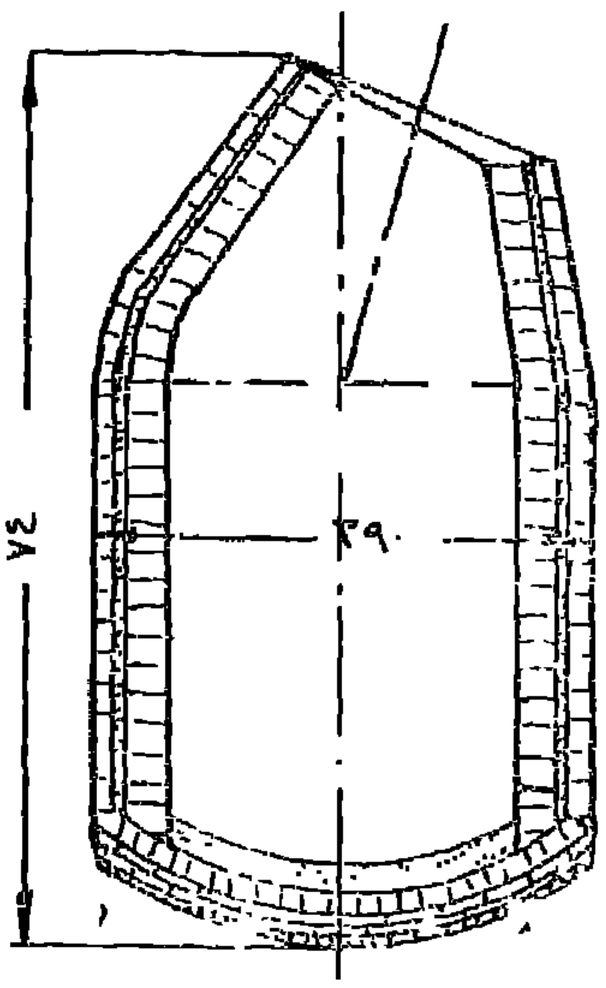
وهذه المواد الحرارية قد بحثت تفصيلا فيما سبق ٠

ومن المعقول جدا أن تكون بطانة المحول فى وضع رأسى على طبقتين احداهما داخلية وملاصقة للمعدن والأخرى أساسية (طبقة وافية لهيكل المحول) ويملأ الفراغ بين الطبقتين دكا بطبقة من الدولوميت أو خليط من المجنزيت والقار ٠

وبهذه الطريقة تتعرض الطبقة من الدولوميت الداخلية والمواجهة للمعدن للتآكل وربما تستهلك عن آخرها دون أن تتعرض باقى البطانة للتآكل فتزداد مدة أدائها وفى المحولات صغيرة الحجم قد نستخدم أحيانا طبقة مفردة فى التبطين ولكنها لا تترك حتى تستهلك عن آخرها خوفا على هيكل المحول ٠

وهذا يعجل بنهاية المواد الحرارية المستخدمة ، وفى بعض الأحيان ، يبطن المحول فى المنطقة التى يبلغ التآكل فيها قيمة العظمى بطوب المجنزيت ذى الأداء الممتاز والذى له درجة صمود عالية أمام الحرارة بينما يبطن باقى المحول بطوب المنجنزيت العادى ٠

ويبلغ سمك الطبقة المعرضة للمعدن فى البطانة المزدوجة (ذات الطبقتين) لمحول سعته ٣٠ ــ ٤٥ طنا ــ ٤٠٠ مم ٠ وعادة يكون سمك الطبقة الأساسية ٢٥٠ مم أى أن السمك الكلى للطبقتين معا حوالى ٦٠٠ ــ ٦٥٠ مم ٠



شكل (٣٠) : محول اكسجين النفخ

ويبلغ السمك الكلى للبطانة المزدوجة لمحول يسع ٦٧ طنا (٥٤ــ٨١) ٩٦٥مم وتعمل الطبقة الأساسية لبطانة المحول من طوب المجننزيت كما تصنع الطبقة المعرضة للتفاعلات المختلفة فى المعدن المنصهر من طوب الدولوميت المقطرن ٠

ويتأثر عمر البطانة بالعوامل المختلفة الآتية :

١ ــ نوع الحراريات المستخدمة فى صنع البطانة ٠
٢ ــ نوع طوب الحراريات ٠
٣ ــ الحجم النوعى للمحول ٠
٤ ــ قطر المحول ٠

٥ ـ طريقة التشغيل ودرجه الحرارة عند النفخ ، ومعـدل نكون الخبث . وضغط الأكسجين ومعدل استهلاكه . وارتفاع قصبات النفخ فوق سطح المعدن ، كمية السليكون بالحديد الزهر ٠٠ الخ ٠٠٠

٦ ـ محاذاة محور الودنات مع المحور الهندسى الرأسى للمحول ٠

ولقد اجريت أبحاث واسعه لاختيار عمر بطانة (طبقة البطانة) المعرضه للتشغيل لمحولات ٣٠ ـ ٤٠ طنا وكانت هذه الطبقه من البطانة مصنوعة من الدولوميت المفطرن وطوب المجنزيت المفطرن وكانت لهذه الابحاث اهمية بالغه اذ ثبت ان هذه الطبقه يمكنها الصمود حتى ٢٥٠ صبه بينما فى حاله المحولات سعه ٤٥ طنا والمصنوعه من طوب المجنزيت العادى فانها تتداعى بعد ٢٠٠ صبة فى حين انه فى المحولات ٣٠ ـ ٣٥ طنا والمبطنة بطوب المجنزيت الخاص ذى الكثافة العالية والذى له مقاومة شديدة للصدمات الحرارية ودرجة التفكك الديناميكى له أعلى من ١٨٠٠٥م فان هذا النوع من البطانة يصمد حتى عمر ٥٠٠ صبة ٠

وتستمر الطبقة الأساسية للبطانة فى جميع المحولات ذات البطانه المزدوجـة لعدة مرات تغيير البطانه الداخلية ، طـوب الكرومجنزيت المزدوجة لعدة مرات تغيير البطانة الداخلية . ويستخدم طوب الكرومجنزيت لصناعة البطانة المفردة فى المحولات التى تسع ٢٥٫٥ طنا ويكون سمكها ٣٨٠مم وتكفى لتحويل ١٨٠ شحنة من الحديد الزهر على مدى البطانة الواحـــدة ٠

ويتدخل عدد من المؤثرات الطبيعية والكيميائية لوضع النهاية لعمر البطانة وأهم هذه العوامل هى :

١ ـ الفعل (التأثير) الميكانيكى لحركة المعدن المنصهر ٠

٢ ـ التأثير المباشر للارتفاع الشـديد فى درجة الحـرارة بسبب تيار الأكسجين ٠

٣ ـ تشبع سـطح البطـانة الحرارية الملاصقة للمعـدن المنصـهر بأكاسيد الحديد ٠

٤ ـ التأثير السيىء للسليكا المتكونة خلال فترة النفخ الأولى حيث يكون ذوبان الجير جزئيا فى المعدن ٠

ومما يزيد من خطورة هـذه المؤثرات ارتفاع درجة حـرارة المعدن المنصهر الى أكبر من ١٦٥٠م ٠

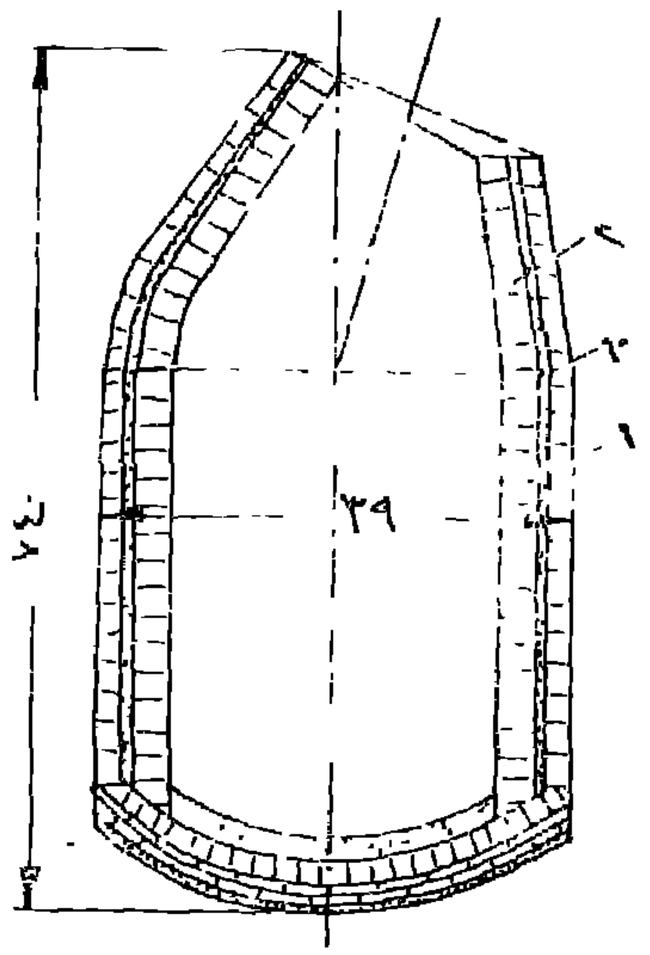
ولهذا السبب فانه باجراء عملية تبريد مناسبة يطول عمر البطانة ولا تستهلك الا بعد عدد أكبر من الصبات ٠

وبزيادة كل من الحجم النوعى وقطر المحول يكون هذا عاملا هاما على

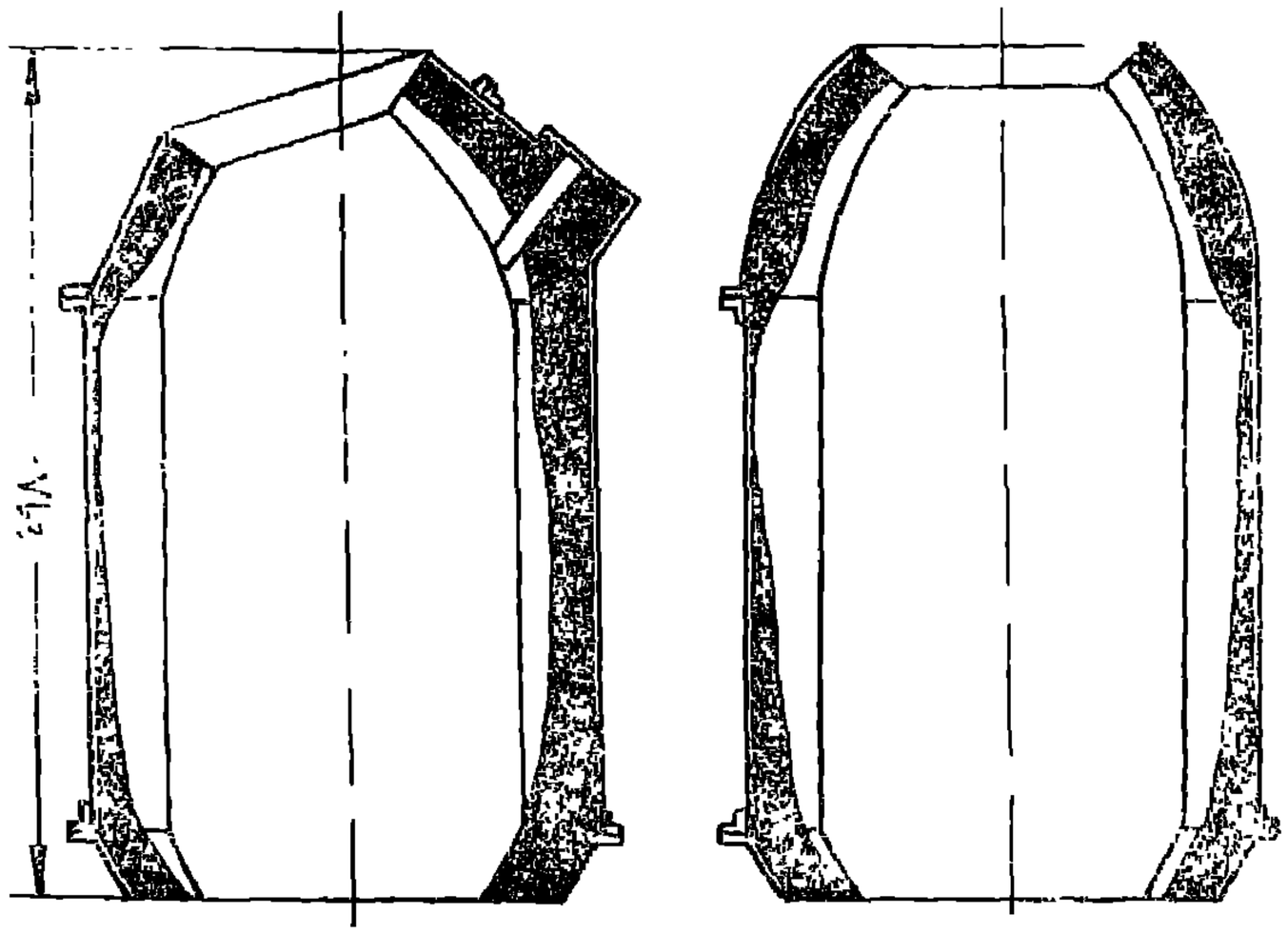
حفض تأثير تيار الأكسجين على سطح الحراريات المبطنه للمحول والحد من تلفها واستهلاكها ٠

وبضبط ودنة النفخ على المحور الهندسى للمحول بالاستعانة بجهاز ضبط خاص يصبح تيار الأكسجين متساويا مع البعد تماما عن جدران المحول ٠

يبين شكل (٣١) رسم توضيحى لبطانة محول متعددة الطبقات ، ويسع هذا المحول ٢٠ طنا ٠



شكل (٣١) : يوضح بطانة متعددة الطبقات :
١ ـ الطبقة الأساسية (التى تحمى هيكل المحول)
٢ ـ الطبقة الواجهة للمعدن المنصهر ٠
٣ ـ خليط الحراريات المستخدم فى ملء الفراغ بين الطبقتين ٠



شكل (٣٢) : يبين شكل النحات (التآكل) فى حراريات بطانة المحول عند نهاية مدة اداتها ٠

ويوضح سكل (٣٢) منظرا لشكل التآكل النمطى فى هذا المحول ، ويلاحظ من الشكل شدة تعرض الأجـزاء العليـا من البطانة للتآكل فى الوقت الذى تتآكل فيه القواعد بدرجة غير ملحوظة ٠

وكما أن اى خطأ فى تسخين المحول بعد ترميمه قد يؤثر تأثيرا سيئا على عمر البطانة ، فان الارتفاع المفاجىء فى درجة الحرارة يؤدى الى تقشر حرارياتها ٠

وبالعكس فان التسخين الهين له تأثير سىء على القار الذى يعمل كمادة لاصقة اذ يعمـل عـلى دفعـه خارج البطـانة مما يتلفها ويفسـد خواصـــها ٠

ولمحول سعته ٢٥ ـ ٣٥ طنا تستغرق مدة تجفيفه ثم تسخينه حتى ٨٢٠٠ م٥ ٠ حوالى ١٢ ساعة ويمكن اطالة عمر البطانة بعمل الترميمات والبطانة ساخنة ٠

ولهذا الغرض يدار المحول بطريقة ما حتى يصبح المكان المراد ترميمه الى أسفل وبعد صب الصلب يتبقى بعض الخبث السائل الذى يتجمع فى المكان المصاب من البطانة وعندئذ يلقى بعض الطوب الحرارى المجروش الى الخبث ثم يسلط مشعل الغاز على المكان المصاب ٠

ويمكن أيضا ترميم الأماكن الضعيفة بواسطة خلطة من الحراريات المجروشة المضاف اليها القار كمادة لاصقة ٠

ويستهلك انتاج الطن من الصلب حوالى ٩ ـ ١٠ كجم من الحراريات اذا كانت طبقة البطانة المعرضـة للمعدن من الدولوميت المقطرن وطوب المجنزيت ٠

ويقل كثـيرا الاستهلاك للحراريات اذا استخدمنا أنواعا خاصة من طوب المجنزيت ذى الجودة العالية لصناعة البطانة المزدوجـة فينخفض الاستهلاك الى ٥ ـ ٧ كجم لكل طن من الصلب ٠

(تتطلب الأفران المفتوحة ١٨ كجم من الطوب الحرارى للبطانة ، ٢٠ كجم من الدولوميت لاصلاح الترميمات المختلفة أى يستهلك ٣٨ كجم منها لكل طن من الصلب الناتج) ٠

الأبعاد الأساسية عند تصميم المحول :

يعطى جدول (٢٠) الأبعاد الأساسية الرئيسية للمحولات علوية النفخ والتى تستخدم فى الاتحاد السوفيتى وغيره من البلدان الأخرى ٠

جدول (٢٠)

	الاتحاد السوفيتى وحدة أ	الاتحاد السوفيتى وحدة ب	النمسا لينز	النمسا دونويتز	ولايات متحدة أمريكية	كنـدا
شحنة المحول بالطن	٢٦ر٥	٣٧	٣٠	٣٣	٤٤	٤٠
حجم المحول م٣	٢٠	٥٢	٣٠	٣٢	–	٣٢ر٥
نسبة حجم المحول الى وزن شحنته م٣ طن	٧٦ر	١ر٤	١ر٠	٩٧ر	..	٨١ر
ارتفاع المحول م	٧٢ر٥	٦ر٨٧٥	٧ر٤	٦ر٧٥	.	٧ر٦
القطر الخارجى للمحول م	٣ر٥	٤ر٣٤	٣ر٩	٤ر٢	–	٤ر٣
القطر الداخلى للمحول م	٢ر٥٤	٣ر٤٥	٢ر٧	٣	٦ر٧	٣ر٠
القطـــر الخارجى لفوهـة المحول م	١ر٤٧	٢ر٤٤	–	١ر٨٣٥	٣ر٩٥	١ر٥

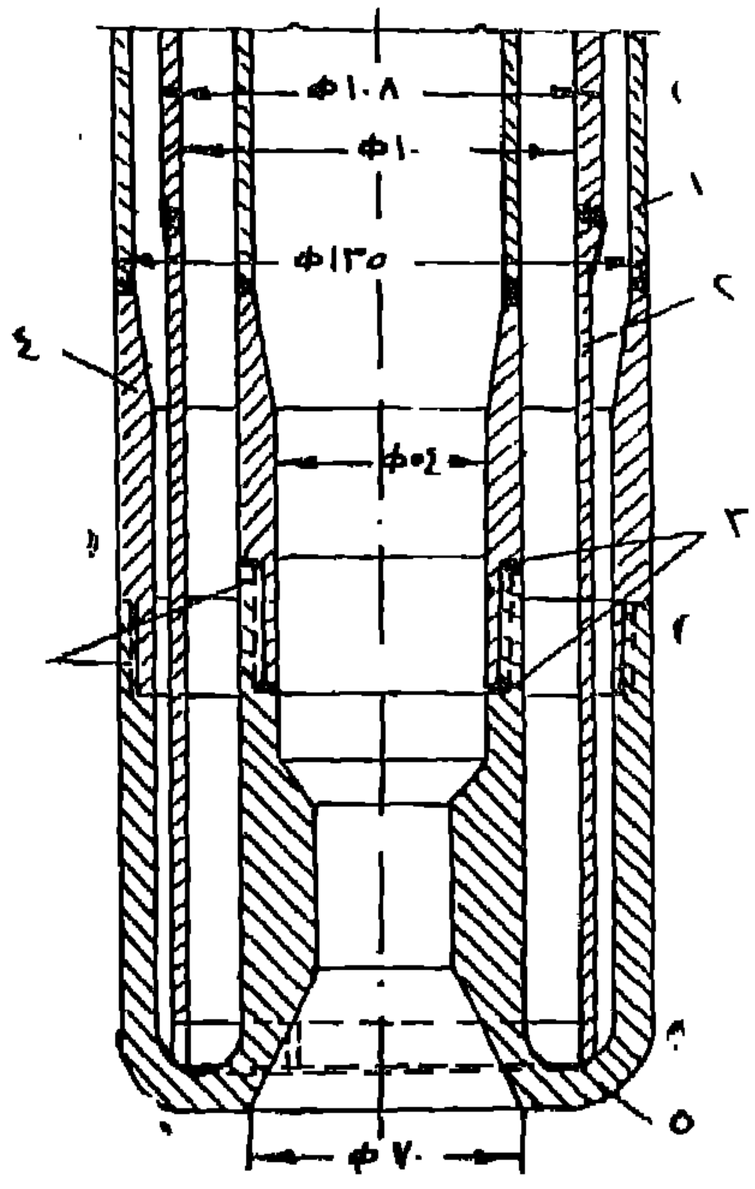
وعند نهاية البطانة يزداد حجم المحول فى وحدة تشعيل المحولات من ٥ر٣٢م٣ الى ٤٧م٣ وتبعا لذلك يمكنا زيادة مقدار الشحنة المضافة ٠ ويبلغ عمق المعدن المنصهر داخل المحول لشحنة تزيد عن ٣٠ طنا مترا واحدا وكلما تآكلت البطانة أكثر كلما انخفض هذا العمق الى ٧٥ر٨ـرمترا (لنفس الشحنة) ٠

ويمكن اطالة عمر بطانة المحول وكفاءته الانتاجية اذا احتفظ حجمه النوعى بالقيمة ١ـ١ر١م٣ لكل طن من الشحنة وتتأثر لدرجة كبيرة كمية المقذوفات الحديدية بارتفاع المحول فبزيادة ارتفاعه يقل تناثر هذه المقذوفات خارج المحول ويبقى الكثير منها داخله دون أن تبلى فوهته مما يقلل من كمية الفاقد من الصلب فتزداد انتاجه ٠

٣ ـ جهاز تمويل الأكسجين

تستخدم الأنابيب المبرشمه (غير الملحومه) فى صناعة ودبات (قصبات) تمويل الأكسجين الى داخل المحول ويستخدم لهذا الغرض ثلاث أنابيب متحدة المركز داخل بعضها البعض وتقوم الأنبوبة الوسطى بتغذيه المعدن بالاكسجين بينما تشتغل الانبوبتان الأخريتان فى التبريد ٠

وللأنبوبة رأس نحاسية تدمج بها اما بالقلوظة أو باللحام كما فى شكل (٣٣) وتأخذ الانبوبه وضعا رأسيا بحيث ينطبق محورها على المحور الهندسى للمحول تماما ٠



شكل (٣٣) : قصبة تدفق الأكسجين ، ٠ يرد بالماء

١ ـ الأنبوبة الخارجية
٢ ـ انبوبة الفصل
٣ ـ فواصل من الرصاص
٤ ـ وليمة معدنية
٥ ـ لقمة نحاسية

ويحدد طولها تبعا لارتفاع المحول ومستوى شحنة المعدن داخله ويجب أن تكون ابعادها وشكلها بحيث تسمح لها بالحركه الحره ارتفاعا وانخفاضا فنتمكن من خفضها حتى ١٥٠ ــ ٢٠٠ مم فوق السطح الخالص للمعدن كما تمكن من رفعها نهائيا بعيدا عن المحول حتى نتمكن من امالته بسهوله . وتبلغ أنابيب الأكسجين هذه من ٧ ــ ٩ مترا طولا وهى على شكل الحرف L ويصبح طولها عندما تبعد جانبيا بعد رفعها من المحول حوالى ٣ ــ ٤ مترا (كما فى شكل ٣٤) .

ويستعان بمجموعه من البكرات تشغل من حجرة المراقبة لرفع وخفض أنبوبة تمويل الأكسجين ويدفع الأكسجين الى الفصبات عن طريق خراطيم متنبة ومعزولة من الخارج بطبقة من الاسبستوس ويتحدد سلفا أبعاد فوهة أنبوبة تمويل الأكسجين وشكلها معلومة كميه الأكسجين التى تمر خلالها وظروف التشغيل الخاصة .

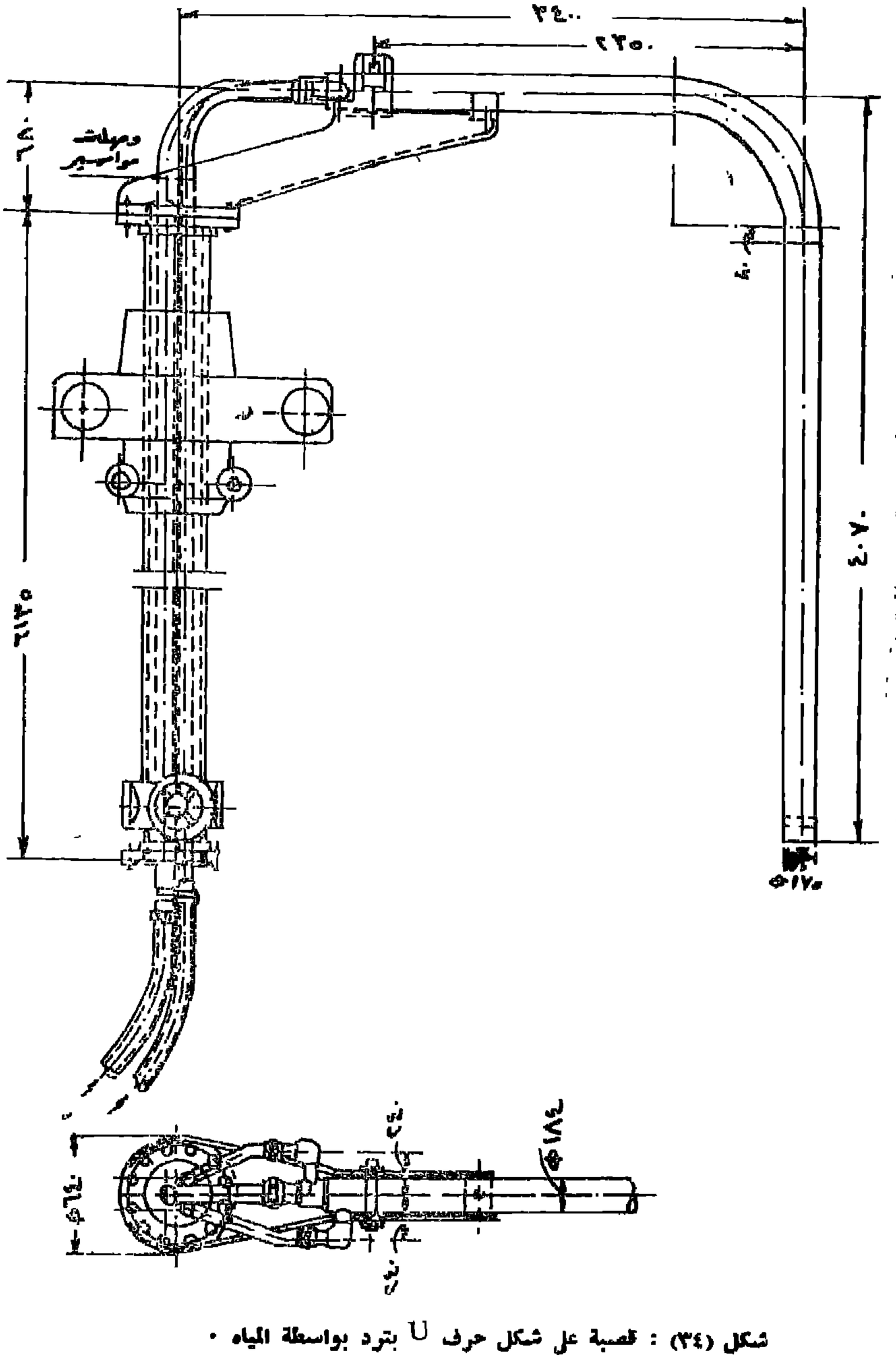
وتلزم كمية من الماء تقدر بحوالى ٨ ــ ١٠ لتر فى النابية لأغراض التبريد اللازمة لأنبوبة تمويل الأكسجين والتى يبلغ قطرها الخارجى ١٠٨ مم (لمحول سعة ١٠ طن وحجمه ٨م ٣) .

ويرتفع هذه الكمية من مياه التبريد الى ١٢ ــ ١٤ لترا ثانية اذا كان القطر الخارجى لأنبوبة المد بالأكسجين ١٣٥ مم (وتستخدم فى المحولات سعة ١٣ ــ ١٦ طنا ذات الحجم ١٢ر٠م ٣) .

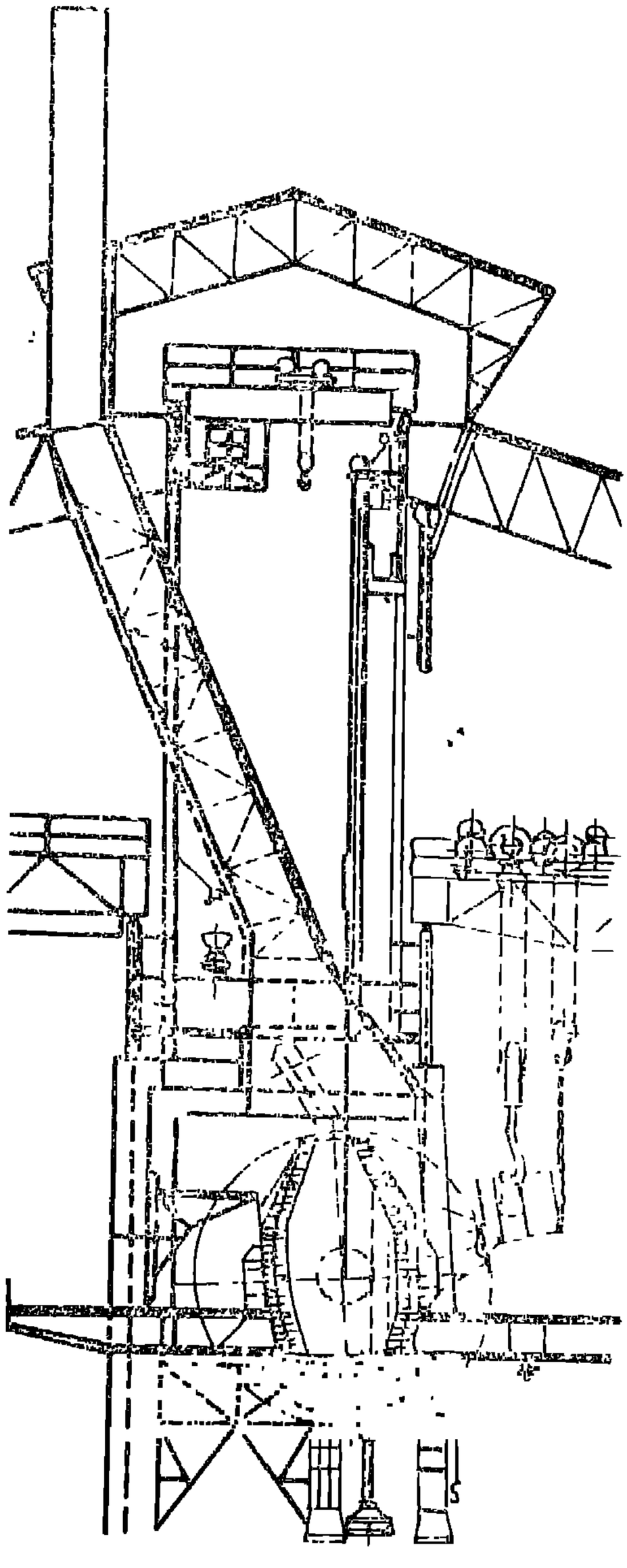
واذا كانت الأنبوبة مستدقة وطولها ٣ر٢ م ، وقطرها عند نهايتها العليا ١٩٤م ، وقطرها على نهايتها السفلى ١٧٥ مم (وتستعمل لمحول سعة ٢٦ر٥ طنا وحجمه ٢٠م ٣) كانت كمية المياه اللازمة للتبريد بين ١١ ــ ١٢ر٠ لترا / ثانية .

وتدفع هذه المياه بواسطه مضخات خاصة تحت ضغط يعادل ٦ ــ ٨ ضغطا جويا ، ويجب ألا تزيد درجة حرارة هذه المياه عند مغادرتها أنبوبة الأكسجين عن ٤٠ درجة مئوية . ويتم تغيير الرأس النحاسية للأنبوبة بعد ١٠٠٠ (ألف صبة) .

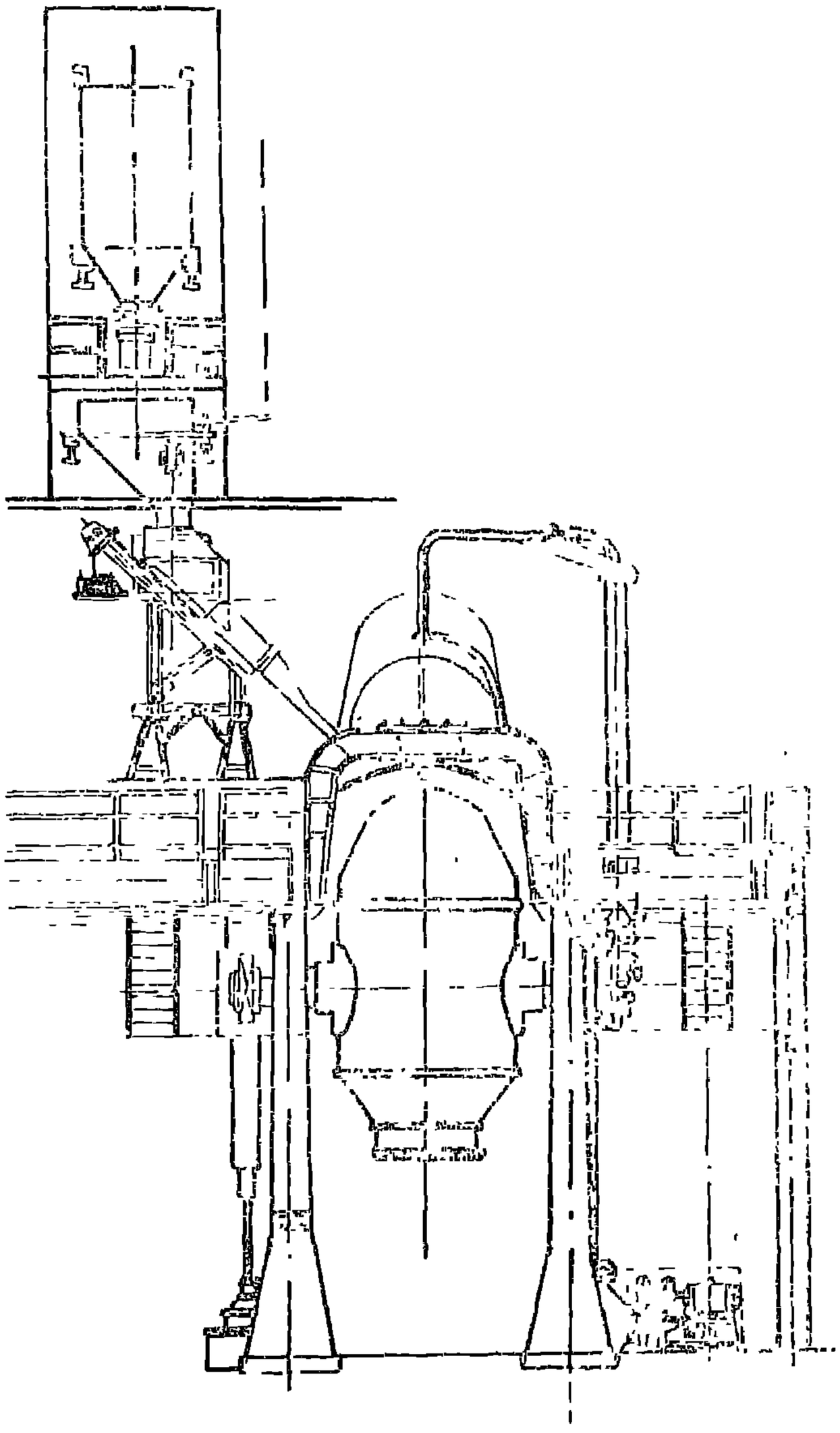
ونرى فى شكل (٣٥) منظرا عاما لمحول من هذا النوع وأنبوبة تمويل بالأكسجين رأسية وفى شكل (٣٦) منظرا لمحول ذى أنبوبة على شكل حرف L .



شكل (٣٤) : قصبة على شكل حرف U بترد بواسطة المياه ٠



شكل (٣٥) : منظر عام لصنع صلب به محول بقصبة راسيه

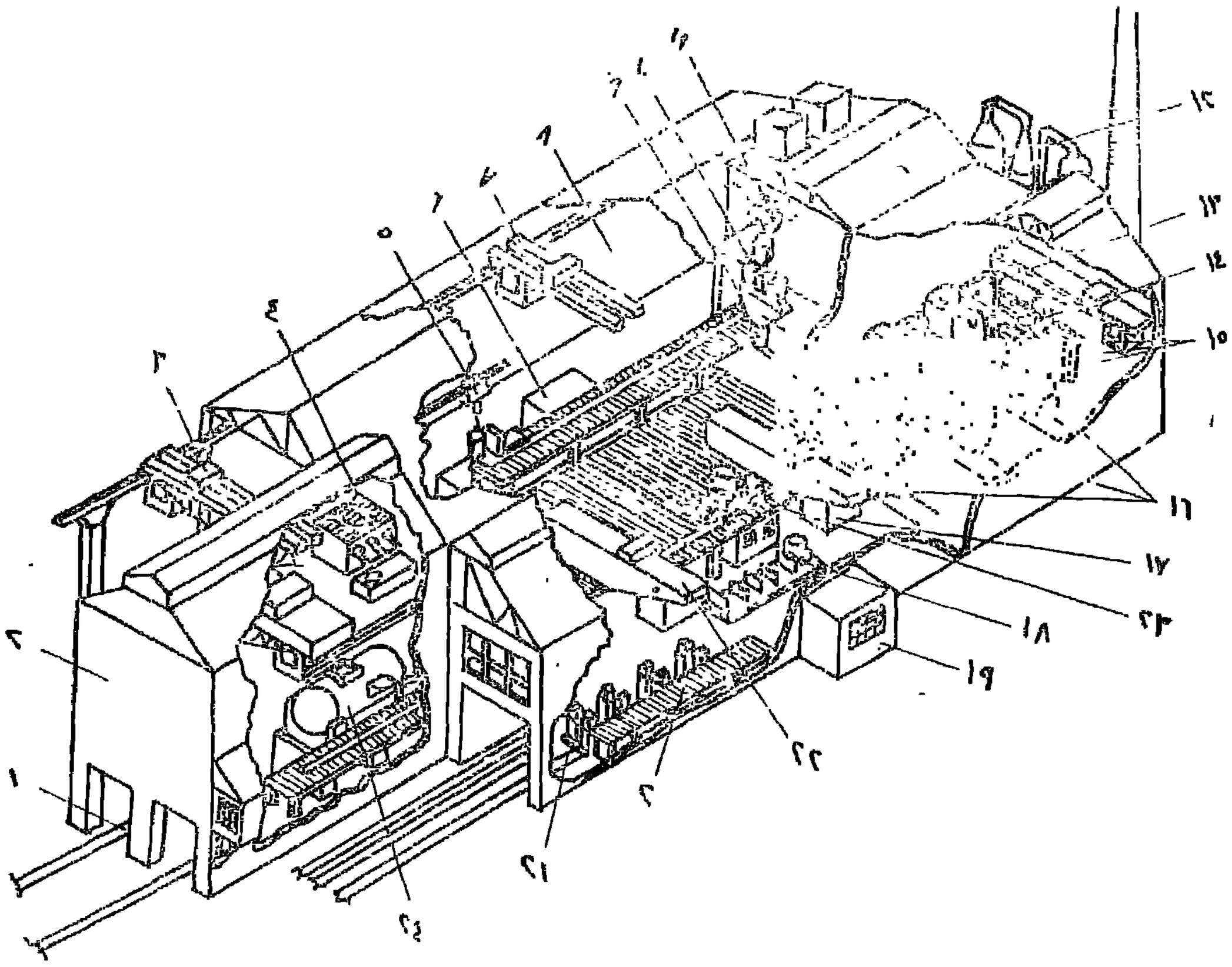


شكل (٣٦) : يبين منظرا عاما به قصبة على شكل حرف U

٤ ـ تصريف الشحنة

من الأمور التى تحتل المرتبة الأولى من حيث الأهمية أنه يجب وضع الشحنة بالمحصول بطريقة تكفل اضافة المواد الأخرى دون أن يكون هناك أى تأخير فى ذلك سواء كانت اضافتها قبل اجراء عملية النفخ أو أثنائها ٠

ويجدر بنا أن نأخذ فى الاعتبار زيادة كمية خام الحديد والمواد الصهارة عنها فى الطرق لأخرى فى تشغيل المحولات وتكون الاضافات للخام بواقع ٥ـ٨٪ لكل طن من الصلب الناتج ، والجير بواقع ٧ـ٩٪ والبوكسيت ٥ر٠ـ١٪ وفى بعض الأحيان يضاف بعض الفلوريت (الفلورسبار) لتسهيل ذوبان الجير ٠ ونرى فى شكل (٣٧)رسما لأحد مصانع الصلب به ثلاثة محولات سعة كل منها ٥ر٢٦ طنا وتجرى عملية شحنها على النحو التالى ٠



شكل (٣٧) : رسم تخطيطى لقسم المحولات يضم ٣ محولات سعة كل منها ٥ر٢٦ طنا ٠

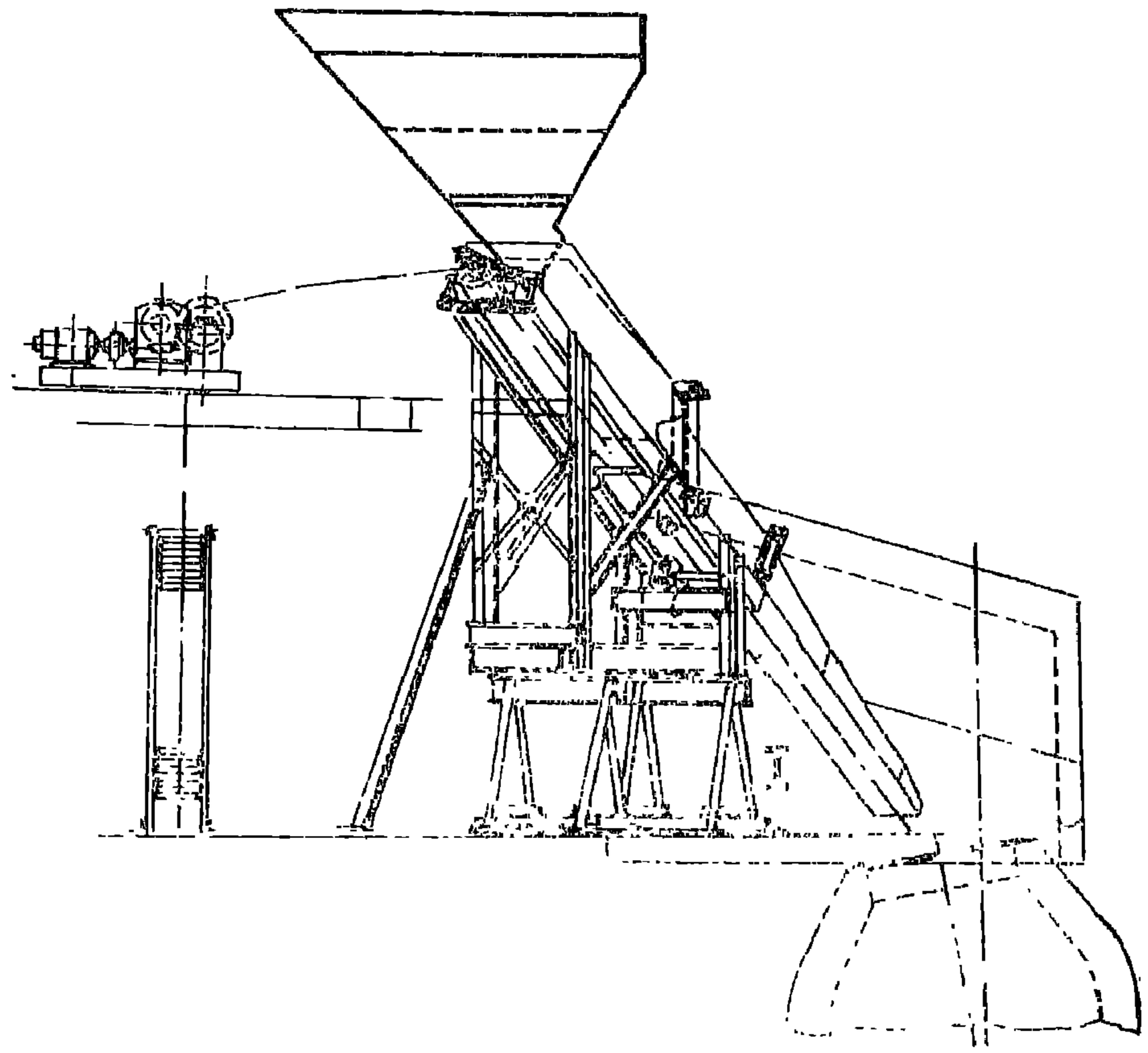
تشحن صوامع الجير والبوكسيت الموجـوده فى مستوى الصاله بواسطة أوناش مناسبة ٠

يحمل (وينفل) الجير والبوكسيت من الصوامع فى قواديس تسع ٨ر ١ م ٣ ثم توضع على عربة تتحرك كهربائيا مارا بجميع المحـــولات الثلاثة ثم تنقل الحمولة الى ونش ذى القضيب الواحد ٠

ونوجد ثلاث صوامع واحدة للخامالثانية للجير والأخيرة للبوكسيت، وتسحب الكمية اللازمة من كل صومعة حيث توزن ثم تشحن الى المحول بالاستعانة بفتحة شحن (مسقط مواد) (انظر شكل ٣٦) ٠

ويجب توخى السهولة فى حركة اماله مسقط المواد لدرجة كافية حتى نتمكن من تفريـغ المواد فى المحول بسرعة ويسر وتكفى امالة هذا المسقط لغاية ٣٨ه لانجاز هذه العملية ٠

ويوضح شكل (٣٨) جهاز الاسقاط حيث يمكن استخدامه لشحن المواد



شكل (٣٨) : شوت (مسقط) متحرك يسقط المواد المختلفة فى المحول

المطلوبة فى أى وقت أثناء النفخ دون أن يكون هناك مايدعو لدوران المحول أو توقف (ايقاف) عمليه النفخ · ويمد جهاز الاسقاط بواسطة ونش كهربى وحداقة ثم يضبط فوق فوهة المحول لتفريغ حموله ثم يبعد عن منطقة الغازات الملتهبة المتصاعدة من المحول ويستخدم فى صنع نهاية المسقط نوع من الصلب ذى المقاومة العالية للحراره · ويشغل هذا المسقط من غرفة المراقبة · وتسحب كمية الحديد الزهر المناسبة من الخلاط ثم تنقل الى المحول فى عربة خاصة ثم تصب فى المحول اما باستخدام ونش علوى متنقل أو باستخدام عربة مزودة بجهاز لإماله البوادق وتتحرك العربة بواسطة الكهرباء ونوزن شحنة الحديد الزهر بميزان خاص مقام فى موقع الخلاط ومن المستحسن استخدام الونش العلوى المتحرك لنقل الحديد الزهر من الخلاط الى المحول نظرا لسهولة التحكم والسيطرة على حركة البودقة أثناء تفريغ الحديد الزهر مما يكون له أكبر الأثر فى تقليل الفاقد منه ·

٥ ـ أجهزة تنقية غازات المحولات

من الأمور البالغة الأهمية تنقية الغازات والأدخنة التى تتصاعد أثناء نفخ الحديد الزهر بالأكسجين الخالص من أعلا المحول ·

