الفصل السادس

الأكسجين

مقدمة تاريخية :

أمكن الحصول على الأكسجين بطرق كيميائية من قبل ظهور طريقة التقطير عند درجات الحرارة المنخفضة. وقد استمر استخدام طريقة « برن » لإنتاج الأكسجين على نطاق تجارى منذ عام ١٨٨٦ حتى عام ١٩٠٦ . وتعتمد هذه الطريقة على تفاعل أكسيد الباريوم مع الأكسجين الموجود فى الهواء الجوى عند درجة حرارة تدانى ٥٠٠°م ، ثم يتحلل فوق الأكسيد المتكون عندما ترتفع درجة الحرارة إلى حوالى ٨٠٠°م .

ويمكن تمثيل هذه المتفاعلات بالمعادلتين الآتيتين :

$$2\,Ba + O_2 \xrightarrow{500^\circ C} 2\,BaO_2 \xrightleftharpoons{800^\circ C} 2\,Ba + O_2$$

وقد لوحظ – عند الاستخدام على نطاق تجارى – فقدان أكسيد الباريوم لقدرته على التفاعل بعد عدد قليل من الدورات ما لم يتخلص الهواء الداخل للتفاعل من ثانى أكسيد الكربون والمواد العضوية والأتربة . كما وجد كذلك بديل لأسلوب خفض ورفع درجة الحرارة بمقدار ٣٠٠°م – وهو

أسلوب مكلف ومضيع للوقت - بتشغيل هذه العملية الكيميائية عند درجة ٦٠٠°م تقريباً مع تغيير الضغط :

$$2\,\text{با}_1 + \text{ا}_2 \xrightarrow{\text{٢ جوى}} 2\,\text{با}_1 + \text{ا}_2 \xrightarrow{\frac{1}{2}\ \text{جوى}} 2\,\text{با}_1 + \text{ا}_2$$

ولكن بالقياسات الحديثة لا يعتبر الغاز المنتج بهذه الطريقة نقياً لدرجة كافية ، إذ يحتوى على ٩٠ - ٩٦ ٪ من الأكسجين مختلطاً بالنتروجين وكميات صغيرة من الأرجون وغازات أخرى .

بعد ذلك أنشئت وحدات لتوليد الأكسجين فى حالته الغازية عند درجات حرارة منخفضة فى خلال الفترة من عام ١٩٠٦ حتى عام ١٩٣٤ - حيث تم التوصل إلى نقل الأكسجين السائل وقد كانت هذه الوحدات ذات سعة صغيرة تبلغ ٣٠ متراً مكعباً فى الوحدات النمطية ، بما يكافئ أقلّ من طن واحد يومياً .

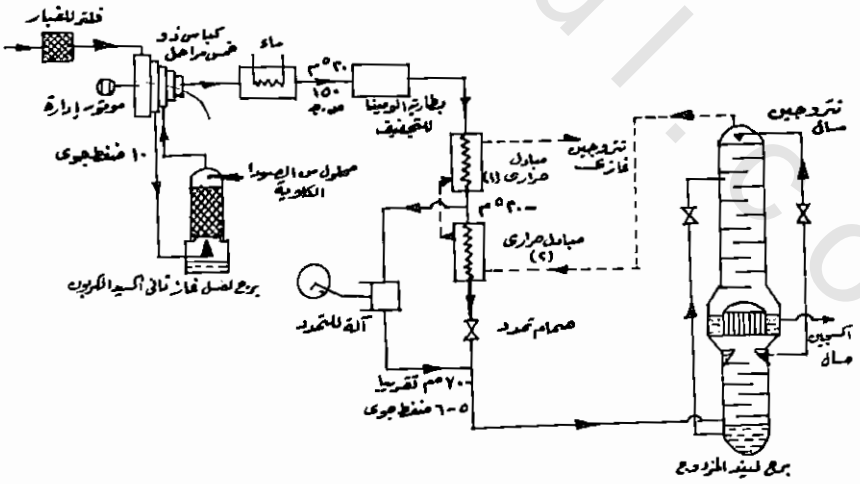
وبدأ استخدام وحدات إنتاج الأكسجين المسال عام ١٩٣٤ ، بسعة نمطية بلغت فى السنوات الأخيرة ٥٠ طناً يومياً ، وينتج بعض هذه الوحدات ١٠٠ طن يومياً ، وهناك وحدات ذات سعة أكبر تحت الإنشاء حالياً . ويمكن سحب بعض الأكسجين فى حالة غازية من هذه الوحدات . ولا تقل درجة نقاوة الأكسجين التجارى عن ٩٩,٥ ٪ ولكن ما إن وضعت الحرب العالمية الثانية أوزارها حتى تم إنشاء وحدات ضخمة لتحضير الأكسجين ، وإن انخفضت درجة نقائه بعض الشيء ، حتى يمكن توزيعها عن طريق خطوط الأنابيب حتى مراكز الاستهلاك . وتعتبر الوحدات التى يبلغ سعتها ٢٠٠ - ١٠٠٠ طن يومياً من الوحدات العادية حالياً ، ويوجد فى بلجيكا وحدة تنتج ١٥٠٠ طن يومياً . ونظراً لتركيز الاستهلاكات الضخمة فى الأكسجين فى مجالات صناعة الفولاذ ، واستخلاص مكونات الكوك فى صورة غازية وأكسدة الغاز الطبيعى خفف التشدد على درجة

النقاوة المرتفعة وظهر تعبير « الأكسجين ذو النقاوة المتوسطة » الذى يعنى درجة نقاوة ٩٥ – ٩٨ ٪ . وإن ظهر اتجاه متزايد خلال السنوات الأخيرة نحو درجات نقاوة أكبر لعديد من الاستخدامات .

