

النروجين

طرق الإنتاج :

يجرى إنتاج النروجين على النطاق التجارى بأساليب ثلاثة . وهى تكسير الأمونيا . ومولدات الغاز الخامل ، وتقطير الهواء . ويتوقف انتخاب طريقة دون غيرها على كمية ودرجة نقاء غاز النروجين المطلوب إنتاجه . وتستخدم طريقة تحليل الأمونيا عندما يراد الحصول على معدل إنتاج متوسط (من ١,٥ حتى ٧ متر مكعب / ساعة) . وتحفظ الأمونيا عادة على هيئة سائلة تحت ضغط ، وتمرر وهى فى هذه الحالة على عامل مساعد عند ٥٠٠ - ٦٠٠ م ويفصل الهيدروجين الناتج خلال العملية بشكل جزئى أو كلى بإحراقه فى الهواء . ويمكن إجراء كلا العمليتين آلياً ، باستخدام عامل مساعد من الألومينا المبلتنة (المعالجة بالبلاتين) على سبيل المثال مع عامل مساعد من الروديوم المعضد بالألومينا . وتجرى إزالة المياه المتكونة أثناء العملية بتكثيفها . ويستلزم الأمر التخلص من بعض أكاسيد لنروجين المحتمل تكوينها خلال العملية إذا تعارض وجودها مع الاستخدامات المطلوبة للنروجين . ويحتوى المنتج النهائى عادة على الهيدروجين . ما لم تبذل جهود كبيرة فى عملية التنقية . وهو من

الأمر المقبولة في أغراض معينة ، بل قد يكون من المرغوب فيه وجود غاز الهيدروجين في عمليات ميتالورجية معينة منعاً للأكسدة .

وتستخدم مولدات الغاز الخامل عندما يكون مقدار المنتج من ٧ - ١٤٠٠ متر مكعب في الساعة . وتعتمد هذه المولدات في عملها على احتراق الوقود مع الكمية المضبوطة من الهواء المطلوب ، ويتم ذلك داخل غرف احتراق أفقية مبطنة بالطوب الحراري ويجرى تبريدها بالماء المارة في دثار محيط بها . ومن أنواع الوقود التي يشيع استخدامها غاز الاستصباح ، وزيت الغاز (السولار) ، وزيت الديزل ، كما يستخدم أحياناً غاز البروبان أو الهيدروجين أو البيوتان أو غاز المولدات أو غاز الماء . ويوضح جدول (٥) تركيب نططين للغاز الناتج عن استخدام غاز الاستصباح والزيت :

جدول (٥)

الزيت (% بالحجم)	غاز الاستصباح (% بالحجم)	
٨٤	٨٧	نروجين
١٥	١٢	ثاني أكسيد الكربون
١	١	أكسجين
١	١	أول أكسيد الكربون
٠,٠١٥	٠,٠٠٧٥	أكسيد النروجين

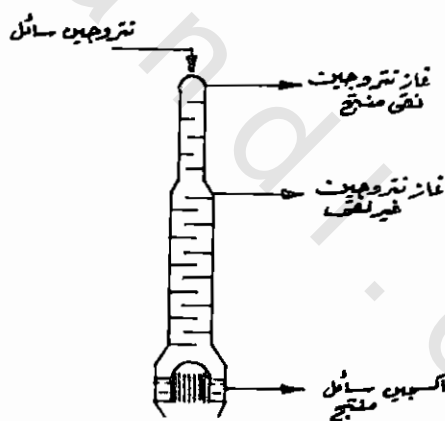
هذا بالإضافة إلى وجود قليل من أكاسيد الكبريت بالمنتج . نظراً لاحتواء الوقود المستخدم على الكبريت . ويستخدم في بعض المولدات خليط من بخار الماء مع الهواء ، وفي هذه الحالة يتضمن المنتج بعض الهيدروجين .