ويصاحب تصاعد هذه الغازات أبخرة بنية داكنة تحتوى على كثير من الجزئيات الدقيقة لأكاسيد الحديد والتى يجب ازالتها ·· ولقد بنيت الأبحاث التى أجريت على هذه الابخرة أن ٥٠ ـ ٨٠ ٪ منها تحتوى على جزيئات دقيقة حجمها حتى ٥ر٠ ميكرون ، ونسبة ٥ـ١٥٪ حبيبات يزيد حجمها عن اميكرون · والجدول الآتى (٢١) يعطى النسب المئوية لتركيب الغبار المتصاعد مع غاز المحولات ·

ح	م	س أ٢	كا أ	او ٢ ا٣	مغ أ	فـو	كب
٦٠ر٧٤	٥ر٤٦	١ر٦٥	١ر٩٥	٠٠٠٠	٦ر٠	١٠٥ر	١٠٥ر
٦٦ر٠٠	٤ر٥	٨ر	٥٤ر	٩ر	لاتوجد ببانات		
٦٥ر٤	٤٤ر٤	٨ر	٣٨ر	٩٨ر			

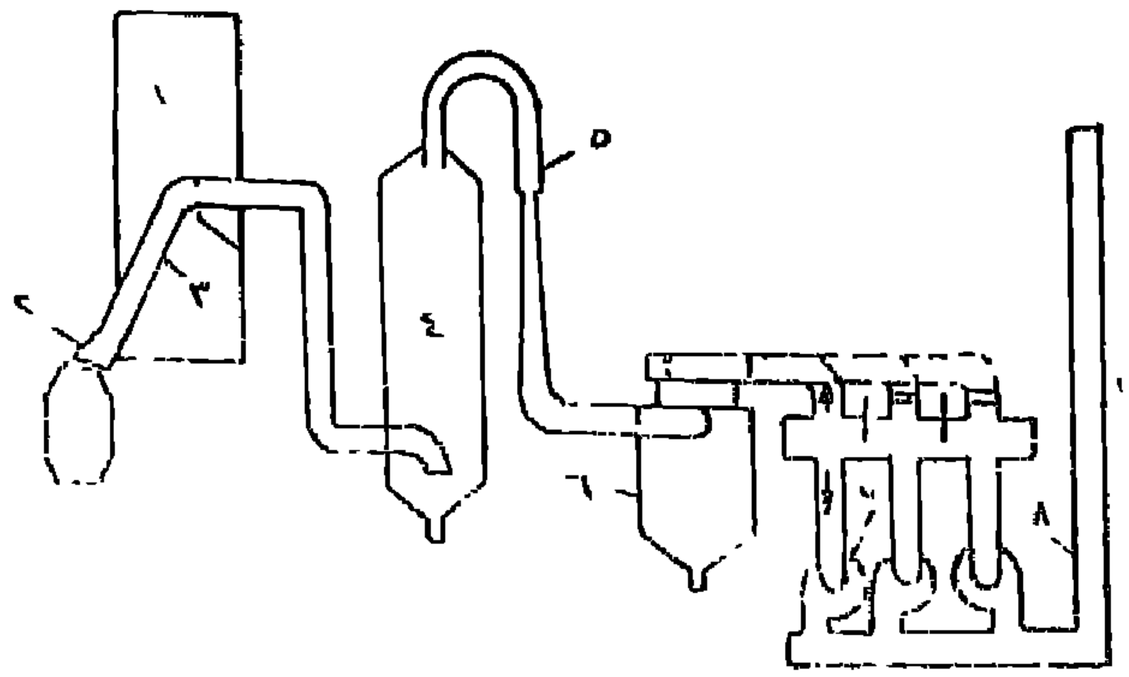
ويمثل أكاسيد الحديد مكانة الصدارة فى تحليل غبار المحولات اذ يسمحود على أكبر نسبة منه ويتكون هذا الغبار أساسا بتبخر الحديد فى منطقة التفاعلات (٨ر-٦ر١٪) وتتأكسد أبخرة الحديد والمنجنيز عند تصاعدها مكونه دقائق من أكاسيدها تنسدر مع الغازات المتصاعدة ٠

وتتغير كمية هذه الأبخرة على مدى كبير يخضع لمعدل نفخ الأكسجين وضغطه وارتفاع البوبه تمويل الاكسجين من سطح المعدن (عمق منطقة التفاعلات) وأيضا حجم المحول ٠

ومن المدهش أن هذه الأبخرة تزن من ١٠-٥٠ كجم /م ٣ من غازات المحول لتى تتصاعد بمعدل ٣٧م٣/ ثانية من محول سعة ٢٠طنا أى أنه اذا أخذنا متوسط مدة النفخ للصبة ١٥ دقيقة فان كمية الغازات المتصاعدة تبلغ ٦ر٣٠٠ م٣ ويصبح متوسط كتلة الأبخرة المتصاعدة حوالى ٢٠٠ كجم للصبة بواقع ١١ كجم لكل طن من الصلب وقد سجلت بعض احصائيات متابعة لهذه العملية ارتفاع كتلة هذه الأبخرة الى ١٨ كجم طن من الصلب الناتج

ويتدخل وضع المحول بالنسبة الى مدخنته الى حد كبير فى تصعيد ١٪بخرة وتنقية الغازات المتصاعدة ٠

وأحيانا يؤخذ فى الأعتبار أثناء التصميم وضع المحول بجانب المدخنة وفى مثل هذه الحالات ترتب رؤوس التبريد فوق فوهة المحول بحيث توجه الغازات الى داخل المدخنة ويمثل شكل (٣٩) رسما لاحدى



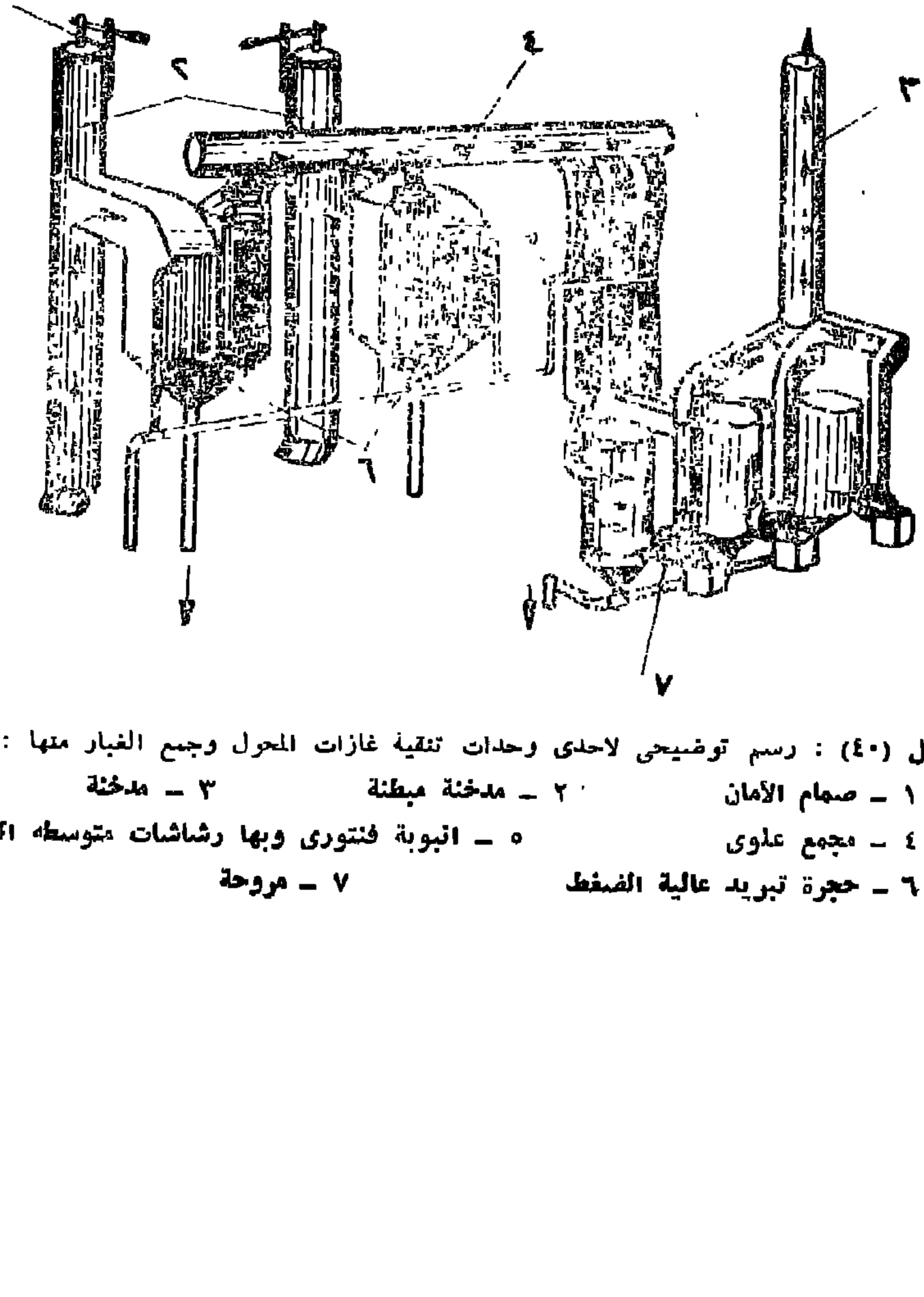
شكل (٣٩) : وحدة تنقية الغازات فى مصنع للصلب يحوى ٣ محولات سعة كل منها ٢٥ر٥ طنا ٠

١ ـ مدخنة
٢ ـ هوت (غطاء) يبرد بالمياه
٣ ـ انبوبة تبرد بالمياه
٤ ـ جهاز غسل الغازات
٥ ـ انبوبة فنتورى
٦ ـ سيكلون
٧ ـ مصرف للغازات
٨ ـ الاتربة

وحدات تنقيه غازات المحولات فى مصنع للصلب يضم ٣ محولات سعه كل منها ٢٥ر٥ طنا

ويوضع راس وأنبوبة مياه التبريد تأخذ الغازات المتصاعدة من المحلول طريقها االى جهاز تنظيف حيث يتم غسلها بواسطة رذاذ الماء المتناثر من رشاشات موجودة به ونستهلك ٣٠٠ طنا من لمياه كل ساعة فتترسب آحجام الغبار الكبيرة نسبيا بينما لا تترسب الأتربه فتمر مع الغازات الى ابيوبة فنتورى (لقياس معدل التدفق) لها اختناق وتقوم بتشتيت الغازات الى أسفل ويوجد أيضا عند اختناق الأنبوبة رشاشات لرش الماء • وبمرور الغازات فى اختناق الأنبوبة تكتسب سرعة كبيرة وتجذب معها ذرات المياه فى جهاز لفصل الغبار الى حد كبير فتترسب دقائق الغبار •

وعندئذ (تمص) تسحب الغازات المنفاة بواسطة مضخات تصريف الى مدخنة ارتفاعها ٤٨ مترا وبهذا تنخفض كمية الغبار فى الغازات المنقاء الى حوالى ٥رحجم فى المتر المكعب منها وفى شكل (٤٠) رسم توضيحى لاحدى وحدات تنقية غازات المحولات باحدى مصانع الصلب فى كندا وهى



شكل (٤٠) : رسم توضيحى لاحدى وحدات تنقية غازات المحول وجمع الغبار منها :

١ ـ صمام الأمان ٢ ـ مدخنة مبطنة ٣ ـ مدخنة

٤ ـ مجمع علوى ٥ ـ انبوبة فنتورى وبها رشاشات متوسطه الضغط

٦ ـ حجرة تبريد عالية الضغط ٧ ـ مروحة

مناسبة لمصنع ذى محولين سعة كل منهما ٤٠ طنا ويوجد فرن كل محول منهما كوة مياه التبريد المبطن بالطوب الحرارى ومدخنة ارتفاعها ٣٨ مترا ٠

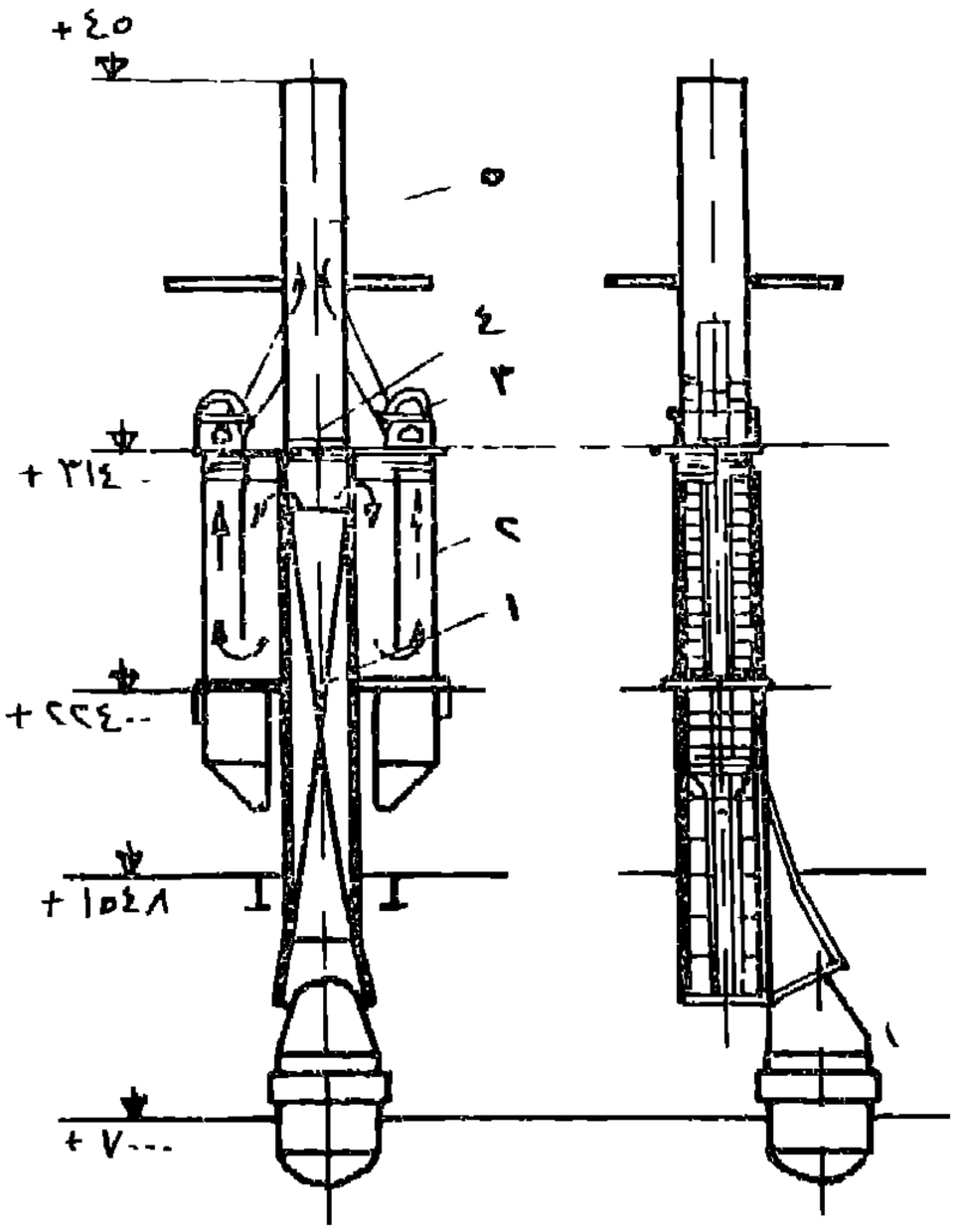
وبسحب الهواء البارد فان درجة حرارة الغازات أسفل كوه التبريد لاتزيد عن ٨٥ درجة مئوية وعند رتفاع معين تنتقل غازات المحول منها من المدخنة الى حجرات مزودة برشاشات للمياه ، تعمل تحت ضغط يعادل ٥ر١٠ ضغط جويا (مقيسا بمقياس الضغط) وتدفع هذه الرشاشات الماء رذاذا بمعدل ٩٧٥ لترا /دقيقة ٠

ومن غرف التبريد تدخل الغازات الى مجمع ثم تتوجه الى أنابيب فنتورى حيث تقابلها رشاشات توجد عند اختناق هذه الأنابيب ثم توجه الغازات بعد ذلك الى (سيفونات ارتفاعها ١ ر ٩ م وقطرها ٣ر٧ م (اثنان منها صالحان للعمل والثالث فى الصيانة) وبعد ذلك تسحب هذه الغازات بواسطة مراوح بمعدل ٢٠٠ م ٣ / دقيقة وتطرد فى الهواء الجوى عند درجه حرارة أقل من ٦٠ درجة مئوية ٠

يتضح لنا الفرق الشاسع فى كمية الغبار الموجود بالغازات أولا وكمية فيها بعد الاستخلاص فنجد أن كمية الغبار أولا ١٦ جم / م٣ ثم أصبحت ٥ر١ جم / سم ٣ ويعطينا تركل (٤١) صورة لاحدى وحدات تنقية الغازات الموجودة بالنمسا ٠

ويستفاد من كمية الحراره التى تحملها الغازات المتصاعدة من المحولات منها فى تشغيل الغلايات وتعتبر كمية الحرارة هذه هائلة اذ تنخفض درجة حرارة الغازات من ١٧٠٠ ـ ١٨٠٠ درجة مئوية الى ٥٠٠ درجة مئوية ٠

وتسحب الغازات بعد تبريدها بواسطة مضختى تصريف وتدفع الى مصائد الغبار التى تندى بالماء وفى الحال تترسب دقائق الغبار فى المصائد المنداة ثم تدفع أو يسمح بخروج الغازات الى الهواء الجوى ٠ ويفتح صمام فتتجه على الفور غازات المحول الى المدخنة مارة بالرشاحات المبللة بالماء ٠



شكل (٤١) : جهاز جمع الأتربة واستغلال الحراره المنطقة مع الغازات

١ ـ غلاية تعمل بحرارة الغازات
٢ ـ مرشح يعمل فى وسط مبتل
٣ ـ العادم
٤ ـ صمام
٥ ـ انربة المحولات

وبهذه الطريقة تنقى الغازات لدرجة كبيرة فلا نحمل معها فى النهاية الا كمية ضئيلة من الغبار لا تتعدى ١ر ـ ٢٥ر كجم/م٣ ٠

يمثل جدول (٢٢) التحليل النمطى لغازات المحول على ارتفاع ٨ر ـ ١م تحت عنق مدخنة المحول أثناء التنفخ ٠

ويتضح من الجدول أن أول أكسيد الكربون هو أهم مكونات هـذه الغازات التى تحتوى على كمية من النتروجين ترجع الى عدم نقاوة الاكسجين تماما ودخول نتروجين الهواء الجوى الى المحول ، كما أنه من المحتمل أن يكون بعض النتروجين قد تسرب الى العينة المأخوذة بسبب عدم احكام الوصلات ٠

جدول (٢٢)

رقم الصبة	رقم العينة	النسبة المئوية لتركيب الغازات المتصاعدة من المحول						ملاحظـــات
		كآ ٢	أ ٢	كأ	يد ٢	كبد ٤	ن ٢	
٢٠٤٨٠ر	١	٣ر٧	١ر٢	٨٩ر١	٧ر	٦ر	٤ر٧	أخذت العينة /١ بعد ٨ دقائق من بدء النفخ ·
	٢	٤ر٨	٢	٨٣ر٢	—	١ر٨	٨ر٢	أخذت العينه ٢ بعد ١٠ دقائق ·
	٣	٥ر٥	١ر٥	٨ر٦	—	٢ر٤	٤ر٦	أخذت العينة ٣ بعد ١٢ دقيقة ·
	٤	٢ر٤	١ر٦	٩١ر٥	١ر٥	٢ر	٢ر٨	أخذت العينه ٤ بعد١٢ر٤٥ دقيقة ومدة النفخ الكلية ١٦ دقيقة معدل نفخ الاكسجين ٧٣ر٧٠م٣/دقيقة ضغط الاكسجين ١٢ ضغط جوى (مفياس الضغط)
٢٠٤٨٣	١	١٠ر٧	٩ر	٨١ر٥	٣ر٣	١	٢ر٦	أخذت بعد ٤٥ ت ، ١دقيقة من بدء النفخ·
	٢	٤ر٢	٣ر٦	٨١ر٦	٣ر	٤ر	٤ر٩	أخذت بعد ١٠ ت ، ٦ دقائق
	٣	٦ر٣	١٨ر٧	٨٧	٤ر	٢ر	٤ر٢	أخذت بعد ٤٠ ت ، ١٠ دقائق

٢٠٤٨٥ر	١	١١ر٤	١ر٤	٨٠ر٧	٣ر١	—	٣ر٤		
	٢	٤	١ر٦	٩١ر٢	٤ر	٢ر	٢ر٦		
	٣	١ر٦	٢	٩٢ر٦	٧ر	٣ر	٢ر٢		

ث ق

مدة النفخ الكلية ٤٥ ١٢

١	٧٥	١٣
٢	٧١	١١ر٥
٣	٧٢	١٢

ث ق

أخذت العينة بعد ـ ٢ من بدء النفخ

« « « ٤٥ ٦ «

« « « ٢٠ ٩ «

مدة النفخ الكلية ١٣ دقيقة

رقم العينة	معدل تدفق الاكسجين م٣/دقيقة	ضغطا الاكسجين ض ج (مقياس)
١	٧٧	١٢ر٥
٢	٧٣	١٢
	٧١	١١

٦ ـ المواد الأولية

الحديد الزهر :

يستخدم حديد زهر الأفران المفتوحة فى المحولات التى تطبق فيهـا طريقة النفخ العلوية بالأكسجين الخالص .

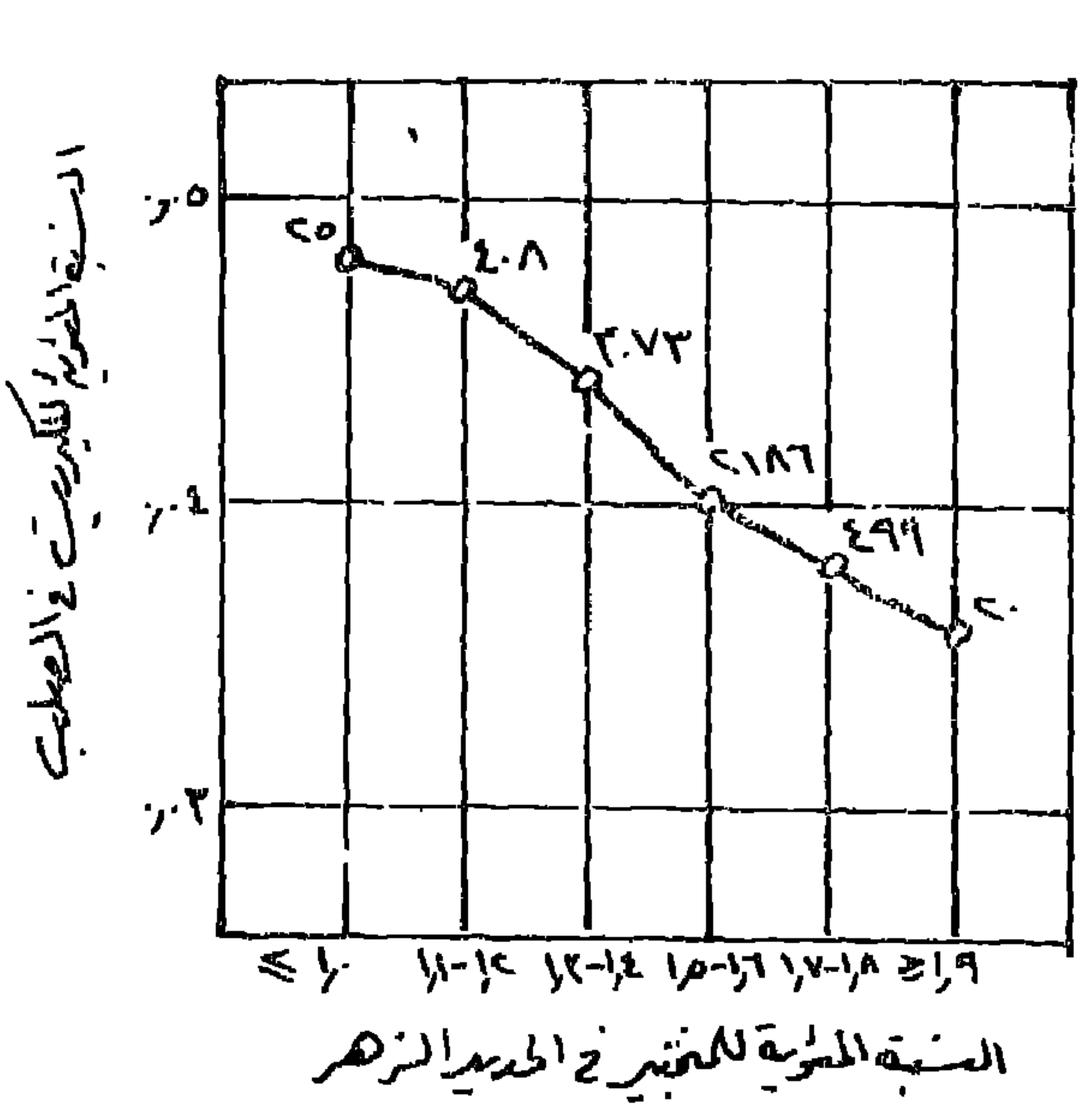
س	م	فـــو			كب		
	المجموعة	درجة الحديد الزهر			درجة الحديد الزهر		
		أ	ب	جـ	١	٢	٣
	(١) (٢)	لا يزيد عـن			لا يزيد عن		
لغاية ٠ر٧٥	لغاية ١ر٠ / ١ر٠١ـ ١ر٧٥	١٥ر	٢ر	٣ر	٠٣ر	٠٥ر	٠٧ر

ويحدد التحليل الكيميائى للحديد الزهر سير العملية وعمر البطانة والنتائج الفنية والاقتصادية للعملية ٠

وبمعرفة كمية السليكون فى الحديد الزهر يتحدد مقدما حجم الخبث وما يحتويه من سليكا وبزيادة حجم الخبث يشتد قذف الحديد خارج المحول ويرتفع استهلاك خام الحديد والجير ٠

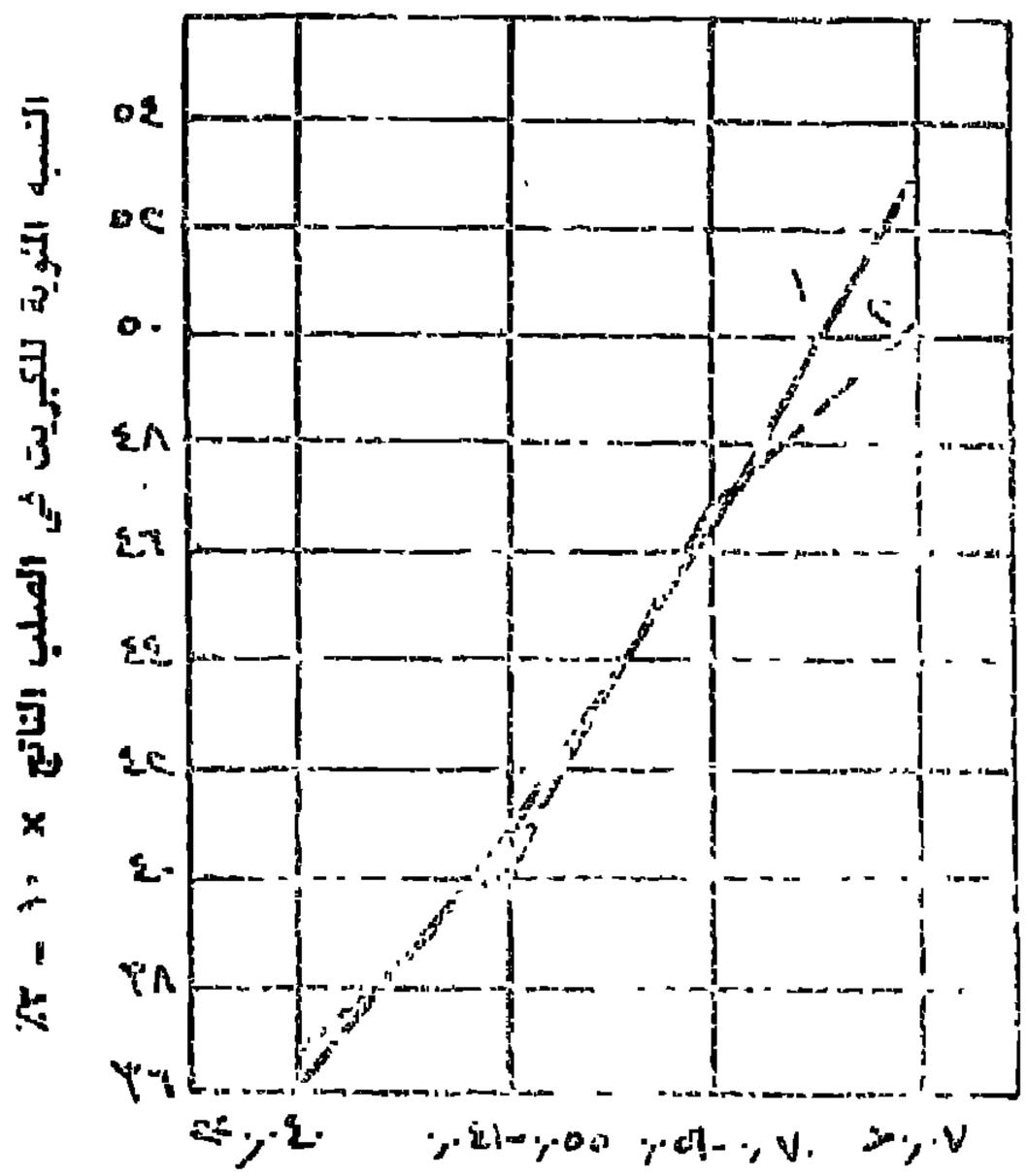
ولزيادة السليكا تأثير سيء على الحراريات القاعدية للبطانة كما تعوق ازالة كل من الفوسفور والكبريت من الصلب ٠

فى طريقة النفخ العلوية بالأكسجين لا يكون للسليكون المكانة الأولى فى الموازنة الحرارية ولهذا السبب يمكن تحويل الحديد الزهر اذا كانت نسبة السليكون به منخفضة ، أما المنجنيز فيقوم بدور فعال فى ازالة الكبريت (شكل ٤٢) وفى حالة نفخ الحديد الزهر الذى يحتوى على كبريت ٠٤ر٠٪ على الأكثر ويجب أن ترتفع نسبة المنجنيز الى ٥ر١٪ اذا كانت نسبة الكبريت بين ٠٦ر ـ ٠٦٥ر٪ أما اذا انخفضت هذه النسبة الى ٠٥ر٪ فانه من الممكن أن تقل نسبة المنجنيز الى ٣ر١٪ وفى نفس الوقت تضمن ازالة الكبريت بنجاح ٠ ومن المستحسن أن تكون تحاليل الحديد الزهر واقعة تحت المجموعة (٢) اذا استخدمنا طريقة النفخ العلوية لتحويله الى صلب ٠



شكل (٤٢) : يبين العلاقة بين نسبة الكبريت فى الصلب وكمية المنجنيز التى بالحديد الزهر (الأرقام المبينة على الخط البيانى عند الدوائر تدل على عدد الصبات)

وبالنسبة الى كمية الكبريت بالحديد الزهر فقد وجد أن أنسبها ما يقع تحت قسمى (١) ، (٢) وتؤدى الزيادة فى نسبة الكبريت بالحديد الزهر الى ارتفاع نسبته فى الصلب الناتج (شكل رقم ٤٣) واذا كانت نسبة الكبريت التى يسمح بها فى الصلب الناتج هى ٠٤ر٠٪ فانه يمكن الحصول عليها بسهولة اذا احتوى الحديد الزهر على نسبة من الكبريت لغاية ٠٥٥ر٠٪ أما اذا كانت النسب التى يسمح بها فى الصلب هى ٠٥ر٠٪ أمكن نفخ الحديد الزهر الذى يحتوى على نسبة من الكبريت لغاية ٠٧ر٠٪ ولكن فى هذه الحالة يجب أن يكون هناك مقابل من المنجنيز لا تقل نسبته على ٣ر١٪ .



شكل (٤٣) يبين العلاقة بين نسبة الكبريت فى الصلب وكميته فى الحديد الزهر

١ ـ فى حالة عدم ازالة الخبث ٢ ـ فى حالة ازالة الخبث

ومن المألوف عمليا ازالة الكبريت من الحديد الزهر باضافة الصودا وغيرها من العوامل المزيلة للكبريت ويتم ذلك فى بوادق الحديد الزهر بين الأفران العالية والخلاط أو قبل شحن الحديد الزهر الى المحول وعندما تتم ازالة الكبريت من الحديد الزهر فى البودقة يجب ابعاد الخبث الكبريتى المتكون عن كل من الخلاط والمحول اذ تصل نسبة الكبريت بهذا الخبث

الى ٩ر٠٪ ولهذا فانه مهما كانت النسبة التى تدخل المحول صغيرة فان ذلك يجعل ازالة الكبريت بالمحول عسرة ٠

وعندما يحتوى الحديد الزهر على نسبة من الفوسفور لغاية ١٥ر٠٪ فانه يمكننا انتاج صلب به نسبة منخفضة من الكربون دون ازاله الخبث الأصلى أما اذا ارتفعت نسبة الفوسفور عن ذلك أى كانت بين١٦ر ـ ٢٥ر٪ وجب ازالة الخبث الأصلى وضبط خبث جديد ٠

وفى مصانع الصلب بالاتحاد السوفيتى يستعمل الحديد الزهر الذى يحتوى على التحاليل الآتية فى طريقة العلوية :

ك	٩ر٣ ـ ٤ر٣
س	٥ر ـ ٨ر٠
م	٣ر١ ـ ٧ر١
كب	٤ر٠ ـ٠٧ر
فو	٨ر٠ ـ١٥ر

وفى النمسا يستخدم الحديد الزهر الذى يحتوى على نسبة عالية من المنجنيز (٥ر١ ـ ٧ر٢٪) وفى أحد المصانع تنخفض نسبة السليكـون بالحديد الزهر كثيرا فلا تزيد عن ١ر ـ ٣ر٪ وقد تصل الى ٢ر ـ ٠ر١٪ فى مصانع أخرى أما الكبريت فيقع بين ٠٣ر٠ ـ ٠٧ر٪ ٠

أما فى كندا فمتوسط تحاليل الحديد الزهر بمصانعه كما يأتى :

ك	٤ر٤
س	٣ر١
م	٢ر١
كب	٠٣٥ر٠
فو	١٢٥ر٠

ولم تواجه أية صعوبة (فنية) عند تحويل الحـديد الزهر الذى يحتوى على ١٨ر٪ فوسفورا ٠

الخردة :

يجب مراعاة خلو الخردة من الشوائب كما يجب أن تكون ذات أحجام صغيرة وتضاف الخردة فى المحول بواسطة أوناش الشحن أو بالطريقة

العادية فى صناديق بواسطة الأوناش ولما كانت بعض أجزاء من المحول عرضة للتهشم من جراء سقوط الكتل الكبيرة من الخردة فوقها فانه من الواجب أن يراعى تحصينها بصفة خاصة بطوب متين ٠

وتتحدد كمية الخردة المضافة تبعا لنسبة السليكون بالحديد الزهر ودرجة حرارته وعادة تتراوح بين ١٥ ـ ٢٠٪ من وزن شحنة الحديد الزهر ٠

الجير :

لنوع الجير أهمية خاصة فى صناعة الصلب بطريقة النفخ العلوية ويجب مراعاة حفظ الجير من التلف وتعبئته فور حرقه وبحيث يكون متجانسا فى التركيب الكيميائى ومتماثلا فى أحجامه ومما هو جدير بالذكر أنه يجب ألا تزيد نسبة السليكا به عن ٢ر٥٪ وكنهاية قصوى لهذه النسبة ٤٪ ٠

ويجب ألا يزيد الفاقد من الجير أثناء تكلسيه بأى حال من الأحوال عن ١٠٪ كما يتحتم أن يكون الكبريت به أقل ما يمكن ٠

وقد تزداد نسبة الكبريت بالجير اذا تم تكليسه مع فحم الكوك فى أفران الدست ، وقد تصل أحيانا الى نسبة ٣ر٪ مما يكون له أبعد الأثر فى ازالة الكبريت من الصلب ٠

وباستعمال الغاز الطبيعى فى حرق الجير فان نسبة الكبريت به لا تتعدى ٠٣ر/ ويجب ألا يكلس الفحم مع الجير ٠ وقد وجد أن أحسن الأحجام للكتل الجيرية وأنسبها هى ما تقع بين ٥٠ـ ١٠٠ ممم وقد يسمح باضافة نسبة صغيرة من كتل الجير ذات الاحجام الصغيرة ٢٠ـ ٥ مم ٠

وليس من المستحسن استعمال الجير الناعم لأنه سرعان ما يتناثر بعيدا خارج المحلول عند تسليط الاكسجين على الشحنة ٠

وللجير تأثير ملموس فى سرعة تكوين الخبث فكلما قلت نسبة الجير الغير نام الاحتراق وكانت أحجامه متماثلة كلما زادت سرعة ذوبانه فى الحديد وتكون خبث الجير الحديدى فى وقت وأقصر ٠٠ وتعتبر الفترة التى يتأخرها تكوين الخبث عاملا سيئا يضيع خلالها كثير من الحديد وتتأثر بطانة المحول وأنبوبة النفخ ٠

واذا لم تكن طبقة الخبث كافية تتأثر المعدن على أنبوبة النفخ ويؤدى ذلك الى ضياع بعض الوقت حتى يتمكن العامل من تنظيفها ٠

ولهذا يصبح خضوع مواصفات الجير لرقابة دقيقة أمرا حتميا وتحدد كمية الجير المضافة الى المحول أساسا بكمية السليكون الموجودة بالحديد الزهر وحامض السليسيك الموجود فى الحام كما تتحدد تبعا للخام المتاح ويتسبب نقص الجير فى انخفاض قاعدية الخبث فى حين لاتذوب الكميات الزائدة منه وتطفو كتلا من الخبث ٠

هذا ويمكن تحديد الكمية المطلوبة من الشكل البيانى (شكل (٤٤)) أو من الجداول ومن الرسم البيانى تتعين كمية الجير اللازمة كما يأتى :

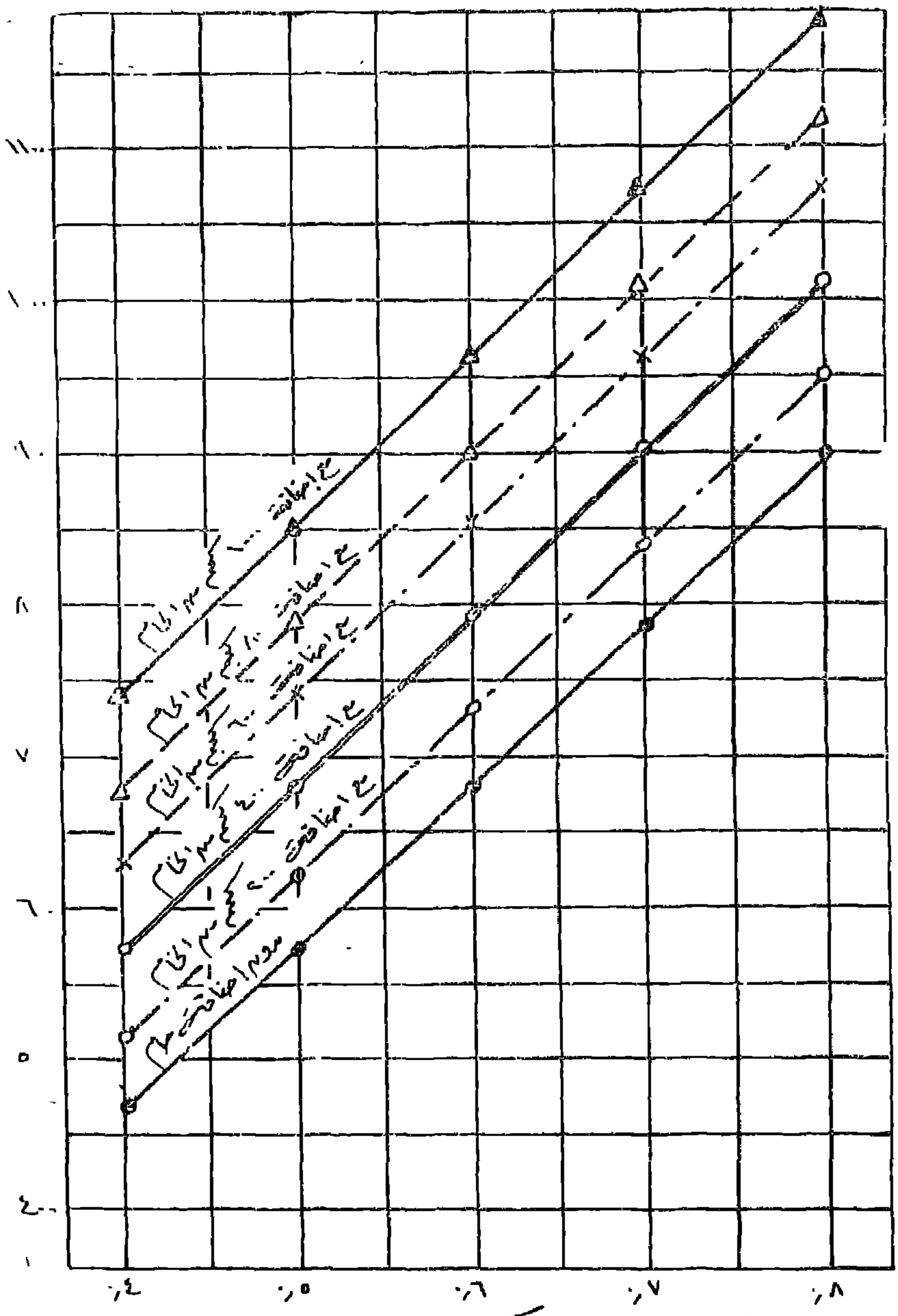
تحدد نسبة السليكون فى الحديد الزهر ولتكن ٦ر٠٪ على المحور الأفقى ويرسم خط رأسى من هذه النقطة يتقاطع مع أحد الخطوط المائلة والتى تبين كمية الخام المضاف ولتكن ٨٠٠ كجم ومن نقطة التقاطع هذه نرسم خطا أفقيا يعطى تقاطعه مع المحور الرأسى كمية الجير اللازمة وهى فى حالتنا هذه تساوى ٩٠٠ كجم ٠

وتضاف كمية أخرى الى هذه الكمية لضبط الخبث النانى ويمراك تحديد حجم هذه الكمية الى الملاحظ الذى يقوم بالعمل استنادا الى طبيعة الخبث المتكون وكمية خام الحديد المضافة ٠ ويتغير استهلاك الجير تبعا للتركيب الكيمائى للحديد الزهر والطريقة المستخدمة للتبريد (باضافة الخردة أو خام الحديد) وتتراوح اضافة الجير بين ٤ـ٩٪ من وزن الشحنة ٠٠ ولقد أصبح الآن فى كثير من الأقطار كالاتحاد السوفيتى وغيره استبدال جزء من الجير بالحجر الجيرى أمرا معروفا ٠

خام الحديد ـ النفايات الحديدية :

عند اضافة خام الحديد الى شحنة الحديد الزهر مراعاة ألا تزيد نسبة السلكيا فيها عن ٨٪ حتى لا يتضخم حجم الخبث وتخلل قاعديته كما يجب أن ننعدم بقدر الامكان الخامات ذات الأحجام الدقيقة حيث أنهـا سرعان ما تتطاير مع الغازات المتكونة أثناء النفخ خاصة اذا أضيفت أثناء النفخ ٠

ومن البديهى أن تكون نسبة الحديد به مرتفعة (حوالى ٦٠٪) حتى تزداد الكفاءة الانتاجية للصلب النانج ٠ وتعتبر النفايات الحديدية بديلا جيدا لخام الحديد اذ تتميز بانخفاض نسبة السليكون بها (لغاية ٥ر٢٪) وارتفاع نسبة الحديد (حوالى ٧٠٪)



شكل (٤٤) : خطوط بيانية تحدد وزن التبير الذى يجب اضافته فى محول سعته ٢٠ طنا

واليك التحاليل النمطى لهذه النفايات :

ح أ	٥٨٪
	٣٥ر٦٪
ح (الكلى)	٧٠٪
س أ٢	١ر٧٥
لو٢ أ٣	٠ر٦٢
كا أ	١ر٤
مغ أ	٠ر٦
م أ	١ر٤٢
فـو	آثار
كـب	آثار

ولكى تكون هذه النفايات صالحة للاستعمال يجب أن تتوافر بها بعض المواصفات ، فيجب أن تكون جافة حتى لا تلتصق بفتحة الشحن للمحول ٠

ويتوقف معدل اضافة خام الحديد على الطريقة المتبعة وعندما تتسبب النفايات المعدنية فى تبريد الشحنة تزود الشحنة بكمية من خام الحديد فعط حتى تزداد اكاسيد الحديد بالخبث مما يسرع باذابة الجير وفى هذه الحالة يكون استهلاك خام الحديد والنفايات المعدنية بمعدل ٧ر٠ـ١٪ ٠

واذا لم تضف النفايات المعدنية (اضافة الخام فقط) فان معدل اضافة الخام فى هذه الحالة يكون عادة بواقع ٥ـ٧٪ من وزن الشحنة ويقوم العامل المنوط اليه القيام بمتابعة هذه العملية بتنظيم هذا المعدل استنادا الى تحاليل الشحنة ودرجة حرارة المحول ونسبة الكربون بالصلب الناتج ومعدل اندفاع الأكسوجين ودرجة حرارة الصبة السابقة حيث تتحدد طريقة التبريد ٠

ويستفاد كثيرا اذا استعملنا خامة الحديد التى سبق تركيزها وتكويرها ٠ والتى تحتوى على ٦٥ ـ٧٠٪ حديدا ، ٥ر١ـ٢٪ سليكا ٠

البوكسيت والفلوريت (الفلورسبار) :

حتى يتكون الخبث سريعا يضاف البوكسيت الى الشحنة بكمية تتراوح بين ٥ر٠ـ١٠ر٪ من وزنها ويكون العامل المحدد هو السليكون

الموجود بالحديد الزهر وللألومينا الموجودة بالبوكسيت تأثير كبير على تكوين الخبث ٠

وترتفع نسبة السليكا بالبوكسيت حتى ١٠٪ وأكسيد الحديد حتى ٥٥٪ أما باقى الشوائب فتتواجد بكميات ضئيلة (من ١ر٠ــ٥ر٣ ٪ ونظرا لشراهة امتصاص البوكسيت لبخار الماء فانه يحتوى على نسبة عالية من الرطوبة (لغاية ٢٠٪) ٠

ويتركب الفلوريت من الكالسيوم والفلور اذ أن قانونه الكيمائى هو كافل ٢ وتحتوى الأنواع الجيدة من الفلوريت على أكثر من٩٢٪ من فلوريد الكالسيوم وتكون نسبة السليكا بها أقل من ٥٪ وترجع أهمية الفلوريت الى مساعدته على سرعة ذوبان الجير فى الخبث لتكوين مصهور الخبث القاعدى ٠

خام المنجنيز :