ويتمثل النمو المتزايد للاحتياجات من الأكسجين على مدى الأعوام الثلاثين الأخيرة فى أرقام الاستهلاك فى المملكة المتحدة ، كمثال لذلك :

١٩٣٨	٢٦,٨٠٠طن
١٩٤٨	١٢٦,٠٠٠طن
١٩٥٤	٢١٠,٠٠٠ طن
١٩٥٩	٥٥٢,٠٠٠ طن
١٩٦٣	١,٣٧٠,٠٠٠ طن
١٩٧٢	١,٨٤٠,٠٠٠ طن

وهناك عدد لا بأس به من التصميمات التى تصلح لوحدات إنتاج الأكسجين . ويتناول العرض التالى وصفاً لإحدى الوحدات النمطية الكبرى .



شكل (٢٧)

يوضح دورة الاكسجين المسال فى وحدة صناعية

وحدة إنتاج الأكسجين :

يوضح شكل (٢٧) رسماً تخطيطياً ، لوحدة نمطية لإنتاج الأكسجين تعمل على دورة « هايلاند » وهو لقب المهندس الذى ابتكر تصميمها . وتقوم ماكينة عاكسة ذات مراحل خمس أو ست بكبس الهواء تحت ضغط ١٥٠ – ٢٠٠ جوى بعد تنقيته من الأتربة بواسطة الترشيح ويبرد الهواء باستخدام الماء بين كل مرحلة والمرحلة التالية لها ، وكذلك بعد المرحلة الأخيرة للتخلص من الحرارة المتولدة خلال عملية الكبس . ويمرر الهواء بين المرحلتين الثانية والثالثة أى عند ضغط حوالى ١٠ جوى – على مركب الصودا الكاوية فى جهاز للغسيل للتخلص من ثانى أكسيد الكربون . وتتكثف غالبية بخار الماء الموجود فى الهواء الأصلى خلال الكبس ، ثم يتم التخلص من الكمية المتبقية بإمرار الهواء المضغوط خلال طبقة من معلق السليكا أو من كريات الألومنيا .

ويمر الهواء الجاف الخالى من ثانى أكسيد الكربون خلال المبادل الحرارى الأول حيث يبرد إلى حوالى – ٢٠°م بواسطة تيار النتروجين الغازى الراجع ثم يقسم إلى تيارين : يتكون الأول من ٤٠ ٪ من الكمية يستمر تبريدها بالنتروجين إلى حوالى – ١٧٠°م ثم يسمح لها بالتمدد من خلال صمام لخفض ضغطها إلى ٥ – ٦ جوى . ويُسَال معظم الهواء نتيجة لذلك . ويسمح للتيار الثانى – ٦٠ ٪ من الكمية – بالتمدد حتى نفس الضغط خلال ماكينة تمدد عاكسة . ويتحد التياران ثانية ثم يغذى التيار الموحد إلى الجزء الأسفل من العمود المزدوج الذى سبق وصفه فى فصل سابق ، ويرجع الغرض من تقسيم التيار إلى جزءين إلى استخلاص الكمية القصوى من التبريد من غاز النتروجين . وعلى الرغم من ارتفاع كفاءة التمدد باستخدام ماكينات التمدد عن الصمامات ، فإن أفضل النتائج الكلية يتم الحصول عليها من التركيبة السابق وضعها .

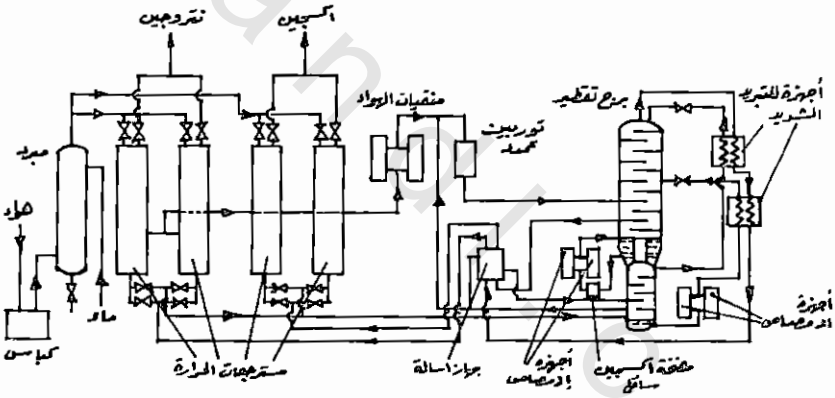
ولا تقل درجة نقاوة الأكسجين المسال لناتج بهذه الطريقة عادة عن ٩٩,٧ ٪ والباقى من الأرجون . ويحتوى النتروجين المضيع من الوحدة على ٢ – ٣ ٪ من الأكسجين . وتبلغ الكفاءة الدينامو حرارية حوالى ٢٤ ٪ بالمقارنة بالنسبة ١٥ ٪ للوحدات الغازية متوسطة الحجم ، ١٨ ٪ للوحدات الغازية كبيرة الحجم .