وسيتضح مما يلي أن مولدات الغاز الخامل تعطي منتجاً غير نقي للوهلة الأولى على الرغم من استخدامها أحياناً في عمليات معينة لتعطي جواً خاملاً . لذلك يصبح ضرورياً إزالة بعض الشوائب ، وتختلف الطريقة المستخدمة للتنقية تبعاً لدرجة النقاوة المطلوبة للمنتج ، ومن هذه الطرق إجراء غسيل بواسطة تيار معاكس في الاتجاه من الإيثانول أمين في برج خاص للتخلص من ثاني أكسيد الكربون وغيره من الغازات الحمضية . ثم تؤكسد الأكاسيد غير الحمضية للنتروجين والهيدروجين ، وأول أكسيد الكربون قبل التخلص منها . وتمثل نفقات الوقود والقدرة المستخدمة ورأس المال الجزء الرئيسي من تكلفة إنتاج الغاز الخامل . بالإضافة إلى نسبة لا بأس بها تمثل تكاليف عمليات التنقية تبعاً للطريقة المستخدمة .

وتستخدم طريقة فصل مكونات الهواء عند درجة منخفضة عندما يراد الحصول على النتروجين نقياً بدرجة مرتفعة . أو عندما يكون حجم العملية كبيراً ، وتحضر غالبية النتروجين المنتج على نطاق تجارى - فيما عدا النتروجين المطلوب لصناعة الأمونيا المخلفة - بهذه الطريقة . ولا تقل درجة النقاوة فيها عن ٩٩.٥ ٪ . ويكون للمستهلك لمقادير صغيرة أن يستفيد بميزة الإنتاج الكمي وتوزيعه . وتستخدم هذه الطريقة دائماً إذا كان النتروجين مطلوباً على هيئة مسالة .

وقد سبق التنويه - عند وصف وحدة إنتاج الأكسجين المسيل في فصل سابق - باحتواء النتروجين العادم الذى ينصرف من الوحدة على ٢ - ٣ ٪ من الأكسجين . ويرجع السبب الرئيسى لذلك إلى غليان الأرجون في المدى بين غليان كل من الأكسجين والنتروجين . وحتمية تركه للبرج مع الأكسجين أو النتروجين . فإذا تحدد الهدف من إنشاء الوحدة بإنتاج النتروجين فقط . استلزم الأمر أن تكون مشابهة لوحدة إنتاج الأكسجين ، مع تشغيل البرج لإعطاء نتروجين نقي عند قمته وأكسجين درجة نقاوته ٩٠ - ٩٥ ٪ عند قاعدته . كما أنه

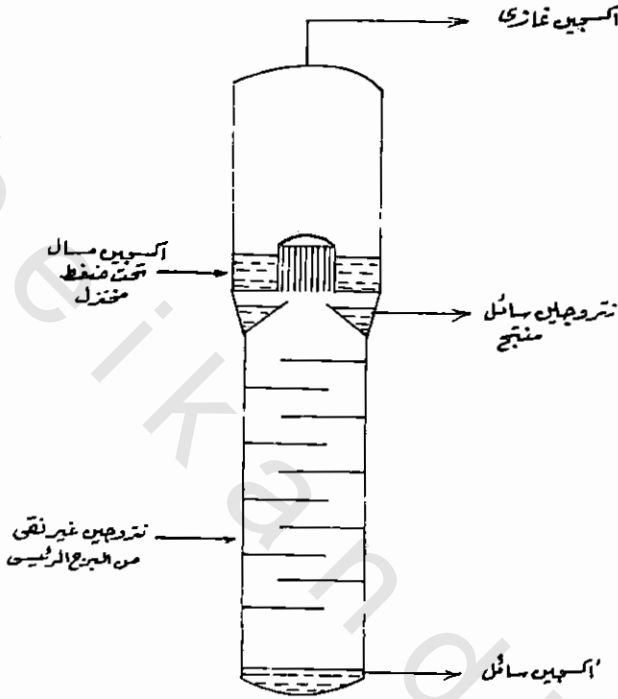
من الطبيعي أن تنتج الوحدة أكسجيناً مشوباً بكمية ضئيلة من النتروجين وبالرغم من استحالة الحصول على الكمية الإجمالية للنتروجين المصاحب للأكسجين إلا أنه من الممكن إنتاج بعض النتروجين الغازي النقي (تصل نسبته إلى ٥٠٪) ويتحقق ذلك بوضع مزيد من الألواح في كل من برجى القمة والقاعدة وعمل الترتيب اللازم لسحب النتروجين النقي عند قمة البرج العلوى ، وسحب النتروجين العادم ذى درجة النقاوة الأقل عند موضع منخفض عن ذلك ، كما فى شكل (٣١) . وتوجد طريقة بديلة ، يستخدم فيها برج الأكسجين مع إمرار جميع النتروجين غير النقي إلى برج قطره أقل ، حيث يمكن فصل بعض النتروجين فيه نقياً .