لقد وجد عمليا أنه فى بعض الأحيان تسهل عملية ازالة الكبريت باضافة خام المنجنيز وعند استعمال طريقة النفخ العلوية بالأكسجين الخالص يجب اضافة خام المنجنيز الذى يحتوى على أكثر من ٤٥٪ من المنجنيز وعلى أقل من ١٠٪ من السليكا ٠

٧ ــ مراحل النفخ ــ التفاعلات التى تحدث داخل المحلول

تكوين الخبث

تضاف الى شحنة الحديد بالمحلول المواد المختلفة اللازمة كالخردة والجير وخام الحديد والنفايات المعدنية أو قوالب الحجر الجيرى والبوكسيت٠ وقد تضاف مواد أخرى الى شحنة الحديد الزهر بعد صبها فى المحول ٠٠ ثم يثبت المحلول بعد ذلك فى وضع رأسى وعندئذ تنخفض أنبوبة تمويل الأكسجين وتضبط فوهتها النحاسية على ارتفاع معين من سطح الشحنة ويسمح للأكسجين بالاندفاع الى الحديد ٠

وتعتبر المسافة بين فوهة الأنبوبة وسطح الحديد من أهم العوامل التى تؤثر فى سير عملية النفخ وظروف تكوين الخبث وكمية الحديد الضائعة وأيضا عمر الأنبوبة ٠

وفى البداية يندفع الأكسجين من فوهة الأنبوبة التى تكون على أقل ارتفاع حوالى ٧٠٠ــ٨٠٠ مم فوق سطح الحديد فى المحول ذى سعة

٢٥ طنا وبمعدل ٧٠ـ٨٠ م٣ من الأكسجين فى الدقيقة وبهذا نضمن اعتدال الأحتراق ٠

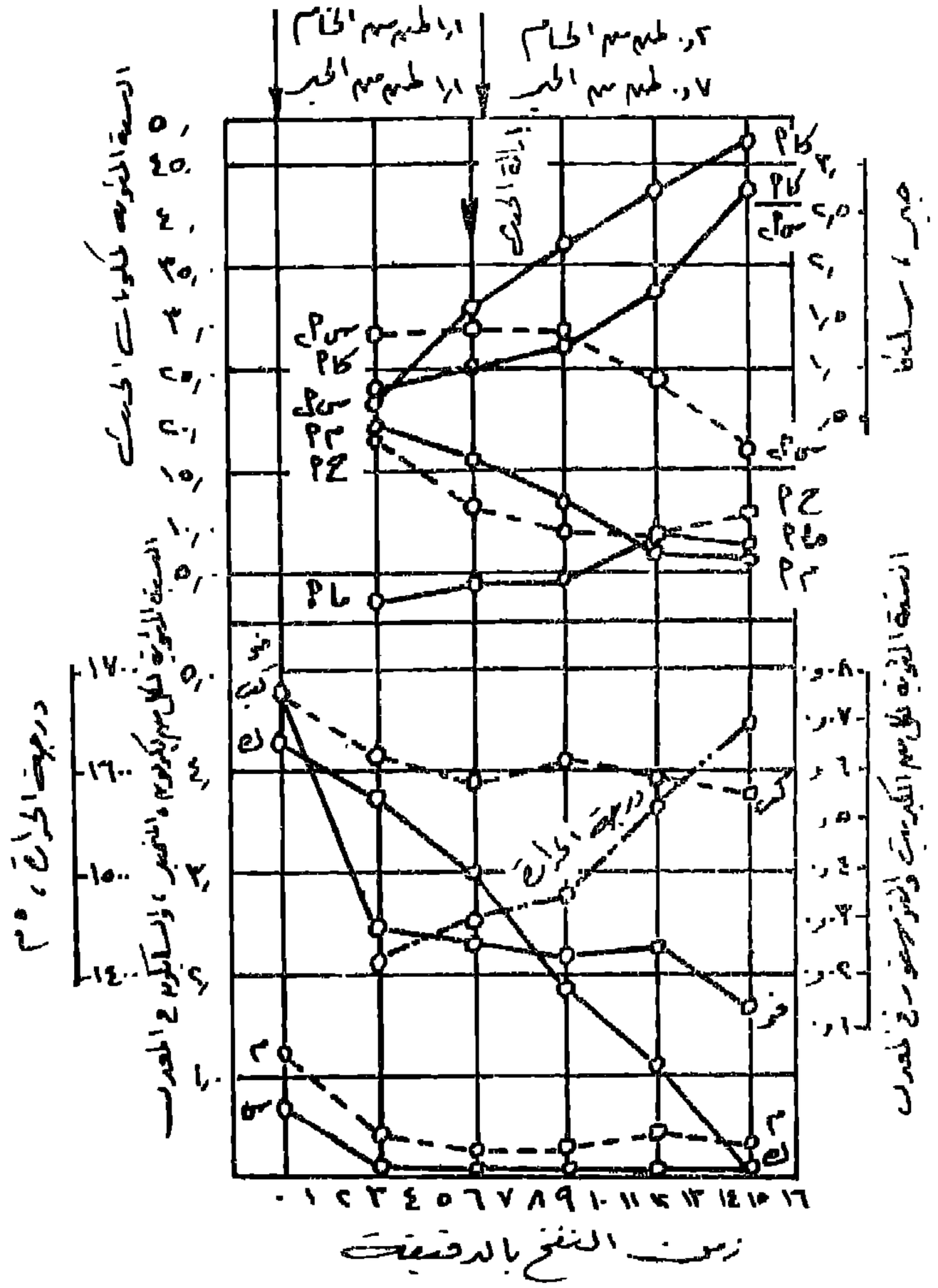
ويجب ألا تنخفض الأنبوبة أكثر من ذلك حتى لانتاكل فوهتها سريعا اذ تتعرض لتأثير قطرات المعدن شديدة السخونة التى تتناثر عليها من منطقة التفاعلات فتستهلك فى وقت قصير ٠

وباختراق تيار الأكسجين لطبقات شحنة الحديد يتأكسد الحديد أولا الى أكاسيد الحديد التى تقوم بعد ذلك بأكسدة العناصر الأخرى كالسليكون والمنجنيز والكربون والفسفور ولكن جزءا من هذه العناصر الموجودة بمنطقة التفاعلات يتأكسد مباشرة باتحاده بالأكسجين ٠

ونرى فى شكل (٤٥) صـورة نمطية لأكسدة الشوائب وتكوين الخبث لشحنة ٢٥ر٧ طنا من حديد زهر الافران المفتوحة تم تحويلها الى صلب بطريقة النفخ العلوية بالأكسجين خلال فوهة اسطوانية الشكل قطرها ٤٢ مم ٠

ففى خلال ثلاث دقائق من بدء النفخ يتأكسد كل السليكون متحولا الى سليكا ثم يتأكسد كل من المنجنيز والكربون والفوسفـور فى نفس الوقت وتمييز هذه الطريقة عن النفخ بالهواء حيث يبدأ الفوسفور في الأكسدة فقط فى فترة مابين النفخ عندما ينخفض الكربون فى الصلب الى ٠٤ر ـ ٠٥ر٪ فى خلال الثلاث دقائق الأولى من النفخ عندما يأخذ كل من السـليكون والمنجنيز فى التأكسد بتأكسد الفوسفور بشدة بينما يكون معدل تأكسد الكربون فى هذه الفترة أقل منها فى الفترات التالية وفى هذه الفترة تكون كمية أكسيد الكالسيوم بالخبث غير كافية وتتحدد الأكاسيد الحامضـية كثانى أكسيد السليكون وخامس أكسيد الفوسفور أساسا بالأكـاسيد القاعدية كأكسيد الحديد وزو أكسيد المنجنيز وتتكون سليكات الحـديد والمنجنيز (٢ح أ٠ س أ٢ ، ٢م أ٠ س أ٠) وفوسـفات الحديد (٣ح أ٠ فو ٢ أ٥ ٠) وتصل قاعدية الخبث بعد ثلاث دقائق من بدء النفخ الى ٧٧ر٪ وترتفع الى أكثر من الواحد الصحيح بعد ستة دقائق من النفخ ولذا تنخفض أكاسـيد الحديد به

ويزال الخبث بعد ٦ دقائق ، ١٠ ثوان من بدء النفخ وكقاعدة يزال الخبث بعد خمس أو ست دقائق من بداية النفخ ٠٠ وقبل ابعاد الخبث الأساسى بدقيقة أو دقيقتين ترفع أنبوبة تمويل الأكسجين الى ١٠٠٠ ـ



شكل (٤٥) : يبين التغيرات الكيميائية التى تطرأ على كل من المعدن والخبث أثناء فترة النف

١٢٠٠ مم فوق سطح الحديد أو يخفض تدفق الأكسجين مدة ونصف أو مرتين وهذا يتيح لتفاعلات الأكسدة عند السطح أن تبدأ فتزداد أكاسيا الحديد فى الخبث ويزداد حجمه مما يساعد على انسكابه عند امالة المحول

وبأخذ هذه الاعتبارات يضاف أحيانا بعض خام الحديد قبل ازلة الخبث بدقيقة أو بدقيقتين بهذا تنتهى الفترة الأولى ٠

بعد ازالة الخبث الأصلى يضاف الجير وخام الحديد والبوكسيت الى المحول وتبدأ الفترة الثانية من فترات النفخ فتظل أنبوبة الاكسجين عند

وضعها العلوى لدقيقة أو دقيقتين حتى تزداد كمية أكاسيد الحديد فى الخبث فيذوب الجير بسرعة ثم تعاد بعد ذلك الى وضعها الأصلى حتى نهاية عملية النفخ ٠

وفى هذه الفترة ينفرد الكربون بعملية الأكسدة وتنخفض كثيرا كمية أكاسيد الحديد بالخبث حيث يصل معدل أكسدة الكربون الى ٣٥ر٠٪ فى الدقيقة ٠ وتعمل الزيادة فى درجة الحرارة بين الدقيقة التاسعة والدقيقة الثانية عشرة على اختزال المنجنيز وقليل من الفوسفور ٠

ويعزى هذا الى انخفاض كمية أكاسيد الحديد بالخبث ٠

وفى الدقائق الأخيرة من فترة النفخ عندما تنخفض نسبة الكربون فى الصلب الى ١ر٠٪ ترتفع كمية أكاسيد الحديد فى الخبث وهذه الاكاسيد بدورها تؤكسد المنجنيز والفوسفور فتنخفض مقاديرها باطراد كلما اقتربنا من نهاية النفخ للحصول على صلب منخفض الكربون ٠

وطول فترة النفخ ترتفع قاعدية الخبث تدريجيا حتى تصل الى ٢ر٧٢ عند نهاية النفخ وتعتبر بطانة المحول التى تتركب من الكرومجنزيت المصدر الوحيد لأكسيد الماغنسيوم الذى يظهر فى الخبث ٠

وعادة يتغير التركيب الكيمائى للخبث الأصلى (الذى يتكون خلال ٦ــ٨ دقائق الأولى من فترة النفخ) فى الحدود التالية ويرجع هذا التغير الى تركيب الحديد الزهر وظروف النفخ والاضافات الأخرى (خام الحديد والجير والبوكسيت)

جدول (٢٣)

س أ ٢	٢٧ــ٢٥
كا أ	٣٥ــ٣٢
كاأ:س أ ٢	١ر٣ــ٢ر١
ح أ	١٧ــ٦
م أ	١٦ــ١٠
لو ٢ أ ٣	٥ــ٢ر٥
مغ ٢ أ ٣	٥ــ٣

ونبعا لكمية الخبث الأول الذى تمت ازالته والاضافات المختلفه كالجير والخام والبوكسيت ، ظروف التشغيل ونسبة الكربون فى الصلب الناتج يصير تحليل الخبث النهائى كما يأتى : ــ

س٢ أ	١٤ ـ ٢٢
كا أ	٤٢ ـ ٥٠
كا أ : س٢ أ	٢ر٥ ـ ٣ر٥
ح أ	٥ ـ ١١
م أ	٧ ـ ١٤
لو٢ أ	٣ ـ ٧
مغ أ	٤ ـ ٨

القواعد الخاصة لازالة الفوسفور

في مستهل عملية النفخ العلوى بالأكسجين يتأكسد الفوسفور سريعا وفى الواقع انه لا يمضى أكثر من ثلاث دقائق من بدء النفخ حتى يتم تأكسد الفوسفور كله ٠

ويساعد على ذلك تكوين مصهور خبث الجير الحديدى (أنظر شكل ٤٥) وتتوقف نسبة الفوسفور بالصلب على كمية أكسيد الحديدوز الموجودة بالخبث فتقل نسبة الفوسفور بالسلب بزيادة كمية أكسيد الحديدوز بالخبث كما هو مبين بالجدول ٢٤ الذى تم اعداده بطريقة احصائية على عدد كبير من الصبات نفخت بالاكسجين النقى من أعلا فى محول سعة ٢٥ر٥ طنا وكانت نسبة الفوسفور بالحديد الزهر ١ر٠٪ ٠

ويمكن ازالة الفوسفور بسهولة برفع أنبوبة دفع الاكسجين وخفض ضغطه حتى يتأكسد الخبث جيدا كما أن اضافة خام الحديد تساعد على ازالة الفوسفور بنجاح ٠

	النسبة المئوية لأكسيد الحديدوز فى الخبث						
	لغاية ٥	١ر٥ — ٧	١ر٧ — ٩	١ر٩ — ١١	١ر١١ — ١٣	١ر١٣ — ١٥	المجموع الكلى للعصبات
عدد العصبات	١٨٢	٦٨٠	١٥٢٩	١٠٠٠	٣٣٣	١٦٣	٤٠٤٨
متوسط النسبة المئوية للفوسفور	٠٣٨ر	٠٣٣ر	٠٢٨ر	٠٢٦ر	٠٢٤ر	٠٢١ر	٠١٩ر

ويبين جدول ٢٥ مدى ارتباط نسبة الفوسفور في الصلب الناتج بقاعدية الخبث الذى يحتوى على ٧ — ٩٪ من أكسيد الحديدوز ويحتوى الصلب على ١٤ر — ٢٢ر٪ كربونا ٠

	قاعدية الخبث				
	لغاية ٢ر٠	١ر٢ — ٥ر٢	٦ر٢ — ٣	١ر٣ — ٥ر٣	٦ر٣
عدد العصبات	٢٥	٩٧٦	٢١٦٠	٢٦١	٦٤
متوسط النسبة المئوية للفوسفور	٠١٧ر	٠٢٢ر	٠٢٥ر	٠٢٧ر	٠٣ر

وبالتحكم فى طروف تشغيل النفخ يمكننا الحصول على صلب يحتوى على نسبة منخفضة من الفوسفور مهما كانت كمية الكربون به · فمثلا صلب القضبان الذى يحتوى على ٥٠ر ـ ٣٧ر٪ كربونا تتراوح نسبة الفوسفور به بين ٠٢٠ر ـ ٠٤٠ر٪ وعادة ما يصب الصلب الناتج من المحول خلال فتحة لمنع اختلاط الصلب بالخبث وذلك لتلافى اختزال الفوسفور وعودته ثانية الى الصلب ·

ازالة الكبريت من الصلب

يتسبب فعل القشر للخبث فى اعاقة عملية ازاله الكبريت من الصلب ولهذا السبب يجب أن تكون كمية الكبريت فى الحديد الزهر فى حدود ضيقة جدا وبقدر الامكان ويزال الكبريت من الحديد الزهر بعد خروجه من الفرن العالى وقبل صبه فى المحول ·

وفى أثناء النفخ تنخفض كمية الكبريت بالصلب فى الدقائق الست الأولى (انظر شكل ٤٥) ودرجة ازالة الكبريت خلال هذه الفترة تساوى

$$\text{درجة ازالة الكبريت} = \frac{(\text{٠٧٦ر} - \text{٠٥٨ر}) \times ١٠٠}{\text{٠٧٦ر}} = \text{٧ر٢٣٪}$$

وباضافة الجير بعد ازالة الخبث من المحول تزداد نسبة الكبريت زيادة طفيفة لاحتواء الجير على نسبة عالية من الكبريت (٢٣ر٠٪) ثم ما تلبث هذه النسبة أن تنخفض ثانية ولا تتعدى درجة ازالة الكبريت النهائية ٣ر٢٦٪ ولكى يزال الكبريت لدرجة كبيرة يلزم أن يكون الخبث ذا سيولة كبيرة وقاعديته عالية مع احتوائه على كمية اقل من أكاسيد الحديد كما تساعد الحرارة المرتفعة والتقليب الشديد للمعدن على ازالة الكبريت بنجاح وتتوافر هذه الظروف مجتمعه عندما يستخدم الاكسجين فى نفخ الحديد الزهر ·

وبالرغم من ذلك تصادفنا أثناء ازالة الكبريت بعض المشاكل والصعاب نتيجة لتكون الخبث فى وقت متأخر (عند نهاية النفخ) بالتركيب الكيمائى المطلوب أو لعدم الوصول الى درجة الحرارة العالية والتى تناسب هذه العملية ·

وبعض مكونات الخبث لها تأثير فعال وقوى فى ازالة الكبريت ومن هذه المكونات السليكا وأكسيد الكالسيوم ـ قاعدية الخبث ـ وأكسيد المنجنيز ·

يبين جدول (٢٦) تأثير قاعدية الخبث على كمية الكبريت بالصلب ودرجة ازالته من الحديد الزهر الذى يحتوى على ٠٦ر ـ ٠٦٥ر٪ كبريتا، ١ر٣٥ ـ ٥ر١٪ منجنزا ، ٦ر٠٪ سلكونا ·

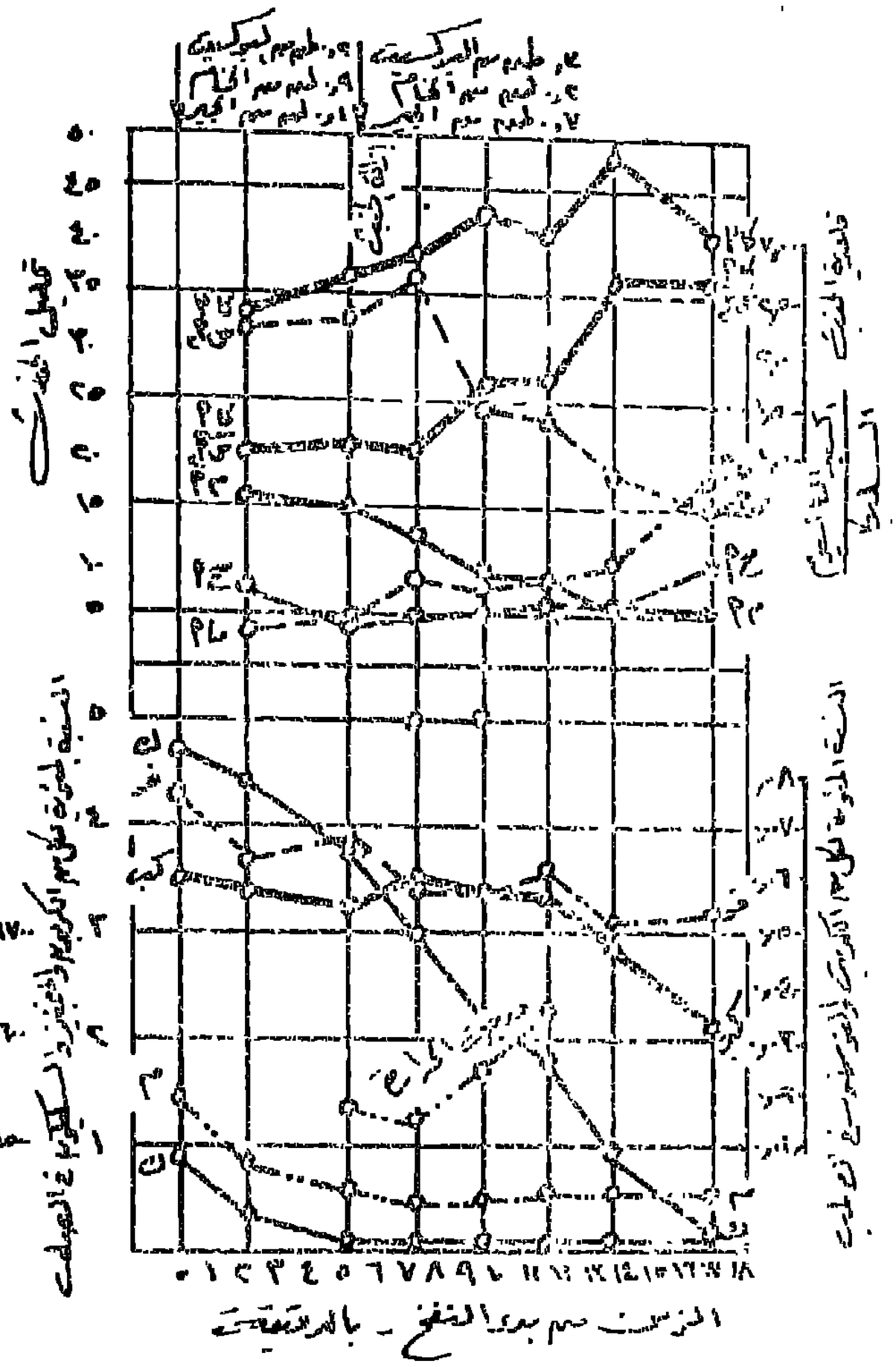
	قاعدة الخبث كا أ / س أ ٢					
	حتى ٢ر٠	٢ر١ ٢ر٥	٢ر٦ ٣	٣ر١ ٣ر٥	٣ر٦	
عدد الصبات	٥٩	١٨٥١	٣٫٥٨٣	٨٦٤	١٩٣	يحتوى الحديد الزهـــر على ٠٦ر ــ ٠٦٥ ٪
النسبة المئوية للكبريت	٠٤٧ر	٠٤٤ر	٠٤١ر	٠٣٨ر	٠٣٧ر	كب، ٥ × ١ ــ ٥ر١٪ م على حوالى ٦ر٠ ٪ س
درجة ازالة الكبريت	٢٥ر٤	٣٠ر٢	٣٥	٣٩ر٨	٤١ر٣	صلب فوار به ٠٧ر ــ ٢٪ ك

وبالرغم من ذلك فان درجة ازالة الكبريت عندما تصبح فاعدية الخبث ٢ر٦ ـ ٣ر٠ أى فى الحدود المألوفة ويرجع ذلك الى ارتفاع لزوجة الخبث مع ارتفاع قاعديته ويعطى الخبث ذو القاعدية ٢ر٦ ـ ٣ اذا كانت سيولته كبيرة ـ نتائج أفضل ٠

التأثير الناتج عن اضافة البوكسيت والفلوريت أثناء ازالة الكبريت :

يعطى شكل (٤٦) فكرة عن التغييرات التى تطرأ على كل من الصلب والخبث لشحنة وزنها ٥ر٢٥ طنا بعد اضافة البوكسيت اليها وهـــذه البيانات توضح لنا ما يأتى :

١ ـ اضافة البوكسيت يسرع من تكوين الخبث وتتعدى قاعديته الواحد الصحيح وفى غضون دقيقتين و ١٠ ثوان (بينما لا تتعدى هذه



شكل (٤٦) : التغيرات التى تطرأ على التركيب الكيميائى لكل من المعدن والخبث أثناء النفخ مع اضافة البوكسيت

القاعدية ٧٧ وفى وقت يزيد عن ذلك بثلاث دقائق اذا لم يضف البوكسيت الى الشحنة (أنظر شكل (٤٥) وبعد ٩ دقائق و ٣٣ ثانية تقفز القاعدية الى ١ر٧٣ وتصبح ٢ر٦٥ قبل نهاية النفخ بثلاث دقائق و ١٥ ثانية فى وجود لو ٢ أ٣ بنسبة ٢ر٦ ـ ١ر٥٪ وكانت سيولة الخبث مرضـــية ٠ وفى خلال هذه المدة تنخفض كمية الكبريت فى الصلب من ٠٤٧ر الى ٣٣ر٪ وبذلك تصبح درجة ازالة الكبريت الكلية ٤٥ر٪ وبدون اضافة البوكسيت يتكون الخبث بنفس القاعدية السابقة عند نهاية النفخ فقط ولا تنجح ازالة الكبريت بدرجة عالية ويحتوى مثل هذا الخبث عـلى ٤٢ر٣٪ لو ٢ ا٣ فقط ٠

٢ ـ يعرقل انخفاض نسبة أكسيد الحديد بالخبث من فاعليته فى ازالة الفوسفور ٠

٣ ـ تزداد كمية الماجنيزيا (أكسيد المغنســـيوم (فى الخبث باستمرار وتبلغ هذه الزيادة ذروتها أثناء الدقائق الثلاث و ١٥ ثانية الأخيرة من فترة النفخ ٠

٤ ـ لا يكون لاضافة البوكسيت أى تأثير على تأكســـد كل من السليكون والمنجنيز والكربون ٠

ويجب ربط كمية البوكسيت المضافة بنسبة السليكون الموجود بالحديد الزهر واذا كانت كمية السليكا بالخبث عالية عمل البوكسيت على زيادة السيولة فيزداد تآكل حراريات البطانة بالمحول ٠

ويضاف البوكسبت بالطريقة الآتيـة فى أحد مصـانع الصـلب بالاتحاد السوفيتى : ـ

١ ـ اذا احتوى الحديد الزهر على عنصر السليكون لغـاية ٧ر٠٪ وعنصر الكبريت لغاية ٠٧ر٠٪ وأضيف ٤ر٠٪ من البوكسيت أولا قبل النفخ ثم يضاف ٦ر٠٪ بعد ازالة الخبث أما اذا أضيفت كل الكميـة دفعة واحدة قبل النفخ فانه يلزم اضافة البوكسبت بواقع ١٪ من وزن الحديد الزهر ٠

٢ ـ وفى حالة احتواء الحديد الزهر على عنصر السليكون لغايـة ٥ر٠٪ وزيادة الكبريت عن ٠٧ر٪ يضاف ٨ر٠٪ بوكسبت قبل النفـخ ثم يضاف ثانية ٢ر١ بعد ازالة الخبث ٠

٣ ـ اذا زادت نسبة السليكون بالحديد الزهر عن ٧ر٠٪ لا يضاف البوكسبت خلال الفترة الأولى من فترات النفخ بل يضاف أثناء الفترة الثانية بنسبة ١٪ ٠

وبتثبيت العوامل الأخرى فان درجة ازالة الكبريت تزداد باضافة البوكسيت كما فى الجدول التالى :

	النسبة المئوية للكبريت فى الحديد الزهر			
	لغاية ٠٥ر	٠٥١ر ـ ٠٦ر	٠٦١ر ـ ٠٧ر	٠٧١ر ـ ٠٨ر
درجة ازالة الكبريت باضافة ١٪ من الكبريت	١٨ر٦	٢٥ر٢	٣١ر٨	٤١ر٦
درجة ازالة الكبريت بدون اضافة البوكسيت	١٣ر٦	٢١ر٩	٢٣ر٥	٢٩

ويلاحظ ان درجة ازالة الكبريت تزداد بارتفاع نسبته فى الحديد الزهر · من هذه البيانات يتضح أن اضافة البوكسيت تعمل على ازالة الكبريت من الصلب بسهولة كما تساعد على سرعة ذوبان الجير وتكوين خبث ذى سيولة عالية وقاعدية مناسبة ·

ولضمان ازالة الكبريت بدرجة كبيرة يضاف الى الشحنة كميه من الفلوريت بمعدل ٥ كجم لكل طن من الحديد قبل ازالة الخبث الأول وتقل هذه الكمية الى ٢ كجم لكل طن اذا أضيف الفلوريت بعد ازالة الخبث ··

وفى هذه الحالة ترتفع درجة ازالة الكبريت الى أكثر من ٣٥٪ بعد انخفضت كميته بالحديد الزهر ·· فنجد أنها تبلغ ٣٩٪ اذا احتوى الحديد الزهر على كبريت بنسبة ٠٣ر ـ ٠٥٣ر٪ مما يتيح أمامنا الفرصة لصناعة الصلب من الحديد الزهر الذى يحتـــوى على كبريت ٠٢٨ر٪ وبدون اضافة الفلوريت فان درجة ازالة الكبريت لمثل هذا النوع من الحديد الزهر لا زيد عن ١٨ر٦٪ ·

تأثير وجود أكسيد المنجنيز فى الخبث على كمية الكبريت فى الصلب :

يبين جدول ٢٨ تأثير اكسيد المنجنيز م أ فى الخبث على كميـــه الكبريت فى الصلب مع العلم بأن قاعدية الخبث ٢ر٦ ـ ٣ ، ويحتوى الحديد الزهر على ٠٦ر ـ ٠٦٥ر٪ منه كبريتا ·

	النسبة المئوية لاكسيد المنجنيز فى الخبث						
	الى ٧	١ر٧ ـ ٩	١ر٩ ـ ١١	١ر١١ ـ ١٣	١ر١٣ ـ ١٥	١ر١٥	الصبات الكلية
عدد الصبات	٨٨	١٤٠٠	٣٩٦٨	١٩٣١	٤٥٦	١٦٨	١١٠١
متوسط كمية الكبريت	٠٤٦ر	٠٤٢ر	٠٤ر	٠٣ر	٠٣٦ر	٠٣٥ر	
درجة ازالة الكبريت	٢٧	٣٣ر٤	٣٦ر٥	٩٩ر٨	٤٢ر٩	٤٤ر٥	

يتضح من الجدول السابق أن ارتفاع نسبة اكسيد المنجنيز بالخبث تزيد من درجة ازالة الكبريت وباستبعاد الخبث الأول يستبعد جزء كبير من أكسيد المنجنيز عن المجموعة أولا يشترك فى ازالة الكبريت من الصلب ويصبح المتبقى منه فى الخبث الجديد (بعد ضبطه) ٦ ـ ٨٪ (انظر شكلى ٤٥ ـ ٤٦) وبهذا تتحقق درجة ازالة الكبريت المنشودة ٠

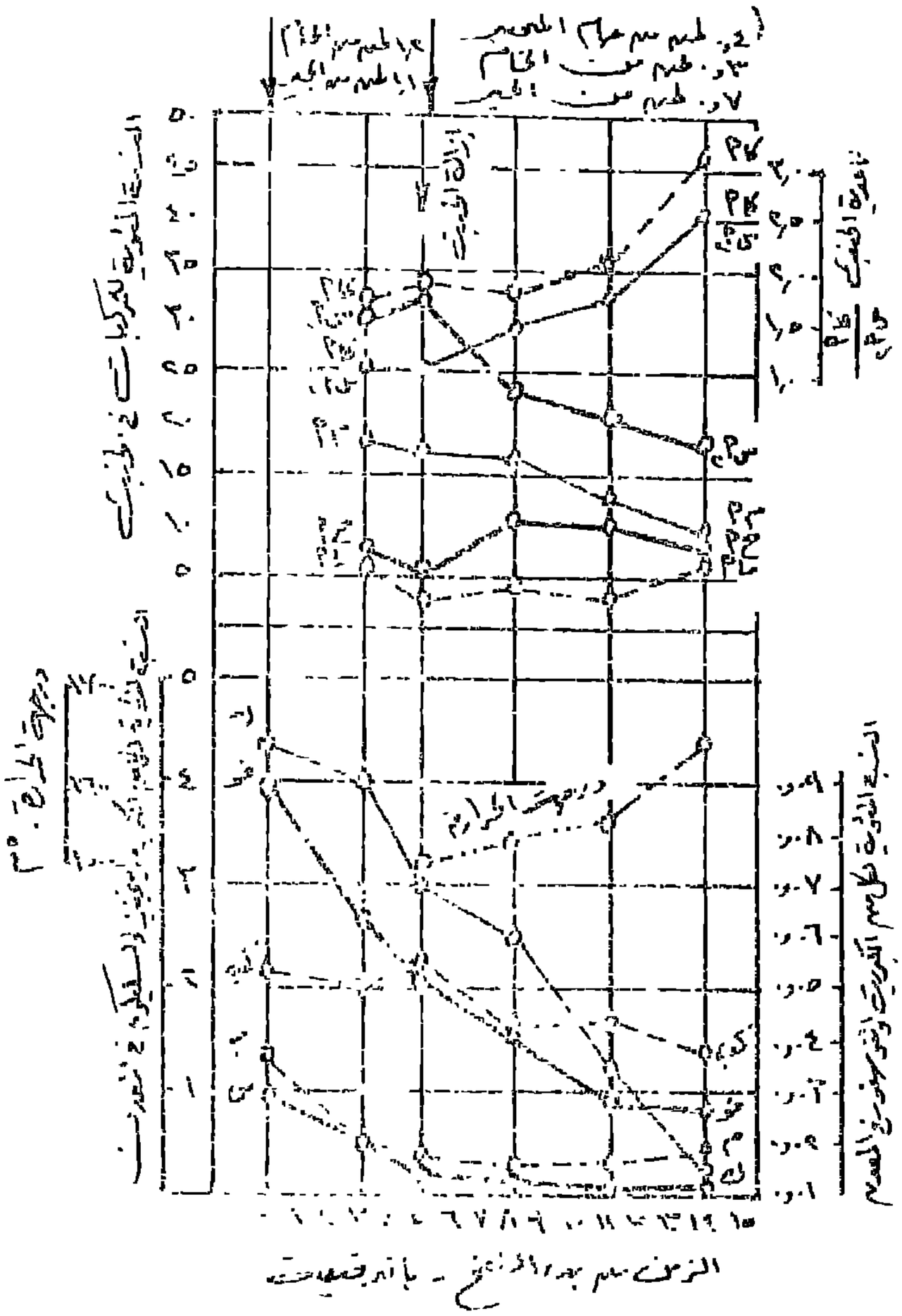
ولهذا السبب فانه لخفض نسبة الكبريت بالصلب يضاف الفيرومنجنيز الى المحول بعد ازالة الخبث لتعويض كمية أكسيد المنجنيز المفقودة مع الخبث ٠

اضافة خام المنجنيز فى المحولات

لرفع كمية أكسيد المنجنيز فى الخبث يمكن اضافة الخام الغنى بالمنجنيز فى المحول بعد ازالة الخبث الأصلى منه ٠ ونرى فى شكل (٤٧) سلوك شحنة أضيفت اليها خام المنجنيز بنسبة ٦ر١٪ من وزنها بعد أن تم استبعاد الخبث من المحول ٠

وبالرغم من وجود أكسيد المنجنيز بكمية كبيرة فى الخبث نظرا لانخفاض قاعديه فان كمية الكبريت فى الصلب لا تنقص قبل ازالة الخبث ٠٠ وبعد ازالة الخبث ترتفع قاعديه الخبث فى الوقت الذى تزداد فيه كمية أكسيد المنجنيز باضافة خام المنجنيز مما يساعد على ازالة الكبريت فتنقص نسبته من ٠٥٥ر٠ الى ٠٤٢ر٪ ثم أخيرا الى ٠٣٨ر٪ ٠

ويلاحظ ارتفاع كمية اكسيد المنجنيز فى الخبث النهائى لاضافة خام المنجنيز بعد اجراء عملية الخبث ٠



شكل (٤٧) : التغير فى التركيب الكيميائى فى كل من المعدن والخبث خلال فتره النفخ ، وذلك عند اضافة خام المنجنيز

كما يشاهد بالمقارنة من التذبذب الذى يطرأ على كمية أكسيد المنجنيز فى الخبث باستخدام خام المنجنيز أو بدون استخدامه (جدول ٢٩) .

	النسبة المئوية لأكسيد المنجنيز في الخبث			
	٨	٩ – ١١	١٢ – ١٤	١٥
النسبة المئوية لعدد الصبات :				
دون استخدام خام المنجنيز	٩ر٢	٧٩ر٤	١٠ر٨	٦
باستخدام خام المنجنيز	٨ر٧	٢١ر٨	٣٩ر٢	٣٠ر٤

وكقاعدة اذا لم يكن هناك اضافه من خام المنجنيز فان كمية اكسيد المنجنيز فى الخبث تقع بين ٩ ـ ١١٪ أما اذا أضيف خام المنجنيز فان الفرق الكبير فى كميته يقع بين ١٢ ـ ١٥٪ ٠

وكثيرا ما يساعد وفره أكسـيد المنجنيز فى الخبث عـلى ازالة الكبريت من الصلب وقد لوحظ أن ٦٣٪ من الشحنات التى أضيفت اليها خام المنجنيز فى الفترة الثانية قد احتوت فى النهاية على كبريت تصـل نسبته الى ٠٤ر/ بينما لا يتعدى عدد الصبات بهذه النسبة من الكبريت عن ٤ر٣٤٪ اذا تم النفخ بدون اضافة خام المنجنيز اليها ٠

ومن هذا ينصح ان اضافة الخام الغنى بالمنجنيز بعد الخبث الأول فى طريقة النفخ العلوية بالأكسجين الخالص وتحسن كثيرا من عمليـة التخلص من الكبريت ٠

وحتى نحصـل على نتائج طيبة عند صناعة صـلب ذى كبريت منخفض من الحديد الزهر بنفخه بالأكسجين الخالص يلزم لنا ما يأتى : ـ

١ ـ اذا كان المطلوب عدم تعدى نسبة الكبريت بالصلب عن ٠٤ر/ فانه يجب ألا تزيد نسبته فى الحديد الزهر عن ٥٥ر٪ كما يجب ألا تقل نسبة المنجنيز عن ٥ر١٪ ٠

واذا زادت نسبة الكبريت بالحديد الزهر عن هذه النسـبة كان لزاما علينا التخلص منه فى البوادق بواسطة رماد الصودا (صودا آش) أو غيرها ٠

٢ ـ يراعى أن تكون سيولة الخبث عاليـه وقاعديته مناسـبة فى وقت مبكر بقدر المستطاع أى قبل الدقائق الخمس الاخيرة من فترة النفخ ويساعد على هذا اضافة البوكسيت ٠

٣ ـ يجب أن يحتوى الخبث فى الفترة الثانية على كمية كافيـة من أكسيد المنجنيز واضافة الخام الغنى بالمنجنيز كفيلة بتحقيق ذلك بعد التخلص من الخبث الأول ٠

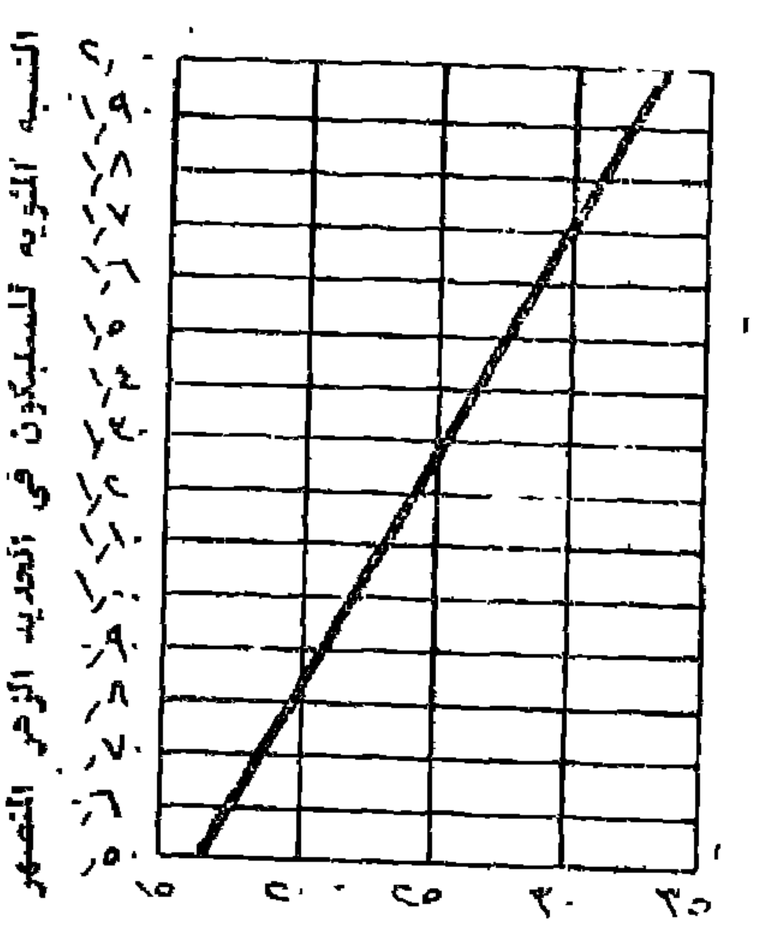
٤ ـ من الأهمية بمكان أن تكون درجة الحرارة عالية حتى نتخلص من الكبريت بنجاح ٠

ضبط درجة حرارة الشحنة أثناء النفخ

يتأثر عمر بطانة المحول بالتغيرات التى تطرأ على درجة الحرارة داخله كما تنعكس ظروف الحرارة على وجود المعدن وكمية الحـديد الضائعة ٠

وبنفخ الحديد الزهر بالاكسجين الخالص نوفر لدينا كميه كبيرة من الحرارة كانت تضيع مع النتروجين الساخن فى حالة نفخ الحديد من أسفل المحول بالهواء فقط ٠

وقد وجد ان كميه هذه الحرارة الضائعة مع الغازات المتصاعده من محولات توماس وبسمر حيث يتم النفخ خلال القاعده وبالهواء تبلغ حوالى ٢٣ ـ ٢٩٪ وتنخفض هذه النسبه اذا ما تم النفخ بالاكسجين الخالص الى ٦ ـ ٨٪ وتستغل الحرارة الفائضه فى صهر كميه كبيره من الخردة أو خام الحديد وتتحدد هذه الكميه سلفا بمعرفه درجة الحرارة التى وصلت اليها الشحنة وكميه السليكون الموجودة بالحديد الزهر كما أن التشغيل المستمر للمحول يؤدى الى رفع درجة حرارة بطانة المحول ويعطى الفرصة لزيادة كمية المبررات المضافة (الخردة والخام) وفى شكل (٤٨) نرى العلاقة التى تربط بين كمية المبردات المضافة ومقدار السليكون بالحديد الزهر ٠ ولما كان دور هذه الاضافات هو تبريد الشحنة لذلك فانها تضاف دون تسخين ، وفى الظروف التى تستخدم فيها النفايات الناتجة عن عمليات الدرفلة وغيرها ـ يراعى استغلالها بالكامل فى تشغيل المحولات ٠



شكل (٤٨) : بين العلاقه بين كمية الخرده المضافة ونسبة السلكون فى الحديد الزهر ٠

استخدام خام الحديد كعامل مبرد :

يضاف خام الحديد منفردا لأغراض التبريد قبل النفخ أو أثناء الفترة الثانية بعد التخلص من الخبث الاصلى ٠٠ ويتحدد وزن الخام

المضاف بكمية السليكون الموجودة بالحديد الزهر فيضاف بنسبة ٤ ـ ٣ر٤٪ اذا كانت نسبة السليكون ٤ر٠ ـ ٦ر٪ ويضاف بنسبة ٨ر٤ ـ ٠ر٦٪ اذا كانت نسبة السليكون ٦١ر ـ ٨ر٠٪ ٠

وقد يضاف الخام فى الفترة الثانية بعد ازالة الخبث وعلى دفعة واحدة مع الجير والبوكسيت أو على عدة مرات طوال الفترة الثانية ٠

ولكن اضافه الخام دفعه واحدة فور ازالة الخبث لا تضمن تبريدا مناسبا كما ينبغى واضافه كمية كبيرة من الخام تسبب تبريدا للمعدن فور شحنها وتوفر من اخبال الحديد ٠ وعندما نشحن الشحنة بعد اضافه كميه الخام بدقيقة ونصف أو دقيقتين تبدأ تفاعلات بين الخام وعنصر الكربون الموجود بالمعدن مع تناثر المقذوفات الحديدية خارج المحول ٠

وبمقارنة اضافة الخام الى المحول فى الفترة الثانية دفعة واحدة واضافته على ثلاث دفعات متساوية بين كل دفعة والأخرى ٢ ـ ٥ر٢ دقيقة نجد أن الكفاءة الانتاجية فى الطريقة الثانية قد تزداد بنسبة ٥ر١ ـ ٢٪ نتيجة لانخفاض كمية الحديد الضائعة كمقذوفات واختزال الخام عن آخره ، وانخفاض عدد الصبات التى تصل الى درجة التسخين المفرط فتبلغ حرارتها قبل صبها الى ١٦٥٠ درجة مئوية وبذلك تؤدى البطانة عددا من الصبات أكبر ٠

من هذا تتضح المميزات العديدة الناتجة عن اضافة الخام على عدة دفعات ٠

وفى الفترة الأولى يضاف الخام وتتغير كميته تبعا لمقدار السليكون بالحديد الزهر وظروف التشغيل ويكون فى حدود ٧٠٠ ـ ١٢٠٠ كجم ويزال الخبث بعد ٥ ـ ٦ دقائق من عملية النفخ ثم يقوم العامل باضافة خليط الخام والجير والبوكسيت بوزن ٣٠٠ ـ ٦٠٠ كجم ويترك تقدير كمية الخام للملاحظ الذى يقوم بمراقبة العملية ويكون التقدير على أساس درجة الصبة بعد ازالة الخبث اذا قيست أو على درجة حرارة الصلب النهائية للصبة السابقة ٠

استخدام الماء فى التبريد :

تنخفض درجة حرارة الشحنة باضافة الخام خاصة اذا أضيفت على عدة دفعات وفى بعض الأحيان يستخدم الماء لتبريد الشحنة وبذلك يقل تأثير الحرارة الشديدة على بطانة المحول ويستخدم الماء رذاذا بواسطة

تيار الاكسجين الذى يوجهه الى منطقة التفاعلات فيبردها · وفى احدى وحدات صناعة الصلب يدفع الماء الى المحول سعة ٢٥ر٥ طن بعد بدء النفخ بدقيقة وبمعدل ٢٥ ـ ٥٠ لتر كل دقيقة لمدة دقيقتين ويقوم الملاحظ بتحديد كمية الماء تبعا للظروف الموجودة ·

وفى الفترة الثانية يصبح معدل سريان الماء ٢٠ ـ ٤٠ لترا/دقيقة لمدة ست دقائق ويبدأ دفع الماء بعد ضبط الخبث وبعد خفض أنبوبة النفخ اى بعد دقيقة أو دقيقتين من بدء النفخ فى الفترة الثانية ·

وقد تزداد مدة سريان مياه التبريد ولكن يجب ألا يتأخر ايقاف سريانها قبل نهاية النفخ بدقيقتين وعلى وجه العموم فان كمية المياه اللازمة لتبريد الشحنة تنحصر بين ١٨٠ ـ ٣٠٠ لترا ·

ومن حجرة المراقبه يقوم الملاحظ المختص بتنظيم معدل سريان المياه وغيرها من الأعمال الملحقة بها ·· وبواسطة عمليات التبريد هذه تنخفض نسبة الشحنات ذات التسخين المفرط حيث تبلغ درجة حرارتها ١٦٧٠ درجة مئوية فأكثر فتبلغ النسبة من ٢ر٩ الى ٧ر٨٪ كما يزداد أداء البطانة لعدد كبير من الصبات فيزداد عمرها ١٥ ـ ٢٠٪ ·

ولكن استعمال المياه لأغراض التبريد لا يخلو من بعض العيوب :

١ ـ يساعد على فقد كمية هائلة من الحرارة لتصعيد الماء ، كان من الممكن الاستفادة منها لاختزال كمية من خام الحديد وصهر مقدار من الخردة ·

٢ ـ شدة التناثر (القذف) خارج المحول نتيجة لتأثير الماء المؤكسد على الشحنة ·

٣ ـ لا يمكن استعمال الماء كعامل مبرد فى صناعة الصلب الكربونى اذ أن استعمالها يؤدى الى ارتفاع نسبة الهيدروجين فى الصلب مما يتسبب فى ظهور العيوب الطبقية به ·