الوحدة الكبيرة للأكسجين الغازى :

عندما يتطلب الأمر توافر كميات ضخمة من الأكسجين الغازى عند موقع ما فى صناعة الصلب أو فى الصناعات الكيميائية ، تسنح الفوصة لخفض التكلفة – وهى غير متاحة فى حالة الاحتياج إلى الأكسجين المسيل ذى النقاوة المرتفعة . ولما كان الأكسجين المتولد من الوحدة سيقارب ضغطه الجوى ، فإن التبريد الوحيد المطلوب – طالما دخلت الوحدة فى حالة التشغيل – سينشأ عن عدم كفاءة الانتقال الحرارى . وإذا أمكن التوصل إلى انتقال حرارى تام لأمكن للغاز البارد الخارج تبريد الهواء الداخل حتى درجة حرارة مناسبة للإسالة قبل دخوله إلى عمود التقطير .

وقد سبق وصف استخدام المسترجعات الحرارية فى التنقية فى الوحدات ذات السعة الضخمة ويتكون المسترجع من وعاء محشو عادة بمادة مناسبة مثل الأحجار المُسَتَّفة ، وتعمل كمخزن بارد وتُسْتَخْدَمُ المسترجعات أزْوَاجاً ، فيمر الغاز البارد الخارج خلال أحدها لمدة ٣ – ١٠ دقائق فيبرد . فى حين يمر الهواء الداخل خلال الآخر فيسخن . وبنهاية هذه الفترة يكون مرور الغاز خلال الزوج قد انعكس أتوماتيكياً . ويترتب على صعوبة سحب الهواء بكامله من المسترجع عند الانعكاس ، انخفاض درجة نقاوته قليلا عند مغادرته لعمود التقطير . كما أنه من الضرورى النفخ من الضغط الأعلى إلى الضغط الأقل عند انعكاس المسترجع بما يعنى فقداً قليلا فى الهواء ، ويرجع ذلك إلى كبس

الهواء الداخل ، فى حين يزيد ضغط الهواء الخارج قليلا عن الضغط الجوى بالإضافة إلى ضرورة تخصيص زوج من المسترجعات لإنتاج الأكسجين ، وآخر للنتروجين ، وفى كلتا الحالتين يتلوث المنتج ببخار الماء وثانى أكسيد الكربون . وعلى الرغم من ذلك فقد قدمت المسترجعات الحرارية واحداً من أفضل وأكفأ أنظمة الانتقال الحرارى ومكنت من تطوير الدورات التى تعمل عند ضغوط منخفضة نسبياً وبالتالى حققت خفضاً فى استهلاك القدرة . وتوجد تصميمات عديدة لهذه الوحدات ، إذ تصمم الوحدة غالباً لتلائم احتياجات العميل ويوضح شكل (٢٨) تصميماً نمطياً لوحدة تنتج ٩٠ – ٩٩,٥٪ من الأكسجين المحتوى على بخار ماء وثانى أكسيد الكربون .



شكل (٢٨)
وحدة ضخمة لفصل غاز الأكسجين

ويمرر الهواء الداخل خلال مرشح ويجرى ضغطه بواسطة شحان توربينى حتى ٥,٢ ضغط جوى – ثم يبرد ويغسل بالماء ويمرر خلال المسترجعات الحرارية . ويدخل الهواء البارد إلى عمود التكسير الأسفل ، حيث يفصل إلى نتروجين نقى سائل عند القمة وسائل غنى بالأكسجين عند القاع . ويمر النتروجين

خلال مبرد ثانوى ويتمدد من خلال صمام ليمر إلى العمود العلوى . بينما يمرر الجزء الغنى بالأكسجين خلال معلق من السليكا لإزالة آثار ثانى أكسيد الكربون والهيدروكربونات ، وذلك كنوع من التبريد الثانوى ، قبيل التمدد من خلال صمام إلى داخل العمود العلوى . وتعتبر المبردات الثانوية وحدات الاستبدال للمنتج البارد بالنتروجين الذى يغادر الوحدة .

ويزال باقى الهواء عند نقطة فى الطريق إلى المسترجعات ثم يمرر خلال جهاز تنقية ، ويسمح له بالتمدد داخل توربينة ويمرر مباشرة إلى العمود العلوى. وتضمن هذه الخطوات تبريداً كافياً لتعويض تسرب الحرارة والفاقد الحرارى فى المسترجعات .

فإذا أريد الحصول على الأكسجين خالياً من ثانى أكسيد الكربون وبخار الماء ، يمرر الأكسجين الخارج خلال مبادل انعكاس ، بينما يستمر النتروجين فى المرور خلال المسترجع .

خواص الأكسجين :

الأكسجين المسال ، سائل أزرق شاحب سهل الحركة . ويتبخر حجم واحد عند نقطة الغليان ليعطى ٨٤٣ حجماً من الغاز عند درجة حرارة الجو والضغط الجوى . وهو غير موصل للكهرباء ، ولكن له خاصية مغنطيسية متوازية قوية ، فتتحرك أنبوبة اختبار معلقة محتوية على الأكسجين بسرعة نحو المغنطيس .

ويتم الاحتراق فى الأكسجين بسرعة أكبر عن الاحتراق فى الهواء ، ومن المحتمل أن تخرج عمليات الاحتراق التى تخضع للتحكم عادة عن حدود السيطرة إذا ارتفعت نسبة الأكسجين فى الهواء حتى ٣٠٪ ومن ثم أصبح من المحتمل ازدياد منسوب الأكسجين داخل حجرة ما إلى حد خطر إذا تسرب إليها قليل من الأكسجين . ولذلك يتحتم تشوين كل من الأكسجين المسال

والاسطوانات التى تحتوى عليه بعيداً عن المواد المقابلة للاشتعال وعن مصادر الإشعال مثل الحرارة والنيران والشرر . ولا تستخدم الزيوت كمزلقات لصمام اسطوانة الأكسجين ، كما ينبغى التأكد من خلو خطوط الأنابيب والوصلات من الزيوت والشحومات قبل الاستخدام .