شكل (٣١)

بوضع جهاز إنتاج النتروجين النقي

ويحتاج بعض المستهلكين إلى النتروجين المسال ، فإذا كانت الكميات المطلوبة قليلة أمكن السحب من تيار النتروجين المسال النقي الخارج من البرج الأسفل (انظر شكل ٣٢) . ويؤدى ذلك إلى خفض كمية السائل المتاح للاستخدام فى البرج العلوى ، كما سيكون له تأثير عكسى على إنتاج



شكل (٣٢)
إنتاج النتروجين السائل

الأكسجين ما لم يحد من ذلك بشدة . أما عندما يتطلب الأمر مقادير ضخمة من النتروجين المسال . فيلزم إضافة برج تكسير آخر يمرر خلاله النتروجين غير النقي الذي يخرج من البرج الرئيسي . ويستخدم الأكسجين السائل تحت ضغط أقل لتكثيف النتروجين عند قمة البرج الثانوي . وتزداد نسبة الأكسجين الغازي إلى الأكسجين المسال الذي ينصرف من الوحدة نظراً لتسخر الأكسجين أثناء عملية تكثيف النتروجين .

وتحدد المواصفات القياسية الإنجليزية نوعين من النتروجين الصناعي لا تزيد نسبة الأكسجين في النوع الشائع عن ٠.٠٥ . ولا تزيد نسبة ثاني

أكسيد الكربون وسائر مركبات الكربون - محسوبة كمكافئ لثاني أكسيد الكربون - عن ١٠ أجزاء في المليون . ولا تزيد نسبة الهيدروجين عن ٢٠ جزءاً في المليون بالحجم . ولا تزيد نسبة الأكسجين في النوع الخاص عن ١٠ أجزاء في المليون . ولا تزيد نسبة ثاني أكسيد الكربون وسائر مركبات الكربون - محسوبة على أساس أنها ثاني أكسيد الكربون - عن ١٠ أجزاء في المليون . ولا تزيد نسبة الهيدروجين عن ١٠ أجزاء في المليون بالحجم . كما تحدد المواصفات كذلك نسبة بخار الماء بما لا يزيد عن ٦٠ جزءاً في المليون عند التعبئة . وتزداد نسبة بخار الماء في النتروجين المعبأ في اسطوانات كلما استهلك النتروجين . ولكن يشترط عدم زيادتها عن ٦٠٠ جزء في المليون مع انتهاء النتروجين .

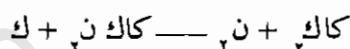
استخدامات النتروجين :

يستخدم النتروجين في الصناعة في صورته الغازية والسائلة وقد أطلق « لا فوزيه » - وهو أول من اكتشف تركيب الهواء - على النتروجين لفظ الآزوت الذي يعنى عدم الحياة . وهو غاز خامل من الناحية الكيميائية عند درجة الحرارة العادية كما يستخدم على نطاق واسع كوسط خامل . ولكنه يشارك في عدد من التفاعلات الكيميائية الهامة عند درجات الحرارة المرتفعة . ولا يتعدى استخدام النتروجين الغازى واحداً من القطاعين السابقين . في حين تتنوع استخدامات النتروجين المسال على الرغم من قلة هذه الاستخدامات .

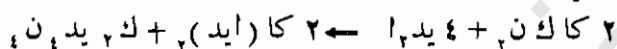
الاستخدامات الكيميائية :

بديهي أن التثبيت الطبيعي للنتروجين خلال دورة النتروجين ضرورة حياة . وتتضمن هذه الدورة تمثيل النتروجين العنصرى بواسطة بعض كائنات حية مجهرية (دقيقة الحجم) أو باندماج الأكسجين من النتروجين خلال تفريغ