وفى حالة عدم اضافة الخردة فانه لتبريد الشحنة يجب اضافة الخام والنفايات المعدنية على عدة مرات تنظم بحيث تشمل الفترة الثانية كلها ويجب أن تنتهى الاضافات قبل نهاية النفخ بدقيقتين أو ثلاث ويمكن تبريد الشحنة لدرجة كافية باضافة قوالب الحجر الجيرى ·

قياس درجة حرارة المعدن :

من الأمور التى يجب مراعاتها قياس درجة حرارة المعدن بانتظام من وقت لآخر ويتم ذلك بغمس ازدواج حرارى فى المعدن فيعطى درجة الحرارة المباشرة وبهذا نعمل على تنظيم الحرارة طوال مدة النفخ ·

وفى حاله اراله الخبث الأول فانه يحسم قياس درجه الحرراه حلال هده الفترة وبمعرنة درجة الحرارة المقاسة يتمكن الملاحظ من تقدير كمية الاضافات التى يجب اضافها لتبريد الشحنة فى الفتره الثانية ٠

وتتوقف درجة حرارة المعدن على التركيب الكميائى للحديد الزهر فادا قيست بعد ازالة الخبث بعد ٨ ــ ١٠ دقائق من بدء النفخ فانهـا تتراوح بين ١٥٦٠ ــ ١٥٨٠ درجة م كما ان درجه حرارة الحديد الزهر عند شحنه فى المحول وكمية خام الحديد التى تضاف قبل النفخ لهـا تأثير فى درجة الحرارة المقاسة ٠ وتصل درجه الحرارة ١٥٠٠ ــ ١٥٥٠ درجة مئوية اذا قيست بعد ازالة الخبث الأول بعد ٥ ــ ٦ دقائق من بدء النفخ ٠

وعادة تصل درجة حرارة الصلب عند صبه من المحول الى ١٦١٠ ــ ١٦٥٠ درجة مئوية (كل القياسات قد أخذت بواسطة الازدواج الحرارى من التنجستن والمولينوبيوم) ولصب الصلب عند درجـة حرارة منتظمة اهمية كبيرة اذ يكفل لنا الحصول على كتل ذات جودة عالية ولهذا فانه من الأهمية بمكان قياس درجة الحرارة على فترات منتظمة ٠

ولاشك فى أن اليسر والسهولة فى قياس درجات الحرارة بسرعة ودقة كافية من الأمور التى يجب أن نهتم بها ٠

ويجرى تبريد جهاز قياس درجة الحرارة بالماء لحمايته من التلف ولقياس درجة الحرارة يدار درع الجهاز حتى يقفل فوهة المحول وبعـد أخذ درجة الحرارة يزاح الدرع جانبا حتى لا يعوق العمل ٠

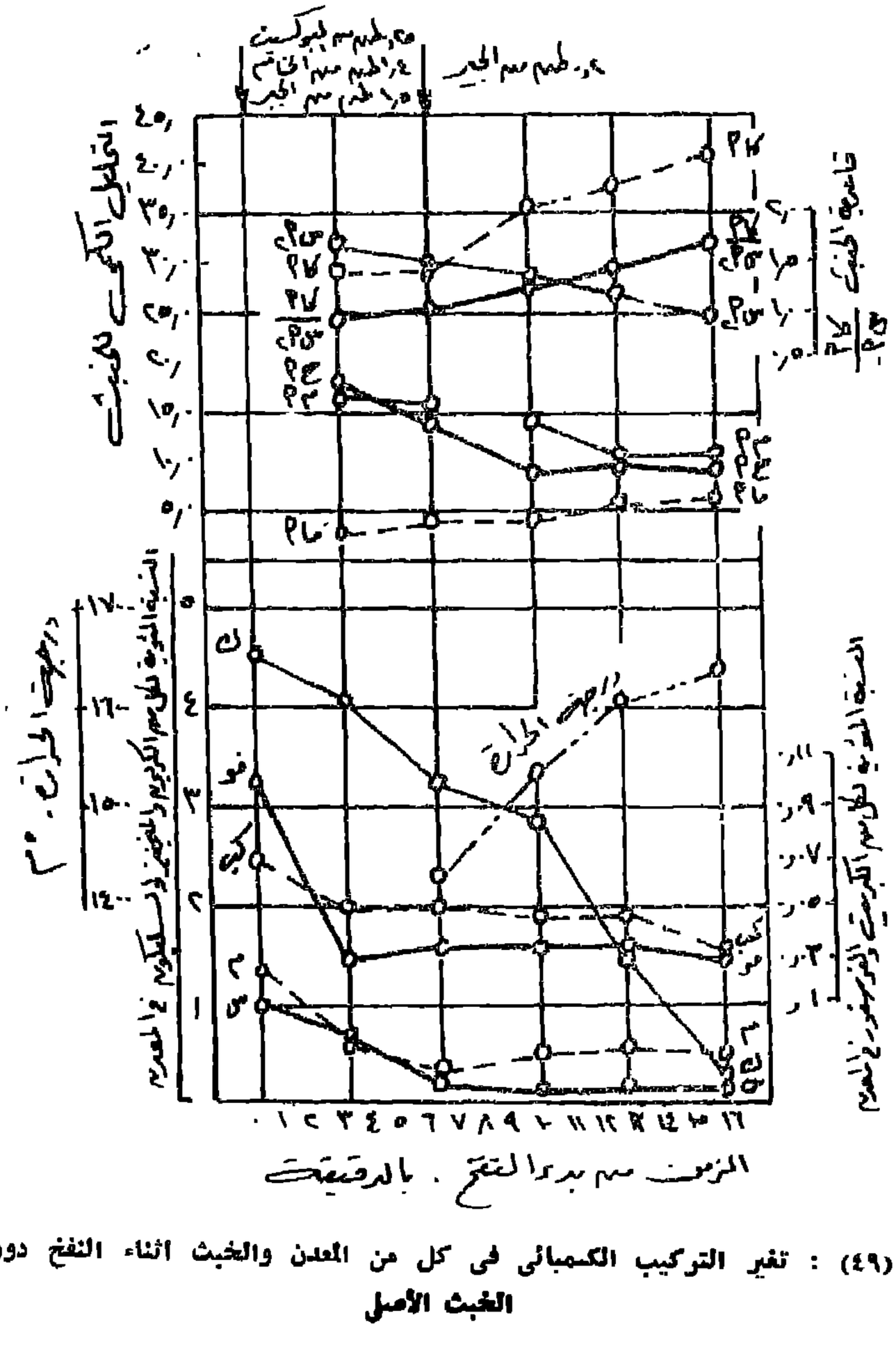
٨ ــ الطرق المختلفة للنفخ بالأكسجين من أعلا

التشغيل دون ازالة الخبث الاصلى :

تتطلب ازالة الخبث الذى يتكون أولا عددا من العمليات الاضافية التى تستغرق من ١ر٥ ــ ٢ر٥ دقيقة وفى هـــذه الحالة يوقف دفـع الأكسجين وترفع أنبوبة تسليط الاكسجين عن المحول ثم بامالة المحول ينسكب الخبث وبعد ذلك يعاد وضع المحول وتنخفض الأنبوبة ويستأنف النفخ ثانية ٠ وبهذه الطريقة يفقد كثير من المعدن مع الخبث كما يفقد بعض منه نتيجة لامالة المحول ٠

وقد لا يزال الخبث فى صناعة الصلب ذى الكربون المنخفض اذا احتوى الحديد الزهر على فوسفور بنسبة ١٥ر٪ كحد اقصى حتى تنخفض نسبة الفوسفور بالصلب الناتج ٠

وفى شكل (٤٩) نرى التغيرات التى تطرأ على تركيب كل من المعدن والخبث طوال فترة النفخ لشحنة احتفظت بالخبث المتكون دون ازالة الخبث الأول ، حيث صبت شحنه نزن حوالى ٢٥ر٦ طنا ، وقد أضيفت اليها جميع المواد المنفصلة قبل بدء النفخ بست دقائق ، ٢٥ ثانية ٠



شكل (٤٩) : تغير التركيب الكيميائى فى كل من المعدن والخبث اثناء النفخ دون ازالة الخبث الأصلى

وتكفل لنا عدم ازالة الخبث الأولى درجة عالية من التخلص من الفوسفور والكبريت وبنفس الطريقة التى يتكون بها الخبث الثانى يتكون الخبث فى هذه العملية ٠

ويعزى انخفاض قاعدية الخبث النهائى الى ارتفاع نسبة السليكون فى الحديد الزهر ٠

ولوفرة أكسيد الحديدور خلال ٥ر٦ دقائق الاولى من النفخ تأثير كبير فى ازالة الفوسفور ويساعد أكسـيد المنجنيز على التخلص مـن الكبريت تدريجيا حتى نحصل فى النهاية على صلب ذى درجة عالبـة من النقاوة ٠ وقد أثبتت سنوات طويلة من الخبرة صلاحية هذه الطريقة لصنع الصلب الموارذى النسبة المنخفضة من الكربون دون ازالة الخبث الاولى ٠

وفى أحد المصانع تحقق الآتى نتيجة لعدم ازالة الخبث الأولى :

١ ــ ارتفاع الكفاية الانتاجية للصلب الناتج ٠

١ ــ ارتفاع الكفاية الانتاجية للصلب الناتج لانخفاض نسبة الضائع من المعدن أثناء ازالة الخبث بحوالى ٥ر٠٪ ٠

٢ ــ قصر مدة النفخ بحوالى ١ ــ ٢ مما يزيد من السعة الانتاجيـة للمحول ٠

٣ ــ زيادة طفيفة فى نسبة الفوسفور بالصلب الناتج ولكنهـا على وجه العموم أقل من ٤٠ر٪ ٠

٤ ــ احتفاظ المحول بأعمار بطانته المقدرة ٠

التشغيل باستعمال قوالب الخام والحجر الجيرى :

نحل قوالب الخام والحجر الجيرى فى الاسـتعمال محل الخام والجير للاسراع فى تكوين الخبث وتنظيم درجة الحرارة اذ أن اختزال أكاسـيد الحديد وتحلل الحجر الجيرى تستنفذ كمية هائلة من الحرارة ٠

وتضاف هذه القوالب الى المحول اما قبل شحن الحديد الزهر به واما أثناء عملية النفخ واستنادا الى كمية اكسيد الكالسيوم بهذه القوالب فانه يتحدد الموقف فاذا لم تكن هذه الكمية كافية كان لزاما علينا اضافة كمـة أخرى من الجير حتى نعوض النقص فى المواد الصهارة ٠

ويعطينا جدول (٣٠) النتائج التى تحصل عليها من جراء العمل باستعمال قوالب الخام والحجر الجيرى وباستعمال الخام والجير ٠

التحليل الكيميائى للقوالب كما يأتى :

س أ٢	٣ ر٣
كا أ	٣٥ر٤٥
حـ٢ أ٣	٣٢ر٤٤
مغ أ	٧٢ر
أ و٢ أ٣	٩٥ر
م أ	١٩ر
ح أ	٦ ر٠
خو	٠ر٠٣

الاضافات لكل ١/طن من الصلب – كجم						مدة النفخ/دقيقة/ثانية	التحليل الكيماتى للحديد الزهر ٪				الكفاية الانتاجية للصلب ٪		وزن الحديد الزهر اللازم لانتاج طن من الصلب (بالطن)	المشحونات
البوكسيت	قوالب الحام والحجر الجيرى		خام الحديد	الجير (أكسيد الكالسيوم)			فو	كب	م	س	مع حساب خام الحديد	بغض النظر عن حام الحديد		
	الكلى	المحتوى												
		خام الحديد	الحجر الجيرى (كربونات الكالسيوم)											
٤ر٥	١٠٤ر١	٣٧ر١	٣٤ر٥	—	—	١٥ – ١٩	٠٨ر	٠٥ر	١٤٨ر١	٧٦ر	٨٩ر٦	٩٠ر٥	١١٢ر١	باستعمال القوالب
١٠ر٠	—	—	—	٧٠ر٢	٨٢ر٣	١٥ – ٤٠	٠٨ر	٠٥ر	١٤٨ر١	٧٨ر٠	٨٨ر٣	٩ر٩/	١٠٥ر١	بالطريقة العادية

وكقاعدة يمكن أن يقال أن جميع الصبات التى أضيفت اليها قوالب الخام والحجر الجيرى تكون ذات حرارة منخفضة اذ تشكل الصبات ذات الحرارة العالية نسبة ٤٪ منها فى حين نبلغ النسبة ١٠٪ باستعمال الخام والجير ٠٠ ولعل أهم السمات التى تختص بها الصبات المضاف اليها هذه القوالب هو سرعة تكوين الخبث السائل ذى القاعدية الكافية ٠

ويوضح جدول (٣١) التركيب الكيميائى للخبث مأخوذة لصبتين بعد ٣ ، ٥ دقائق من بدء النفخ ٠

جدول (٣١)

عدد الصبات	زمن أخذ العينة بعد بدء النفخ (دقيقة)	التركيب الكيمائى للخبث ٪									
		سـ٢	كا أ	كا أأ س أ ٢	مغ أ	حأ	خ٢ أ٣	م أ	لو٢ أ٣	فو٢ أ٥
١	سـ٢	٣٢ر٧٦	٣٢ر٥٢	١	٣ر٨٧	٣ر٧٨	١٨ر	٢٠ر٥٢	—	٠ر٢٣
	٥ر	٣٠ر٤٦	٣٢ر٨١	١ر٠٧	٤ر٤٣	٤ر٩٧	٧٤ر	١٩ر٦٤	—	٠ر٨٦
٢	٣	٣١ر٧٨	٣٢ر٥٧	١	٢ر١٢	٧ر٠٠	١ر١	٢١ر١٩	٢ر١٨٠	٠ر٧٣
	٥	٣٠ر٣٣	٣٥ر٠٤	١ر١٥	٣ر٢٨	٦ر٤٨	٢ر٨٧	١٨ر٥٦	٢ر٦٧	٠ر٧١

واذا أخذنا متوسط التحاليل لعدد من الصبات التى نستعمل فيها هذه القوالب نجد أنها لا تختلف عن تلك التى يستعمل فيها الخام والجير ونفس الشيء يقال بالنسبة لكل من الكبريت والفوسفور اذا احتوت هذه القوالب على ٣٥٪ فأكثر من أكسيد الكالسيوم فانه لا يكون هناك حاجة لاضافة الجير حتى تصح قاعدية الخبث مناسبة ٠

كما سبق نجد لهذه القوالب دورا هاما فى تنظيم درجة حـــرارة الشحنة ولقد وجد أنه بزيادة الاضافات ٢٠٠ ــ ٣٠٠ كجم من القوالب التى تحتوى على ٣٥ر٤٥٪ كا أ (حجر جيرى) ، ٢٢ر٤٤٪ ح٢ ا٣ ، ٩ر٪ ح أ تنخفض درجة الحرارة قبل الاختزال من ٢٠ ــ ٢٥درجة م (متوسط استهلاك القوالب ٢٣٠٠ كجم لكل شحنة وزنها ٢٢ طنا) ٠

واذا اكتفينا بأضافة القوالب فقط دون اضـــافة الجير فان عـدد الصبات ذات الحرارة الشديدة (فوق ١٦٥٠ درجة م) لا يزيد عن ٥٪ فقط من العدد الكلى بينما لا تقل هذه النسبة عن ٣٠٪ فى حالة عـــدم استخدام هذه القوالب ولنفس الحديد الزهر ٠

ويمثل شكل (٥٠) العلاقة بين كمية كل من الكبريت والفوســفور المتبقى فى الصلب وقاعدية الخبث فى حالة استبدال الخام والجير بالقوالب ٠٠ وبهذا الاستبدال نحصل على المميزات الآتية :

١ ــ سرعة تكون الخبث ٠

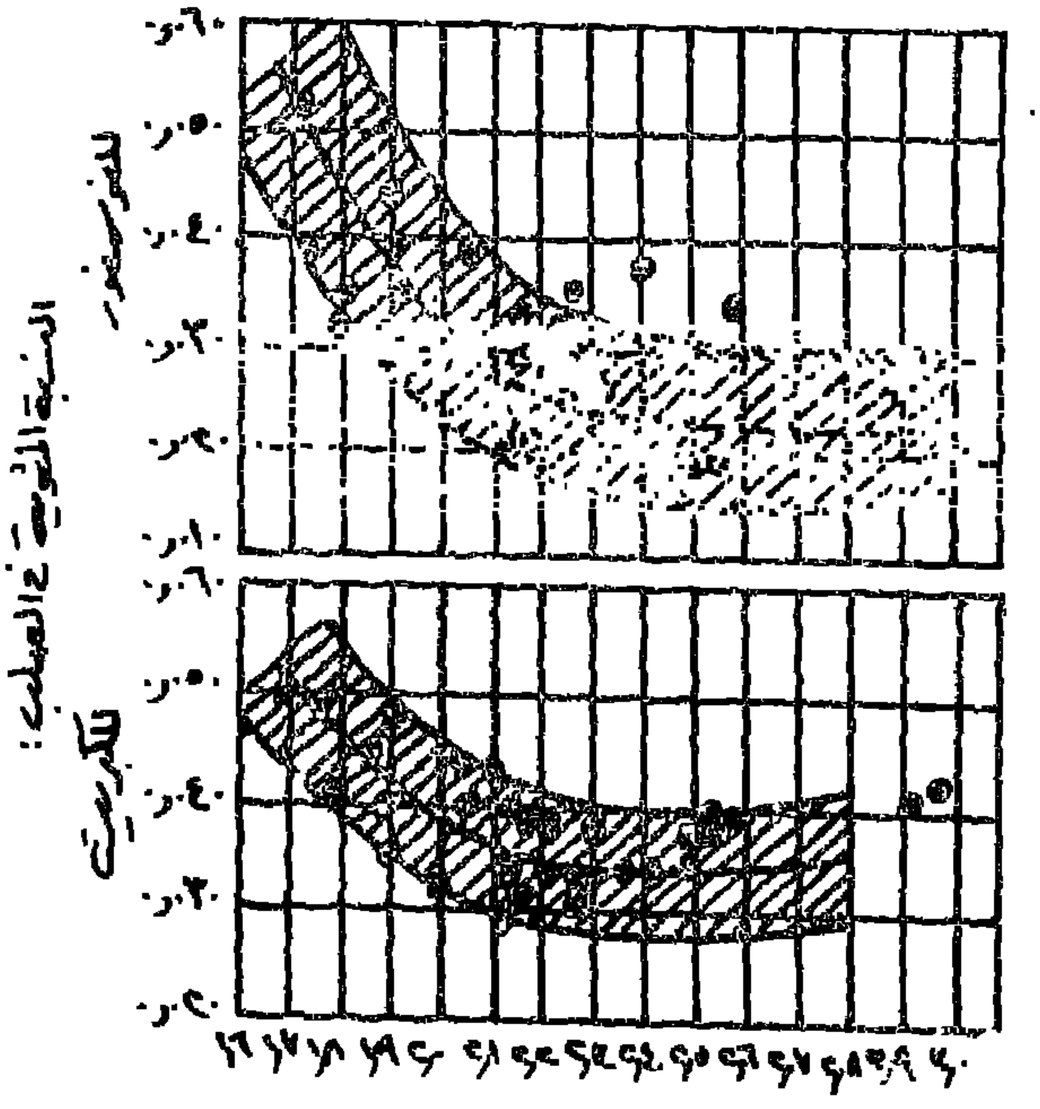
٢ ــ تحقيق قاعدية الخبث المطلوبة مع قلة كمية الاضافات المكونة له الأمر الذى يؤدى الى صغر حجم الخبث ٠

٣ ــ ارتفاع سيولة الخبث دون اضافة البوكسيت او اضافة جـزء ضئيل منه ٠

٤ ــ زيادة الكفاية الإنتاجية للصلب بسبب قلة الفاقد فى الخبث السائل ٠

٥ ــ تبريد الشحنة باستغلال جزء من الحرارة فى تحلل الحجـــر الجيرى ٠

٦ ــ انعدام وجود الجير الناعم ٠



شكل (٥٠)

اعادة استخدام الخبث المتخلف عن الصبة السابقة :

من المفيد علميا ان نبقى بالمحول بعض الخبث الناتج عن الصبة السابقة ويستغل هذا الخبث للاسراع فى تكوين الخبث والاقتصاد فى استهلاك الجير ٠

وفى هذه الحالة يضاف الى المحول ثلاثة ارباع (٧٥٪) الكمية المعتادة من الجير وخام الحديد بعد شحن الحديد الزهر به ثم يبدأ النفخ بالطريقة المألوفة ٠

ولقد أثبتت هذه الطريقة نجاحا مؤكدا فيتكون الخبث سريعا وبالقاعدية المناسبة ٠٠ وفيما يلى نظام تقريبى لتكوين الخبث عندما تبقى بالمحول ٢ طنا من الخبث السابق ، تركيبه الكيميائى كالآتى :

$س_{٢}آ_{٢}$	١٨ر٩١
كا أ	٤٤ر٦٥
ك أ : $س_{٢}أ_{٢}$	٢ر٣٦
ح أ	١٠ر١٠
م أ	١٠ر٢٨
$ح_{١}ا_{٣}$	١ر٩٤

ويشحن الى المحول الحديد الزهر الذى يزن ٢٥ر٥ طنا وتركيبه الكيمائى هو :

ك	٣ ر٤
س	٦٨ ر
م	٥٢ ر١
كب	٠٦٣ ر
فو	٠٩٨ ر
ن	٠٠٥٦ر

ثم يضاف بعد ذلك ١٠٠٠ كجم من خام الحديد ، ٩٠٠ كجم من الجير (بدلا من ١٢٢٥ كجم) ، ١٠٠ كجم من البوكسيت وينتظر مدة ٥ دقائق بعد بدء النفخ ثم يزال الخبث وعندئذ يضاف ثانية ٤٠٠ كجم من الخام ، ٥٠٠ كجم من الجير .

جـدول (٣٢)

الزمن اعتبارا من بدء النفخ دقيقة/ثانية	النسبة المئوية لمحتويات (مركبات) الخبث							
	كا أ	س أ٢	ح أ	ح٢ أ٣	م أ	لو٢ أ٣	مغ أ	كا أ / س أ٢
٥ –	٣٦ر٦٨	٢٧ر٢٣	١٠ر٢	١ر٦٣	١٠ر٨	٤ر٤٢	٥ر٣٢	١ر٢٥
١٠ –	٤٢ر٧٣	١٩ر٢	٩ر٨٥	٢ر١	١٠ر٠٢	٥ر٠٥	٦ر٨٤	٢ر٢٣
١٤ ٤٥ خبث نهائى	٤٨ر٣١	١٧ر٣	٧ر٢٣	١ر٤٣	٩ر١٢	٥ر٣٨	٨ر٠٥	٢ر٨

ويوضح جدول ٣٢ التغيرات التى تطرأ على تركيب الخبث اثنـــاء النفخ وقد كانت درجة ازالة الكبريت ٤٠٪ ، ودرجة ازالة الفوسفور حوالى ٨٠٪ (فى صناعة الصلب الفوارذى الكربون المنخفض) ٠

يشحن الحديد الزهر الى المحول الذى به جزء من الخبث المتخلف عن الصبة السابقة مع تناثر بعض الخبث والحديد الزهر خارج المحول ٠

وكقاعدة فانه من الممكن ملاحظة هذه الظاهرة بعد الصـــبات التى تحتوى على نسبة صغيرة من الكربون لغاية ٠٧ر٠٪ (فترة ما بعد النفخ) ويحتوى منل هذا الخبث على كميات وفيرة من أكاسيد الحديد التى تتفاعل بشدة مع الكربون الموجود بالحديد الزهر ٠

ومما هو جدير بالذكر أنه باستخدام الخبث المتخلف عن الصـبات السابقة يجب ازالة الخبث المتكون أولا وأكثر من ذلك فان ضخامة حجم الخبث فى المحول سوف تؤدى الى زيادة قذف الحـــديد خـــلال الفترة الثانية ٠

ظروف النفـخ

تؤخذ العوامل الآتية فى الاعتبار عند تحديد ظروف التشغيل «النفخ» حجم المحول النوعى ، وقابلية البطانة للاستمرار فى التشغيل ، وفترة نكون الخبث ، ومقاومة الطرف النحاسى لأنبوبة الاكسجين ، وكمية القذف وترتبط مدة النفخ بمعدل دفع الاكسجين فتقل بزيادة كمية الاكسجين المندفعة بالمحول فمثلا اذا كان دفع الأكسجين تحت ضغط يعادل ١٠ ضغطا جويا (مقاسا بمقياس الضغط) وزاد معدل سريانه من ٦٠ الى ٦٥ ـ ٧٠م٣/دقيقة لشحنة من الحديد الزهر تزن ٢٠ طنا فى محول حجمـــه ٥ر١٦م مكعب تنخفض مدة النفخ دقيقة ، ٨ ثوان ٠

ويعادل هذا الانخفاض فى الوقت ١٠٪ من الوقت الكـــلى ٠ وفى المتوسط فان مدة النفخ لشحنة الحديد الزهر التى تزن ٥ر٢٥ طنا فى محول حجمه ٢٠م ٣ تبلغ ١٦ دقيقة و ٢٠ ثانية اذا كان معـــدل سريان الاكسجين ٧٠ ـ ٨٠م٣/دقيقة ٠

ويجب ألا يغيب عن الحسبان أن لهذا المعدل حدا أقصى فكلما زاد معدل دفع الاكسجين زاد قذف المعدن خارج المحول مما يترتب عليه نقص فى الكفاءة الانتاجية له ويتيح لنا الكبر النوعى لحجم المحول فرص دفع الأكسجين بمعدل أكبر ٠

ولقد وجدنا عمليا أن ضبط وضع أنبوبة دفع الاكسجين فوق سطح المعدن يكفل لنا المعدل المطلوب وتكوين الخبث وأيضا المحافظـــة عـلى الأنبوبة ٠

وفى العادة يثبت ارتفاع الأنبوبه بحوالى ٧٠٠ ــ ٨٠٠ مم عن سطح المعدن فى محول سعته من ٢٠ ــ ٤٠ طنا وعند ضبط الخبث فى نهـــاية الفترة الأولى وبعد اضافة الجير ترفع الأنبوبة الى ١٠٠٠ ــ ١١٠٠ مم فوق سطح المعدن وتظل عند هذا الارتفاع لمدة دقيقتين ٠

ومن البديهى أنه بتتابع عملية النفخ تتآكل بطانة المحول باستمرار مما يؤدى الى زيادة حجم المحول ونتمكن من زيادة الشحنة (الحديد الزهر بالمحول) وفى هذه الحالة لا يتغير ارتفاع أنبوبة الاكسجين عن ســـطح المعدن ٠

وقد تتدخل بعض الاعتبارات الخاصة فلا نتمـــكن من زيادة وزن شحنة الحديد الزهر بالمحول بالرغم من تآكل بطانة المحول بصفة مستمرة وفى هذه الحالة يجب خفض ارتفاع الانبوبه حتى نحافظ على المسافة بينها وبين سطح المعدن ثابتة دائما ٠

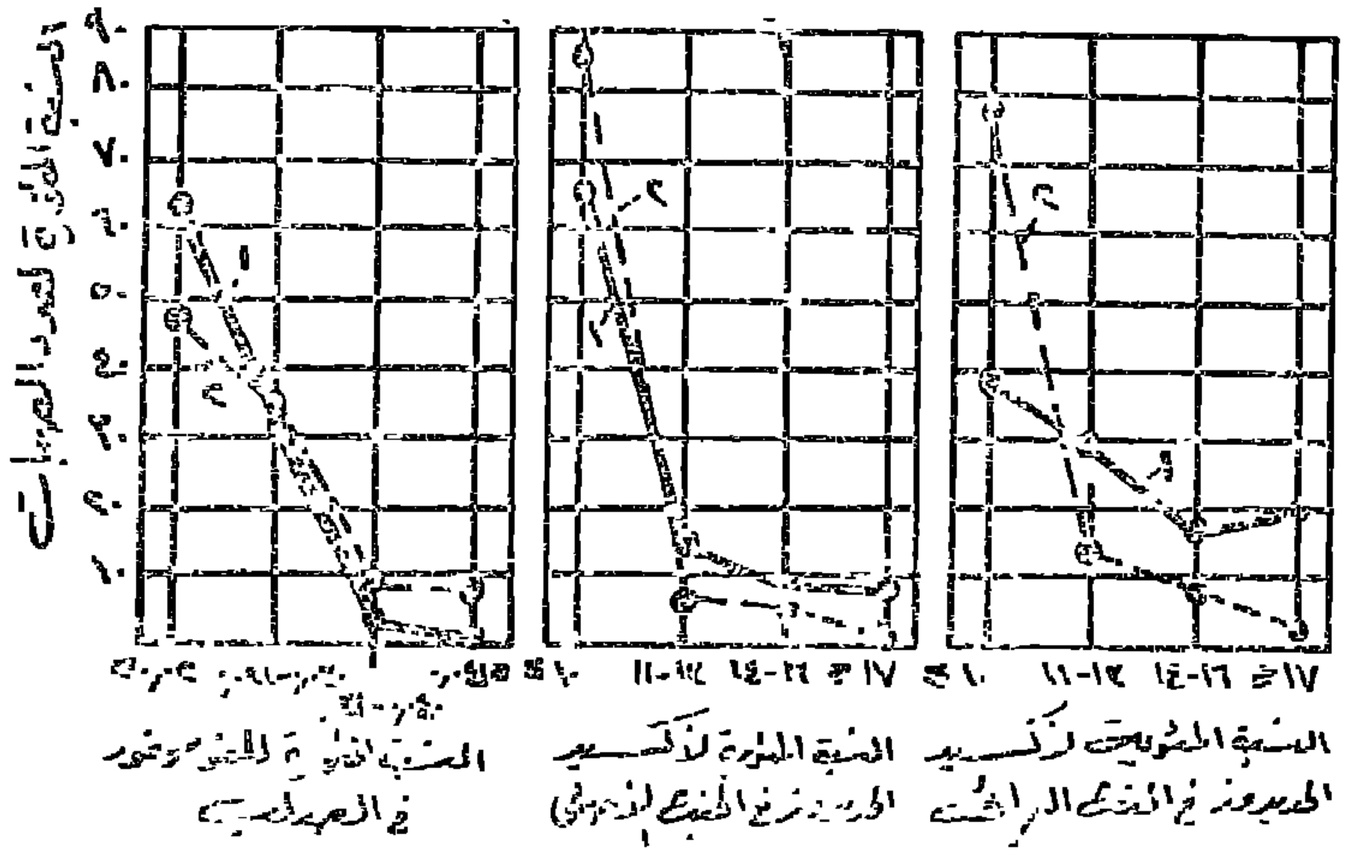
ويتأثر بدرجه ملحوظة عملية النفخ بحجم وشـــكل الفوهات التى يندفع خلالها غاز الاكسجين الى المحول وبهذا يجب مراعاة أن يطابق ضغط الاكسجين عند خروجه من فوهات الضـغط المطلوب مع تحقيـــق نفس المعدل ٠

واذا أنخفض معدل الأكسجين فانه يثبت قطر الفوهـــا ت ينقص ضغط تيار الاكسجين وتقل تفاعلات الاكسدة عند سطح المعدن وبذلك تطول مدة النفخ عندما يسلط الأكسجين بواسطة الفونية ذات الاختناق٠ ويحتوى الخبث على وفرة من أكاسيد الحديد مما يساعد على سرعة ذوبان الجير وينكون الخبث بالقاعدية المطلوبة مبكرا وبذلك يزال الفوســـفور بنجاح ٠

ولهذا أهميته الكبرى فى صناعة الصلب الكربونى وفى شكل (٥١) نرى بيانيا التغيير الذى يطرأ على كمية الفوسفور بالصلب وكمية أكاسيد الحديد فى الخبث الأولى والنهائى عند نفخ الحـــديد الزهر ذى تركيب (نمطى) وقد استعملت فيه طريقة النفخ بنوع خاص من الفونيـــات بالطريقة الاسطوانية مع تثبيت كل من : ــ معدل الأكسجين ، وضغطه ، وارتفاع الأنبوبة عن سطح المعدن ٠

وتشير البيانات الى أن الخبث يكون أكثر تأكسدا باستعمال هـذا

النوع الخاص من الفونيات هذا الى أنه باندفاع الأكسجين خلال الاختناق الموجود بالأنبوبة يؤثر على مساحة كبيرة من سطح المعدن فيتكون كثير من أكسيد الحديدوز ولهذا فان درجة ازالة الفوسفور تكون عالية ٠



شكل (٥١) : تذبذب (تغير) نسبة الفوسفور فى الصلب ، واكسيد الحديدوز فى الخبث الأصلى والخبث النهائى

وتتوقع مقدما أن زيادة سمك طبقة الخبث تفقد تيار الاكسجين جزءا كبيرا من الطاقة المركبة فتقل سرعته ولا ينفذ الا لعمق صغير وعليه تنكمش منطقة التفاعلات ويهبط معدل تأكسد الكربون ٠ فتزداد اكاسيد الحديد بالخبث ويتكون الخبث الفعال سريعا ٠

ومن الناحية الاخرى سرعان ما يمتص هذا الخبث الأكسجين الذى يستغله فى أكسدة الحديد المحجوز به مما يضاعف من أكسدة الخبث ٠٠ ومن هنا يتضح أن لزيادة سمك طبقة الخبث نفس التأثير لزيادة المسافة بين الأنبوبة وسطح المعدن ٠

نفخ الحديد الزهر الفسفورى بالأكسجين من أعـــلا

انتشرت صناعة الصلب بنفخ الحديد الزهر بالأكسجين الخالص من أعلا انتشارا واسعا ويجرى النفخ فى محولات ذات بطانة قاعدية ويحتوى الحديد الزهر الذى يحتوى على نسبة عالية من الفوسفور الى صـــلب

باستخدام هذه الطريقة ، وباتخاذ بعض الاجراءات الخاصة فى النفـــخ أثبتت هذه التجارب نتائج ايجابية طيبة ٠

بضبط وضع الأنبوبة فوق سطح المعدن ، ومعدل اندفاع الأكسجين وضغطه بحيث ينخفض معدل تأكسد الكربون فتزداد تبعا لذلك كميـــة اكاسيد الحديد بالخبث ويذوب الجير فيه سريعا ٠

واذا اندفع تيار الأكسجين بسرعة معتدلة يوجه معظمه الى الخبث وفى هذه الحاله تتأخر أكسدة الكربون وتصبح الظروف ملائمـة لازالة الفوسفور جيدا ٠

ومما تجدر ملاحظته فى العملية السابقة أن تيار الاكسجين لا يكون له أى اتصال مباشر مع المعدن ولذلك تزال الشوائب مع الخبث اذ يؤثر تيار الأكسجين على الخبث الذى بدوره يؤثر على المعدن ٠

ولتحقيق ما سبق يجب أن يكون تيار الأكسجين عريضا باختيار الضغط مباشرة عليها ٠٠ لذا فأن كمية النتروجين الممتصة فى الصلب لا تتوقف أساسا على درجة نقاوة الأكسجين ويزال الفوسفور بنفس المعدل الذى يتأكسد به الكربون ٠

يدفع الأكسجين تحت ضغط منخفض ورفع الأنبوبة بعيدا عن سطح المعدن فيتأكسد الفوسفور بمعدل ٢ر٠٪ فى الدقيقة بينما يكون هذا المعدل ٠٧ر٪ فى الدقيقة اذا كان ضغط الأكسجين عاليا والأنبوبة على ارتفـاع صغير من سطح المعدن ٠

وتعتبر كمية أكاسيد الحديد فى الخبث ومعدل أكسدة الكربون من العوامل الحموية (الأساسية) لازالة الفوسفور اذا كان هذا أمرا مرغوبا ٠

ومن الأهمية بمكان ألا يتعدى معدن أكسدة الكربون عن ٢٥ر١٪ فى الدقيقة وقد يزاد هذا بعد ازالة الفوسفور اذا كان هذا أمرا مرغوبا .

ومن الأمور البالغة الأهمية أن نأخذ فى الاعتبار الكبر النسبى فى حجم المحول النوعى حيث يشتد قذف المعدن خارجه نتيجـــة لازدياد عمليات التأكسد ٠

ويمكن أن يقل القذف اذا لم يزد عمق السطح الخالص للمعدن عن ٤٠٠ مم ومع هذا فان الكفاية الانتاجية للصلب الناتج بهذه الطريقـــة تكون أقل من تلك لمحولات توماس المعتادة فكلما زادت نسبة أكسـيد الحديدوز فى الخبث بمقدار ٤٪ قلت الكفاية الانتاجية بما يســاوى ١٪ وتستمر بطانة المحول لنفخ ٨٠ ــ ١٠٠ شحنة ويلاحظ أن مدة النفخ تكون أطول ٤ مرات عن مدة النفخ السفلى بالهواء ٠

وقد أمكن التغلب على الصعوبة الرئيسية التى تصادفنا عند نفخ الحديد الزهر ذى الفوسفور المرتفع فأجريت التجارب لنفخ هذا الحديد باستخدام ثلاث أنابيب لدفع الاكسجين بدلا من واحدة ووضعت هذه الأنابيب متماثلة على محيط فوهة المحول وبهذا يصبح التأكسد أكثر انتظاما • ومن الممكن استغلال احدى هذه الأنابيب لأكسدة الكربون بينما تستغل الأخريتان لازالة الفوسفور ويجرى نظام التشغيل كما يلى : ـ

تخفض الأنابيب أولا الى مسافة ٣٠٠ ـ ٥٠٠ مم عن سطح المعدن ثم يبدأ النفخ لمدة ١٠ دقائق (لشحنة تزن من ٧ ـ ١٠ طن) يضاف أثناءها كميات صغيرة من الجير الى الشحنة وبعد ذلك ترفع الأنابيب الى ارتفاع ٦٠٠ ـ ١٠٠٠ مم وتبدأ ازالة الفوسفور وفى خلال تمان دقائق تنخفض نسبة الفوسفور الى ١ر٠٪ ببنما كان يمل فى البداية حوالى ٧ر١ ـ ٢ر٠٪ وتصبح نسبة الكربون ٥ر٠٪ عندئذ يزال الخبث المتكون ويضبط الخبث الجديد ثم تنخفض أنبوبتان فقط لاتمام أكسدة الكربون بينما تظل الثالثة كما هى : ـ

وتستغرق كل هذه العمليات حوالى ٢٥ دقيقة بحيث يتم فى النهاية أكسدة الفوسفور تماما فى نفس الوقت مع الكربون •

وقد طبقت الطريقة السالفة الذكر فى عدة تجارب أجريت على شحنات من الحديد الزهر الفوسفورى بين ٤ ـ ٥ر٤ طنا وكان الصلب الناتج محتويا على نسبة من الفوسفور أقل من ٠٣ر٪ وغالبا كانت هذه النسبة أقل من ٠٢ر٪ وكانت نسبة النتروجين ٠٠٢ر ـ ٠٠٦ر/ ويجب مراعاة ألا يقل حجم المحول النوعى عن ١م٣/طن من الشحنة ويفضل أن يكون هذا الرقم بين ٢ر١ ـ ٥ر١ م مكعب طن حتى ننفادى شدة القذف اذا كان الخبث غنيا بأكسيد الحديدوز •

وبالرغم من المزايا التى تتمتع بها هذه الطريقه فانها لا تخلو من بعض العيوب منها التباطؤ في أكسدة الكربون طول فترة النفخ وقصر عمر البطانة •

وقد لا تحتاج الى ازالة الخبث عند صناعة الصلب من الحديد الزهر الذى يحتوى على نسبة من الفوسفور لغاية ٥ر٠ ٪ وبمقارنة نفخ الحديد الزهر ذا الفوسفور المنخفض والحديد التوماسى بالأكسجين من أعلا فى نفس المحول نجد أن مدة نفخ الأخير تزداد بمقدار ١٢ دقيقة ببنما ينخفض الانتاج اليومى من ١٣٢٠ طنا الى ٩٦٠ طنا ويرتفع استهلاك كل من الخام والجير وفى نفس الوقت ينخفض معدل عمر البطانة من ٢٥٠ ـ الى ١٦٠ صبه وعندئذ يصبح الصلب الناتج باهظ التكاليف •

ولقد أكدت التجارب التي أجريت فى الاتحـــاد الســوفيتى أنه بالامكان انتاج الصلب المطاوع الفوار الذى يحتوى على فوسفور لا تتجاوز نسبته ٠٥ر٪ ، فينخفض النتروجين من الحديد الزهر (تحليله الكيميائى هو) ٠

ك	٣ر٢ ـ ٨ ر٣
م	٠ر٣٧ ـ ٠ر٦٥
س	١ر ـ ٢ ر
فو	١ر٤ ـ ١ر٧
كب	١ ر ـ ١٤ر

وباستعمال الصـــودا يزال حوالى ٥٠ ـ ٥٠٪ من كمية الكبريت الموجودة بالحديد الزهر ويضاف فيه الجير حوالى ٦ ـ ٧ ٪ الى المحول قبل شحنه بالحديد الزهر ثم بعد ذلك ٥ ـ ٧ دقائق يضاف ٥ر٦٪ من الجير ثانية بعد ازالة الخبث ٠

ويستعمل فى أغراض التبريد كل من الخردة وخام الحديد ، ويصل معدل استهلاك الأكسجين ٦٢ ـ ٨٠ م٣ لكل طن من الحديد الزهر ، وبهذا المعدل تستغرق الشـــحنة التى تزن ٧ ـ ٨ طنا حوالى ١١ ـ ١٥ دقيقة ويبلغ استهلاك الجير ١٢ ـ ١٤٪ وقد أزيل الفوسفور فى نفس الوقت مع الكبريون ، وتم ذلك بضبط ارتفاع الأنبوبة ومعدل اندفـــاع الأكسجين ٠

فمثلا كانت نسبة الفوسفور ٠٤٢ر٪ عند الدقيقة ١١ عندما كانت نسبة الكربون ٨٤ر٪ ودرجة حرارة المعدن ١٥٤٠ درجة مئوية وكانت قاعدية الخبث حوالى ٢ ويحتوى على ٣ر١٨٪ منه أكاسيد حديد، ٢٧ر٠٨٪ خامس أكسيد الفوسفور ٠

كان القذف فى هذه التجارب على أشده مما أدى الى قلة الكفـــاية الانتاجية للصلب الناتج وقد أجمعت كل التجارب على أنه من الممكن من ناحية المبدأ تحويل الحديد الزهر الفوسفورى الى صلب وذلك بنفخه بالأكسجين الخالص ومن أعلا ٠

ولكن عيب الطرق المتبعة فى هذا الصدد أنها لا تعطى نتائج طيبة بالقدر الكافى بين النواحى الفنية والاقتصادية ٠

ومؤخرا وبعـــد ســـلسلة من التجـــارب قامت بهـــا جمعية الفلزات بفرنسا ، دخلت الى ميدان الصناعة الطريقـــة الجديدة لتحويل الحديد

الزهر الفوسفورى الى صلب وينم ذلك بنفخه بالأكسجين النقى من أعلا المحول مع اضافة مسحوق الجير ٠

ينشر مسحوق الجير على سطح المعدن ثم يأتى تيار الأكسجين فيدفعه الى الداخل دفعا ، وبمعرفة التركيب الكيميائى للحديد الزهر تتحدد كمية الجير ، وتبعا للطريقة المستخدمة ، يتبين معدل اضافته ويقوم بتنظيم ذلك مغذيات خاصة ويستحسن أن يكون مسحوقا ناعما حتى تزداد فاعليته ٠

والطرق المتبعة لنفخ الحديد الزهر فى محول يسع ٣٠ طنا هى كما يأتى :

تشحن كمية الخردة أو خام الحديد اللازمة الى المحول الذى يحتوى على بعض الخبث المتخلف عن عملية سابقة ثم لشحن الحديد الزهر الذى يحتوى على ٦ر١ ــ ١ر٢ ٪ فو ، ١ر ــ ٧ر٪ س ، ٨ر٪ م ، بعد ذلك يضاف الجير ويبدأ النفخ بالأكسجين بحيث تكون الأنبوبة على ارتفاع ١ ــ ٥ر١م عن سطح المعدن وأثناء النفخ تخفض الأنبوبة تدريجيا حتى ارتفاع ٥ر٠ مترا وفى وقت واحد يزال الخبث ويضاف الى المحول ١١٠ كجم من الجير لكل طن من الشحنة مع نفخ ٥٠م٣ من الأكسجين لكل طن منها وعندما يصل الكربون الى ٦ر٪ والفوسفور الى أكثر من ١ر٪ يكشط « يزال » الخبث ويحتوى مثل هذا الخبث على ٥٥ ــ ٥٧٪ كا أ ، ٢٠ ــ ٢٥٪ فو أ٥ ، ٥ ــ ٨٪ ح ٠

بعد أن يستبعد الخبث نهائيا (يزال تماما) يضاف خام الحديد أو الخردة ثم يستأنف النفخ بالأكسجين من جديد مع اضافة الجير حتى تصل الى نسبة الكربون المنشودة مع مراعاة أن تكون أنبوبة الأكسجين على ارتفاع ٥ر٠م فوق سطح المعدن ٠

خلال الفترة الثانية يكون النفخ بمعدل ١٥م٣ لكل طن من الصلب كما تكون اضافة الجير بواقع ٣٠كجم/ط ٠

ويحتوى الخبث النهائى على ١٠٪ فو٢أ٥ ، ٢٠٪ ح مع أن نسبة الفاقد من الحديد المتكون صغيرة ٠٠ والصلب الطرى لا تتعدى نسبة الفوسفور به ٠٢ر٪ وبهذه الطريقة يمكن انتاج أنواع من الصلب تصارع فى خواصها وجودتها الأنواع التى تصنع بطريقة الأفران المفتوحة ٠

ومن المفيد أن نعلم أنه بهذه الطريقة يمكن نفخ الحديد الزهر الذى يحتوى على نسبة منخفضة من الفوسفور ٠

٩ ـ صناعة أنواع الصلب المختلفة
وجودة الصلب

تستخدم طريقة النفخ العلويه بالأكسجين عمليا لصنع الصـــلب الكربونى بنوعيه من الفوار والمخمد ، كما تستخدم أيضا فى صنع عدد من السبائك الفولاذية ٠٠ ولقد أسهمت هذه الطريقة اسهاما كبيرا فى انتاج معظم انوع الصلب فنجد ان غالبية أنواع الفولاذ المشكلة قد تم صنعها بهذه الطريقة فعلا ٠

فمن هذا الصلب تصنع الصفائح الرقيقة والألواح التى تم درفلتها على البارد لصنع هياكل العربات والألوان المدرفلة على البارد وعلى الساخن اللازمة لأغراض التشكيل بالبتق ، (العوارض ، الكمرات على شـــكل المجرى ـ الكوع ـ الالكترودات ـ أسلاك البرق « التلغراف » ـ حديد التسليح والقضبان ٠٠ الخ) ٠

ومن الطبيعى أن صناعة كل نوع من أنواع الصلب المختلفة لهـا قواعدها الخاصة بها ٠

صناعة صلب القضبان :

لصناعة الصلب المستخدم فى عمل قضبان الأوناش ينبغى أن تتوافر فيه التحاليل الآتية : ـ

ك	٥ ر٠ ـ ٧٣ر٠
م	٦ ر٠ ـ ١
س	١٥ر ـ ٣ ر
كب	أقل من ٠٥ر
نو	أقل من ٠٥٥ر

ومن التجارب العملية وجد أنه يمكن الحصول على صلب القضبان بالتحاليل السابقة بتوفير الظروف الآتية : ـ