استخدامات الاكسجين :

يعد الهواء الجوى – وهو صورة مخففة من الأكسجين – كافياً لمعظم عمليات الأكسدة ، وعلى كل حال ، فإن قدراً كبيراً من الحرارة الناتجة خلال الاحتراق تتجه إلى تدفئة النتروجين الخامل وتكون النتيجة انخفاضاً فى درجة الحرارة عما لو استخدم الأكسجين نقيًّا . ويكون لهذا الفارق فى درجات الحرارة أهمية رئيسية فى بعض الحالات . ويستخدم الأكسجين أحياناً بديلا عن الهواء إذا ما تدخّل النتروجين بطريقة غير مرغوبة فى التفاعلات الكيميائية . كما يستخدم فى بعض العمليات الكيميائية حيث يحتاج التفاعل إلى حيز أقل بكثير إذا استبعد النتروجين ، وكذلك لإمكانية استعادة المنتج بدرجة أكبر كفاءة ، كما فى حالة أكسدة الأمونيا إلى أكسيد نتريك . وتتمثل أهم استخدامات الأكسجين وأكثرها شيوعاً فى الصناعات الميتالورجية والهندسية .

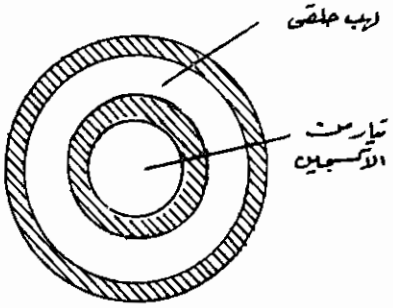
ومن أقدم الاستخدامات التجارية للأكسجين استغلاله فى إحراق الأستيلين للحصول على لهب ذى درجة حرارة مرتفعة يستخدم فى عمليات لحام سطحين معدنيين . وسوف يفرد فصل كامل للإسهاب فى وصف هذه العملية . وبالرغم من استخدام اللحام باللهب الأكسى أستيلينى على نطاق واسع – خاصة لحام الفولاذ – ينبغى معرفة إمكانية استخدام اللهب الأكسى أستيلينى أحياناً فى بعض العمليات ذات درجة الحرارة المنخفضة نسبيًّا ، مثل لحام الألومنيوم وغيره من الفلزات ذات نقطة الانصهار منخفضة وكذلك لحام النحاس الأصفر . ويمكن استخدام غازات الوقود الأخرى مثل غاز

الاستصباح والغاز الطبيعي والبروبان والبيوتان فى بعض العمليات الخاصة مثل لحام الرصاص .

وسترد بعض الاستخدامات الرئيسية تفصيلا فى بنود تالية . وسيتضح أنه بينما يحتاج غالبية هذه الاستخدامات إلى الأكسجين فى حالته الغازية ، فهناك استخدامان يحتاجان إلى الأكسجين فى حالته المسالة ، وهذان الاستخدامان هما : صناعة المفرقعات ، والوقود اللازم للصواريخ .

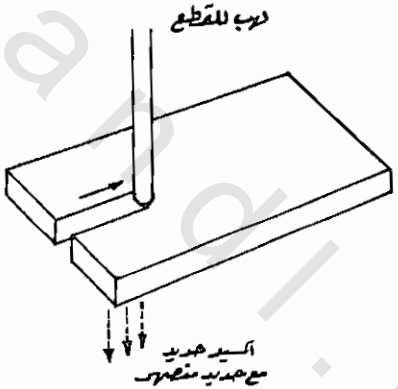
قطع الفلزات والمعادن :

تتفاعل معظم الفلزات مع الأكسجين عند تسخينها فيه لدرجة حرارة معينةٍ وخاصةٍ بكل فلز . وعادة ما تكون نقطة انصهار الأكسيد مرتفعة عن نقطة انصهار الفلز ، كما يعوق الأكسيد الجامد (الصلب) استمرار التفاعل . أما فى حالة الحديد فإن نقطة انصهاره تزيد عن نقطة انصهار الأكسيد ، وبالتالى فهو ينصرف من منطقة التفاعل فى هيئة منصهرة ، سواء بتأثير الجاذبية الأرضية أو بتأثير القوة الناتجة عن اندفاع تيار الغاز . وهكذا تتوفر الإمكانية العملية لقطع الصلب باللهب بدقة معقولة مع استخدام المعدات الملائمة .



شكل (٢٩)
قطاع فى لهب للقطع

ويستخدم فى عملية القطع باللهب مشعل يتركب من تيار مركزى من الأكسجين يحيط به لهب دائرى كما يوضح الشكل (٢٩) . ويوفر هذا التركيب تياراً متدفقاً من غاز الأكسجين الساخن يمكن توجيهه على إحدى حواف لوح من الصلب كما هو موضح فى شكل (٣٠) . فيتأكسد الفلز ويتساقط جزئيًا بتأثير الجاذبية حيث يدفعه تيار الغاز بعيداً . وبتحرك المشعل حركة نسبية مع الفلز فى الاتجاه المطلوب قطعه تتم عملية القطع على الوجه الأكمل . ويكون الشكل الجانبي للقطع ناعماً ونظيفاً ويمكن استخدامه دون إجراء أية معالجة أخرى فى عمليات التشكيل .