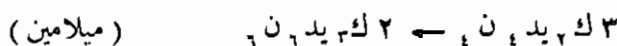
كهربائي . ثم يتبع ذلك عملية غسيل لحمض النتريك بواسطة المطر .
وفي غضون الخمس والسبعين سنة الأخيرة جرت ممارسه عملية التثبيت
الاصطناعي للنتروجين على نطاق صناعي . ولعل أهم طريقة تنحصر في تفاعل
النتروجين مع الهيدروجين ليكونا الأمونيا تخليقياً ، كما سيأتى ذكر ذلك فيما
بعد . وتجدر الإشارة إلى أن هذه الطريقة هى واحدة فقط من طرق تثبيت
النتروجين ، وهناك طريقة أخرى حديثة ابتكرها « فرانك و كارو » عام ١٨٩٥ ،
وتتضمن تفاعل النتروجين مع كبريد الكالسيوم تحت الضغط الجوى المعتاد
وعند درجة الحرارة حوالى ١١٠٠ م لتكوين سياناميد الكالسيوم كما فى التفاعل
التالى :



وفى البداية ، كانت تستخدم هذه المادة كمخصب (سماد) كما كانت
تستخدم فى تصنيع الأمونيا ، واليوريا . والسيانيد الأسود . وكانت لا تزال
تصنع فى بعض البلدان حيث كانت تستخدم إما كسماد وإما أن يتم تحليلها
بالماء إلى ثنائى السياناميد بهدف التحويل إلى الميلايين ، وهو مادة بيضاء
متبلورة لها أهميتها فى صناعة اللدائن ، والبلاستيك . ويمكن إجمال التفاعلات
التي تحدث فيما يأتى :



(ثنائى السياناميد)



من ناحية أخرى ، تصنع كل من الجانيدين والثوريا أيضاً من السياناميد .
ومن الممكن أن يستخدم النتروجين فى صناعة النتريدات المعدنية مثل
نتريدات التيتانيوم ، والزركونيوم ، والتانتالوم ، وهى مواد على جانب كبير
من الأهمية على المستوى الصناعى ، إذ تستخدم كمادة مقاومة للبرى والتآكل
بسبب صلابتها الشديدة . كما أن مجموعة أخرى من نتريدات عناصر أخرى

مثل البورون ، والسليكون ، والألومنيوم ، والجارولينيوم تشبه السيراميك .
تصمد أمام الحرارة العالية وتقاوم التآكل . إلى جانب استخدامها كأشباه
الموصلات . ويمكن الحصول على المجموعة الأولى المشار إليها بتفاعل النتروجين
أو الأمونيا مع أكسيد مناسب للفلز في وجود الكربون ، وهناك بعض العناصر
كالسليكون ، والألومنيوم ، والمغنسيوم ، كما يمكن الحصول على النتريدات
الخاصة بها ، بتفاعل النتروجين أو الأمونيا مع الفلز نفسه أو مع هيدريد الفلز .

الأجواء الخاملة :

تتوقف الاستخدامات غير الكيميائية لغاز النتروجين أساساً على إحلاله
بديلاً عن الهواء ، دفعاً لعملية التأكسد المحتملة في وجود الهواء . ولعل أهم
استخدام لهذا الغاز على نطاق واسع ، ينحصر في عملية تخمير الصلب الذي
لا يصدأ . وقد يستخدم النتروجين منفرداً أو في مخلوط منه مع غاز الهيدروجين
الذي يتفاعل كعامل مزيل للتأكسد ، وهناك مخلوط نمطي يحتوى على ٣٪
من الهيدروجين .

وهناك اتجاه متزايد نحو استخدام غاز النتروجين على نطاق واسع في
عمليات التعبئة والتغليف ، خاصة تعبئة المواد الغذائية ، وذلك لحمايتها من
التلف بفعل البكتيريا ، أو الحريق كما يحفظ لها نكهتها وشذاها
وهناك العديد من المواد التي يتم تداولها بهذا الأسلوب ، منها اللبن ومشتقاته ،
والفواكه ، وعصير الفواكه ، وشرائح البطاطس والبطاطا ، وجوز الهند المجفف
والبيرة ، والنبيد ، ومسحوق البيض ، والخضروات المجففة ، والشحوم المعدة
للأكل ، والجوز والبندق ، ومنتجات اللحوم ، والبسكويت ، ومنتجات
الأسمك ، والقهوة .