١ ـ استعمال الحديد الزهر الذى يحتوى على عنصر السليكون حتى ٧ر٠٪ والمنجنيز أكثر من ٥ر١٪ ولا تزيد نسبة الكبريت به عن ٠٦ر/ ٠

٢ ـ يجب أن تكون كمية أكاسيد الحديد بالخبث مناسبة حتى يتكون جيدا وتزداد درجة ازالة الفوسـفور والكبريت (ولتحقيق هـــذا

الغرض ، يضبط الخبث مرتين خلال النفخ حيث ترفع أنبوبة دفع الأكسجين) ٠

٣ ـ ارتفاع درجة حرارة الشحنه لدرجة كافية وبحيث لا تصل بالصلب الى درجة التسخين المفرط تلافيا لارتداد الفوسفور اليه ثانية ٠

ويجب أن نعلم أن ازالة الفوســـفور من صلب القضبان ليست بالأمر الصعب فنادرا ما تزيد نســـبته عن ٠٥ر٠٪ فى صبات هذا النوع من الصلب وتتميز هذه الصـــبات اما بسخونها الشـــديدة (درجة حرارتها قد تصل الى ١٧١٥ درجة مئوية) مصحوبة باختزال حـــاد فى المنجنيز الى ٧ر٠ ـ ٠٤ر١٪ واما بانخفاض فى كمية أكاسيد الحديد فى الخبث (٧ر٤ ـ ٣ر٦٪) وفى هذه الحالة يتحتم ازالة الخبث الأولى ٠

ويتوقف النفخ عندما تصل نسبة الكربون الى ٥٧ر٠ ـ ٦٣ر٠٪ ثم يستأنف فترة ما بعد النفخ حيث يكون استهلاك الأكسجين بمعـــدل ٢٠ ـ ٢٥ م٣ لكل ١ر٠٪ كربونا ٠

لتنظيم درجة حرارة الصـــــلب حتى لا يصل الى درجة التسخين المفرط يضاف اليه كمية من الخام أثنـــاء النفخ ويجب أن تكون درجة حرارته قبل نزع الأكسجين منه بين ١٦١٠ ـ ١٦٥٠ م٥ ٠

تضاف الاضافات النازعة للأكســـــجين الى الصلب فى البودقة وأهمها الألومونيوم الذى يضاف بمعدل ١٥٠ جم لكل طن من الصـــلب ويجب أن لا تزيد كمية الألومنيوم المضافة عن هذا الحد حتى نحـــافظ على سيولة الصلب ٠ ويوضح الجدول الآتى مقارنة بين نسبة تشبع صلب القضبان المصنوع بطرق مختلفة بالغازات ، تبعا لاختلاف الطرق ٠

طريقة صنع الصلب	النسبة المئوية للغازات		حجم غاز الهيدروجين في ١٠٠ حجم (سم٣)
	ن٢	أ٢	
النفخ العلوى بالأكسجين	٠٠٣ر ـ ٠٠٨ر (فى المتوسط ٠٠٦ر)	٠٠٢٨ر	٣ر٣
الفرن المفتوح	٠٠٧ر	٠٠٢١ر	٣ر٨
صلب بسمر	٠١٨ر	٠٠٦٦ر	٤ر٩

وتتراوح قوة الشد النهائية لصلب القضبان المصنوع فىالمحولات بين ٢ر٧٤ ـ ٤ر٩٧ كجم /مم ٢ ويمكن أخذ الرقم ٩ر٨٣ كجم / مم ٢ كمتوسط لها • ويمكن وضع البيانات الخاصة بقوة الشد النهائيـــة فى جدول كالآتى : ـ

جدول (٣٤)

قوة الشد النهائية كجم / مم٢	النسبة المئوية فى عدد الصبات
٨٠	١٩ر٣
١ر٨٠ ـ ٨٥	٤٠
١ر٨٥ ـ ٩٠	٣٢ر٢
١ر٩٠ ـ ٩٥	٧ر٩
١ر٩٥	٠ر٦

وتبلغ متوسط الشـــد النهائية لصلب القضـــبان المصنوع فى محولات بسمر والذى له نفسالتركيب الكيميائى حوالى ٨ر٨٨ كجم/مم٢

ويصل متوسط نقطة الخضوع لصـــــلب القضبان المصنوع فى المحولات الى ٤٧ كجم / مم ٢ •

من هـذا نرى أن خواص المتـانة لصـلب القضبان المصنوع فى حالة الصلب المصنوع بطريقة النفخ السفلية بالهواء وذلك لاحتوائه على نتروجين أقل • وتقل مطيلية صـــــلب المحولات بعض الشىء عن تلك لصلب بسمر ولكنهما يشتركان فى نفس الاستطالة التى تبلغ لكليهما حوالى ١١/ ، وبمقارنة الاختزال فى مساحة مقطع كل منهما نجد أنهـا تساوى ٤ر١٨٪ لصلب المحولات ، ٧ر١٦٪ لصلب بسمر • أما قـــوة تحمل الصـــدمات لصـــلب المحولات فتفوق نظيرتهما لصلب بســـمر وبالأرقام يمكن مقارنتهما فى جدول (٣٥) •

جدول (٣٥)

قوة تحمل الصدمات	درجة الحرارة م٥				
	÷ ٢٠	صفر	— ٢٠	— ٤٠	— ٦٠
متوسط	٢ر٢٣	١ر٨٢	١ر٤١	١ر١٥	١ر٠٨
الحدود التى تقع بينها	١ر٩٦ — ٢ر٧	١ر٤٣ — ٢ر٢٥	١ر١٧ — ١ر٦٤	١ر١ — ١ر٢٥	٨٧ر — ١ر٦٢

ويصل متوسط الكفاية الانتاجية للقطاعات الخفيفة ـ قضبان (وزن المتر الطولى ٧ر٥٢ كجم) ٣ر٩٢ ٪

وترجع العيوب الظاهرية الموجودة فى صلب القضبان المصنوع فى المحولات الى أسباب متعددة وليست هذه العيوب من خواص هذا الصلب ٠

ويتأثر البنبان الاكروسكوبى لصلب القضبان الى حد بعيد بدرجة الحرارة ومعدل الصب (معدلات الصب والتبريد) وسيولة الصلب وأيضا على ارتفاع الصلب فى القوالب ٠

ولقد أعطت التجارب التى أجريت لصنع صلب القضبان بتطبيق طريقة النفخ العلوية بالأكسجين نتائج مرضية وكانت خواصه الميكانيكية حسنة ٠

وعليه فان المقاومة النهائية للصلب تتراوح بين ٨٤ ـ ٥ر٩٥ كجم/مم٢ اذا كان تركيبه الكيميائى كالآتى : ـ

٠ر٦٥ ـ ٠ر٧٦ ٪ ك ، ٠ ر٦ ـ ٠ر٧٨ ٪ م

٠ر١٨ ـ ٠ر٢٧ ٪ س ، ٠ر٠٢٣ ـ ٠ر٠٤٥ ٪ كب

٠ر٠١٤ ـ ٠٤١ ٪ فو

وتتراوح الاستطالة النسبية له بين ٦ ـ ٩٪ واختبار الصلادة البرينيلية ٢٢٩ ـ ٢٨٥ ، اختبارات الانحراف بالتصادم (بالرفع) ٤٧ ـ ٥٥ سم (التصادم الأولى) ٠

١٠ ـ صناعة الصلب الذى يحتوى على نسبة عالية من الكربون بكربنة الحديد الزهر المنصهر

تعتبر الطريقة المثلى لصناعة مثل هذا الصلب هى ايقاف النفخ عند نسبة الكربون المنشودة ثم زيادتها مباشرة باضافة الانثراسيت الحرارى أو فحم الكوك الى البودقة فى حالة زيادة النفخ قليلا ٠٠ وتمتاز هذه الطريقة بقصر زمن النفخ فيطول عمر البطانة وينخفض الاستهلاك النوعى للأكسجين كما أن كلا من الصلب والخبث يكون أقل عرضة للتأكسد ولهذا يقل استهلاك المواد النازعة للأكسجين (ويطول عمر البطانة) ٠

وبالرغم من هذا فقد نضطر أحيانا الى اعادة نفخ الصلب لسبب أو لآخر وعندئذ نلجأ االى اجراء عملية الكربنة عليه باضافة مصهور

الحديد الزهر • ويضاف الحديد الزهر من الخلاط مباشرة اذا كانت نسبة المنجنيز المسموح بها فى الصلب أعلى من ٥ر٠٪ أما اذا كان مطلوبا أن تكون نسبة المنجنيز أقل من ٥ر٠٪ (كما فى صلب العدد والآلات) فانه فى هذه الحالة يعاد نفخ الصلب حتى تصل نسبة الكربون الى ٠٥ر٠ ـ ٠٧ر٪ وعندئذ يتكون حديد زهر خالص منخفض المنجنيز يصـــهر فى أفران الدست أو واسطة حديد زهر يعـــالج ، بالأكسجين فى البودقة بالاستعانه بالمواد المخبثة •

ولصناعة الفولاذ الذى يحتوى على نسبة منخفضة من المنجنيز يزال الخبث الأولى المتكون تماما ثم يضبط الخبث الجديد بحيث يكون مؤكسدا حتى تتلاقى اختزال المنجنيز •

عند كربنة الصلب بواســـطة الحديد الزهر من الخلاط مباشرة يوقف نفخ الأكســـجين عندما تصـــل نسبة الكربون الى حوالى ٠٨ر٪ ويستحسن أخذ عينة من الصلب لتحديد كل من الكربون والمنجنيز بدقة وتقاس درجة الحرارة بواسطة الازدواج الحرارى •

عند أخذ العينة يزال ٪ الخبث المتكون ثم يضاف الجير بعد ذلك وتسخن كمية الحديد الزهر بحذر حتى تحول دون حدوث أى تفـــاعل شديد قد يحدث ، داخل المحول •

بعد اضافة الحديد الزهر تؤخذ عينة من المعدن وتقاس درجـــة الحرارة ثم تضبط التحاليل باضافة الاضافات كالفرومنجنيز الذى يضاف الى المحول والفحم ذى الأحجام الصغيرة الذى يضاف فى البودقة •

وفيما يلى طريقة حساب كمية الحديد الزهر التى تضاف الى الصلب لاجراء عملية الكربنة •

يشحن المحول بثلاثين طنا من الحديد الزهـــر ويفرض أن الكفاية الانتاجية له = ٥ر٩١٪ فان :

تحاليل الصلب المطلوب هى : ـ ٤٥ر٪ كربونا ، ٧ر٪ منجنيزا

وزن الصلب الناتج بالمحول فى نهاية النفخ = ٥ر٢٧ طنا •

تحاليل الحديد الزهر بالخلاط : ـ ٢ر٤٪ كربونا ، ٨ر١ منجنيزا ٨ر٠٪ فوسفورا ، ٠٥ر٠٪ كبريتا

التركيب الكيميائى للصلب قبل اجراء الكربنة عليه هو : ـ ٠٨ر٪ كربونا ، ٤٢٪ منجنيزا ، ٠١٨ر٪ فوسفورا ، ٠٣٩ر٪ كبريتا

كمية الكربون المطلوب اضافتها = ٤٥ر - ٠٨ر = ٣٧ر/
أو كمية الكربون = ٠١ر × ٥ر٢٧ × ٣٧ر٠ = ٠١٠٢ر طنا
ومن واقع التجارب وجد أن وزن الكربون المستفاد فعلا من الحديد الزهر = ٧٠٪

$$\text{اذا : وزن الكربون المطلوب فعلا} = \frac{١٠٢ \times ١٠٠}{٧٠} = ٠١٤٦ر \text{ طنا}$$

اذا : وزن الحديد المطلوب اضافته للحصول على ١٤٦ كجم =

$$\frac{١٤٦ \times ١٠٠}{٤ر٢} = ٣٤٧٠ \text{ كجم}$$

ولكن هـــذه الكمية تحتوى على مقدار من المنجنيز = ٠١ر × ٣٤٧٠ × ٨ر١ = ٥ر٦٢ كجم

$$\text{أو بنسبة فى الصلب} = \frac{٦٢٥}{١٠} \quad \frac{١٠٠}{٢٧٥٠٠} = ٢٣ر٠ ٪$$

وتصبح نسبة المنجنيز فى الصلب = ٤٢ر٠ + ٢٣ر٠ = ٦٥ر٠٪
ويصبح التصحيح لهذه النسبة لازما ٠

يحتوى الحديد الزهر كمية من الفوسفور مناظرة لنسبة =

$$\frac{٠١ر \times ٣٤٧٠ \times ٠٨ر \times ١٠٠}{٢٧٥٠٠} = ٠١ر٠٪$$

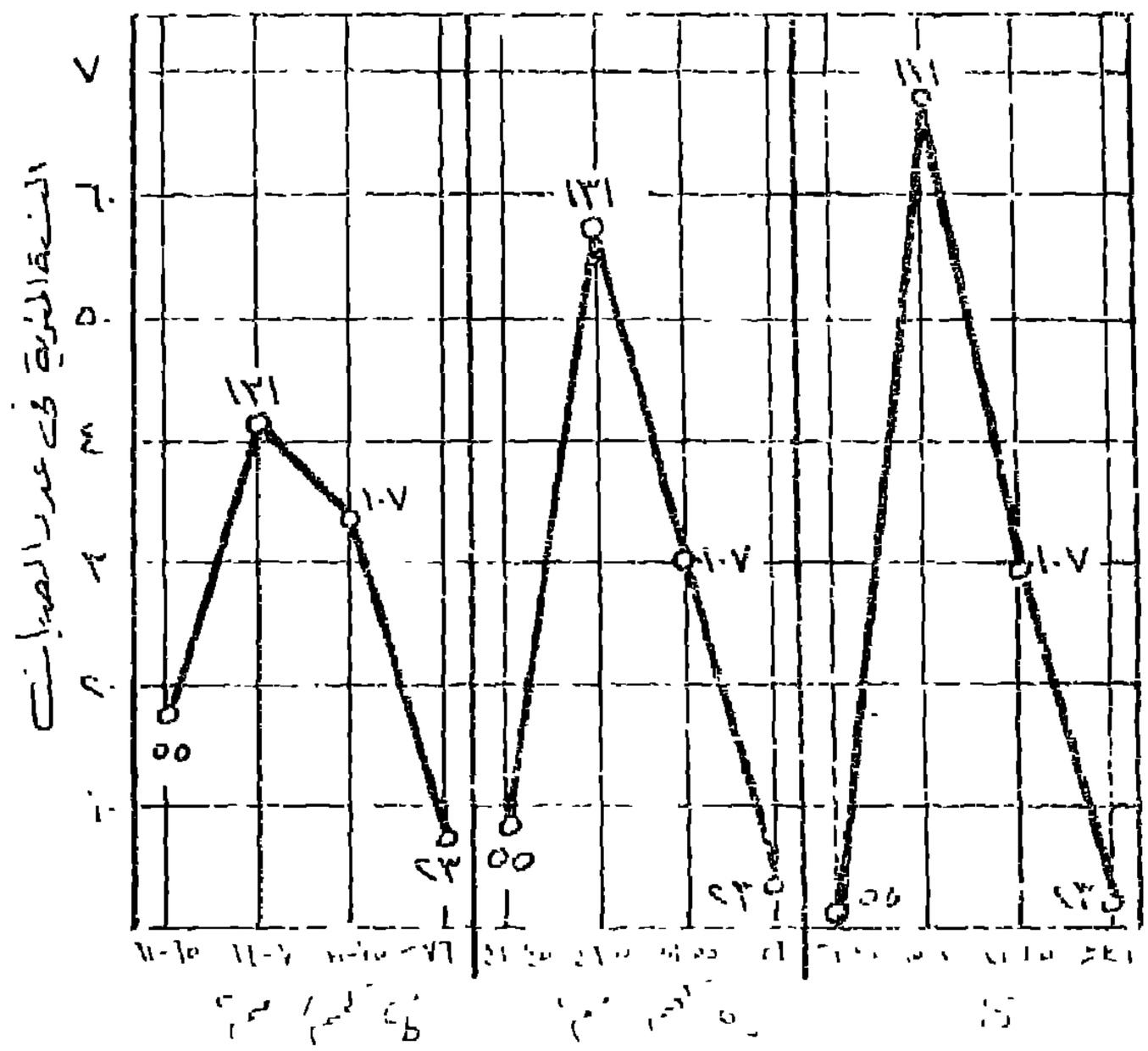
١١ ـ صناعة الصلب ذى العناصر السبائكية المنخفضة والمستخدم فى تسليح المبانى

ك	٢ر ـ ٢٩ر
م	٢ر١ ـ ٦ ر١
س	٦ر ـ ٩ ر
كب	أقل من ٠٥ر٠
فو	أقل من ٠٥ر٠

يصنع هذا النوع من الصـــلب بســـهولة بنفخ الحديد الزهـر بالأكسجين من أعلا للحصول على نسبة المنجنيز المطلوبة ويضاف اليـه الفيرومنجنيز وهو فى المحول وتحسب الكمية المستفادة من المنجنيز على أنها حوالى ٧٠ ـ ٧٥٪ منه فقط ٠

ويشـــترط فى الفيرومنجنيز المضـــاف أن يكون كتلا (أى غير مسحوق) ٠

وبعد اضافة كميـــة الفيرومنجنز بجب تحريك المحول مرتين او ثلاث ثم يتبت فى وضع رأسى لرفع نسبة السليكون الى النسبة الطلوبة وتضاف الى البودقة الكمية اللازمة من الفيروسليكون الذى يحتوى على ٤٥٪ أو ٧٥٪ منه سليكونا ثم يضاف الالومونيوم بعد ذلك فى البودقة أيضا بواقع ٥٠٠ جم لكل طن من الصلب ٠



شكل (٥٢) : تغير الخواص الميكانيكية عند اجراء تجارب الشد على حديد التسليح المصنوع فى المحول ـ درجته

ويحتوى هذا النوع من الصلب على بعض الغازات بكميات متفاوتة فنجد ان نسبة الاكسجين به ٠٠٢ر٠ ـ ٠٠٤ر٪ (فى المتوسط ٠٠٣٥٪) ٠٠٠٧ - ٠٠٩٥ر٪ نتروجينا (فى المتوسط ٠٠٨ر٠٪) ٢ر٢ ـ ٣ر٨ جم٣ من الهيدروجين فى كل ١٠٠ جم (فى المتوسط ٢ر٣ سم٣ لكل ١٠٠ جم) ٠

وترى فى شكل (٥٢) التذبذب فى الخواص الميكانيكية لحديد التسليح المشكل والمصنوع فى المحولات ٠

التركيب الكيميائى لهذا النوع من الصلب يبين فى جدول ٣٦ ٠

جدول (٣٦)

نوع الصلب	النسبة المئوية للعناصر				
	كب	م	س	كب	فو
مستخدم فى صناعة القضبان المستديرة	لغاية ١ر٠	٣٥ر٠ ـ ٥٥ر٠	٠٣ر٠	٠٤ر	٠٤ر
مستخدم فى صناعة أسلاك البرق	لغاية ١١ر٠	لغاية ٥ر٠	آثار	٠٥ر	٠٤٥ر

صناعة الصلب الفوار المستخدم لتصنيع القضبان وأسلاك البرق :

ولهذا السبب فانه من الضرورى ألا يزيد نسبة الكبريت بمصهور الصلب عن ٠٣٧ر٪ وقد تصادفنا أحيانا بعض العقبات فى سبيل الحصول على هذا النوع من الصلب بنسبة منخفضة من الكبريت ٠

وعند اجراء الاختبارات الميكانيكية على أسلاك البرق المصنوعة من صلب الافران المفتوحة وقطرها (٥ر٦ مم) يجب أن تتحمل هذه الأسلاك ما لا يقل عن عشرة ثنيات دون انهيار ، كما يجب أن لا تقل مقاومتها للشد عن ٣٢ كجم / مم ٢ ولا تزيد مقاومتها الكهربائية عن ١٣٣ر٠ أوم لكل ١ مم طولى منها ، ١ م٢ من مساحتها ٠

وتفى أسلاك البرق المدرفلة من صلب المحولات بكل المواصفات السابقة ويمكنها تحمل اختبارات المنى حتى ٩ ـ ١٥ ثنية قبل ان تنكسر ٠

وتبلغ قوة التحمل النهائية ٩ر٣٣ ـ ٥ر٤١ كجم/ مم٢ وتكون عادة ٣٥ ـ ٣٩ كجم/مم٢ (الحوالى ٧ر٦٤٪ من مجموع الصبات) أما المقاومة لسريان الكهرباء فتبلغ ١٠٦ ر ـ ١٣٢ ر أوم وغالبا ما يصل هذا الرقم لمعظم الصبات الى ١١١ر٠ ـ ١٢٠ر أوم ٠

جدول ٣٧

نوع الصلب	نسبة العناصر			
	ك	م	لا يزيد عن	
			كب	فو
١	٠ر٠٩ ـ ٠ر١٤	٠ر٣٠٠ ـ ٠ر٥	٠ر٠٥	٠ر٠٤٥
٢	٠ر١٤ ـ ٠ر٢٢	٠ر٣٠٠ ـ ٠ر٥	٠ر٠٥	٠ر٠٤٥

جودة الصلب الفوار المصنوع فى المحولات

يحظى الصلب الفوار المصنوع فى المحولات بطريقة النفخ العلوية بالاكسجين بتطبيقات واسعة فى حياتنا العملية فمنه تصنع جميع أنواع القطاعات المختلفه وألواح الصاج والكل نصف المشكلة والمركب الكيميائى لصلب المحولات والأفران المفتوحة مبين فى جدول ٣٧ ٠

ويمكن معرفة كمية العازات المتكونة فى هذا الصلب الفوار من جدول ٥٠ (حيث أن درجة نقاء الاكسجين ٦ر٩٨٪) ٠

جدول (٣٨)

نوع الصلب	٪ العنصر		نسبة الهيدروجين
	أ ٢	ن ٢	سم ٣/١٠٠ جم
١	٠ر٠٠٣ ـ ٠ر٠٠٧	٠ر٠٠٤ ـ ٠ر٠٠٦	١ر٨ ـ ٣ر٦
٢	٠ر٠٠٣ ـ ٠ر٠٠٦	٠ر٠٠٣٨ ـ ٠ر٠٠٦	١ر٣ ـ ٣ر٢
٣	٠ر٠٠٦ ـ ٠ر٠٢	٠ر٠٠٤٥ ـ ٠ر٠٠٨٥	٠ر٥ ـ ٧ر٧

من جدول (٣٨) يتضح لنا أن صلب المحولات الفوار ليس أقل تشبعا بالعازات من صلب الأفران المفتوحة ٠

ومن الطبيعى أن ترتبط كمية النتروجين الموجودة بالصلب بدرجة نقاء الأكسجين المدفوع الى المحول كما فى جدول (٣٩) ٠

جدول (٣٩)

درجه نقاوة الاكسجين ٪	النسبة المئويه للنيتروجين في الصلب
حتى ٩٠	٠٠٦٢ر ـ ٠٠٩٨ر
١ر٩٠ ـ ٩٢	٠٠٦٥ر ـ ٠٠٩٢ر
١ر٩٢ ـ ٩٤	٠٠٥٦ر ـ ٠٠٧٢ر
١ر٩٤ ـ ٩٦	٠٠٥٥ر ـ ٠٠٧٠ر

اى ان كمية النيتروجين الموجودة بالصلب تنخفض بارتفاع درجه نقاوة الاكسجين حتى اذا ما وصلت درجة النقاوة الى ٩٩ر٤٪ انخفضت نسبه النتروجين فى الصلب الى اقل من ٠٠٢٥ر٪ ٠

من الصعب الحصول على صلب يحتوى على نيتروجين بنسبه اقل من ٠٠٨ر٪ فى المتوسط باستعمال اكسجين درجه نقاوه ٩٢٪ ٠

وتتأثر خواص الصلب كثيرا بالتغير فى نسبة النيتروجين فالتغيير فى حدود ± ٠٠١ر٪ يؤثر على سلوك الصلب المستخدم فى أغراض التشكيل المختلفة كالبسق والسحب خاصة اذا كان المقطع أقل من ١ مم ٠٢

ويعطى القطاعات المشكلة المصنوعة من الصلب الفوار مقاومة للشد تفى بالمواصفات القياسية والفنية التى تتوافر فى صلب الأفران المفتوحة ٠

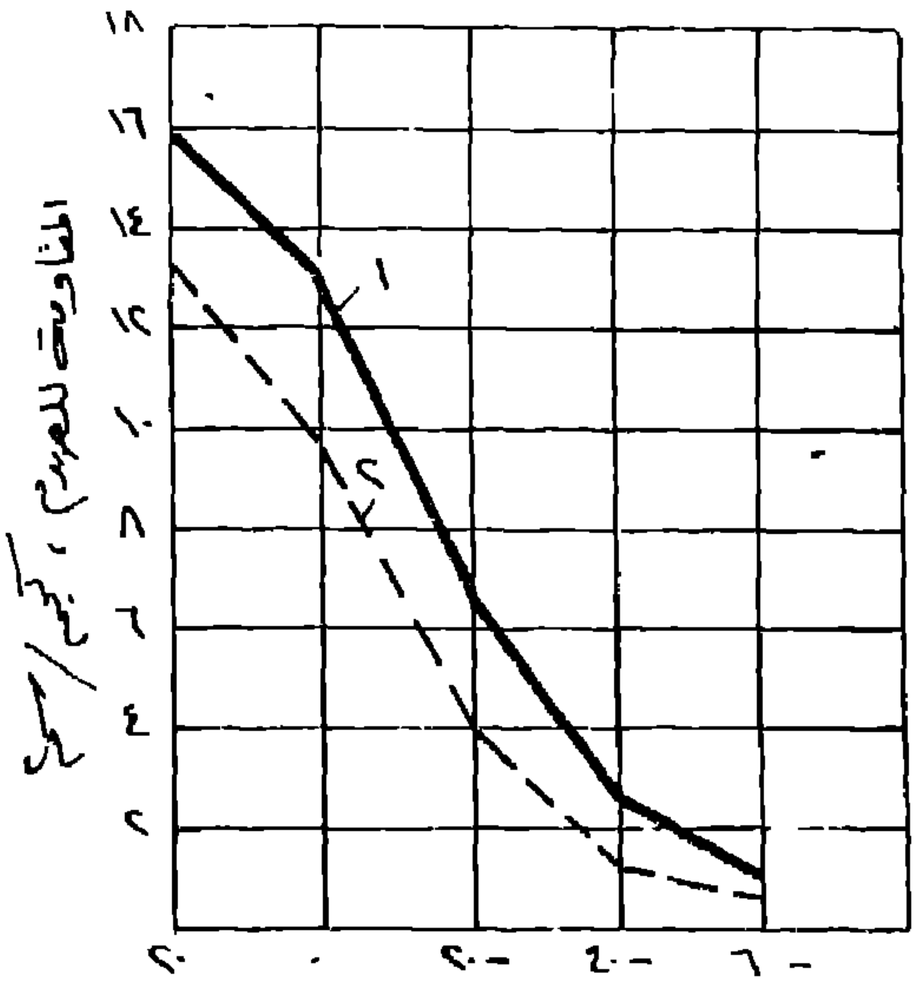
يستخدم الصلب المصنوع فى المحولات فى سنتى الأغراض الصناعية كالعوارض والكمرات المجرى والمرافق (الكيعان) وألواح الصاج ٠ ومقاومة هذا النوع من الصلب للصدمات عند درجات الحراره المختلفة ± ٢٠ درجة مئوية ، صفر°م ، ـ ٢٠ °م ، ـ ٤٠ °م ، ٦٠ °م اكبر من الصلب المصنوع فى الافران المفتوحة المستخدم فى نفس الأغراض (كما فى شكل ٥٣) ٠

ومن الجدول يمكن مقارنة مقاومه الصدمات (كجم / سم٢) لكتله أبعادها ٨٠ × ٨٠ من صلب المحولات ومن صلب الأفران المفتوحه درجه ٣ عند درجات الحرارة المختلفة ٠

جدول (٤٠)

نوع الصلب	درجه الحرارة م٥				
	+ ٢٠	صفر	— ٢٠	— ٤٠	— ٦٠
صلب المحولات	٨ — ١٨	٩ر٤ — ١٦ر٤	١ر٢ — ٥ر٦	٥ر٠ — ١ر٤	٦ر — ١ر٦
صلب الأفران المفتوحة	٨ر٦ — ١ر١٩	٧ر٢ — ١٩	٨ر — ١٠ر٨	١ر٦ — ١	٥ر — ٩ر

ولعل عمده اعتمادي سيادة على مقدرة طريقة السحق العلويه بالاكسجين على انتاج الجديد من أنواع الصلب المختلفه وفي الوقت نفسه فان الخواص الميكانيكية وخواص التشغيل لها نضارع نظيرتهـا لصلب الافران المفتوحة كما أن صلب المحولات يمتاز بسـهوله لحامه بالكهرباء ويمكن سحبه من المضبان المدلفنة قطر ٦٫٥ مم الى أسلاك مختلفة الأبعاد والأقطار حتى أقل من ١ مم ، دون الحاجة الى عمليات تخمير وسيطة .



شكل (٥٣) : مقاومة الصدم لصلب درجه ٣ :

١ ـ صلب المحولات عند درجات حرارة مختلفه

٢ ـ صلب الافران المفتوحه

١٢ ـ الموازنة المادية والحرارية فى طريقة النفخ العلوية بالاكسجين

لسهوله الحسابات نعتبر الموازنه الماديه لـ ١٠٠ كجم من سحنة الحديد الزهر وقد وضعت البيانات الأوليه اللازمة لحساب الموازنة المادية فى الجدول الآتى : ـ

جدول (٤١)

	النسبه المئويه للعناصر الموجودة بالحديد الزهر					
	ك	م	س	كب	فـو	
الحديد الزهر	٤ر٤٣	١ر٠٩	٧٧ر	٠٥٥ر	٠٨٣ر	
الصنب النانج	١٢ر	٥ ر	آثار	٠٤٣ر	٠٢٩ر	
نسبة العناصر المتأكسدة	٤ر٣١	٧٩ر	٧٧ر	٠١٢ر	٠٥٤ر	

ونضاف لمبه من الحام بنسبه ٦٪ كما يضاف البوكسيت بواقع ١٪ ولنفرض ما يأتى : ٩٠٪ من كمية الكربون الكليه تتأكسد الى اول أكسيد الكربون . ١٠٪ الى ثانى أكسيد الكربون . كمية الفاقد من الحديد فى الخبث بنسبه ١ر٥٪ منها ١٪ يتحول الى ح أ والباقى الى ح٢ آ٣ ٠

كمية الفاقد من الحديد فى الغبار (الدخان) ١٪ ٠

وزن البطانه المستهلكة تعادل ٢٪ من وزن الحديد الزهر ٠

تركيب البطانة : ٦ر٦٩٪ أكسيد ماغنسيوم ، ١٠٪ أكسيد كروم

وجدول ٤٢ يعطى تحاليل المواد المستهلكة فى عملية النفخ : ـ

البيان	البيئة الطبيعية لمساكنات							
	عدد الأسر	عدد الأفراد	عدد الغرف	كثافة الأسرة	كثافة الأفراد	كثافة الغرف	نوع المسكن	
الجبل	٢٠٠	١٢٠٠	٣٠٠	٦	٤	٢٠٠	كهف	
الوادي	٣٠٠	٢٠٠٠	٤٠٠	٦٦٦	٤٠٠	٢٠٠	كهف	
الشاطئ	٢٠٠	١٠٠٠	٢٠٠	٤	٣٣٣	١٠٠	كهف	

جدول (٤٣)

وبعد ما عرض ان الكبريت يزال من الصلب الناتج على هيئة كبريتيد المنجنيز الذى يتحول الى كبريتيد الكالسيوم كما كب ، فيزال ٠١٢ر٠٪ من الكبريت وينحد هذا بكمية م نالمنجنيز

$$= ٠١٢ر٠ \times \frac{٥٥}{٣٢} - ٠٢١ر٠ \text{ كجم}$$

حيث : ٥٥ = الوزن الذرى للمنجنيز ٠

٣٢ = الوزن الذرى للكبريت

وزن المتبقى من المنجنيز = ٧٩ر٠ - ٠٢١ر٠ = ٧٦٩ر٠ كجم

وينحد هذه الكمية من المنجنيز بالأكسجين ٠

حساب وزن الأكسجين اللازم لأكسدة الحديد والشوائب الموجودة بالحديد الزهر

يتأكسد ٤٣١ر٠ كجم من الكربون فى كل ١٠٠ كجم من الحديد الزهر ، ٩٠٪ منها يتحول الى أول أكسيد الكربون :

= ٩٠ر٠ × ٤٣١ر٠ = ٨٧٩ر٣ كجم

و ١٠٪ منها يتحول الى ثانى أكسيد الكربون :

= ١ر٠ × ٤٣١ر٠ = ٤٣١ر٠ كجم

وزن الأكسجين اللازم لأكسدة الكربون الى أول اكسيد الكربون :

$$= ٨٧٩ر٣ \times \frac{١٦}{١٢} = ١٧ر٥ \text{ كجم}$$

حيث :

١٦ = الوزن الذرى للأكسجين

١٢ = الوزن الذرى للكربون

ويكون وزن أول أكسيد الكربون = ١٧ر٥ + ٨٧٦ر٣ = ٠٤٩ر٦ كجم

وسوف نطبق هذه الطريقة لحساب أوزان الاكسجين اللازمة لاكسدة الشوائب الأخرى وجدول (٤٣) يعطى البيانات الخاصة بأكسدة الشوائب الأخرى ٠

جدول (٤٣)

النسبة المئوية	القانون الكيميائى للمركبات المتكونة	وزن الأكسجين المطلوب · كجم	وزن المركبات المتكونة · كجم
ك ٣ر٨٧٩	ك أ	٣ر٨٧٩ × ١٦/١٢ = ٥ر١٧	٩ر٠٤٩
ك ٠ر٤٣١	ك أ ٢	٠ر٤٣١ × ٣٢/١٢ = ١ر١٥	١ر٥٨١
س ٠ر٧٧	س أ ٢	٠ر٧٧ ٣٢/٢٨ = ٨٨ر	١ر٦٥٠
م ٧٦٩ر	م أ	٠ر٧٦٩ × ١٦/٥٥ = ٠ر٢٢٣	٠ر٩٩٢
فو ٠ر٠٥٤	فو ٢ ٥	٠ر٠٥٤ × ٨٠/٦٢ = ٠ر٠٧	٠ر١٢٤
ح ٠ ر٥	ح ٢ ٣	٥ر × ٤٨/١١٢ = ٠ر٢١٥	٠ر٧١٥
ح ٠ ر١	ح أ	١ × ١٦/٥٦ = ٠ر٢٨٦	١ر٢٨٦
ح ٠ ر١	ح ٢ ٣	١ × ٤٨/١١٢ = ٠ر٤٣	١ر ٤٣
م ٠ر٠٢١	٠ كب	–	٠ر٠٣٣
الضائع ٠ر٤٢٤		٨ر٤٢٤	

وتحليل الاكسجين فى المحول كما يأتى : ٩٨ر٦٪ اكسجينا ، ١ر٤٪ نتروجينا ٠

اذا : كمية الأكسجين اللازمة × $\frac{٨ر٤٢٤ \times ١٠٠}{٩٨ر٦}$ = ٨ر٥٤٠ كجم

أو $\frac{٨ر٥٤}{١ر٤٣}$ = ٥ر٩٧ م٣

حيث : ١ر٤٣ = وزن المتر المكعب من الأكسجين

ويحتوى ٨ر٥٤ كجم من الأكسجين المنفوخ على ٨ر٤٢ كجم من الأكسجين ، ١٢ر كجم من النتروجين ٠

كما أن جزءا من الأكسجين يحصل عليه من خام الحديد اذ يختزل ٩٠٪ من الخام الى عنصر الحديد والباقى (١٠٪) الى أكسيد الحديدوز فاذا أضيف ٦ كجم من الخام الذى يحتوى على ٨٣ر١٧ / ح٢ أ ٣ فان ٩٠٪ منها تختزل وتعطى كمية من الأكسجين :

= $\frac{٤٨ \times ٨٣ر١٧ \times ٩٠ر \times ٦}{١٠٠ \times ١٦٠}$ = ١ر٣٤ كجم

والباقى الذى يختزل الى أكسيد الحديدوز يعطى كمية من الأكسجين :

= $\frac{٦ \times ١٠ر \times ٨٣ر١٧ \times ١٦}{١٠٠ \times ١٦٠}$ = ٠ر٠٥ كجم

اذا : الوزن الكلى للأكسجين = ١ر٣٤ + ٠ر٥ = ١ر٣٩ كجم

وبافتراض أن المستعمل فعلا من هذا الأكسجين يعادل ٩٠٪ منه

= ٩٠ر × ٩٧ر = ٨٧ر٠ م٣

اذا : كمية الأكسجين اللازمة = ٩٧ر٥ ـ ٨٧ر = ١ر٥م٣

أى أن الطن من الحديد الزهر يتطلب ٥١ مترا مكعبا من الأكسجين ٠

حساب وزن الجير :

ربط السليكا س أ٢ بأكسيد الكالسيوم لتكوين سليكات الكالسيوم ٢كأ ٠ سأ٢ يستلزم ١١٢ كجم من أكسيد الكالسيوم لكل ٦٠ كجم من

السليكا (١١٢ = ضعف الوزن الجزيئى لأكسيد ، ٦٠ = الوزن الجزيئى للسليكا) أى أن ١ كجم من السليكا يلزمه $\frac{١١٢}{٦٠}$ كجم من أكسيد الكالسيوم ٠

وفى حالتنا هذه نجد أن وزن السليكا المتكونة من أكسدة السليكون الموجود بالحديد الزهر = ١ر٦٥ كجم ٠

ولتخبيث هذه الكمية فان وزن أكسيد الكالسيوم اللازم لهذه العملية

$$= ١ر٦٥ \times \frac{١١٢}{٦٠} = ٣ر٠٨ \text{ كجم}$$

ويحتوى الجير على ٨ر٠ كجم من السليكا يلزم لها وزنا من أكسيد الكالسيوم

$$= ٨ر٠ \times \frac{١١٢}{٦٠} = ١ر٤٩٥ \text{ كجم}$$

اذا : وزن أكسيد الكالسيوم المتبقى فى الجير منفردا =

$$= ٣٤٠ر٩٥ - ١ر٤٩٥ = ٨٤٥ر٩٣ \text{ كجم}$$

ونحسب كمية أكسيد الكالسيوم اللازمة للاتحاد بالسليكا الموجوده بخام الحديد كما يأتى :

وزن الخام المضاف ٦ كجم ، يحتوى الخام على ٧ر١١٪ منه سليكا ٠

أى أن وزن السليكا به = ٠١ر × ٦ × ١١ر٧ = ٧ركجم

وزن أكسيد الكالسيوم اللازم للاتحاد بهذه السليكا

$$= ٧ر \times \frac{١١٢}{٦٠} = ١ر٣١ \text{ كجم}$$

ويحتوى البوكسيت على كمية من السليكا وزنها :

وزن السليكا الموجودة بالبوكسيت = ٠١ر × ١ × ٢٣ر٤٢ = ٢٣ر٠ كجم

وزن أكسيد الكالسيوم االلازم لها = ٢٣ر × $\frac{١١٢}{٦٠}$ = ٤٣ر٠ كجم

وزن أكسيد الكالسيوم اللازم لتخبيث خامس أكسيد الفوسفور الى (كا ا)٤ فو٢ أ٥

$$= ٠ر١٢٤ \times \frac{٢٢٤}{١٤٢} = ٠ر١٩٦ \text{ كجم}$$

حيث :

٢٢٤ = ٤ × الوزن الجزيئى لأكسيد الكالسيوم

١٤٢ = الوزن الجزيئى لخامس أكسيد الفوسفور ٠

وزن أكسيد الكالسيوم اللازم لتحويل كبريتيد المنجنيز الى كبريتيد الكالسيوم ٠

$$= ٠ر٠٣٣ \times \frac{٥٦}{٨٧} = ٠ر٠٢١ \text{ كجم}$$

حيث :

٥٦ = الوزن الجزيئى لاكسيد الكالسيوم

٨٧ = الوزن الجزيئى لكبريتيد المنجنيز

اذا : الوزن الكلى لأكسيد الكالسيوم اللازم =

= ٣ر٠٨ + ١ر٣١ + ٠ر٤٣ + ٠ر١٩٦ + ٠ر٠٢١ = ٥ر٠٣٧ كجم

ويجب مراعاة أن تكون هناك وفرة من أكسيد الكالسيوم فى الخبث ولذلك فان الكمية اللازمة من أكسيد الكالسيوم قد قدرت بستة كيلو جرامات ٠

اذا : وزن الجير بالتحاليل السابقة الذى يجب اضافته =

$$= \frac{٦ \times ١٠٠}{٩٣ر٨٤٥} = ٦ر٤ \text{ كجم}$$

حساب مركبات الجير :

س أ ٢ : ٠١ × ٦ر٤ × ٠ر٨ = ٠٥١ر كجم

لو ٢ أ٣ : ٠١ × ٦ر٤ × ١ = ٠٦٤ر كجم

كأ : ٠١ر × ٦ر٤ × ٩٥ر٣٤ = ٦ر١٠٠

مركبات البطانة المستهلكة :

مغأ : ١٠ر × ٢ × ٦٩ر٦ = ١ر٣٨ كجم

كر٢أ٣ : ١٠ر × ٢ × ١٠ = ٢ر٠ كجم

مركبات خام الحديد :

يختزل ٩٠٪ من حام أكسيد الحديديك ح٢ أ٣ الى الحديد ويختزل الباقى (١٠٪) الى ح أ

$$\text{وزن الحديد المختزل} = \frac{٦ \times ٩ر \times ٨٣ر١٧ \times ١١٢}{١٠٠ \times ١٦٠} = ٣ر١٦ \text{ كجم}$$

حيث :

٦ كجم = وزن الخام المضاف

٩ر كجم = ٩٠٪ من الاختزال

٨٣ر١٧٪ = نسبة أكسيد الحديديك فى الخام ٠

$\frac{١١٢}{١٦٠}$ = وزن الحديد الموجود فى ١ كجم من أكسيد الحديديك ٠

وزن أكسيد الحديدوز ح أ الناتج من اختزال ح٢ أ٣ والتى تتحول الى الخبث

$$\text{وزن الحديد} = \frac{٦ \times ١ر \times ٨٣ر١٧ \times ١٢}{١٠٠ \times ١٦٠} = ٣٥ر٠ \text{ كجم}$$

$$\text{وزن ح أ} = ٣٥ر٠ \times \frac{٧٢}{٥٦} = ٤٥ر٠ \text{ كجم}$$

س أ٢ ٧ر٠ كجم

لو٢أ٣ : ١٠ر × ١ر٤٦ × ٦ = ٨٨ر٠ كجم

كا أ : ١٠ر × ٩٥ر × ٦ = ٠٥٧ر٠ كجم

مركبات البوكسيت :

س أ٢ : ٢٣ر٠ كجم

لو٢أ٣ : ١٠ر × ٤٧ر٤ × ١ = ٤٧٤ر كجم

ويمكن وضع التركيب الكيميائي للمخبث في جدول كالآتى :

جدول (٤٤)

المكونات	من تأكسد الحديد والشوائب الموجودة فى الحديد الزهر	من خام الحديد	من الجير	من البوكسيت	من البطانة	المجموع الكلى كجم	النسبة المئوية
س أ٣	١ر٦٥	٧ر	٠٥١ر	٢٣ر	—	٢ر٦٣١	١٨ر٢
كأ	—	٠٥٧ر	٦	—	—	٦ر٠٥٧	٤٢
لو ٢ ا٣	—	٠٨٨ر	٠٦٤ر	٤٧٤ر	—	٦٢٦ر	٤ر٢
ح١	١ر٢٨٦	٤٥ر٠	—	—	—	١ر٧٢٦	١٢
ح ٢ أ ٣	٧١٥ر	—	—	—	—	٧١٥ر	٤ر٩
مأ	٩٩٢ر	—	—	—	—	٩٩٢ر	٦ر٩
مغأ	—	—	—	—	١ر٣٨	١ر٣٨٠	٩ر٥
كر ٢ ا٣	—	—	—	—	٢ر	٢ر٠	١ر٤
فو ٢ ا٥	١٢٤ر٠	—	—	—	—	١٢٤ر	٠ر٩
		٠				١٤ر٤٦١	٪١٠٠

تركيب الغازات المتصاعدة من المحـول

وزن ثانى أكسيد الكربون المنكون ١ر٥٨١ كجم ، وزنه الجزيئى = ٤٤

اذا : ١ر٥٨١ كجم من ك أ٢ يحتوى على $\frac{\text{١ر٥٨١}}{\text{٤٤}}$ = ٠ر٠٣٦ جزىء كيلو جرام

ولكن الجزىء الكيلوجرامى من أى غاز يشـغل حيزا قدره ٤ر٢٢م٣

اذا : تركيب الغازات حجما لكل ١٠٠ سم من الحديد الزهر =

ك أ٢ : ٠ر٠٣٦ × ٤ر٢٢ = ٨١ر٣م ٪١٠

ك أ : $\frac{\text{٩ر٠٤٩}}{\text{٢٨}}$ × ٤ر٢٢ = ٣م٧ر٢٤ ٪٨٨ر٨

ن ٢ : $\frac{\text{٠ر١٢}}{\text{٢٨}}$ × ٤ر٢٢ = ٣م٠٩٦ر ٪١ر٢

المجموع ٣م٨ر١٤٦ ٪١٠٠

وعمليا تحتوى الغازات المتصاعدة من المحول على كميـــة معينة من الأكسجين والنتروجين الناتجين من تحلل الرطوبة الموجودة بالمواد أو التى تدخل المحول مع الأكسجين أو التى تتسرب خلال أنبوبة تمويل الاكسجين ٠

حساب وزن الصلب الناتج

تحسب أوزان لحديد الناتج عن اختزال أكسيد الحـديد والخـام والبوكسيت كما يلى :

يحتوى الخام على ٨٣ر١٧٪ ح ٢ ا٣ (يهمل الحديد الموجود فى أكسيد الحديدوز) ويضاف الخام بمعدل ٦ كجم :

اذا : وزن ح ٢ ا٣ = ٠ر٠١ × ٨٣ر١٧ × ٦ = ٤ر٩٨ كجم

ويحتوى البوكسيت على ٣٥ر١٠٪ من ح ٢ أ٣ وتكون اضافته بمعدل ١ كجم

اذا : وزن ح ٢ أ٣ = ٠ر٠١ × ٣٥ر١٠ × ١ = ١ر٠ كجم

اذا : وزن ح ٢ ا٣ الكلى = ٤ر٩٨ + ١ر٠ = ٥ر٠٨ كجم

كمية الحديد الموجود فى ح ٢ أ٣ = ٥ر٠٨ × $\frac{\text{١١٢}}{\text{١٦٠}}$ = ٣ر٥٦ كجم

وزن الحديد المختزل (٩٠٪ منه) = ٣ر٥٦ × ٩ر٠ = ٣ر٢ كجم

ويتصيد الخبث بعضا من الحديد ٠٠ ولقد وجد عمليا أن كمية الحديد المتصيدة فى الخبث النهائى الناتج بهذه الطريقة (طريقة النفخ العلوية بالأكسجين) تتغير من صبة لأخرى وتتوقف على لزوجة الخبث ومتوسط هذه الكمية فى خمسين تجربة ٩ر٦٪ من وزن الخبث ٠ ويبلغ وزن الخبث الناتج ١٤ر٤٦١ كجم من الحديد الزهر ٠