شكل (٣٠)
قطع الفولاذ (الصلب)

ومن الأهمية بمكان ذكر الحاجة إلى تسخين الصلب حتى حوالى ١٢٥٠ درجة مئوية حتى يبدأ التفاعل مع الأكسجين . ثم تستمر عملية القطع الطاردة للحرارة بعد ذلك دون الحاجة إلى حرارة مطلوبة خلاف ما يلزم لتعويض الفقد الحرارى ، خاصة الحرارة المفقودة بالتوصيل خلال الفلز نفسه . وتبلغ درجة حرارة اللهب الأكسى أسيتيلينى حوالى ٣١٠٠° م وهى درجة حرارية تزيد عن

الدرجة الناجمة عن احتراق أى وقود . وتتحدد الميزة الوحيدة لذلك فى ارتفاع معدل التسخين المبدئى ، بما يمكن من بدء عملية القطع بسرعة . ويصبح من الأفضل اقتصاديًا – فى بعض الأحيان – استخدام وقود بديل ، أقل سعراً مثل البروبان الذى تصل درجة حرارة لهب احتراقه فى غاز الأكسجين إلى حوالى ٢٨٠٠°م . ومن المثير معرفة أن مخترع عملية القطع – ويدعى فلتشروكان ذلك عام ١٨٨٩ – قد استخدم غاز الفحم كوقود لهذا الغرض .

وتعد عمليات القطع تحت الماء من التطبيقات الهامة مثل أعمال الهدم ، وأعمال الإنقاذ البحرى وأعمال ترميم الهياكل الإنشائية . ونظراً لعدم صلاحية الأسيتيلين عند الأعماق التى تزيد عن عشرة أمتار ، يستخدم الهيدروجين عادة غازاً للوقود . ويستخدم تصميم خاص للفونية يتيح حماية شعلة اللهب من الماء .

وتعد عمليات القطع بالأكسجين ملائمة لدرجة كبيرة للصلب الطرى وتستخدم على نطاق واسع سواء يدوياً أوبأسلوب ميكانيكى ولكن من الصعب الحصول على سطح ينصاع لعملية المقطع بدرجة معقولة فى حالة الصلب السبائكى تكوين العناصر السبائكية لأكاسيد حرارية تعوق التلامس بين الأكسجين والحديد . ويلزم لقطع مثل هذه السبائك توافر مسحوق من الحديد أو مادة صهارة خلال تيار القطع ، فتزال الأكاسيد الحرارية (التى تصمد أمام درجات الحرارة المرتفعة) باتحادها مع المادة الصهارة ثم انصهار المركب الناتج وانصرافه بعيداً عن منطقة القطع .

ثمة صعوبة أخرى تنشأ عند قطع الحديد المصبوب (المسبوكات) لازدياد نسبة الكربون الجرافيتى (حوالى ٣٪) الموجود به . وينتج غاز ثانى أكسيد الكربون بكميات وفيرة نتيجة لاحتراق هذا الكربون حيث تتولى تجفيف درجة تركيز الأكسجين المستخدم فى القطع ، ومن ثم ينخفض معدل تأكسد الحديد . بالإضافة إلى أن نقطة انصهار الحديد المصبوب (المسبوكات) تبلغ حوالى ١٢٠٠ م بالمقارنة بدرجة ١٥٥٠ مئوية للصلب الطرى . وتبلغ نقطة

انصهار أكسيد الحديدوز (ح١) ١٤١٩° م بينما تبلغ ١٥٣٨° م فى حالة أكسيد الحديد المغنطيسى (ح٣ ا٤) ، وبالتالى يصعب تطهير سطح الحديد الصب من الأكسيد المتكون .

ولا تنخفض نقطة انصهار أى أكسيد فلزى آخر عن نقطة انصهار الفلز المناظر له فيما عدا التيتانيوم ، لذلك لا يحدث فى حالة القطع – فيما عدا التيتانيوم – غير قطع خشن غير مقبول عند استخدام الأكسجين وحده فى القطع .

وينبغى التنويه بوجود عديد من العمليات الأخرى التى تجرى على الصلب الطرى تعتمد على نفس الأسس التى تقوم عليها عملية القطع . وتشتمل هذه العمليات على التشذيب بالأزميل حيث تزال التشوهات مثل اللحامات الخاطئة أو شوائب الرمل ، وكذلك الطرّ وإزالة الدرز أو إزالة التشققات للتخلص من العيوب السطحية على القضبان المستديمة والقضبان المربعة ، بالإضافة إلى عملية سحج سطحى على الساخن التى تحل محل عمليتى القص والنشر (القطع بالمنشار) . وتحتاج هذه التطبيقات إلى مشاعل ذات تصميم خاص .

عمليات أخرى يستخدم فيها اللهب الأكسى استيلينى :

هناك عدد من العمليات المختلفة التى تستفيد من درجات الحرارة المرتفعة الناتجة عن لهب الأكسجين . وبعد ذلك – على سبيل المثال – تقسية سطح الصلب باستخدام اللهب ، وتتم بإمرار الجزء المراد تقسيته بالقرب من لهب مناسب ثم تبريده تبريداً فجائيًا بواسطة رشاش من الماء . وينشأ عن ذلك تقسية السطح الصلب فقط بما يتيح إطالة عمر بعض المعدات مثل التروس والعجلات .