اذا : اكل ١٠٠ كجم من الحديد الزهر يفقد كمية من الحديد =

= ١٠٠ر × ٩ر٦ × ١٤ر٤٦١ = ١ كجم

وزن العناصر الضائعة = ٨ر٤٢٤ كجم

اذا : وزن الصلب الناتج = ١٠٠ + ٣ر٢ ـ ٨ر٤٢٤ ـ ١ = ٩٣ر٧٧٦ كجم

ويمكن تنسيق الموازنة المادية فى جدول كما يأتى :

جدول (٤٥)

الشحنة / كجم		وزن الناتج / كجم	
حديد زهر	١٠٠ر٠٠	صلب منصهر	٩٣ر٧٧٦
أكسجين	٨ر٥٤	غازات	١٠ر٤٦١
خام الحديد	٦ر٠٠	خبث	١٤ر٧٤٠
جير	٦ر٤	حديد ضائع فى الخبث	١ر٠٠٠
البوكسيت	١ر٠٠	مقذوفات ، حديد ضائع كأبخرة داكنة مع الغازات المتصاعدة ٠	
بطانة	٢ر٠٠		٣ر٩٦٣
المجموع الكلى	١٢٣ر٩٤	ـ	١٢٣ر٩٤

الموازنة الحرارية

للسهولة نعتبر ١٠٠ كجم من شحنة الحديد الزهـر أساسـا فى حساباتنا للموازنة الحرارية ٠

الحرارة الداخلة :

١ ـ كمية الحرارة الداخلة مع الحديد الزهر :

= ١٠٠ (١٧٨ر٠ × ١٢٠٠+٥٢ + ٢٥ر٠ (١٢٥٠ـ١٢٠٠)

= ٢٧٨٥٠ سعرا

حيث :

١٢٠٠ = درجة انصهار الحديد الزهر ، درجة مئوية

١٧٨ر = السعة الحرارية للحديد الزهر قبل نقطـة الانصهـار ، سعرا / كجم ٥٠م

٥٢ = الحرارة الكامنة للانصهار

٢٥ر٠ = السعة الحرارية للحديد الزهر المنصهر

سعرا / كجم ٥٠م

١٢٥٠ = درجة حرارة الحديد الزهر عند صبه فى المحول °م

٢ ـ كمية الحرارة الناتجة عن تيار الأكسجين :

يدفع الأكسجين الى المحول عند درجة حرارة ٣٠ درجة مئوية ٠

والسعة الحرارية للاكسجين عند هذه الدرجة = ٢٣ر٠

سعرا / كجم٥٠م

اذا : كمية الحرارة الداخلة مع الأكسجين = ٥٤ر٨ × ٣٠ × ٢٣ر٠ = ٥٩ سعرا

٣ ـ كمية الحرارة الناتجة من احتراق الكربون :

عند احتراق ١ كجم من الكربون الى أول أكسيد الكربون تبعث ٢٤٥٢ سعرا

عند احتراق ١ كجم من الكربون الى ثانى أكسيد الكربون تبعث ٨١٣٧ سعرا

اذا : ٨٧٩ر٣ × ٢٤٥٢ + ٤٣١ر٠ × ٨١٣٧ = ١٣٠٠٠ سعرا

٤ ـ كمية الحرارة الناتجة عن احتراق السليكون الى السليكا ثم اتحاد السليكا بأكسيد الكالسيوم لتكوين ٢ كاأ٠س أ٢

ونتصاعد نتيجة لتأكسد وتخبين ١ كجم من السيلكون كمية من الحرارة = ٧٤٢٨ سعرا

٧٧ر٠ × ٧٤٢٨ = ٥٧٢٠ سعرا

٥ ـ كمية الحرارة الناتجة عن تأكسد الفوسفور وتخبته لتكوين (كاأ) ٤ فو ٢ أ٥ وتتصاعد كمية من الحرارة لكل ١ كجم من الفوسفور = ٨٥٥٠ سعرا ٠

ادا ٠٥٤ر٠ × ٨٥٥٠ = ٤٦٢ سعرا

٦ ـ كمية الحرارة المتصاعدة عن تأكسد المنجنيز :

= ٧٦٩ر٠ × ١٧٥٨ = ١٣٥٠ سعرا

٧ ـ كمية الحرارة المنبعثه نتيجة لتأكسد الحديد الضائع فى الخبث :

عندما يتأكسد ١ كجم من الحديد الى ح أ ينطلق كمية من الحراره = ١١٩١ سعرا

عندما يتأكسد ١ كجم من الحديد الى ح ٢ أ ٣ ينطلق كمية من الحرارة = ٢٠٧٦ سعرا

ادا ، كمية الحرارة = ١ × ١١٩١ + ٥ر٠ × ١٧٦٩ = ٢٠٧٦ سعرا

٨ ـ كمية الحرارة الناتجة من تاكسد الحديد الذى ينطلق مع غاز المحول على هيئة يفدر الحديد الضائع فى الغبار مع الغازات بحوالى ١٪ وعندما نتأكسد هذه الكمية الى الذى يعتبر أهم مكونات الغبار المتصاعد من المحول ينبعث كمية من الحرارة = ١ × ١٧٦٩ = ١٧٦٩ سعرا ٠

الحرارة المستنفذه

١ ـ الحرارة الموجودة بالصلب المنصهر

= ٧٧٦ر٩٣(١٦٧ر × ١٥٠٠ + ٦٥ + ٢ر(١٦١٠ − ١٥٠٠) =

٣١٧٠٠ سعرا حيث :

١٦٧ر = السعة الحرارية للصلب قبل أن ينصهر

سعرا / كجم °م

٦٥ = الحرارة الكامنة للانصهار

سعرا / كجم °م

١ر٠ = السعة الحرارية للصلب المنصهر

سعرا / كجم °م

١٥٠٠ = درجة انصهار الصلب درجة مئوية

١٦١٠ = درجة الحرارة التى يصب عندها الصلب من المحول

درجة مئويه

٢ ـ الحرارة الموجودة بالخبث :

= ١٤ر٤٦١ (٥٠ + ١٦١٠ × ٢٩٤ر٠) = ٧٥٦٠ سعرا

حيث :

٢٩٤ر٠ = السعة الحرارية للخبث سعرا/كجم/°م

٥٠ = الحرارة الكامنة لانصهار الخبث سعرا / كجم

٣ ـ كمية الحرارة التى تحملها الغازات معها ٠

درجة حرارة الغازات فور خروجهـــا من المحول = ١٤٠٠ درجـة مئوية وعند هذه الدرجة تكون السعة الحرارية لكل من أول أكسيد الكربون والنتروجين = ٣٢٩ر٠ درجة سعرا / م٣ درجة مئوية والسعة الحراربه لثانى أكسيد الكربون = ٥٣٤ر٠ سعرا / م٣ درجة مئوية ٠

اذا : كمية الحرارة = ١٤٠٠ (٢٤ر٧ × ٣٢٩ر + ٨١ر٠ × ٥٣ر٠ + ١٢ر٠ × ٣٢٩ر٠) = ٣٩٧٠ سعرا

٤ ـ كمية الحرارة المستغلة فى احتزال خام الحديد :

يختزل ٩٠٪ من خا الحديد والبوكسيت الى ح بينما يختزل الباقى ١٠٪ الى حأ

ويلزم لاختزال ١ كجم من ح٢ أ٣ الى ح كمية من الحرارة = ١٧٦٩ سعرا

اذا : كميه الحراره اللازمة لاختزال ٣ر٢ كجم من الخام =

= ٣ر٢ × ١٧٦٩ = ٥٦٥٠ سعرا

ويلزم لاختزال ١ كجم من الحديد من ح٢ أ٣ الى حأ ٦٠٧ سعرا وفى حالتنا هذه يختزل ٣٥ر كجم من الحديد فى ح٢ أ٣ الى حأ

اذا : الحرارة المستغلة = ٣٥ر٠ × ٦٠٧ = ٢١٢ سعرا

اذا : الحرارة الكلية اللازمة لاختزال الحديد =

= ٥٦٥٠+٢١٢ = ٥٨٢٦ سعرا

ويمكن وضع جميع البيانات الخاصة بالموازنة الحرارية فى جدول كما يأتى :

جدول (٤٩) الحرارة الداخلة

بنود مصادر الحرارة	سعر	النسبة المئوية
كمية الحرارة بمصهور الحديد الزهر	٢٧٨٥٠	٥٣ر١
كمية الحرارة بالاكسجين	٥٩	٠ر١
الحرارة الناتجة من تأكسد الكربون	١٣٠٠٠	٢٥ر٠
الحرارة الناتجة عن تأكسد وتخبث السليكون	٥٧٢٠	١٠ر٩
الحرارة الناتجة عن تأكسد وتخبث الفوسفور	٤٦٢	٠ر٩
الحرارة الناتجة عن تأكسد المنجنيز	١٣٥٠	٢ر٦
الحرارة الناتجة عن تأكسد الحديد الضائع فى الخبث	٢٠٧٦	٤ر٠
الحرارة الناتجة عن تأكسد وتخبث الحديد الضائع فى الغبار مع الغازات	١٧٦٩	٣ر٤
المجموع الكلى	٥٢٢٨٦	٪١٠٠

الحرارة المستنفدة

بنود استنفاذ الحرارة	سعر	النسبة المئوية
كميه الحرارة بمصهور الصلب	٣١٧٠٠	٦٠ر٦
كمية الحرارة بالخبث	٧٥٦٠	١٤ر٤
كمية الحرارة فى غازات المحول	٣٩٧٠	٧ر٦
كمية الحرارة المستغله لاختزال الحديد	٥٨٦٢	١١ر٣
كمية الحرارة الضائعة بالاشعاع وغيره من طرق فقد الحرارة الأخرى (وتوجد بالفروق)	٣١٩٤	٦ررا
المجموع الكلى	٥٢٢٨٦	٪١٠٠

١٣ ـ تخطيط مصنع الصلب والمعدات اللازمة

لصناعة الصلب بطريقة النفخ العلوية بالأكسجين فى المحولات

نتبع نفس المبادىء الأساسية عند تخطيط مصنع الصلب بطريقة النفخ العلوية بالأكسجين كما فى مصنع محولات توماس • وهناك الى جانب العناصر الأساسية عناصر اخرى خاصة لازمة لهذه الطريقة فهى تتطلب مثلا رفع وخفض أنبوبة الأكسجين بانتظام •

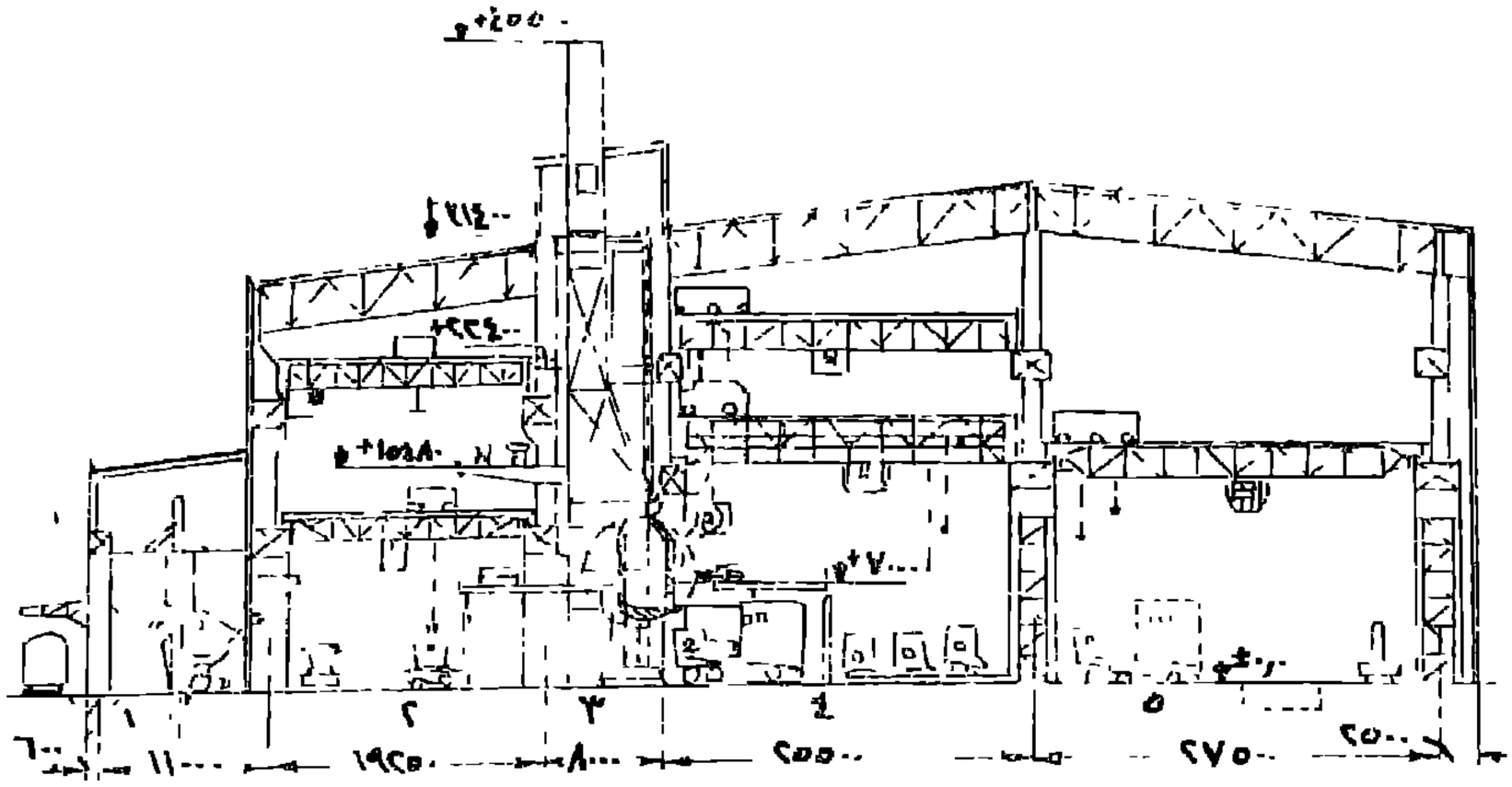
ولقد كان من جراء متطلبات اضافة كميات كبيرة من الخردة والجير والخام قبل وأثناء عملية النفخ واجراء تنقية الغـازات المتصاعدة ، ظهور بعض الصعوبات فى تحديد مكان المحول وتنظيم مكان الأجهزة المختلفة بمقارنتها بمحولات توماس •

وفيما يلى وصف لتخطيط وتنظيم بعض الوحدات حيث ينفخ الحديد الزهر بالأكسجين من أعلا المحول • يمثل شكل ٥٤ المقطع المستعرض لاحدى وحدات المحولات التى تسع ٣٠ طنا ويرى فى الشكل مكان خال لمحول ثالث ويوجد بالقسم خلاط سعة ١٠٠٠ طنا ويمد اثنين من الأفران المفتوحة بالحديد الزهر •

ويقوم بشحن الحديد الزهر بعد وزنه فى المحول ونش علوى منحرك حمولة ١٠٠ طن

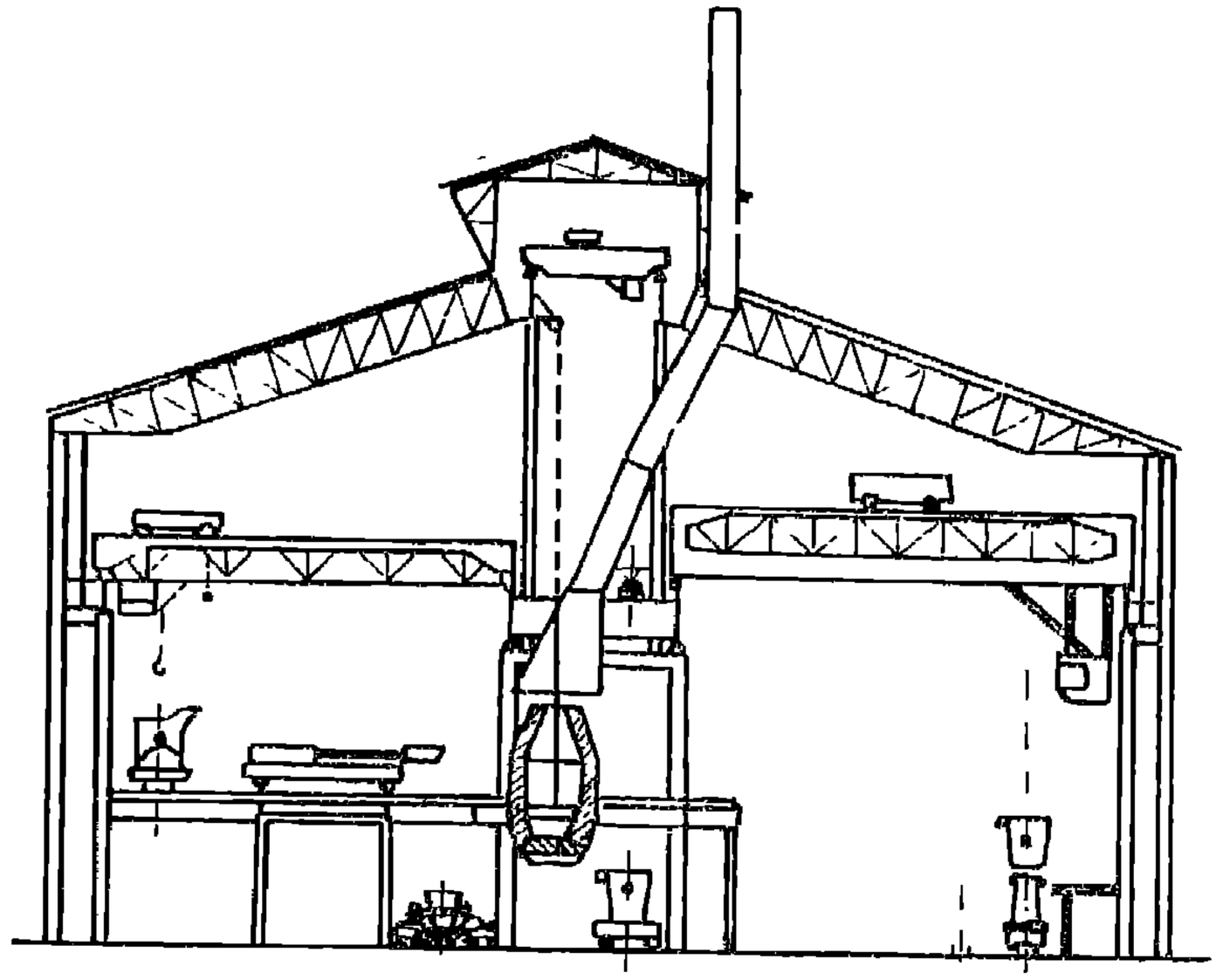
كما يوجد عدد من الأونش الأخرى المساعدة تقوم بالاضافات المطلوبة لشحنة المحول والأعمال الاضافية المطلوب أداؤها داخل الوحدة ثم يضاف الجير وغيره من الاضافات الأخرى الى المحول خلال مسقط مائل عـن منسوب تشغيل المحولات •

ويستخدم لرفع وخفض أنبوبة دفع الأكسجين ونش كهربائى يثبت فوق السطح العلوى ويدار من حجرة المراقبة ويستعمل جهاز هيدروليكى لامالة المحول •

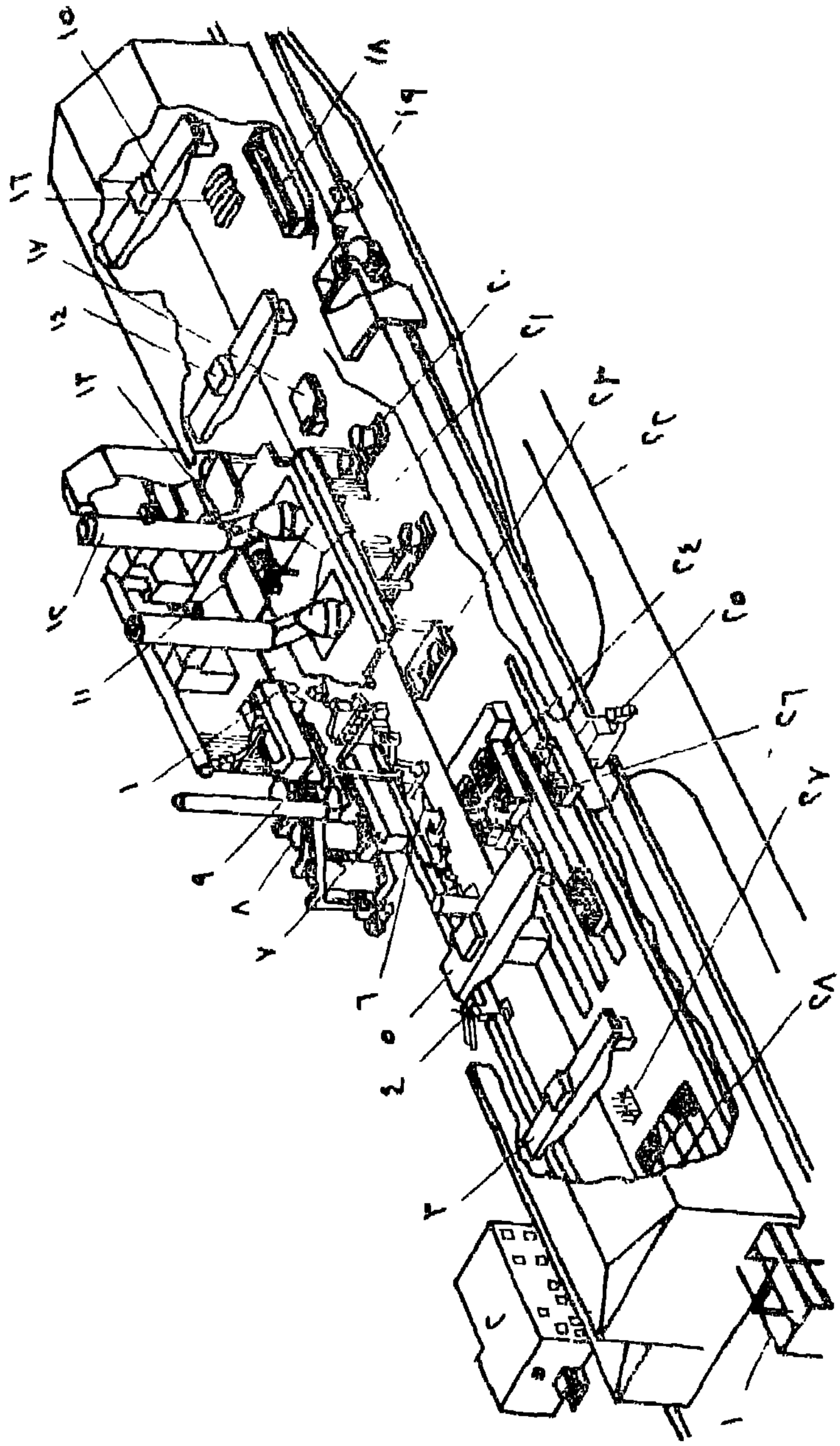


شكل (٥٤) : منظر القطع المستعرض فى مصنع الصلب بواسطه المحولان ،
وبه محولان سعه كل منهما ٣٠ طنا

ويوجد قسم خاص لصناعة الطوب الحرارى من الدولوميت المقطرن ٠٠ ويبلغ مصنع الصلب ٦٤ مترا طولا ويرتكز على أعمدة المسافة بينها ١٦ مترا ٠٠ ونرى فى شكل (٤١) رسما لوحدات تنظيف غازات المحـول من الأتربة كما يوضح الشكل (٥٥) المقطع العرضى للمحول وخنادق الصب ٠



شكل (٥٥) : قطاع مستعرض فى مصنع الصلب ، ويرى به قسم المحولات وقسم الصلب ٠



شكل (٥٦) : تخطيط لمصنع الصلب يعمل به محولان سعة كل منهما ٤٠ طنا

أجهزة القياس التى تستخدم فى مصنع الصلب

نجهز مصانع الصلب الحديثة بمجموعة كبيرة من أجهزة القيـاس المختلفه التى تستخدم لقياس الكم والضـــغط ودرجـة حرارة هواء النفخ (هواء ، أكسجين ، بخار ماء ، ثانى أكسيد الكربون) التى تدخل المحول فى وحدة زمنية واستهلاك وضغط درجة حرارة الميـاه المستخـدمة فى أغراض تبريد أنبوبة الأكسجين فى طريقة النفخ العلوية ودرجة حـرارة المعدن وكمية المياه والطاقة الكهربائية المستغلة فى تنقية الغازات المتصاعدة من المحول من درجة حرارة وكمية الغازات المارة خلال العادم ٠٠٠ الخ ٠

وتصميم ومبادىء تشغيل هذه الأجهزة (أجهزة قياس التدفـــق ، قياس الضغط) ٠

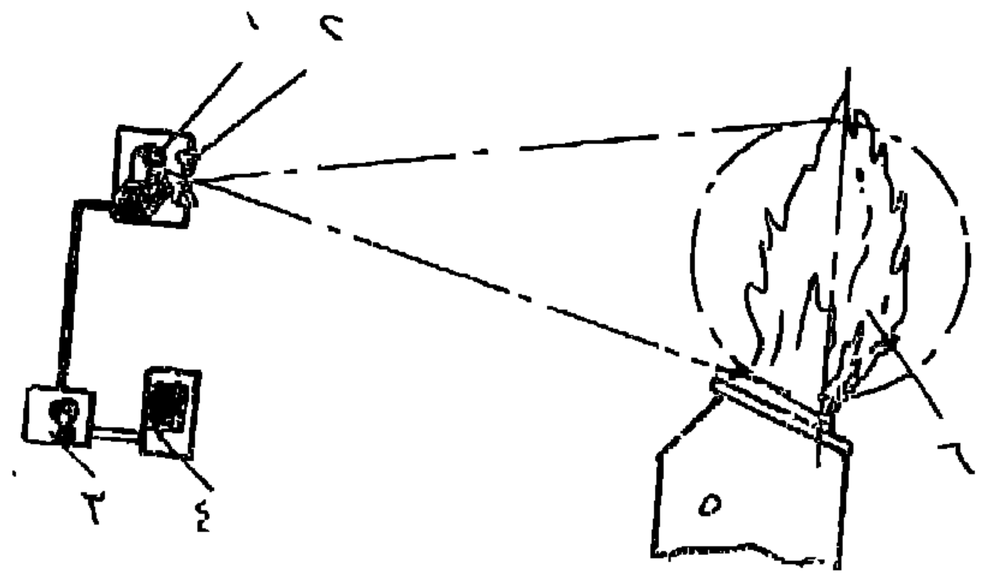
ولما كانت عملية النفخ تستغرق وقتا قصيرا فانه أصبح من المتعذر ضـبط عمليات التشغيل المختلفة بالاستعانة بالتحاليل الكيميائية حتى باستخدام أحدث الأجهزة الموجودة فى عصرنا الحديث والتى تمتاز بدقتها وسرعتها الفائقة لأن أخذ عينة يحتاج الى توقف النفخ مما يتسبب فى ضياع الكثير من الوقت ٠ ولهذا السبب بذلت المحاولات العـديدة فى السنوات الأخيرة لمتابعة سير عملية النفخ أو ايقافها عن طريق الملاحظة والاستعانه فى ذلك بالأجهـزة المختلفة ، وكذلك بالتغيير الذى يطرأ على شعلة اللهب المنبعثة من فوهة المحول كدليل صادق على الحالة الراهنـة للمعدن داخل المحول ٠

ويمكن الحصول على الانتاج المطلوب بطريقة ثابتة باستعمال حديد رمر دى تركيب كيميـائى ثابت ودرجـــة حرارة مقاربة لنفس ظروف التشغيل المتماثلة وفى هذه الحالة يمكن ايقاف النفخ عند لحظة محـددة ومعروفة (عند نسبة معينة من الكربون فى الصلب) ٠

ونحدد هذه اللحظة بأجهزة مختلفة تستخدم لقياس شدة استضاءة شعلة اللهب (بواسطة الخلية الكهروضوئية) ٠٠ ونظرا لأهمية الأجهزة المختلفة نورد فيما يلى مبادىء استعمال بعض هذه الأجهزة التى تستخدم للملاحظة (المراقبة) سير العملية من خارج المحول ومن ثم تتقرر اللحظة التى يتحتم عندها ايقاف النفخ ٠

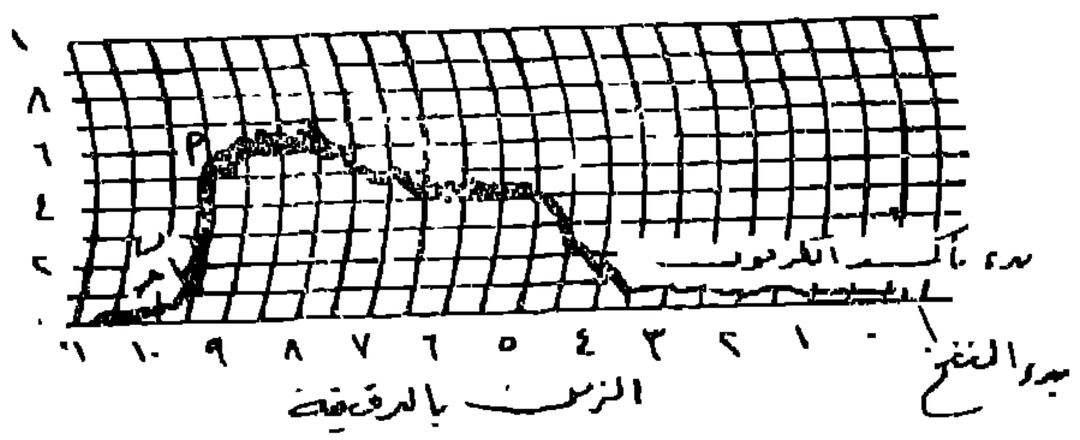
والخلية الكهروضوئية جهاز يستخدم لقياس الطاقة الضوئية للهب حيث يتحول الى طاقة كهربائية ويقوم جهاز تسجيل خاص بتدوين التيار الكهربائى السارى فى هذه الخلية الكهروضـوئية وتركيبها مبين بشـكل

(٥٧) ٠٠ ويراعى ألا يكون هناك أى عائق بين الشعلة والخلية الكهروضوئية كالأوناش والقاطرات مثلا كما يجب أن يكون استعمالها بعيدا كل البعد عن أشعة الشمس ويرى فى شكل (٥٨) منحنى درجات الانصهار كما يدونه جهاز الخلية الكهروضوئية فعند تأكسد السليكون تكون شعلة اللهب ضعيفة التوهج (أقل اضاءة) وذات طاقه ضوئية صغيرة اللهب كما هو موضح فى الرسم وعندما تصل نسبة الكربون الى ١٥ر٪ (نقطة أ) تهبط (تضعف) شدة توهج اللهب سريعا (نقطة ب) حتى تصح نسبة الكربون ٠٥ر-٠٦ر٠٪ ثم يتتابع التناقص فى الطاقة الضوئية للهب ٠



شكل (٥٧) :تنظيم وضع الخلية المكهرو ضوئية :

١ ـ خليه كهرضوئيه
٢ ـ مرشحات
٣ ـ مضخم (مكبر)
٤ ـ جهاز تسجيل
٥ ـ المحول
٦ ـ شعلة اللهب



شكل (٥٨) : شريط تسجيل لصبة فى محول بسمر ثم اخذها بواسطة الخلية الكهروضوئية

بالوصول الى نقطه (ب) تأتى الى نهاية عملية النفخ حيث يجب ايقافه ويمثل الجزء ب ـ ج على المنحنى فترة امالة المحلول على المنحنى ٠ أما اذا كان المراد توقف النفخ عندما تصبح نسبة الكربون ١٢ ر٠ـ١٥ر٪ فيجب امالة المحلول عند نقطة أ وبامالة المحلول بطريقة مطابقة للرسم البيانى للخلية الكهروضوئية يصبح الفولاذ الناتج من الصبات المختلفة أكثر

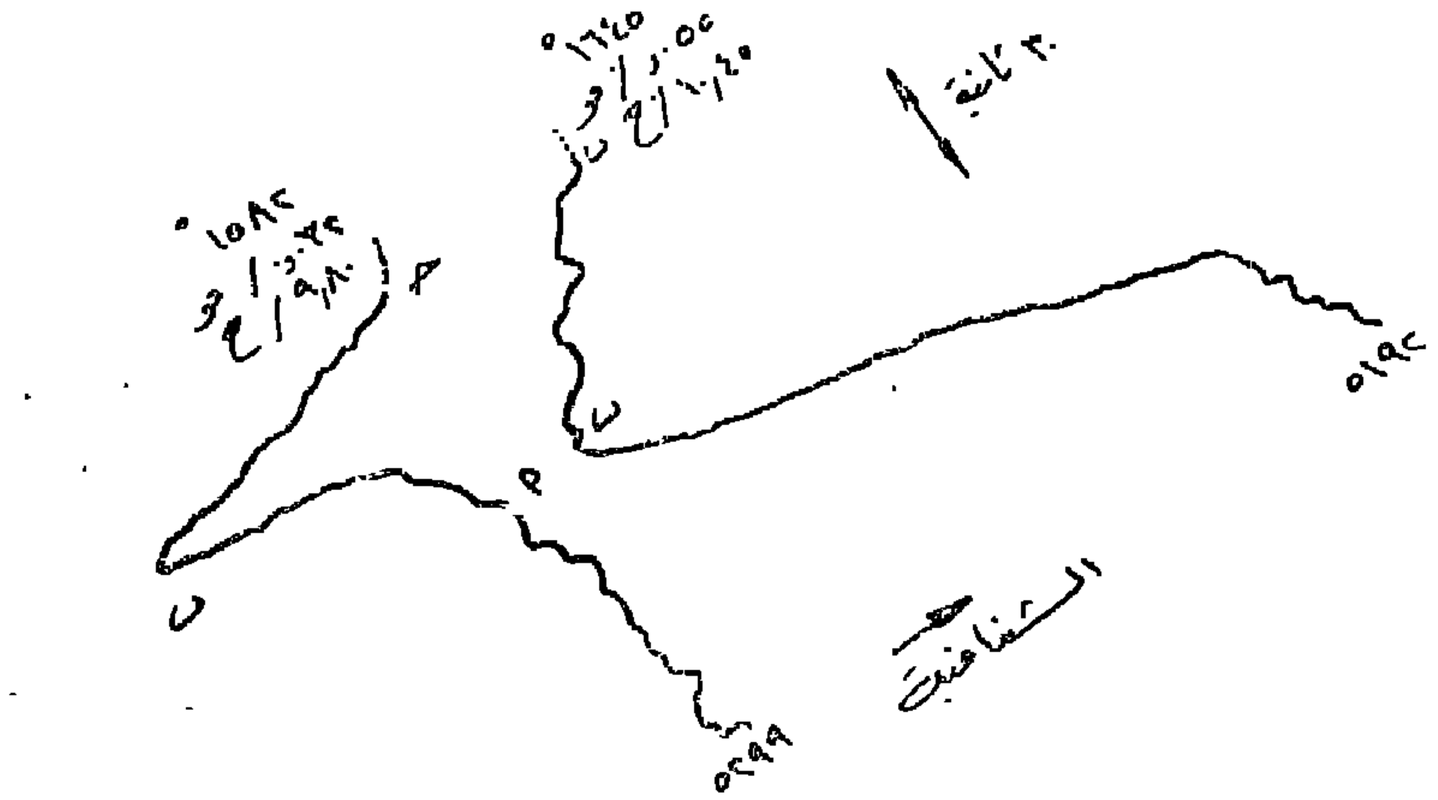
تجانسا كما تقل كمية الغازات الذائبة به كالأكسجين والنتروجين نتيجة لقصر فترة ما بعد النفخ وكثيرا ما تطول هذه الفترة فى حالة الاعتماد على انهاء النفخ بالنظر فقط ٠

ويمكن أن يلحق بالخلية الكهروضوئية جهاز لاصدار اشارة ضوئية أو صوتية عند اللحظة التى يتحتم عندها ايقاف النفخ ٠ وعلى سبيل المثال زودت احدى الوحدات لصناعة الفولاذ سهل القطع فى محولات بسمر بهذا الجهاز وكانت النتائج سيئة اذ انخفضت نسبة الكربون بالصلب بعد النفخ عن ٠٨ر٠٪ بينما فى حالة ايقاف النفخ بمجرد النظر لا تتعدى نسبة الصبات التى لها نفس هذه النتائج عن ٣٦ر٣٪

وبواسطة الخلية الكهروضوئية ترسل اشارة لامالة المحول فى اللحظة التى يبلغ عندها التيار الكهربائى للخلية الكهروضوئية قيمته العظمى والتى تناظر على الرسم البيانى ٠٩ر-١١ر٪ كربونا ٠ وبهذه الطريقة ينخفض عدد الصبات التى تحتوى على نسبة منخفضة من الكربون الى ٥ر١٠٪ أى الى أكثر من ثلاث مرات ٠

بامعان النظر فى شعلة اللهب المنبعثة من محول توماس أثناء فترة تأكسد الفوسفور نجد أن عند لحظة معينة تأخذ شفافية الشعلة فى التناقص حتى تصل الى حد أدنى ثم تزداد ثانية بحدة وتظل قصيرة وثابتة قبل نهاية النفخ كما هو مدون بالمقطع المستقيم لشفافية اللهب ٠

عند بداية هذا المقطع تكون نسبة الفوسفور المناظرة ٠٣ر - ٠٦ر٪ وتتوقف على درجة الحرارة وبمثل شكل (٥٩) منحنيات الشفافية لشعلة



شكل (٥٩) : الخط البياني الذى يوضح تغير شفافية شعلة اللهب عند فوهة المحول

اللهب عند درجات الحرارة المنخفضة (١٥٨٢°م) ، والعالية (١٦٤٥ درجة مئوية)

من الشكل نرى أن نقطة ب وهى الحد الأدنى للشفافية تناظر نسبة من الفوسفور فى الصلب لاتتعدى ١ر٠٪ وتظهر هذه النقطة على الرسم البيانى قبل نهاية النفخ بنصف دقيقة وبالوصول الى هذه النقطة يصبح من الممكن امالة المحلول وايقاف النفخ (اذا كان دوران المحلول الى الوضع الأفقى بطيئا) وباستمرار النفخ أكثر من ذلك تنخفض نسبة الفوسفور بالصلب انخفاضا ضئيلا بينما تزداد كمية الحديد المفقودة كثيرا ٠ أما اذا أخذ المحلول وضعه الأفقى سريعا فان نقطة جـ تكون أكثر ملاءمة لانهاء النفخ ٠

بايقاف النفخ عند نقطة جـ فى وحدات صناعية مختلفة نحصل على صلب تختلف نسبة الفوسفور به من ٠٢٥ر-٠٣٥ر٪ عند درجة حرارة حتى ١٥٩٠ درجة مئوية ، ٠٣٥ر-٠٤٥ر٠ عند درجة حرارة من ١٥٩٠-١٦١٠ درجة مئوية ، ٠٤٥ر-٠٦ر٪ للصبات ذات درجة الحرارة العالية التى تزيد عن ١٦١٠ درجة مئوية ٠ وتبلغ النسبة الحد الأقصى عندما تصل درجة حرارة الصلب الناتج الى درجة التسخين المفرط (فوق ١٦٥٠ درجة مئويه) ٠

ويسهولة يمكن تقدير درجة الحرارة أثناء النفخ من منحنى الشفافية لشعلة اللهب فكلما انخفضت درجة الحرارة كلما كان ميل المنحنى أكثر حدة قبل نقطة جـ ٠

مما سبق يتضح لنا أنه بواسطة منحنى الشفافية تتحدد اللحظة التى ينحتم عندها ايقاف النفخ دون الرجوع الى طبيعة الطريقة المستخدمة .

ب ولقد ظهرت طريقة لتحديد لحظة ايقاف النفخ واضافة المبردات بمعرفة كمية الأكسجين التى دخلت الى المحلول منذ بدء النفخ وتقدر الكمية المطلوبة لنفخ طن واحد من الحديد الزهر بالخبرة والحسابات فمثلا يلزم حوالى ٢٤٠م٣ من الهواء أو ٥٠م٣ من الأكسجين حتى قبل اعادة النفخ لتحويل طن واحد من الحديد من الحديد الزهر الذى يحتوى على ٣ر٨٪ ، ٢٥ر٠٪ ١٥ر١٪ م ، ١ر٢٪ فو لكى تحصل على صلب بالتحاليل الآتية ٠

٠٥ر٪ ك ، ١٥ر٠٪م ، ٦ر١٪ فو

وتحت نفس الظروف فانه يلزم حوالى ٧٥م ٣ من الاكسجين طوال فترة النفخ

اذا كمية الهواء اللازمة لنفخ ٣٥ طنا من الحديد الزهر حتى قبل اعادة النفخ = ٢٤٠ × ٣٥ = ٨٤٠٠ م٣

ومنه تحدد كمية الهواء المنفوخ عند أية لحظة من فترة ما قبل اعادة النفخ من ٨٤٠٠ م٣ وعلى سبيل المثال :

حجم الهواء المنفوخ حتى قبل اعادة النفخ بزمن قدره « ن » دقيقة =

ح = ٨٤٠٠ ـ أن

حيث : أ حجم الهواء الداخل الى المحول فى الدقيقة م٣

أما اذا كانت الشحنة أقل من ٣٥ طنا ، فان كمية الهواء المنفوخ تقل تبعا لذلك ٠

وقد تم رسم خطوط بيانية لتعيين اللحظة التى يتحتم عندها ايقاف النفخ واضافة المبردات وعلى سبيل المثال : المطلوب تحديد اللحظة المناسبة قبل اعادة النفخ بدقيقتين لاضافة المبردات الى شحنة من الحديد الزهر وزنها ٣٠ طنا مع العلم بأن معدل استهلاك الهواء ٥٠٠م ٣ / دقيقة ٠٠ من الصعب أن نحدد هذه اللحظة باستمرار النفخ حيث أنها تعتمد على شدة النفخ وتستخدم هذه الخطوط البيانية لمعرفة حجم الأكسجين المنفوخ الى المحول قبل هذه اللحظة ٠

يرسم خط رأسى من الشكل الثانى على مقياس الزمن قبل اعادة النفخ فيقطع الخط المناظر لحجم النفخ الذى يساوى ٥٠٠ م٣ / دقيقة فى نقطة ثم من هذه النقطة يؤخذ خط أفقى فيتقاطع مع الخط المناظر لشحنة المحول وهى ٣٠ طنا فى نقطة يكون مسقطها الأفقى هو حجم الاكسجين المنفوخ (الخط المنقط من الخطوط البيانية) ٠

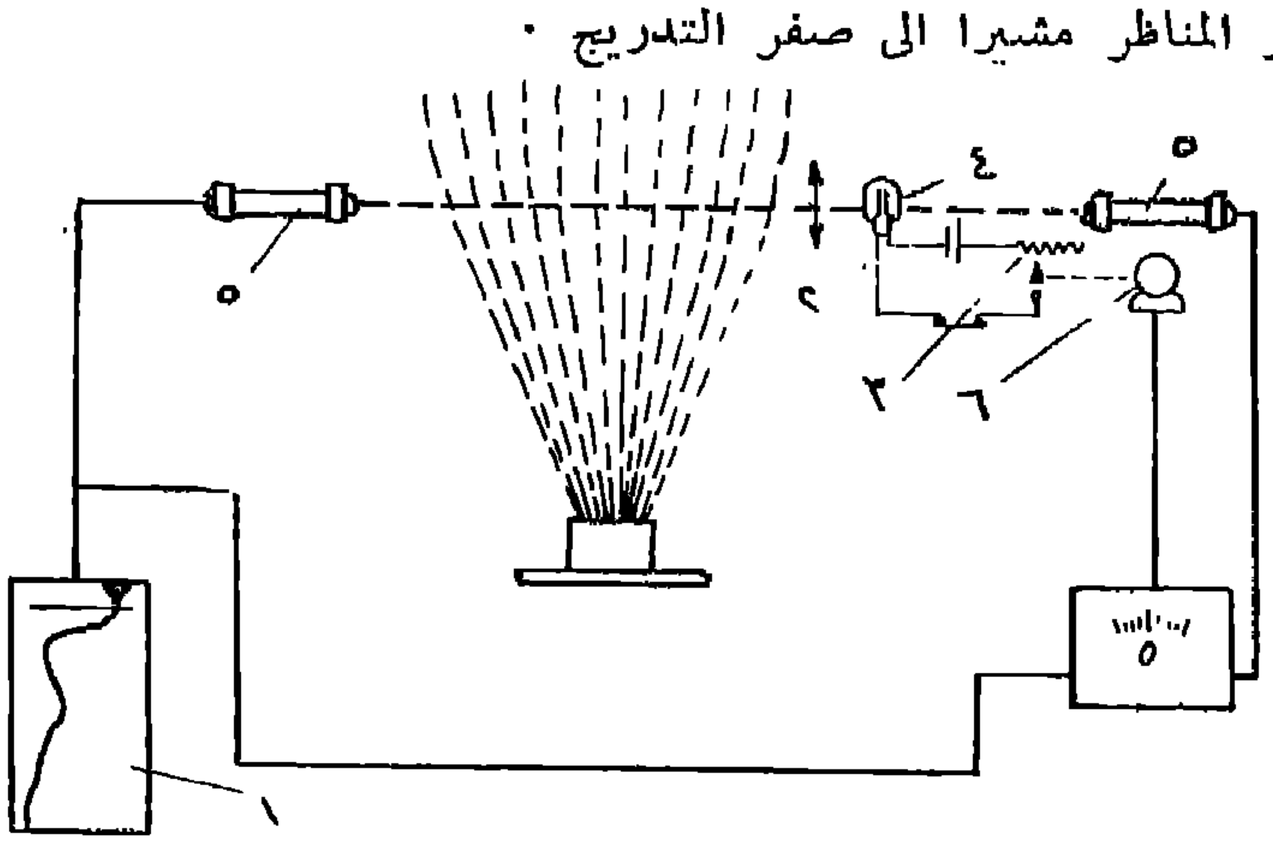
وعندما يبين مقياس التدفق حجم الأكسجين هذا تتبين لحظة الاضافات وتأتى لحظة التوقف عندما يبين مقياس التدفق الحجم المحدد الذى دخل المحول ٠

ويمكن اعداد مجموعة من هذه الخطوط البيانية بحيث تشمل التحاليل

الكيميائية المألوفة للحديد الزهر • وتصلح هـذه الطريقة لأى نـوع من أنواع النفخ •

وعند نفخ الحديد الزهر بالاكسجين من أعلا المحول يزود مقبـاس التدفق بجهاز لتعيين كمية الأكسجين المستعملة منذ بدء النفخ عند أية لحظة •

وتتحدد لحظة التوقف من قراءات الجهاز واستهلاك الأكسجين اللازم لأكسدة ١ر٠٪ ك • هناك طريقة أخرى لمراقبة الانصهار بمعرفة درجـة حرارة الشعلة ويرى فى شكل (٦٠) تنظيم الأجهزة المسـتخدمة لقياس درجة حرارة الشعلة فتوضع لمبة قياسية مع بيرومتر ضوئى يضىء بهذه اللمبة فى ناحية من الشعلة ثم يوجه بيرومتر آخر الى الشعلة فيستقبل الطاقة الضوئية المنبعثة من كل من الشعلة واللمبة مخترقة شعلة اللهب • فاذا كانت الطاقة الضوئية الكلية التى يستقبلها هذا البيرومتر مساويـة للطاقة الضوئية التى يستقبلها البيرومتر الموجه الى اللمبة العيارية كان ذلك دليلا على أن درجة حرارة الشعلة مساوية لدرجة حرارة فتيلة اللمبة وعندما تتساوى قراءتا كلا البيرومترين يتحرك مؤشر الجلفانومتر المتصل بالمؤشر المناظر مشيرا الى صفر التدريج •