ويستخدم اللهب لتنظيف أسطح الحديد والصلب قبل طلائها ،

فتتحرك شعلة من اللهب الأكسى – اسيتيلينى عريضة رقيقة السمك أو مجموعة من المشاعل بحذاء سطح المعدن وبذلك يحدث تمدد فرقى متفاوت بين الصدأ وأى بقايا من مادة واقية سبق طلاء السطح بها من جانب وبين الفلز الأصلى من جانب آخر ، ومن ثم يتحطم الصدأ وبقايا المواد السابقة . وتزال هـذه المخلفات باللهب المندفع ثم تجرى عملية إزالة نهائية باستخدام فرشة سلك ، ويصبح سطح المعدن نظيفاً معدّا لعملية الطلاء .

صناعة الصلب :

اقتصر استخدام الأكسجين فى العالب قبل الحرب العالمية الأولى على عمليات اللحام . ثم اتسع نطاق استخدامه فى عمليات القطع بشكل هائل فى الفترة بين الحربين العالميتين ، فى الوقت الذى اكتشفت فيه طريق بديلة للحام مثل اللحام بالقوس الكهربائى . ثم أصبح الاستخدام الأكبر للأكسجين بدءاً من الحرب العالمية الثانية وعلى الأخص منذ عام ١٩٥٥ فى صناعة الصلب .

وقد نشأت العمليتان الرئيسيتان اللتان يصنع بواسطتهما الصلب – وهما طريقة الفرن المفتوح ، وطريقة المحولات – فى الفترة من عام ١٨٦٠ حتى عام ١٨٨٠ . وتنتج غالبية الصلب فى معظم بلدان العالم المتقدمة بواسطة طريقة الفرن المفتوح ، والبقية بواسطة المحولات التى ينفخ فيها الهواء جانبياً (محولات تروبيناس) ، بينما ينتج معظم الصلب الأوربى بطريقة المحولات القاعدية حيث يتم النفخ من أسفل نتيجة لاستخدام حديد يحتوى على نسبة مرتفعة من الفوسفور ، على الرغم من انخفاض جودة الصلب المنتج بهذه الطريقة عن جودة الصلب المنتج فى الأفران المفتوحة وذلك لانخفاض نسبة الكربون وارتفاع نسبة النتروجين فى الصلب المنتج بالطريقة الأولى .

وقد أتاحت إمكانية الحصول على الأكسجين بتكلفة منخفضة وبكميات

ضخمة الفرصة لتغيير الطرق التى تستخدم فى صناعة الصلب . وفيما يلى مجموعة مختارة من الطرق التى يستخدم فيها الأكسجين حاليا .

الأفران المفتوحة (أفران المجمرة المفتوحة) :

يمكن إحراق جزء من الوقود داخل فرن بحجم ثابت عن طريق هواء الاحتراق الداخل بالأكسجين دون زيادة فى حجم الغازات العادمة . ويترتب على ذلك تحقيق معدلات صهر أعلى ، ولذلك أهمية خاصة فى المصانع التى تستخدم كميات كبيرة من خردة الصلب كمادة خام وكذلك الحديد الزهر .

وتتضمن التفاعلات الكيمائية التى تحدث فى الأفران المفتوحة أكسدة متتابعة للسليكون ثم الكربون ثم الفوسفور وكذلك الكبريت والمنجنيز . فإذا عولج الحديد الزهر الناتج من الأفران العالية بالأكسجين حال وجوده داخل البودقة التى تنقله حتى الفرن المفتوح ، يتأكسد جزء كبير من السليكون وبالتالى ينخفض الحمل الداخل للفرن . كما أن استخدام الأكسجين بدلا من الهواء داخل الفرن نفسه لأكسدة الكربون كذلك يُخفض فترة التنقية كما يجب ذكر أنه بسبب الطبيعة الطاردة للحرارة لهذا التفاعل يتحقق بعض الوفر فى كمية الوقود اللازمة لتسخين الفرن .

وتقل الفترة الزمنية للدورة من الصب إلى الصب التالى بالفرن بشكل ملحوظ عند استخدام الأكسجين ، ويتوقف الخفض الزمنى الفعلى على الخطوات المستخدمة . ومن أمثلة الخفض النمطى فى هذه الفترة الانخفاض من ١٢ ساعة إلى ٦ ساعات فى إحدى الحالات . والانخفاض من ٩ ساعات إلى ٤ ساعات فى حالة أخرى .

المحولات :

لا تستخدم حرارة خارجية فى هذه الحالة أوقد يستخدم مقدار ضئيل من هذه الحرارة ، لذلك تنعدم الفرصة لزيادة كفاءة الوقود باستخدام الأكسجين . وتستخدم محولات توماس بطانة حرارية قاعدية لتلائم الحديد الزهر الذى يحتوى على نسبة مرتفعة من الفوسفور ، وتعتمد هذه المحولات فى تشغيلها على أكسدة الفوسفور كمصدر أساسى للحرارة المطلوبة . ويصعب استخدام مزيد من الخردة عند تشغيل هذا النوع من المحولات لاحتياج الخردة إلى كمية إضافية من الحرارة لصهرها ، بما يجرد عن هذه المحولات خاصية المرونة فى استخدام المواد الخام . بالإضافة إلى احتواء الصلب المنتج من هذه المحولات على حوالى ٠,٠١٥ من النتروجين لوجوده فى هواء النفخ مما يقلل من كفاءة الصلب فى كثير من الأغراض . ولكن استخدام الأكسجين – أو الهواء المحتوى على نسبة أكبر من الأكسجين – يؤدى إلى تحسين الناتج الحرارى ويتيح إضافة مقدار من الخردة كما يتيح إنتاج صلب بجودة أعلى لانخفاض نسبة النتروجين به .

طريقة لينز - دوناوانز :

استحدثت هذه الطريقة فى النمسا بعد الحرب العالمية الثانية وطبقت على الحديد الزهر الذى يحتوى على فوسفور حتى نسبة ٠,٠٣٪ وتعتمد هذه الطريقة على محول ينفخ الأكسجين فيه على هيئة تيار نفّاث بسرعة مرتفعة على السطح العلوى للمعدن بدلا من نفخه داخل المعدن من أسفل كما فى العمليات الأخرى . وترتفع درجة حرارة السطح إلى حد كبير ، وتبدأ عملية أكسدة الفوسفور قبل انتهاء إزالة الكربون – كما فى طريقة محولات بسمر – وفى هذه الحالة تنخفض نسبة النتروجين ويتاح استخدام مقدار كبير من الخردة .

الفرن الدوار :

استخدمت هذه الطريقة فى ألمانيا ، ويستخدم فيها فرن اسطوانى أفقى يدور بسرعة لفتين فى الدقيقة ، وينفخ الأكسجين أسفل وأعلا سطح الفلز .

طريقة الكالدو :

استخدمت هذه الطريقة فى السويد ، وفيها يستخدم فرن يميل بزاوية تقرب من ١٥ درجة على الأفقى ويدور حوالى ٣٠ دورة فى الدقيقة . وتحدث الأكسدة للفوسفور مبكراً نتيجة التلامس الجيد بين الخبث والمعدن .

الأفران الكهربائية :

يستخدم هذا النوع من الأفران عادة للحصول على الصلب السبائكى وأنواع الصلب الخاص ويمكن خفض كمية الطاقة المستخدمة لصهر الشحنة إلى حد كبير بنفخ الأكسجين . كما ينتج عن استخدام الأكسجين اختزال فترة الصهر فيؤدى ذلك إلى زيادة النتاج السنوى للفرن .

صناعة الحديد :

يعتبر الفرن العالى التقليدى جهازاً مرتفع الكفاءة كمعدة صالحة لصناعة الحديد من خامات – وينقل المحتوى الحرارى للغازات المتصاعدة إلى الشحنة الجامدة الهابطة ، وينبغى أن يكون ارتفاع الشحنة كبيراً حتى يمكن الوصول إلى كفاءة كبيرة . ويعنى ذلك المكون الجامد الأساسى وهو فحم الكوك حتى يتمكن من مقاومة التهشم بتأثير الشحنة الهابطة . ولا تمتلك البلدان جميعاً فحومات مرتفعة الجودة تؤهلها لصناعة فحم كدك حد يصلح للأغراض الميتالورجية .

فإذا استخدم هواء غنى بالأكسجين داخل الفرن العالى انخفضت كمية

الحرارة المفقودة مع النتروجين ، وبالتالى ينتقل جزء كبير من هذه الحرارة إلى الشحنة الجامدة على مدى ارتفاع قليل . ويتيح ذلك استخدام أنواع فحم الكوك الأقل جودة والأقل متانة ، بالإضافة إلى ارتفاع القيمة الحرارية للغازات التى تنصرف من الفرن نتيجة لانخفاض نسبة النتروجين . وتجرى حالياً التجارب على عدد من الأفران العالية التجريبية لتشغيلها مع الانتفاع من فكرة تزويد الهواء بالأكسجين .

تحويل الوقود الأولى إلى غازات :

يمكن تحويل الوقود الجامد (الصُّلب) الأساسى مثل فحم الكوك – إلى غازات بتسخينه مع البخار والهواء دون الحاجة إلى حرارة خارجية ، ويمثل ذلك التفاعلان الآتيان .

$$٢\,ك + ا_{٢}\,و = ٢\,ك ا \quad \text{(تفاعل طارد للحرارة)}$$

$$ك + يد_{٢}\,ا = ك ا + يد \quad \text{(تفاعل ماص للحرارة)}$$

وتتم هذه العملية بشكل دورات تستغرق كل منها ٣ – ٦ دقائق تبعاً لتصميم الوحدة ، تجنباً لتلوث المنتج بالنتروجين . ويتم فى المرحلة الأولى نفخ الهواء خلال فحم الكوك فترتفع درجة الحرارة ، ثم يدفع بخار الماء خلال المرحلة التالية فيجوس حلال طبقات الفحم وينتج عن ذلك غاز يحتوى على أجزاء متساوية من غارى أول أكسيد الكربون ، والهيدروجين ، وقد استخدمت هذه الطريقة لسنوات طويلة ، وتعرف بطريقة إنتاج غاز الماء .

فإذا استخدم الأكسجين كبديل للهواء انعدمت الحاجة إلى التشغيل دورياً (على هيئة دورات) ، فيتحقق للعملية كفاءة أعلى ، وسرعة أكبر بالإضافة إلى إمكانية تشغيل العملية تحت ضغط يبلغ ٢٠ جوى (طريقة لورجى) ، حيث تتحول بعض المنتجات الأولية إلى غاز الميثـــان بالتفاعل الآتى :

$$٢\ كـ_{١}^{٢} + ٢\ يد_{٢} \rightarrow كـ\ يد_{٤} + كـ_{١}^{٢}$$

ومن المستطاع عملياً الحصول على غاز يحتوى على حوالى ٢٠ ٪ من الميثان ويشبه إلى حد كبير غاز الاستصباح من ناحية الخواص الكيميائية والفيزيقية . وقد فتر الاهتمام بهذه الطريقة فى البلدان التى تم اكتشاف الغاز الطبيعى بها .