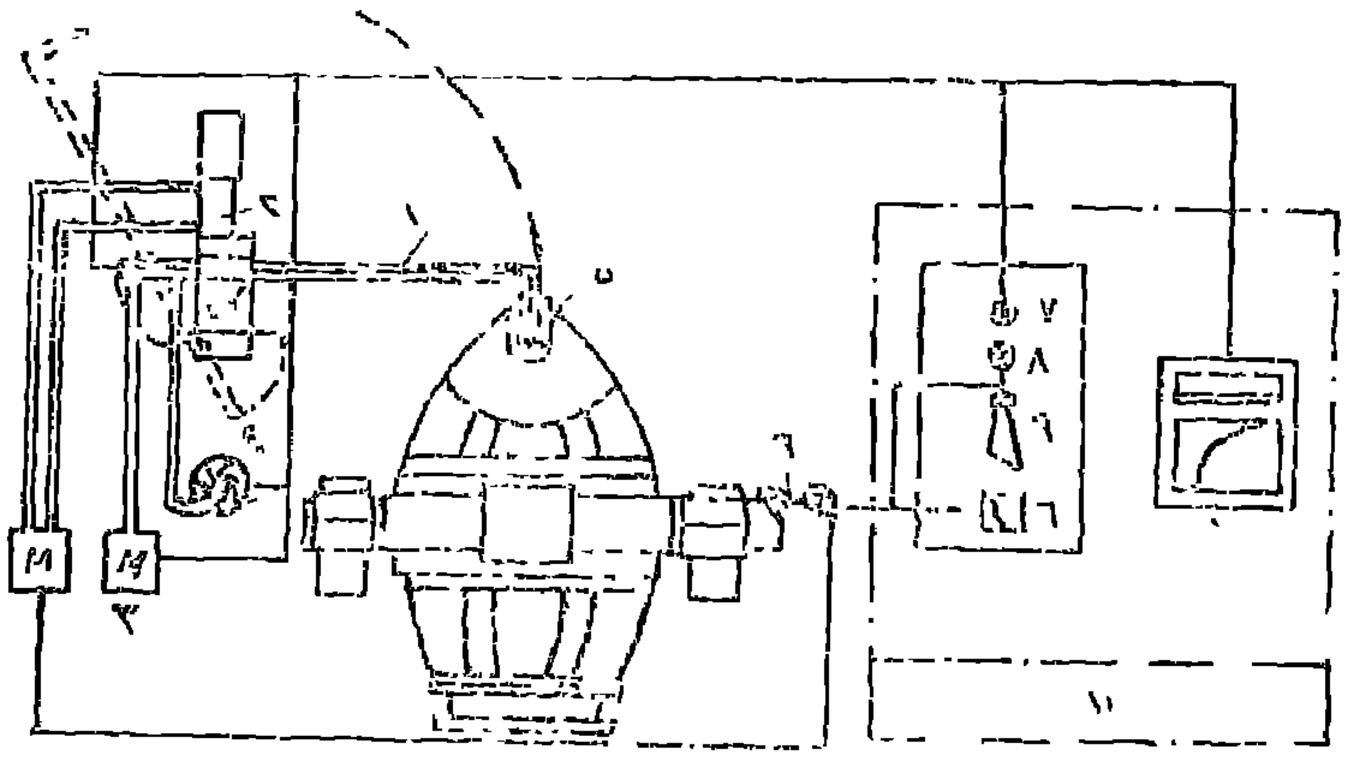
شكل (٦٠) : تنظيم لقياس درجة حرارة اللهب

١ ـ جهاز تسجيل درجة الحرارة
٢ ـ الشيشة
٣ ـ ترموستات
٤ ـ لمبة عيارية
٥ ـ بارومترات
٦ ـ موتور مؤازر

أما اذا كانت الطاقة المستقبلة من اللمبة أكبر أو أقل من الطاقـة المستقبلة من الشعلة ومأخوذة منه بواسطة البيرومتر الآخر فان المؤشر ينحرف عن الصفر الذي بدوره سوف يغير منزلق الترموستات بطريقـة

أو بأخرى ٠٠ الأمر الذى يؤدى الى زيادة أو نقص درجة حرارة الفتيلة حتى تتساوى القراءان فى كلا البيرومترين ويقوم جهاز تسجيل بتدوين درجة الحرارة التى حددت بهـذه الطريقة ٠٠ ولقد وجد أن درجة حرارة الشعلة فى محول توماس تكون أقل من درجة حرارة المعدن بثمانية درجات مئوية وذلك أثناء فترة ازالة الهوسفور فى نهاية النفخ وقد تغير درجة الحرارة هذه قليلا فى المصانع المختلفة تبعا لظروف الانتاج ولكنها تبقى دائمـا ثابتة فى معظم الأحوال اذا كانت الظروف واحدة فى نفس المصنع ٠

من هذا نرى أنه يمكن تقدير درجة حرارة المعدن داخل المحـول بمعرفة درجة حرارة الشعلة وهذه العملية لها أهمية بالغة فى السيطرة على سير العملية أثناء النفخ وسلوك التفاعلات المختلفة داخل المحول ٠ ويمثل شكل (٦١) احدى الوحدات حيث تقاس درجـة المعدن فى المحـول مباشرة ٠



شكل (٦١) : يوضح رسما تخطيطيا لاحدى الوحدات المستخدمه لقياس درجه حرارة المعدن داخل المحول

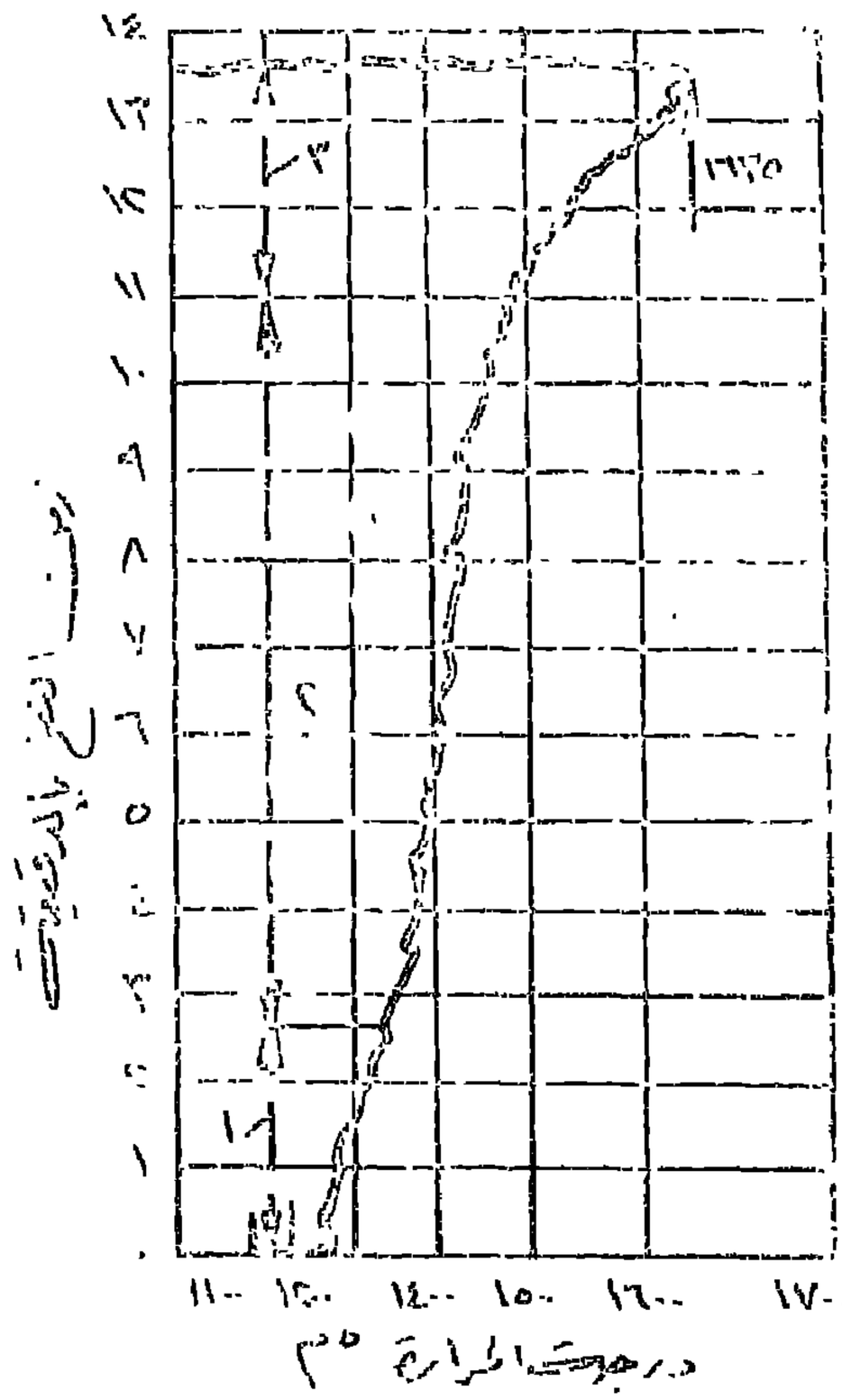
١ ـ انبوبة مرفقية
٢ ـ جهاز ادارة
٣ ـ صمامات مغناطيسيه على خط الهواء المضغوط
٤ ـ مضخة تدفع الماء لتبريد الأنبوبة
٥ ـ بارومتر
٦ ـ مفتاح كهربائى
٧ ـ اللمبة الحمراء
٨ ـ اللمبة البيضاء
٩ ـ صفارة
١٠ ـ مسجل
١١ ـ غرفة المراقبة

ولقياس درجة الحرارة يخفض البيرومتر الى الفوهة تحت منطقـة تكوين الشعلة وآليا تسحب الأنبوبة جانبا ولا تستغرق قياس درجة الحرارة

أكثر من ١٥ ثانية وندون قراءات البيرومتر على جهاز تسجيل خاص ثم يرسم منحنى لدرجات الحرارة كالمبين فى شكل (٦٢) ٠

وبمقارنة درجات الحرارة المبينة بهذا المنحنى بالقياسات التى يعطيها الازدواج الحرارى نجد أن الخطأ لا يتعدى ١٠ درجة مئوية ٠

وبهذه الطريقة تتمكن مثل هذه الوحدات من العمل مستقلة لمدة طويلة مع سهولة فى المراقبة كما تسهل تنظيم درجات الحرارة باضافة السبائك المبردة أو التى ترفع درجة الحرارة حسب الحالة ٠٠ ومن حسن الحظ فقد تم استنتاج علاقات محددة تربط بين منحنيات الطيف لشعلة اللهب والتحاليل الكيميائية للمعدن ٠



شكل (٦٢) : يبين الخط البيانى لتغير الحرارة :

١ ـ اكسدة السليكون ٢ ـ احتراق الكربون

٣ ـ احتراق الفوسفور

صناعة الصلب فى المحولات الدوارة والأفران الانبوبية الدوارة

لقد كان الهدف من تطوير صناعة الصلب فى المحولات الى ما وصلت اليه فى عصرنا الحديث هو الحصول على صلب يضارع فى جودته صلب الأفران المفتوحة ولكن كان لهذه الطرق بعض العيوب ٠

أحد هذه العيوب تصاعد كمية كبيرة من الأدخنة البنية اللون عند نفخ الحديد الزهر بالأكسجين وتحتاج تنقية هـذه الادخنـة الى أجـهزة واستعدادات خاصة ٠

ويمثل القدر الضائع من الحديد كأكسيد حديد حوالى ١ ٪ يتصاعد مع الغازات الخارجة من المحول كما أنه نتيجة للتلامس المباشر بين تيـار الاكسجين والمعدن ترتفع درجة الحرارة موضعيا بشدة ٠٠ ولعـل أهـم الصعوبات التى تصادفنا فى هذه الطريقة هى تحويل الحديد الزهر الغنى بالفوسفور الى صلب به نسبة منخفضة من الفوسفور بحيث يحتوى على اقل نسبة من النتروجين ٠

كما أنه من الصعوبة البالغة نفخ الحديد الزهر الذى يحتوى عـلى فوسفور من ٥ر٠ ــ ٠ر١ ٪ بطريقة توماس المعتادة ٠

والبوم أصبحت الطرق الأكثر شيوعا فى التطبيق فى صناعة الصلب هى التى تضمن النقاط التالية :

(أ) انتاج صلب يضاهى صلب الأفران المفتوحة فى خواصه الميكانيكية والعملية ٠

(ب) التمكن من نفخ الحديد الزهر مهما كانت تحاليله الكيميائية ٠

(ج) انتاج صبات بأوزان كبيرة ٠

(د) تلافى تصاعد الأدخنة بكميات كبيرة ٠

(هـ) أن تكون الطريقة اقتصادية ٠

ولقد أمكن تحقيق معظم هذه الشروط بواسطة التطورات الحديثة في طرق نفخ الحديد الزهر بالاكسجين فى الوحدات الدوارة ٠

١ ـ نفخ الحديد الزهر فى محول دوار

ظهرت هذه الطريقة الى الوجود الصناعى فى بلاد السويد ولقد كان من دواعى ظهورها الاعتقاد بعدم تعرض الحديد الزهر فى المحول النابت للخلخل الكافى مهما كان ضغط تيار الأكسجين مرتفعا مما يؤدى الى ارتفاع درجة حرارة المعدن موضعيا فى منطقة التفاعلات فيتبخر جزء من الحديد ويضيع مع الغازات المتصاعدة كأبخرة بنية ٠

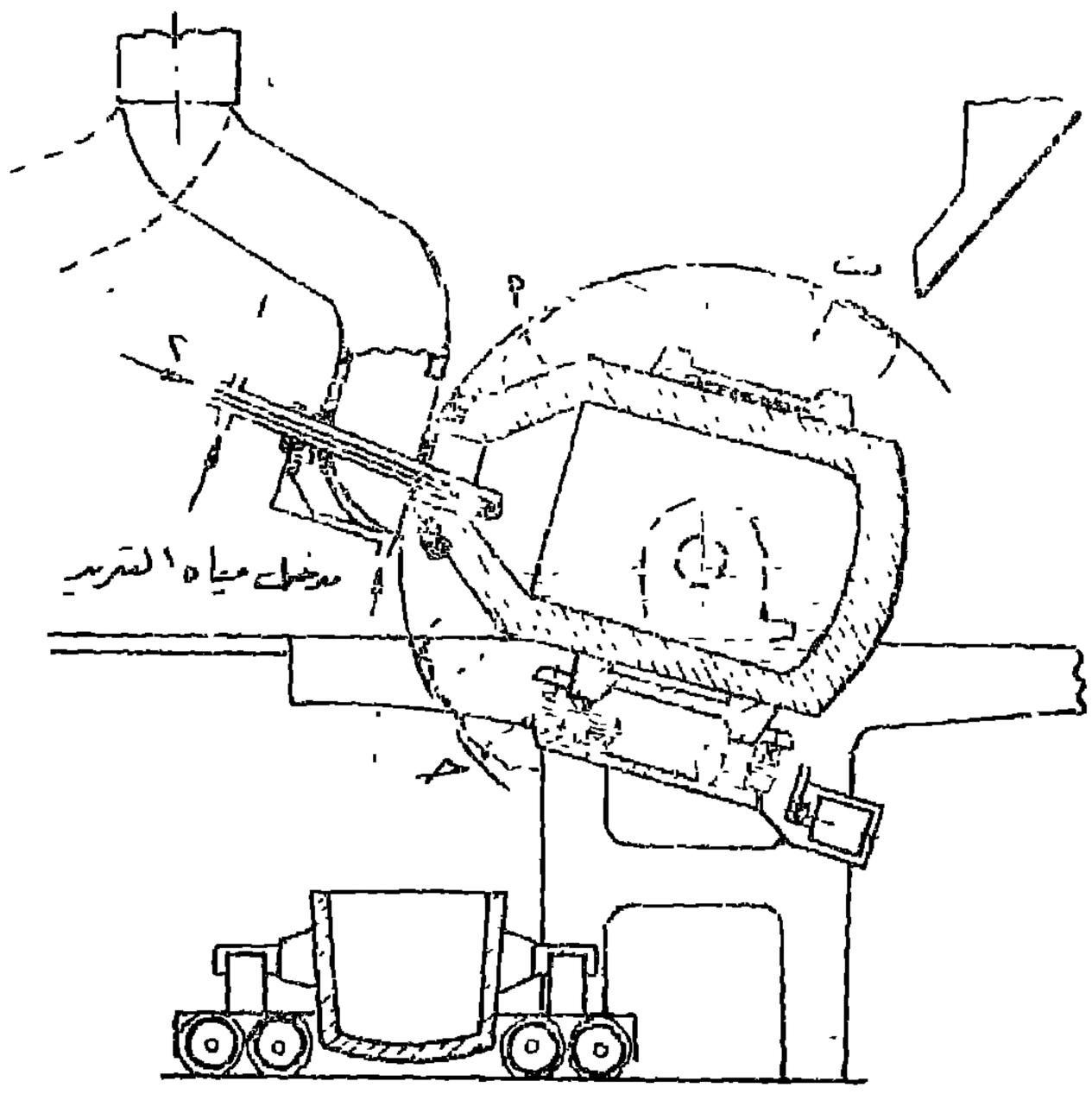
كما يضيع جزء آخر من الحديد فى الخبث عند نفخ الحديد الزهر الذى يحتوى على نسبة عالية من الفوسفور وتنحصر الخطوط العريضة لهذه الطريقة أنه يمكن للمعدن أن يختلط اختلاطا فعالا مع دوران المحول بغض النظر عن ضغط الأكسجين وبالخلط السليم نتلافى وصول بعض أجزاء المعدن الى درجة التسخين المفرط وما يتبع ذلك من تكون الأبخرة البنية ٠

وبتغيير سرعة دوران المحول وطريقة نفخ الاكسجين نتمكن من تنظيم العملية والسيطرة عليها ٠ ونرى فى شكل (٦٣) شكلا لأحد المحولات الدوارة سعة ٣٠ طنا ويتمكن المحول من الدوران حول محوره الأفقى مرتكزا على مرتكز دورانى لشحنه بالحديد الزهر وخلافه وكذلك لصب الصلب والخبث أثناء النفخ ويأخذ المحول وضعا مائلا بحيث يصنع زاوية بين ١٥ ـ ٢٠ درجة مع الأفقى ٠

ويدفع الأكسجين الى سطح المعدن خلال فوهة المحول بواسطة أنبوبة تبرد مائيا (بواسطة الماء) وتميل ٨ـ٢٥ درجة على الأفقى ويدور المحول حول محوره الطولى أثناء النفخ بمعدل ثلاثين دورة فى الدقيقة ٠

يستخدم طوب الدولوميت المقطرن فى صنع بطانة هذا المحول وتتغير هذه البطانة بعد خمسين صبة ولقد وجد حاليا أن هذا الرقم يمكن أن يرتفع الى الضعف أو الى ثلاثة أضعاف باستعمال طوب المجنزيت ٠

يمكن سحب المحول بعيدا عن جهاز الدوران ويحل آخر بعمله ويفضل أن يكون هناك جهازان للدوران الآلى مع ثلاثة محولات بحيث يعمل اثنان منهما ويكون الآخر بعيدا عن العمل لأغراض تغيير البطانة وخلافه ٠



شكل (٣٦) : يبين محولا دوارا سعة ٣٠ طنا لنفخ الحديد الزهر بالاكسجين الخالص

وفى الشكل نرى وضع المحول فى الحالات الآتية :

(أ) عند شحنة بالحديد الزهر (ب) لاضافة شحنة الحام والجير
(جـ) أنبوبة قابلة للدوران لسحب الغازات

١ ـ أنبوبه قابلة للدوران لسحب الغازات ٢ ـ فصبة دفع الاكسجين

من المستحسن أن يحتوى الحديد الزهر المستخدم فى المحولات الدوارة على التحاليل الاتية :ـ

سلكون	٢ ر٠ـ٣ ر٠٪
فوسفور	٨ ر١ـ٠٠ر٢٪
كربون	٣ر٥
فاناديوم	١ر٠
كبريت	٠٥ر٠ـ٠٦ر٠
منجنيز	٥ رـ٧ ر٠

واذا احتوى الحديد الزهر على نسبة عالية من السليكون فانه يفضل فى هذه نفخة بالاكسـجين فى البودقة حتى تنخفض نسبة السليكون به ثم يشحن فى المحول بعد ذلك ٠

وكقاعدة يستخدم في اغراض التبريد خام الحديد أو الركام (الكتل) الذي يحتوى على ٥٥٪ منه حديد كما تستعمل الخردة أيضا فى هذا الصدد وعندما يتم التبريد بواسطة خام الحديد بمفرده فانه يضاف بمعدل ١٢ـ١٥٪ اما اذا اضيفت الخردة فقط بدلا من خام الحديد فان استهلاكا يصل نظريا الى ٤٠٪ بينما لاتزيد فى الواقع عمليا عن ١٥ـ٢٠٪ ويجب أن تكون هذه الخردة صغيرة الاحجام فالكبيرة منها قد لا تنصهر تماما ٠

ويستغرق نفخ الحديد الزهر الفوسفورى من ٣٥ـ٤٠ دقيقة اذا كانت درجة نقاوة الأكسجين ٩٧٪ ومعدل تدفقه من ٦٥ ـ ٧١م٣ لكل طن من الحديد الزهر ٠ والحديد الزهر الذى يحتوى على نسبة منخفضة من الفوسفور لا يستغرق وقتا طويلا فى النفخ فتنخفض مدة النفخ الى ٢٥ دقيقة ٠

ويمكن أيضا اختزال زمن النفخ كثيرا باستعمال الخبث المتخلف عن الشحنة السابقة (اذ يمثل الجير الجزء الأعظم من هذا الخبث كما يحتوى أيضا على كمية من أكاسيد الحديد وقليل من الفوسفور) وباضافة بعض الجير الناعم والخام » الخردة ، الركام أثناء النفخ دون امالة المحول ٠ ويجرى النفخ على النحو التالى :ـ

الفترة الأولى قبل ازالة الخبث وتستمر لمدة ٢٠ـ٣٠ دقيقة ينخفض معدل الكربون الى ٢٪ والفوسفور الى ٠ر٤٪ ثم يزال سريعا ويحتوى هذا الخبث على ٢٢٪ منه فو٢ أ ٢ ٠ ولا تزيد نسبة الحديد به عن ٣ـ٤٪ وترتفع درجة الحرارة الى ١٥٥٠ـ١٦٠٠ درجة مئوية ٠

ويكفل لنا أكسدة الحديد مبكرا فى أول مراحل النفخ وخلط المعدن جيدا نتيجة لدوران المحول ، خبثا ذا فاعلية كبيرة وسرعة فى ازالة الفوسفور ٠

عندما يستخدم المحول المألوف (العادى) فى نفخ الحديد الزهر الذى يحتوى على أكثر من ٠ر٢٪ فوسفورا ، بالأكسجين الخالص فان الخبث الحديدى يسبب أكسدة الكربون بشدة وبتصاعد تبعا لذلك كثير من أول أكاسيد الكربون فيزداد تناثر الحديد خارج المحول وتتيح لنا نفخ الحديد الزهر فى المحول الدوار فرصة تنظيم معدل تأكسد الكربون بدقة مع ازالة الفوسفور ٠

ثم يقل دفع الأكسجين فيزداد دوران المحول لحظيا حتى يقل معدل تأكسد الكربون فتزداد أكاسيد الحديد فى الخبث تبعا لذلك ٠٠ الأمر الذى يؤدى الى الاسراع من معدل أكسدة الفوسفور وبالعكس فاذا كانت درجة

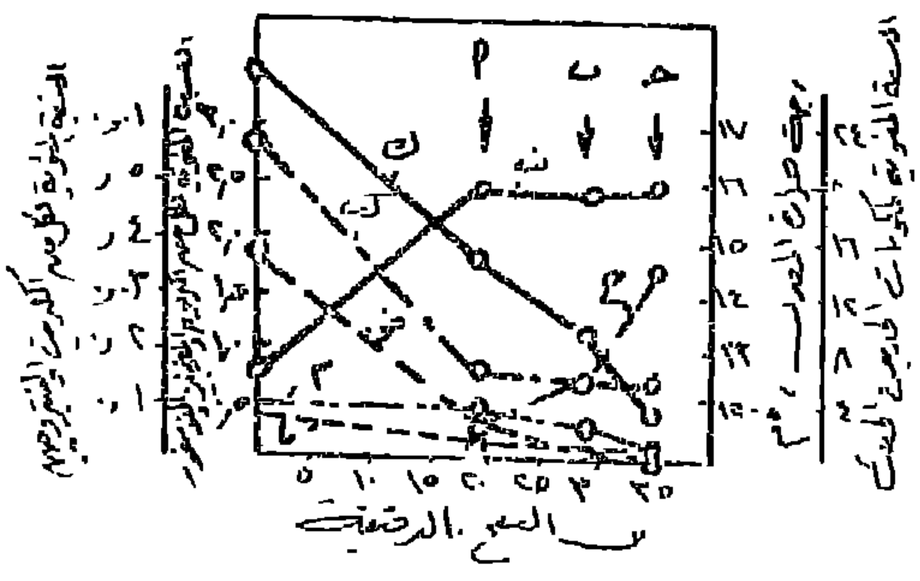
الحرارة منخفضة فانه يجب أن يزداد دفع الأكسجين وتقل سرعة دوران المحول فيرتفع معدل تأكسد الكربون وتزداد الحرارة بينما تقل أكاسيد الحديد بالخبث ٠

وبمعرفة معدل دفع الأكسجين ودرجة حرارة الغازات المنبعثة عند فوهة المحلول مقبسة بالبيرومتر المعتاد يمكن تنظيم درجة الحرارة والسيطرة على العملية ٠

وفى داخل المحول يحترق جزء كبير من أول أكسيد الكربون وعندئذ يزداد معدل تأكسد الكربون فيتصاعد تبعا لذلك أول اكسيد الكربون بغزارة وتفقد كمية هائلة من الحرارة معها ٠

وتدوم الفترة الثانية عشرة دقائق يزال بعدها الخبث الذى يحتوى على ١٧٪ فو٢ أ٥ ٦٪ حديدا وفى هذه الحالة يحتوى المعدن داخل المحلول على حوالى ١٪ كربونا وعندئذ تبدأ فترة النفخ اللاحق حتى تصل نسبة الكربون بالصلب الى النسبة المنشـــودة (دون اتباعهـــا بعملية الكربنة) ٠

ويستغل الخبث الناتج من كلا الفتـرتين كسـماد للأرض الزراعيـة ويعطينا شكل (٦٤) صورة للسلوك النمطى الذى تسلكه الشوائب أثناء تأكسدها منذ نفخ الحديد الزهر الفوسفورى بالاكسجين الخالص فى المحول الدوار تحت الظروف الآتية :



شكل (٦٤) : يمثل اكسدة الشوائب اثناء نفخ الحديد الزهر بالاكسجين فى محاول دوار :
أ ـ ازالة الخبث الأصلى ب ـ ازالة الخبث الثانوى
جـ ـ الصلب المنصهر

وزن الحديد الزهر ٣٠ طنا ـ تركيب الحديد الزهر ٣ر٥٤٪ كربـونا ، ٠ر١٢٪ سليكونا ، ٠ر٤٩٪ منجنيزا ، ١ر٨٤٪ فوسفورا ، ٠ر٠٥٨ كبريتا معدل استهلاك الجير ١٣ر٨٪ والخام ١١ر٩٪ من وزن الحديد الزهر معدل دفع الأكسجين ٣م٦٥/ طن من المعدن ٠

يتأكسد الفوسفور فى نفس الوقت مع الكربون ولهذا فانه عندما تصل نسبة الكربون الى ٥ر٠٪ تصبح نسبة الفوسفور ضئيله للغايه وعند نقطة جـ يكون تركيب الصلب هو :ـ ١٨٠ر٪ فوسفورا ، ١٣٠ر٪ كبرينا ، ٠٠٢ر٪ نتروجينا وبالرغم من انخفاض نسبة المنجنيز فى الحديد الزهر فان درجة ازالة الكبريت عالية اذ بلغت ٥ر٩٧٪ ويرجع هذا الى سرعة تكوين الخبث ذى الفاعلية الكبيرة وأساسا بالخلط الجيد الذى له أكبر الأثر فى ازالة الكبريت من الصلب ٠

وعند صناعة الصلب من الحديد الزهر الذى يحتوى على نسبة منخفضة من الفوسفور مع نسبة عالية من الكبريت يزال الخبث مبكرا بعد بدء النفخ بخمس الى عشر دقائق ٠

فى حالة ما اذا احتوى الحديد الزهر على فوسفور حتى ٨ر١٪ يمكن الحصول على صلب منخفض الفوسفور بازالة الخبث مرة واحدة بدلا من مرتين وبذلك تختصر خطوات العمل باستخدام خام الحديد كعامل مبرد فان التركيب الكيميائى للصلب الناتج عندما يكون وشبكا للصب من المحول :

ك	٠٣٥ر٪
م	٠٩٤ر٪
فو	٠٢٢ر٪
كب	٠١٥ر٪
ن ٢	٠٠٢ر٪

وتتغير نسبة المنجنيز ، من ٠٦ر ـ ١٨ر٪ متوسط معدل دفع الأكسجين هو ٣م٦٩ طن ويضاف الخام بمعدل ١١ر٥٪ والجير بمعدل ١٤٪ من وزن الصلب وكانت درجة حرارة الصلب عند صبه ١٦٤٠ درجـة مئوية وهذا الصلب الناتج لايقل بأى حال من الأحوال عن صلب الافران المفتوحة وهو يستعمل فى صنع ألواح السفن والصفائح المستخدمة لأغراض التشكيل المختلفة كالثنى والسحب ٠

وتصل الكفاءة الانتاجية للصلب الناتج ٩٢٪ من وزن الحديد الزهر المشحون وقد تصل هذه النسبة الى ١٠٠٪ باضافة خام الحديد من أجل التبريد ٠

وفى هذه الطريقة تنخفض كثيرا كمية الحديد الضائعة مع الغازات المنبعثة من المحول عنها عن طريقة النفخ العلوية بالاكسجين فى المحول الثابت ويعزى هذا الى تماثل درجات الحرارة فى جميع أجزاء الشحنة دون

الارتفاع الشديد فى أحد المواضع بها ولهذا فاننا لانرى هناك حاجة الى أجهزة خاصة لتنقية الغازات ٠

ويستهلك الطن من الصلب الناتج حوالى ٢٠ كجم من الدولومب ويمكن تلخيص اجمالى مميزات هذه الطريقة فيما يلى :ـ

١ ـ ارتفاع الكفاءة الانتاجيه للصلب الناتج لاستغلال كمية كبيرة من حام الحديد اذ أن احتراق أول أكسيد الكربون داخل المحول يرفع من درجة حرارته كثرا ٠

٢ ـ يمكن انتـاج الصلب متوسـط الكربـون من الحديد الزهر الفوسفورى بايقاف النفخ عندما تصل نسبة الكربون الى حد معين دون اعادة النفخ ثم تتبع ذلك بعملية الكربنة ٠

٣ ـ ازالة الكبريت بدرجة كبيرة ٠

٤ ـ انخفاض نسبة النتروجين بالصلب حين تبلغ نقاوة الأكسجين الذى ينفخ بالمحلول ٩٧/ ٠

٥ ـ سهولة ضبط معدل تأكسد الكربون وذلك بتغيير سرعة دوران المحول ٠

٦ ـ انخفاض كمية الحديد الضائعة مع الغـازات وفى الخبث ولهذا فأنه لاداعى لاستعمال أجهزة التنقية ٠

٧ ـ امكانية امرار الحديد الزهر بمراحل تصنيع تالية فى الفـرن الكهربائى أو الفرن المفتوح ٠

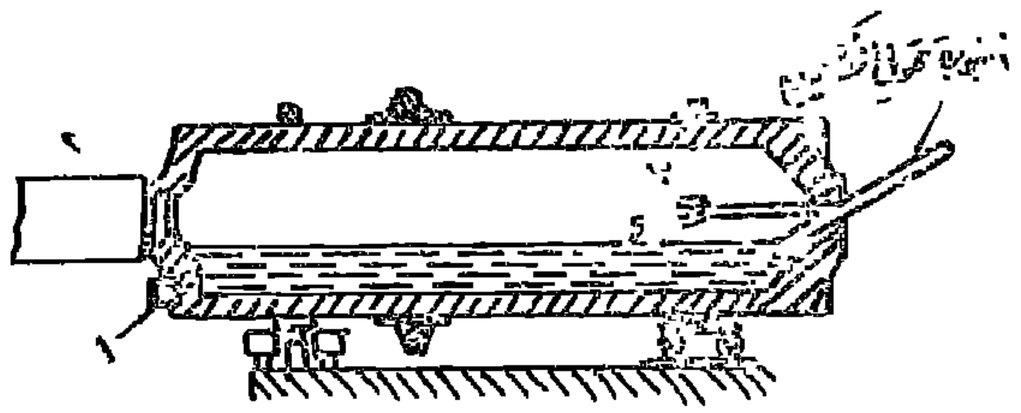
٨ ـ يمكن زيادة سعة المحولات الدوارة حتى ١٠٠ طن وأكثر ٠

٢ ـ صناعة الصلب فى الأفران الأنبوبية الدوارة

بعد عدد من التجارب تم التوصل بنجاح الى صنع الصلب فى أفران أنبوبية دوارة وعند اصطدام تيار الأكسجين بمصهور المعدن ترتفع درجة الحرارة بشدة فى منطقة الاصطدام ولكن بدوران الفرن نتلاقى تأثير الارتفاع الموضعى فى درجة الحـرارة على بطانة الفرن اذ تغير البطـانة موضعها بانتظام فتكون تارة بمثابة قاع وتارة أخرى سقفا ولهذا فان تآكل البطانة يكون أكثر انتظاما وبذلك تطول عمرا ٠

الى جانب هذا فان التقلب الشديد أثناء الدوران ليساعد كثيرا على أكسدة الشوائب وازالة الكبريت ٠

ونرى فى شكل (٦٥) رسما لفرن دوار سعة ٦٠ طنا وطول هذا الفرن ١٤ر٦ مترا وقطره الداخلى ٢ر٧ والخارجى ٣ر٧ مترا .



شكل (٦٥) : يبين فرن الروتور الذى يسع ٦٠ طنا

١ ـ فتحة الصب **٢ ـ غازات العادم**

٣ ـ فوهة ثانوية **٤ ـ فوهة اصلية**

ويبطن هذا الفرن بطبقتين من الطوب الحرارى احداهما ملاصقه بهيكله وتقوم بحمايته وتصنع من طوب المجنزيت وسمكها ١٢٠ مم أما الطبقة الأخرى المعرضة للمعدن فتكون دكا من خليط الدولوميت المقطرن وسمكها ٣٨٠ مم .

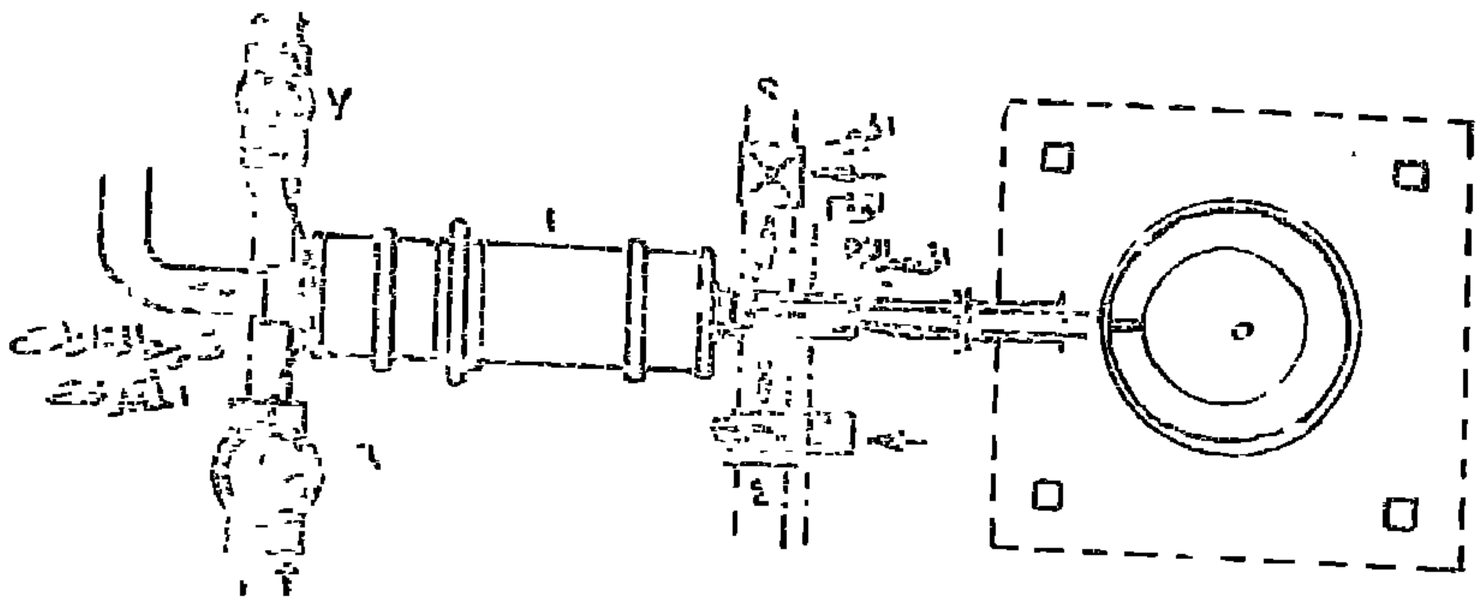
وبالفرن فتحتان أحدهما أمامية لشحن الحديد الزهر واضافه الاضافات ونفخ الاكسجين والأخرى خلفية لتصريف الخبث والغازات المتكونة .

ويدور الفرن مبتدءا بمعدل ١ر٠ ـ ٥ر٠ دورة/دقيقة ويتدفق الأكسجين الى الفرن فى نيارين نفاثتين (الاكسجين الأساسى والنانوى) ، ويمكن دفع الاكسجين الأساسى الى المعدن خلال أنبوبة تبرد بالماء فى نهايتها فوهة لتركيز النفخ على المعدن وأكسدة الشوائب وتقليب المعدن ويدفع الأكسجين النانوى فوق سطح المعدن حتى يحترق أول أكسيد الكربون الناتج عن أكسدة الكربون ومن هذه الحرارة المتكونة يمتص المعدن حوالى ٦٠٪ فقط .

وتوضع المدخنة على الجانب المقابل لفتحة تمويل الأكسجين لتندفع الغازات المتكونة خلالها ولهذا فان سحب الغازات والدخان يكون أيسر بكثير عن المحولات .

كما أن تنقية الغازات ليست بالعملية الصعبة .. وتطبق الخطوات الآتية عند العمل فى الأفران الدوارة : (شكل ٦٦) .

يقوم جهاز متحرك بشحن الفرن بالجير والخام والنفايات المعدنية خلال الفتحة الأمامية ثم يدفع الجهاز جانبا ويضبط المسقط المائل



شكل (٦٦) : الأفران الدوارة

١ ـ الفرن
٢ ـ جهاز شحن الخام والجير الى الفرن
٣ ـ مسقط متحرك لشحن الخديد الزهر
٤ ـ عربة لتخليص ودنات الاكسجين
٥ ـ الفرن العالى
٦ ـ بودقة صب الصلب
٧ ـ أوانى الخبث

المتحرك ويتم شحن الحديد الزهر من الفرن العالى الى هذا الفرن الدوار الذى يسع ٦٠ طنا بعد ذلك يبعد المسقط المائل ثم تتحرك عربة تحمل أنابيب أكسجين الى فتحة الشحن ثم تركب أنابيب الأكسجين على مزلقات خاصة وتولج فى الفـرن الدوار بواسـطة موتور كهربائى وعندئذ يبدأ الأكسجين فى التدفق ٠

بواسطة هذا الفرن يصبح بالامكان تحويل الحديد الزهر الفوسفورى اما الى خام نصف مصنع يصلح لانتاج الأفران المفتوحة واما الى صلب جاهز للتشكيل ٠

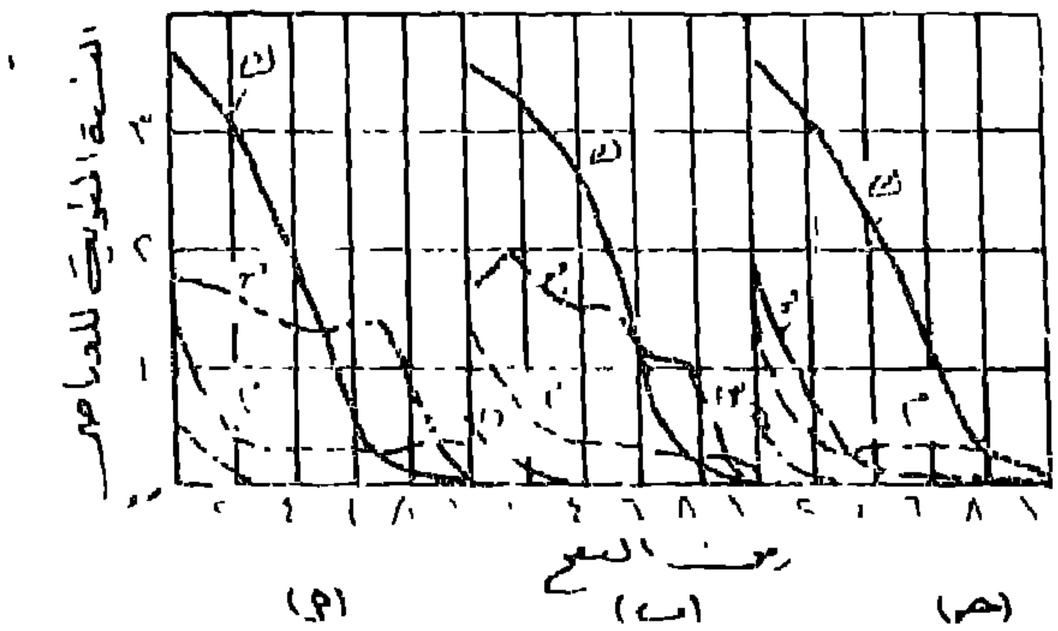
ففى الحالة الأولى يوقف النفخ بعد ٤٠ دقيقة حيث يحتوى المعدن على ١٪ كربونا وحوالى ١ر٠٪ فوسفورا وعندئذ يزال معظم الخبث قبل صب المعدن من الفرن ٠

ونستخدم أجهزة امالة لازالة الخبث عند صناعة الصلب الجاهز للتشكيل ٠ فى هذا الفرن يزال الخبث عندما يحتوى المعدن على حوالى ٢٪ كربونا وتكون نسبة الفوسفور حوالى ١ر٠ ـ ٢ر/ ويحتوى هذا الخبث على نسبة من الحديد منخفضة نوعا (٨ ـ ١٢٪) ولكنه يحتوى على نسبة عالية من خامس أكسيد الفوسفور (١٨ ـ ٢٠٪) ولهذا فهو يستخدم بعد معالجته كسماد للتربة الزراعية ٠

بعد أن يزال الخبث يتكون خبث جديد ويضبط باضـــافة الجير وخام الحديد ثم يعاد النفخ ثانية حتى تصل نسبة الكربون الى النسبة المنشودة ٠

ويصب الصلب مع بقاء الخبث الجديد فى الفرن ثم يخلط بخام الحديد والجير ويستعمل فى الصبة التالية · وعند صب الصلب تفتح فتحة الصلب الخاصة عندما تكون فى موضعها العلوى ويستغرق صنع الصلب الجاهز للتشكيل (أول التسخين حتى صب الصلب) من الحديد الزهر الفوسفورى ساعتين منها ١٥ دقيقة تضيع فى شحن الجير وخام الحديد ، ١٠ ــ ١٥ دقيقة لشحن الحديد الزهر ، ٥٠ ــ ٦٠ دقيقة فى النفخ وازالة الخبث ، ١٠ دقائق لصب الصلب ·· وأما ما يتبقى من الفرن فيضيع فى الأعطال التى تحدث بين الصبات وبعضها · وفى شكل (٦٧) نجد مقارنة لأكسدة الشوائب فى الحديد الزهر عند النفخ اما بالهواء أو بخليط الهواء والأكسجين فى المحول ، وبنفخ الأكسجين فى الفرن الدوار يتضح أن فترة أكسدة الفوسفور قد تقدمت مرة أكسدة الكربون ·

ويرجع هذا الى سرعة تكون خبث الحديد الجيرى (الخبث الجيرى الغنى بأكاسيد الحديد) ويساعد اضافة خام الحديد بكميات كبيرة فى سرعة تكوين هذا الخبث كذلك فان الحرارة العالية التى تنتج عن احتراق أول أكسيد الكربون فى الفرن تكون هى الأخرى لها نفس التأثير ·



شكل (٦٧) : منحنيات تبين احتراق العناصر فى طرق النفخ المختلفة للحديد الزهر التوماسى :
(أ) طريقة النفخ بالهواء (ب) طريقة النفخ بالهواء الأزود بالاكسجين
(جـ) الفرن الدوار

ويمتاز الصلب الناتج بهذه الطريقة بانخفاض نسبة الفوسفور به فلا تتعدى ٠٣ر٠٪ اذ لا يختزل أى كمية من الفوسفور الموجود فى الخبث ويعود الى المعدن ·

ويتوقف معدل النفخ على معدل تدفق تيار الأكسجين الأساسى وضبطه وكذلك على معدل استهلاك خام الحديد ·

وعندما يتأكسد الكربون بمعدل كبير يتكون غاز أول أكسيد الكربون بكميات ضخمة ويتضاعد بغزارة مما يؤدى الى انسفاخ كل المعدن المنصهر والخبث وقد يصطدم تيار الأكسجين النانوى بهما ويشترك هو الآخر فى عمليات الأكسدة المختلفة ٠

ومن حسن الحظ أنه عند صناعة الصلب فى الفرن الدوار يزال الكبريت لدرجة كبيرة تفوق أية طريقة قاعدية أخرى لصناعة الصلب اذ تنفرد هذه الطريقة باحتراق الكبريت جزئيا الى ثانى أكسيد الكبريت حيث تكون درجة حرارة الخبث عالية ٠ ومن تحليل الغازات المتصاعدة من المحول يمكن القول بأن ١٥٪ من الكبريت قد أزيل فى صورة غاز ثانى أكسيد الكبريت ٠

ويحتوى الصلب المصنوع فى الفرن الدوار على حوالى ٠٠٤ر٠٪ من النتروجين عندما تكون درجة نقاوة الأكسجين ٩٥٪ ٠

٣ ـ الموازنة المادية والحرارية فى صناعة الصلب بطريقة الفرن الدوار :

للسهولة تعتبر الحسابات لطن واحد من الصلب النابج ٠
الموازنة المادية لطن واحد من الصلب مبينة فى جدول ٤٧ ٠