ويمكن استخدام نواتج تكسير البترول بديلا عن فحم الكوك(فى العملية السابقة)والغاز الطبيعى أو الميثان ، تحت الضغط الجوى عادة . وينبغى التنويه بإمكانية تثبيت تركيب خليط $كـ_{١}^{٢}$ / $يد_{٢}$ بعد الحصول عليه باستخدام تفاعل « انتقال غاز الماء » :

$$يد_{٢} + كـ_{١}^{٢} \rightleftharpoons كـ\ ١ + يد_{٢}\ ١$$

ويستخدم هذا المخلوط فى عمليات إنتاج المثانول « طريقة فيشر – تروبش » كما يمكن استغلال هذا التفاعل لصناعة الهيدروجين اللازم لتصنيع الأمونيا المخلقة .

استخدام الأكسجين فى التنفس :

على الرغم من صغر النسبة المستهلكة من الأكسجين لهذا الغرض ، إلا أنها ذات أهمية حيوية للحياة البشرية . فإذا استنشق الأكسجين بمفرده كبديل للهواء الجوى قل الانفعال الحادث على القلب . لذلك يستخدم الأكسجين فى المستشفيات بطريقتين ، الأولى فى خيمة الأكسجين وفى الحاضنات التى يوضع فيها الأطفال ناقصو النضج (المولودون قبل الميعاد الطبيعى) والثانية استخدامه مع الغازات المخدرة خلال العمليات الجراحية .

وعلى الرغم من استمرار استخدام اسطوانات الأكسجين على نطاق واسع فى المستشفيات ، إلا ان بعض المستشفيات الكبرى قامت بمد وصلة من مواسير الأكسجين إلى المواضع الحيوية من محطة مركزية قد تتخذ

هيئة مجموعة من بطاريات من الاسطوانات أو مصعِّدات الأكسجين السائل .

ويوفر الأكسجين اللازم لأغراض التنفس كذلك حتى فى الطائرات التى تطير على ارتفاعات عالية ، سواء للأغراض الحربية أو المدنية . ويتاح لذلك الأكسجين المضغوط فى اسطوانات ، وكذلك الأكسجين السائل فى أوعية صغيرة يمكن حملها داخل الطائرات تحقيقاً لخفض وزن الأوعية . ويصمم الجهاز بحيث يبدأ الأكسجين السائل فى التصعيد (التبخر) مع تدفئة الأكسجين المتبخر حتى درجة الحرارة العادية بمجرد وضع القناع على الوجه استعداداً للتنفس .

ومما يذكر أن الأكسجين يعتبر من المتطلبات الأساسية فى مركبات الفضاء .

مفرقعات الأكسجين السائل :

يمكن عن طريق نقع المواد السيليلوزية مثل نشارة الخشب فى الأكسجين السائل ثم إشعالها مباشرة بعد ذلك ،أن يكون لها سلوك مادة متفجرة جامدة (صلبة) . ويتمتع هذا النوع من المفرقعات بأداء يفوق ٦٠٪ من أداء الجلجنايت ، ويتميز من الناحية الفنية بالأمان عند تداوله باستثناء الفاصل بين وعاء النقع وفتحة الإشعال ، كما أنه فى حالة فشل عملية الإطلاق ، فما على العامل إلا الانتظار حتى ينتهى الأكسجين من تبخره بعد وقت محدود ويمكن تكرار العملية ثانية . وبالطبع يستحيل سرقة مثل هذه المفرقعات . وتعتبر النواحى الاقتصادية لهذه العملية مرضية حينما يتوافر تيار الأكسجين بانتظام ودقة . و يجرى تخزين الأكسجين السائل فى خزان بالموقع يغذى منه الأكسجين بتأثير جاذبية التثاقل إلى أوعية تشرب صالحة للنقل .

ويقتصر استخدام هذه المفرقعات حالياً على عمليات المناجم المكشوفة .

فى الهند ، ومناجم الحديد تحت الأرض فى فرنسا . ويستخدم على نطاق كبير فى كلتا الحالتين .

استخدامات الأكسجين المسال فى الصواريخ :

تستخدم جميع الصواريخ الكبيرة التى تعتمد على الوقود السائل -- الأكسجين كمادة مؤكسدة سواء كان الوقود هو الهيدروجين السائل أو الكيروسين . ولنظام الأكسجين / هيدروكربون ميزة فى المرحلة الأولى لوحدات الدفع الضخمة ، إذ يتميز برخص ثمن المواد وتوافرها . بينما يتمتع نظام الأكسجين السائل / الهيدروجين السائل بأعلى دفع نوعى (الدفع لكل وحدة / كتلة من استهلاك الوقود) بين جميع الأنظمة المعروفة باستثناء التكونات الشاذة مثل الهيدروجين والأوزون أو الهيدروجين والفلور . ولكن هناك عيب رئيسى ينحصر فى انخفاض كثافة الهيدروجين السائل . وينبغى الحرص نظراً للقابلية الشديدة للاشتعال ، وإن انعدمت أخطار التسمم . وسترد طريقة تسييل الهيدروجين فى فصل قادم .