يعزى انخفاض كمية الحديد الزهر اللازمه لصنع طن واحد من الصلب الى اختزال الحديد فى كمية الخام الوفيرة التى تضاف الى الشحنة والى انخفاض كمية الحديد الضائعة ٠

جدول (٤٧)

المواد الداخلة	كجم	المواد الناتجة	كجم
الحديد الزهر الفوسفورى	١٩٧	صلب	١٠٠٠
جير	١٢٥	خبث	٢١٠
خام حديد	١٥٥	غازات متصاعدة	٢٠٠
أكسجين	٩٠	غبار	١٥
نتروجين	٢٠		
خردة	٣٨	المجموع	١٤٢٥
المجموع الكلى	١٤٢٥		

ويصل المعدل الكلى لنفخ الاكسجين لكل طن من الصلب الى ٩٠م٣ يستهلك حوالى ثلثه فى حرق أول أكسيد الكربون ٠

وتكون نقاوة نيار الأكسجين النانوى ٧٠ ــ ٩٠/ واذا شحن هذا الاكسجين النانوى فى مسترجع الحرارة فانه من الممكن استعمال الاكسجين بدرجة نقاوة أقل حتى اذا ما وصلت درجة حرارته بالتسخين الى ٨٠٠ ــ ١٠٠٠ م فانه يمكن استبدال الأكسجين الاضافى بالهواء ٠

ويجب أن يقل غاز الأكسجين المنفوخ بكمية معادلة للأكسجين المستفاد به من خام الحديد ٠ وعلى وجه التقريب فان كمية الأكسجين الموجودة بخام الهيماتيت المضاف (ح٢ أ٣) والذى يحتوى على الحديد بنسبة ٥٠٪ وبتقدير أن ٨٠٪ من الأكسجين هو الذى يستفاد به :

$$\text{٣م ٢٧} = \frac{\text{١٥٥} \times \text{٠ر٥} \times \text{١٦٠} \times \text{٤٨} \times \text{٨ر}}{\text{١١٢} \times \text{١٦٠}} = \text{٣م٢٧}$$

حيث :

$\frac{\text{١٦٠}}{\text{١١٢}}$: نسبة تحول الحديد الى ح ٢ أ ٢

$\frac{\text{٤٨}}{\text{١٦٠}}$: كمية الأكسجين الموجودة فى ١ كجم من ح ٣ أ ٣

اذا : وزن الأكسجين الباقى = ٩٠ ــ ٢٧ = ٣م٦٣/طن ٠

وهذه هى الكمية التى تدخل الفرن على الهيئه الغازية وتقدر النسبة التى يننفع بها من غاز الأكسجين بحوالى ٩٠٪ أى أن معدل نفخه لكل طن من الصلب = ٧٠ م٣ ٠

ويلزم لانتاج طن الصلب من الحديد الزهر الفوسفورى ١٢٥ كجم من الجير وتقل هذه الكمية حتى تصبح ٢٠ كجم لكل طن اذا كان حديد زهر الأفران المفتوحة يحتوى على نسبة منخفضة من الفوسفور ٠

وقد يستخدم الحجر الجيرى الناعم بدلا من أكسيد الكالسيوم وفى هذه الحالة نحتاج الى كمية من الحرارة اللازمة لتحليل الحجر الجيرى ولذلك يجب علينا أن نقلل من كمية خام الحديد المضافة مما يؤدى الى نقص الكفاية الانتاجية للصلب الناتج ٠

وبمقارنة الموازنة المادية فى الطرق المختلفة لصناعة الصلب من الحديد الزهر الفوسفورى :

(أ) بنفخه بالهواء فقط ٠

(ب) بنفخه بالهواء المزود بالأكسجين حتى ٣٠٪ ٠

(جـ) بنفخه فى الأفران الدوارة ٠

نجد أن كمية الحديد الضائعة فى الفرن الدوار تعادل ٢ر٢٪ بينما فى طريقة النفخ السفلية بالهواء تساوى ٤ر٣٪ ولا تقل عن ٧ر٤٪ عند نفخه بالهواء المزود بالاكسجين ٠

وفى جدول ٤٨ بيان للاستهلاكات الحرارية فى الطرق المختلفة لتصنيع الحديد الزهر الفوسفورى (٪) ٠

جدول (٤٨)

الغرض الذى تبذل فيه الحرارة	طريقة النفخ السفلية بالهواء (توماس)	طريقة (توماس) للنفخ بالهواء المزود بالاكسجين ٣٠٪	الفرن الدوار
كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة الحرارة الى ١٦٥٠°	١٤ر٥	١٣ر٣٥	١١ر٤
	(١٢٥٠° م)	(١٢٥٠) ×	(١٣٠٠) × ×
كمية الحرارة اللازمة لتسخين الجير	١٠ر٧	١١ر١	١١ر٤
كمية الحرارة اللازمة لتسخين الاكسجين الى ١٦٥٠° م	٥ر٣٤	٥ر٩	٦ر٥
كمية الحرارة اللازمة لاختزال خام الحديد أو لصهر الخردة	٣ر٠٥ (٤٦ كجم حرده)	١٢ر٦ (٣٠كجم من خام الحديد)	٤٦ر٣ (١٠١كجم من خام الحديد)
كمية الحرارة المفقودة مع الغازات المتصاعدة عند ١٤٥٠° م	١٩ر١	١٣ر٣٥	٥ر٧
حرارة أول أكسيد الكربون غير المحترق	٣٧ر٤	٣٤ر١	٤ر١
الحرارة المفقودة بالاشعاع وغيره	٩ر٢	٩ر٦	١٤ر٦

× بعد النفخ المبدئى

× × مباشرة من الفرن العالى

فى طريقة الفرن الدوار تبـــذل الحرارة التى ينفخ بها الأكســجين (لتسخين الحديد الزهر) ، والجير لصـــهر الخرد ةوأيضـــا لاختزال خـام الحديد بنسبة ٦ر٧٥٪ ببنما لا تتعدى هـذه النسبة فى طريقتى توماس وبسمر ٦ر٣٣ ، ٤٣٪ على الترتيب ٠

جودة الصلب المصنوع فى الفرن الدوار

تصنع أنواع الصـلب التى تحتـوى على ٠٫٠٥ ـ ٢٥٪ كربونا فى الأفران الدوارة ويمكن أيضا انتاج أنواع الصلب التى تحتوى على نسبة من الكربون أعلى من هذه النسبة وبهذا يمكن تغطية الاحتياج (سد الحاجة) من الصلب الانشـائى والألواح اللازمة لبناء السـفن والغلايات وكذلك الصلب الذى يدخل فى صناعة الأســلاك الفولاذية وألواح الصــاج والقضـــبان ٠

ويمتاز الصلب المصنوع بهذه الطريقة بانخفاض نسبة الفوسفور والكبريت والأكســـجين فمثلا لا تتعـــدى نسبة الأكســـجين به ٠٫٠٠٥ ـ ٠٫٠١٥٪ كما فى صلب الأفران المفتوحة ٠

ومن ناحية التحمل للصدمات فلا يقل الصلب المصنوع فى الفرن الدوار عن منتجات الأفران المفتوحة بأى حال من الأحوال ٠

المؤشرات الفنية والاقتصادية لطريقة الفرن الدوار

يستهلك الطن من الصلب المنصهر حوالى ٥٠ كجم من الدولوميت ويمكن خفض هذا المعدل الى ٣٠ كجم/طن ولا يزيد الاستهلاك من الحراريات للأغراض الأخرى عن ١ كجم/طن ٠

وباستعمال الفرن الدوار سعة ٦٠ طنا يمكننا الحصول على ٢٠٫٠٠٠ طن من الصلب شهريا وتقدر السعة اليومية لفرن دوار يسع ١٠٠ طنا من : ١٠٠٠ ـ ١٢٠٠ طنا ٠

الفصل النامن

طريقة الصب المستمر لانتاج الصلب

يرجع الفضل فى اكتشـاف طريقة الصب المستمر لانتـاج الكتل مباشرة من الصلب الى بسمر وكان ذلك عام ١٨٥٧ حين حاول امرار تيار من الصلب المنصهر خلال درافيل تبرد بالمياه فى ماكينة درفلة الألواح الفولاذية حيث تطوق هذه الدرافيل بجلب تمنع تسرب الصلب المنصهر بين محاورها ٠

هذا ولا تزال المجهودات المضنية مستمرة حتى يومنا هذا بصدد تطوير طريقة التشكيل بالدرفلة بحيث لا تستخدم كتـــلا من الصلب المتجمد لهـذا الغرض ولكن للأسـف تقابلنا فى التطبيق صناعيا بعض الصعوبات الأساسية مثل :

١ ـ الحاجة المستمرة لاستبدال الدرافيل نتيجة لتآكل سطحها ٠

٢ ـ صعوبة السيطرة على العملية ٠

٣ ـ انخفاض جودة وسلامة السطح النهائى للألواح الناتجة ٠

ولما جاءت المحاولات فى هـذا السبيل مخيبة للآمال فى بداية هـذا القـرن اتجه التفكير الى انتاج قطاعات نصـف مصنعة بدلا من القطاعات نهائية التشكيل وذلك بطريقة مستمرة لعملية الصب وتشمل القطاعات نصف المصنعة ، والكتل المدرفلة المعدة لعمليات تشكيل لاحقة للألواح ٠

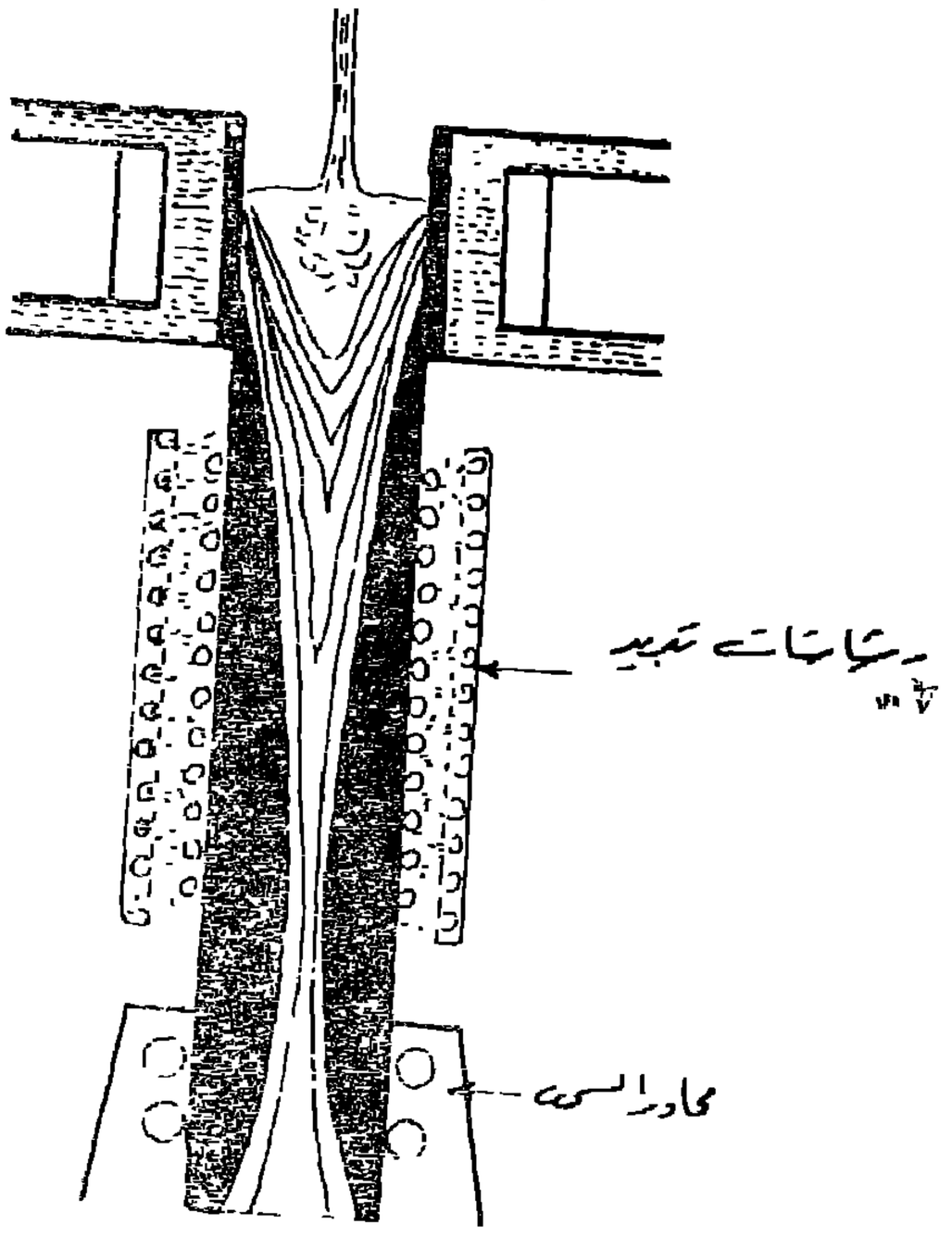
ولقد ظهـر الصب المستمر فى ميـدان البحث فى كل من الاتحاد السوفيتى عام ١٩٠٥ وألمانيا عام ١٩٠٩ بطرق متعددة ، ولكنها لم تدخل الى حيز التطبيق فى المجال الصناعى لصب الفلزات غير الحديدية بطريقة مستمرة حتى عام ١٩٤٠ ، ثم سارت الجهود بعد ذلك قدما بحماس منقطع النظير ووضعت فى خدمتها كل الخبرات السابقة فى هذا المجال حتى كللت بالنجاح وذلل الجزء الأكبر من الصـــعوبات التـ تواجـه عملية الصب المستمر للصلب المنصهر ، ولقد ارتبط الباحثون بعضهم ببعض فى منظمات علمية كما ارتبطت هذه المنظمات هي الأخرى بعضها ببعض خدمة لهذا

الهدف حتى توصل البحث الى تعديلات ناجحة ومفيدة وانبثق عن هذه الأبحاث ثلاثة أنواع أساسية لهذه الطريقة :

- طرق تلائم عمليات الانتاج الضخم بأطنان وفيرة ·
- طرق مناسبة للصب السريع ·
- طرق قليلة ونادرة تستخدم لأغراض معينة فى مصانع خاصة لذلك ·

مبادىء الصب المستمر لانتاج الصلب

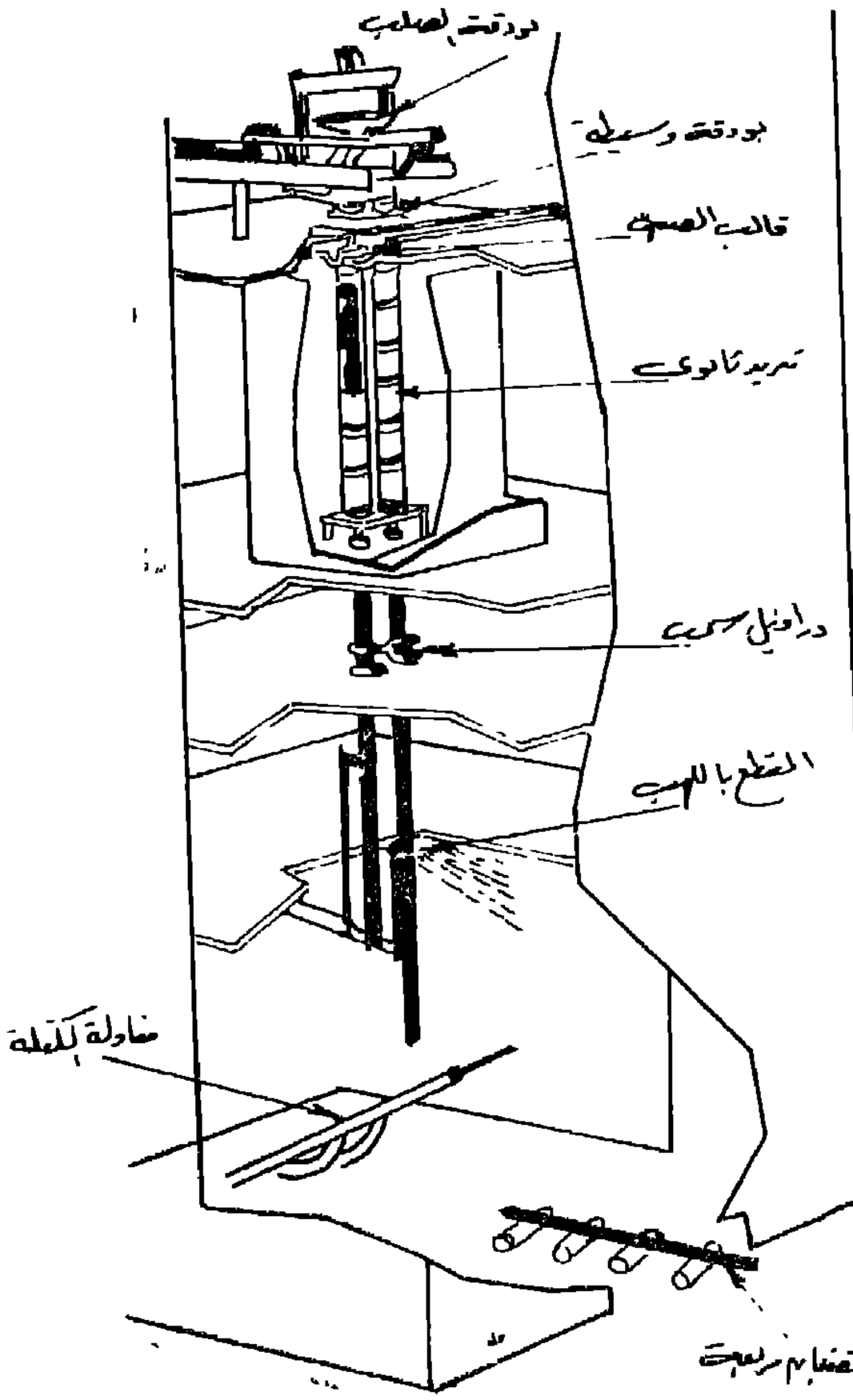
تقوم طريقة الصب المستمرة للصلب المنصهر أساسا على استخدام قوالب محملة رأسيا وتبرد بواسطة تيار من المياه الجارية ويصب الصلب المنصهر من أعلا القالب نحصل علىقطاع متصل ومستمر من الصلب المصبوب عند نهايته واذا فحصنا هذا القطاع المتصل وجدناه مكونا من قلب من الصلب لا يزال فى حالة الانصهار مغلفا بغلاف (قشرة) من الصلب المتجمد له نفس شكل القالب ·



شكل (٦٨)

وفى الوقت الحاضر لا يبلغ سمك الغلاف الساخن لدرجة الاحمرار فى جميع طرق الصب المستمر تقريبا عند النقطة التى يغادر فيها القطاع الفولاذى نهاية القالب بوصة طولية وقد يصل هذا السمك فى القطاعات الخفيفة (ذات مساحة مقاطع صغيرة) والتى تنتج بواسطة الماكينات ذات السرعة العالية الى أقل من البوصة ٠

ويتحرك القطاع الناتج أسفل القالب خلال منطقة تبريد ثانوية حيث يتم تجمده كلية ويتم التبريد جزئيا بواسطة الاشعاع للطاقة الحرارية التى يحملها وأساسا باندفاع الماء عليه رذاذاً ومن ثم يمر الى أسفل حيث تقابله درافيل سحب تدار آليا وتقوم بضبط معدل هبوطه وتوجيهه الى أجهزة مختلفة الأشكال حيث يقطع الى الأطوال والمقاسات المطلوبة ٠



شكل (٦٩)

القواعد العامة لانتاج الصلب بواسطة الصب المستمر

تختلف وحدات الصب المستمر اختلافا بينا فيما بينها فى التفاصيل ولكنها بصفة عامة تشترك جميعا فى سمات أساسية والنقاط الرئيسية المشتركة بين جميع الوحدات موضحة تخطيطيا أما ما يضاف بعد ذلك عادة فهو تزويد الوحدة بأجهزة تنحصر مهمتها فى توجيه القطاع الناتج ليأخذ اتجاها أفقيا قبل قطعه حتى يقل الحيز الطولى الذى تشغله الوحدة بقدر الامكان ٠

استعمال المعدن الساخن :

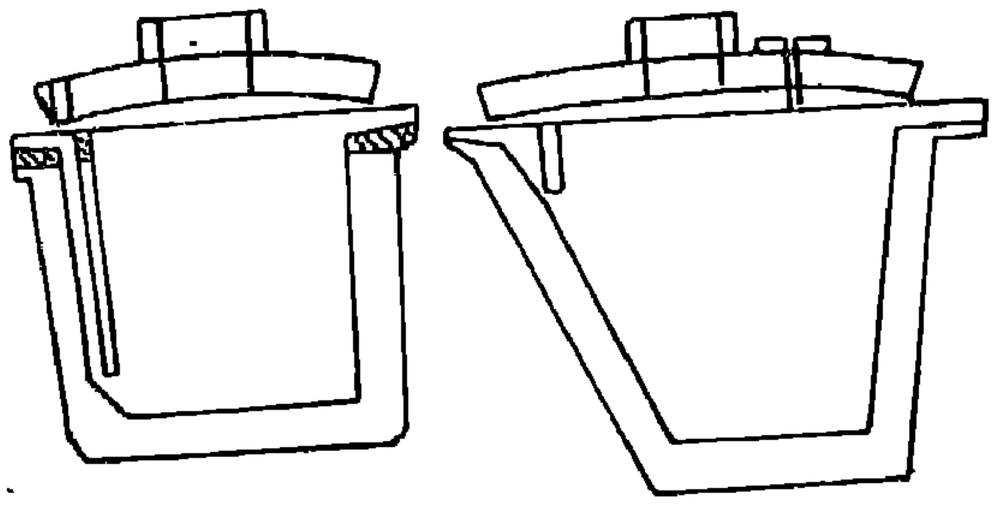
فى العادة يصب الصلب المنصهر من البونقه الى القالب خلال (فمع) وفى الوقت الحالى تستخدم ثلاثة أنواع من البوادق من مصانع الصلب التى تطبق طريقة الصب المستمر ٠

ـ بودقه للصب من أسفل تشتمل على فتحات حسب القواعد الصحيحة ٠

ـ بودقة ذات سيفون (سعب) فى جدارها الحرارى حيث يدمج بها أنبوبة حرارية لمرور ونقل الصلب المنصهر الى حافة الصب عند امالة البودقة ٠

ـ بودقة ذات حافة للصب (ذات شفة) ٠

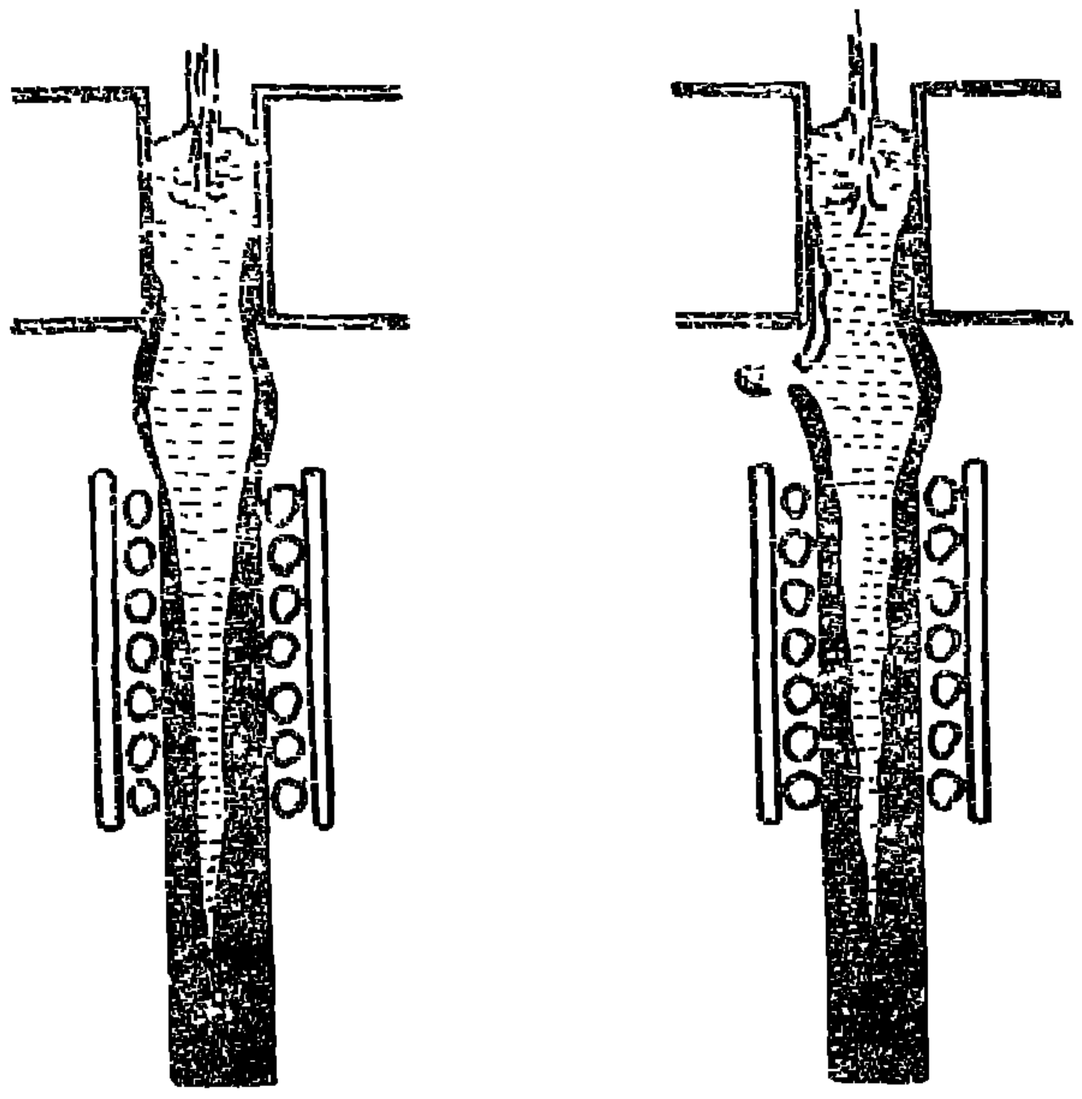
وعند اختيار النوع المناسب من هذه البوادق لاستخدامها فى الصب المستمر تتماثل أمامنا عدة عوامل فى غاية التعقيد ولكن عند استعراض جميع الاعتبارات فاننا نجد أن البودقة ذات الحافة (الشفة) تنفرد بعدة مميزات خاصة كما أنه من ناحية أخرى فان عيوبها لا تمثل خطورة بالغة ٠



شكل (٧٠)

تجمد الصلب المنصهر :

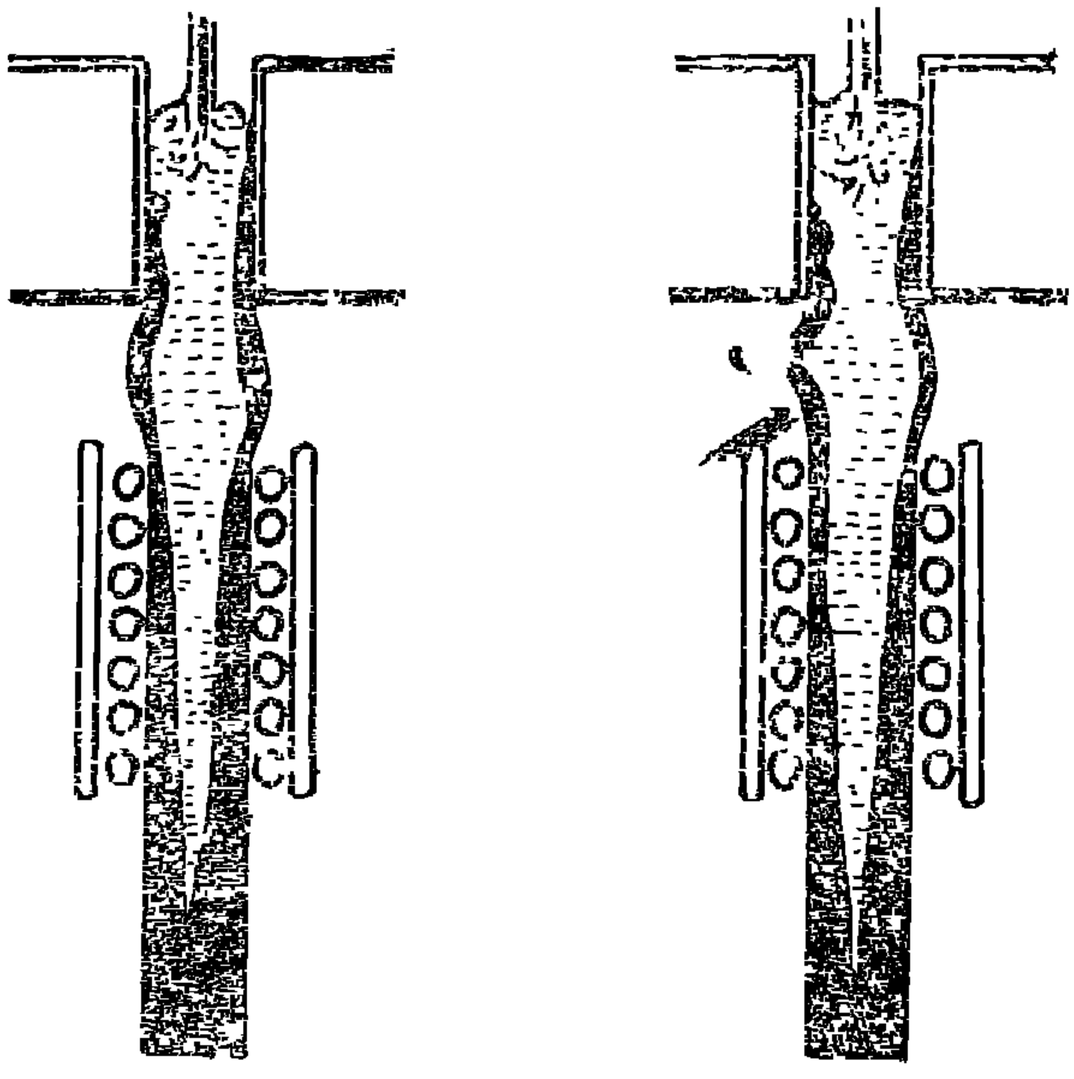
يتضح أن بيار الصلب المنصهر يبدا فى التجمد فى القالب النحاسى حيث نستخدم المياه فى تبريده مكونا غلافا صلبا (ذا لون داكن) وتهبط الكتلة المنكونة الى أسفل وتضغط عليها مجموعة من الدرافيل حيث ترش برذاذ من المياه يسلط عليها خلال فتحات خاصة فيبدأ قلب الصـــلب المنصهر داخل الغلاف فى التفلص حيث يتجمد ثم لا يلبث هذا القلب المنصهر أن يتسع ثانية عندما تجاز الكتله منطقة التبريد وتبدأ فى استعادة حرارتها ولكن بالرغم من هذا فلا يحق لنا ان نلقى اليه بالا اذ تصبح لدينا قشرة من الصلب المتجمد قد تكونت وهى كافية لتحمل الضغط الواقع عليها من درافيل السحب التى تلى منطقة التبريد .



شكل (٧١ ـ ا) : يوضح الشكل على اليسار المراحل الأولى فى عملية الصب المستمر عندما تتعدى سرعة السحب قيمتها الحرجة ، وعندما تكون القشرة المتجمدة رقيقة فانها تتعرض للانفجار أسفل القالب كما هو موضح بالشكل على اليمين

ويتوقف مقدار الصلب المنصهر فى قلب القطاع على معدل تبريد الغلاف المتجمد الذى يتوقف بدوره على معدل هبوط الكتلة الى أسفل والشكل الهندسى للقالب والخصائص المميزة للصلب الذى يتعرض لعملية التبريد أثناء الانزلاق فى منطقة التبريد .

وهناك نقطة حرجة لمعدل هبوط الكتلة عند أى مساحة مقطع ولما كانت كفاءة أجهزة الصب المستمر تزداد بزيادة سرعة السحب فانه أصبح من



شكل (٧١ ـ ب) : يوضح الشكل الذى على اليسار المراحل الأولى من عمليه التصلد عندما تكون القشرة المتجمدة رقيقة لذلك تتعرض للانفجار فور هبوطها لأسفل كما فى الشكل على اليمين

المرغوب فيه أن تكون قيمة هذه النقطة الحرجة لمعدل الهبوط كبيره بقدر المستطاع وبزيادة هذا المعدل نتكون لدينا هوة فى الصلب المتجمد وقد تكون عميقة عمقا كبيرا وتشكل خطورة بالغة لدرجة يصبح معها انفجار الغلاف المتجمد أمرا مترقبا وذلك نتيجة لاجهادات الشد التى يتعرض لها أو للاجهادات الهيدروستاتيكية التى تفاجىء الكتلة فور خروجها من القالب وأكثر من هذا فان معدل هبوط الكتلة يتحدد أيضا بقابلية التصاق غلافها المتجمد بالقالب وعادة ينشأ الالتصاق تحت المستوى الذى يبدأ فيه الغلاف فى التكوين مباشرة مما قد يؤدى الى تكوين قشرة رفيفة فى هذا المكان ومن ثم يتعرض للانفجار ، ويمكن تلافى ذلك الخطر المستطير بطرق شتى كاجراء عملية تزليق وغيرها من الطرق الأخرى ٠

ومما هو جدير بالذكر أنه قد أمكن حديثا التغلب على مشكلة الارتفاع الكبير الذى نتطلبه وحدة الصب المستمر ونم اختزال هذا الارتفاع عن طريق حيود مسار قطاع الصلب المستمر عن الاتجاه الرأسى الى الاتجاه الأفقي بواسطة درافيل سحب قوية تشغل هيدروليكيا ثم يستعدل قطاع الصلب بعد ذلك بالاستعانة بمجموعة أخرى من الدرافيل ٠

الاعتبارات الميتالورجية فى طريقة الصب المستمر للصلب المنصهر

طالما قامت طريقة الصب المسمر على أسس عملية سليمة أدى ذلك الى انتاج كتل من الصلب تتمتع بجوده عاليه وسطح سليم ٠

ومع ذلك فيجب علينا أن نتذكر أن الانتاج أساسا هو عمليه سباكة نتطلب تشغيلا على الساخن بواسطه الدرفلة والطـرق وغيرها من طـرق التشكيل الأخرى ٠

وبالنسبه للكتلة نفسها فان التكوين الفلزى للصلب الناتج بطريقة الصب المسمر يتكون من طبقه مبردة رقيقة تليها بللورات عمودية قد نمت على السطح الداخلى للطبقة المبردة ثم بعد ذلك تأتى المنطقة المركزية الداخلية وهى تحتوى على بللورات غير منتظمة الترتيب ومتساوية العدد فى جميع الاتجاهات ٠

ويأخذ مقطع مربع نجد أن مستويات الضعف تكون قطريه وتبدىء من الأركان الى الأركان مارة بالبللورات غير المنتظمة الترتيب ٠

وفى حاله الألواح الفولاذية ذات المقاطع الرقيقة تتقابل البللورات العمودية على المحور الأكبر للمقطع حيث تميل مستويات الضعف بزاوية ٤٥ درجة على الأركان ٠

وفى الصلب الذى يحتوى على نسبة منخفضة من الكربون تتوغل البللورات العمودية الى حوالى نصف أو ثلاثة أرباع المسافة الى المركز تبعا لسمك المقطع بينما فى حالة الصلب الكربونى لا يتقدم نمو هذه البللورات العمودية الا لمسافة قصيرة لهذا تزداد مساحة المنطقة التى تحتوى على البللورات غير المنتظمة الترتيب ٠

وبزيادة نسبه الكربون فان سـمك الترتيب البنيانى لكـل من البللورات العموديه ، والبللورات غير منظمة الترتيب يصبح رقيقا ٠

وفى هـذا المجال يمكن القول بأنه توجـد نقطتا تباين فى التركيب البنيانى للكتل الناتجة بطريقتى الصب المستمر والمعتادة :

١ ـ تمتاز طـريقة الصب المسمر بماثل التركيب البنيـانى على طول القطاع المنتج من أوله الى آخره ٠

٢ ـ خلو القطاع المنتج بطريقة الصب المستمر من ظاهرة الانعزالية المستعرضة ولقد كانت المقـارنة السابقة بالنسبة للصلب المخمـد ، أما الصلب الفوار فيتكون هو الآخر من بللورات عمودية وأخرى غير منتظمة الترتيب ولكن البنيان الماكروسكوبى على كل مساحة المقطع لهذا الصلب

يكون مضـطربا وغير منتظم نتيجه للتفاعلات التى تحدث داخـل الصلب فتتكون منطقة تحتوى على فقاعات غازية أثناء الفوران ومع ذلك يمتاز كل من الصلب الفوار والصـــلب المتجمد الناتج من عملية الصب المستمر بسلامة سطحه عموما ٠

وقصارى القول فان الصلب الناتج بطريقة الصب المستمر يمتـاز بجودة عالية كما أن الخواص الطبيعية والميكانيكية لنواتجه المدلفنه تكون جيدة ومرضية ولا تختلف عن مثيلاتها التى تحصل عليها من المنتجات عالية الجودة والتى تم صبها بالطريقة المعتادة ٠

مقارنة بين طريقة الصب المستمر والطريقة المعتادة :

لقد سبق ذكر بعض المقارنات من الناحية الميتالورجية فى البنـد السابق ومن الطبيعى أن تكون المميزات الاقتصادية انعكاسا صادقا ودقيقا للميزات العلمية لطريقة الصب المستمر وعموما تنحصر المميزات الاقتصاديه فى زمن الاعداد الكلى وللطاقة البشريه المستغلة (القوى العاملة) وفى اجراءات الصيانة فيما يلى :

١ ــ تلافي شغل العـديد من قوالب الصب وتجريدها بعد تجمد كتل الصلب بداخلها أى عـــدم الحاجة الى أوناش لتجريد الكتل من قوالب الصلب ٠

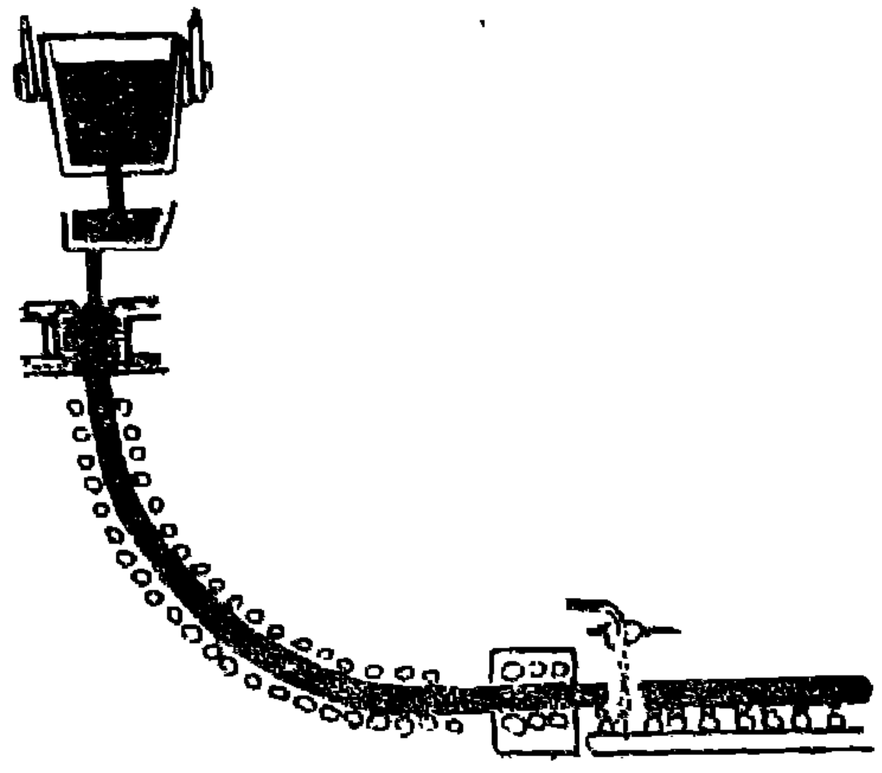
٢ ــ عدم الحاجة الى الأفران الغاطسه ٠

٣ ــ الاستغناء عن ماكينات الدرفلة الابتدائية ٠

٤ ــ ارتفاع الكفاءة الانتاجية للكتل الناتجة (النـــوارات والالواح) اذ يتكون لدينا فجوة أنبوبية واحدة فتقل كمية المستبعد من الصلب الناتج نتيجة لتكوين الفجوات الأنبوبية عند تجمد الصلب المنصهر والتى تحدث عند استخدام الطرق المعتادة للصب ٠

طريقة الصب المستمر

مما لا شك فيه أنه نتيجة للميزات المتعددة التى تقدمها لنا طريقة الصب المستمر فان عدد وحدات الصب المستمر التى تنشأ بمصانع الصلب يزداد باطراد خاصة فى السنوات الأخيرة وتتركز معظم هذه الوحدات فى مصانع الصلب بأوربا وقد لحقت بها الولايات المتحدة أخيرا وفى أكتوبر سنة ١٩٦٣ كان العدد الكلى للوحدات العاملة التى تتبع طريقة الصب



شكل (٧٢) تقوم مجموعة من الدلفينات بتغير مسار قطاع الصلب المنتج من الاتجاه الراسي الى الاتجاه الافقى ـ واثناء ذلك يتعرض القطاع للتبريد بواسطة الهواء بدلا من التبريد برشاشات المياه وبهذه الطريقة يمكن اختزال ارتفاع وحدة الصب المستمر

المستمرة ٥٩ ، ويستحوذ الاتحـــاد السوفيتى ، والمملـــكة المتحـدة على حوالى ٤٠٪ منها وجارى الآن فى معظم مصانع الصلب التى فى شتى أنحاء العالم تشييد وحدات للصب المستمر ٠

ومن هـذه الحقائق يمكننا التنبؤ بمستقبل مشرق لهـذه الطريقة الصناعية الحديثة لصب الصلب ٠

وحاليا يجرى تعديل هذه الطريقة بحيث يتم تشغيلها أوتوماتيكيا حتى يمكن مباشرة كل من البوتقة وقالب الصب من حجرة المراقبة بواسطة العدد اللازم فعلا من الايدى العاملة ٠

وعلى وجه العموم فان طـريقة الصب المستمر تلقى نجاحا مطـردا على مر الأيام ٠

فهرس

تقديم ٥

الفصل الاول : المبادىء الاساسية لصناعة الصلب فى المحولات ٧

١ ـ القواعد العامة لصناعة الصلب فى المحولات . . ٨

٢ ـ نبـــذة ١٠

٣ ـ مبادىء الكيمياء الصناعية فى صناعة الصلب . . ١٢

٤ ـ المبادىء الاساسية لتحويل الزهر ١٦

الفصل الثاني : الحراريات المستخدمة فى المحولات . . ٢٣

الفصل الثالث : الحلاط ٣١

الفصل الرابع : انتاج الصلب من محول بسمر . . . ٣٥

١ ـ تصميم محول بسمر ٣٦

٢ ـ المواد الأولية لشحنة بسمر ٤٤

٣ ـ فترات النفخ المختلفة والتفاعلات التى تحدث فى محول بسمر ٥٠

٤ ـ تغيير التركيب الكيميائى لكل من الصلب والخبث أثناء عملية النفخ ٥٣

٥ ـ الطريقة الحديثة لصناعة الصلب ٦٠

٦ ـ ازالة الفوسفور من الصلب ٦٦

٧ ـ نزع الأكسجين من الصلب « كربنة الصلب » . . ٦٦

٨ ـ الموازنة المادية والحرارية لشحنة بسمر . . . ٧٠

الفصل الخامس : انتاج الصلب من محولات توماس (طريقة بسمر القاعدية) ٨١

١ ـ القواعد الأساسية لانتاج الصلب توماس . . . ٨١

٢ ـ تصميم وتشغيل محولات توماس ٨٢

٣ ـ المواد الأولية اللازمة لصناعة صلب توماس . . . ٨٩
٤ ـ فتـرات النفخ المختلفة والتفاعلات التى تحـدث فى
محول توماس ٩٢
٥ ـ ازالة الكبريت من محول توماس ٩٦
٦ ـ خبث توماس ٩٧
٧ ـ الانحرافات فى تشـغيل محـولات توماس وطـرق
علاجها ٩٩
٨ ـ الطريقة الحديثة لانتاج الصلب النوماسى . . ١٠١
٩ ـ استعمال الأكسجين فى محولات توماس . . . ١٠٧
١٠ـ خواص واستعمالات صلب توماس ١١٦
١١ـ الموازنة المادية والحرارية لشحنة توماس . . . ١١٧

الفصل السادس : الطريقة العلوية للنفخ فى المحولات . . . ١٣١
١ ـ المبادىء الأساسية لطريقة النفخ العلوية . . . ١٣٢
٢ ـ تصميم المحول ذى النفخ العلوى ١٣٤
٣ ـ جهاز تمويل الأكسجين ١٤٢
٤ ـ تصريف الشحنة ١٤٧
٥ ـ أجهزة تنقية غازات المحولات ١٤٩
٦ ـ المواد الأولية ١٥٦
٧ ـ مراحل النفخ ١٦٤
٨ ـ الطرق المختلفة للنفخ بالأكسجين من أعلا . . . ١٨٤
٩ ـ صناعة أنواع الصلب المختلفة وجودة الصلب . . ٢٠٢
١٠ـ صناعة الصلب الذى يحتوى على نسـبة عالية من
الكربون ٢٠٧
١١ـ صناعة الصلب ذى العنـاصر السـبائكية المنخفضة
والمستخدم فى تسليح المبانى ٢٠٩

صفحة

١٢ــ الموازنة المادية والحرارية فى طريقة النفخ العلوية بالأكسجين ٢١٧

١٣ــ تخطيط مصنع الصلب والمعدات اللازمة لصناعة الصلب ٢٣٢

الفصل السابع : صناعة الصلب فى المحولات الدوارة والأفران الأنبوبية الدوارة ٢٤٣

١ ــ نفخ الحديد الزهر فى محول دوار ٢٤٤

٢ ــ صناعة الصلب فى الأفران الأنبوبية الدوارة . . ٢٤٩

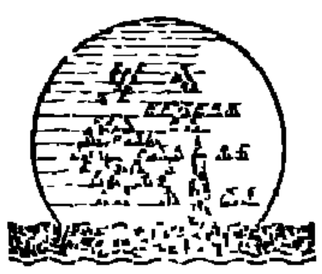
٣ ــ الموازنة المادية والحرارية فى صناعة الصلب بطريقة الفرن الدوار ٢٥٣

الفصل الثامن : طريقة الصب المستمر لانتاج الصلب . . . ٢٥٨

مطابع الهيئة المصرية العامة للكتاب

رقم الايداع بدار الكتب ١٩٨٧/٢٣٦١

ISBN ـ ٩٧٧ ـ ٠١ ـ ١٢٨٤ ـ ٤



الهيئة العامة لمكتبة الإسكندرية

عرض تفصيلى للطرق المختلفة لإنتاج الصلب باستخدام النفخ ويتضمن شرحاً للنواحي التكنولوجية المميزة لكل طريقة وحسابات الموازنات المادية والحرارية لها . مع شرح لمميزاتها وعيوبها وأنواع الصلب المنتجة فى كل طريقة . ويختتم الكتاب بعرض موجز لطريقة الصب المستمر وهى أحدث طرق صب المعادن عموماً والصلب على وجه الخصوص .

مهندس : سعيد عبد الغفار

٣٢٥ قرشا

مطابع الهيئة المصرية العامة للكتاب