وتعتبر الصناعات الكيماوية أكبر مستهلك لغاز النتروجين ، إذ يستخدم
أجزاء من النتروجين ، في عدد من الحالات التي تتضمن مواد قابلة للاشتعال ،

كما يستخدم النتروجين أيضاً تفادياً للتفاعلات الجانبية غير المرغوبة . وفي صناعة البولى - بروبيلين . يجرى استخدام ستة أمتار مكعبة من غاز النتروجين لكل طن منتج ، وذلك لمنع الآثار الضارة التى تتعلق بوجود آثار من الرطوبة . وفي صناعة النايلون . يستخدم النتروجين بمعدل كبير يصل إلى ٦٠ - ١٢٠ متراً مكعباً لكل كيلو جرام من اليوليمر المنتج لتعطية ملح النايلون الذى يغذى إلى المفاعلات .

وفي الصناعات المعدنية والميتالورجية التى تتضمن أساليب على جانب كبير من التعقيد تكنولوجياً . يستخدم دثار من النتروجين لمنع عمليات التأكسد . وعليه فهو يستخدم فى صناعة الترانزستورات من بلورات الجيرمانيوم . كجو حامل وأيضاً كعامل لمعالجة هذه البلورات ، حتى تحتوى على بعض الشوائب بنسب متحكم فيها . وفى هذه الحالة يمكن فقط استخدام النتروجين حتى لا تكون هناك تفاعلات مع الفلز . فإذا ما كان هناك أدنى احتمال لحدوث تفاعلات كان استخدام غاز الأرجون المرتفع التكاليف كبديل للنتروجين أمراً حتمياً .

ولم تقف استخدامات غاز النتروجين عند هذا الحد . بل وجد طريقة أيضاً فى الصناعات الكهربائية وفى خطوط نقل القدرة الكهربائية حيث تمد الكبلات وغيرها . ولكن إذا ما زادت الفلطة عن ٦٦,٠٠٠ . كان هناك احتمال حدوث تأين للجيوب العازية بداخل العازل الكهربائى وعليه فإنه تحتم ملء هذه الفجوات بالزيت أو بعار النتروجين تحت ضغط عال . وعادة ما يصل إلى ١٤ ضغط جوى . وباستخدام غاز النتروجين فى هذا المجال أتاج اختزال سمك العازل الكهربائى ، فصار الكبل أصغر حجماً وأخف وزناً . كما اختزل أيضاً من المقاومة الحرارية له ، وأصبح فى الإمكان استخدام أحمال كهربائية متزايدة . من ناحية أخرى فقد تحسن النقل الحرارى خلال الموصل الكهربائى ، ومن ثم تلافى الارتفاع المفرط فى درجة الحرارة .

استخدامات التبريد السائل :

اتسع نطاق استخدام التبريد السائل بصورة متزايدة في الآونة الأخيرة ولذلك زادت الكميات المستهلكة منه زيادة كبيرة . وتعتمد تطبيقات التبريد السائل على خواص التبريد للتبريد السائل . وتيسر وجوده في أكثر البلدان المتقدمة تصنيعاً .

وحيث أن لتبريد السائل يعلى عند - ١٩٦ م لذلك يعد مكلفاً بدرجة أكثر عن وسائل التبريد الأخرى التي لا تنخفض نقطة غليانها إلى مثل هذه الدرجة . فإذا تطلب الأمر منسوباً معتدلاً للتبريد - وليكن درجات قليلة من الحرارة أقل من نقطة تجمد المياه أصبح استخدام ما كينة تبريد عادية أو حتى ثاني أكسيد الكربون أصح لانخفاض التكلفة . ولكن هناك حالة خاصة يستخدم فيها التبريد السائل على الرغم من أن منسوب التبريد المطلوب منسوب عادي . وذلك في حالة تسويق (توزيع) الغذاء . نظراً لتميز هذه الطريقة عن غيرها من الطرق بسرعة لتبريد .

تسويق الغذاء :

عندما يتطلب الأمر الاحتفاظ بدرجة حرارة شاحنات نقل الأغذية المجمدة عند درجة حرارة - ٢ م مثلاً حتى يتم توزيع هذه الأغذية على عدد من العملاء فإن ذلك يستغرق وقتاً طويلاً قد يصل إلى عدة ساعات إذا استخدمت لهذا الغرض وحدة تبريد تقليدية تعمل على محرك الشاحنة . وبالإضافة إلى ارتفاع درجة حرارة الحيز الداخلي للشاحنة عقب فتح أبوابها كل مرة خاصة في أثناء فصل الصيف . مما يؤدي إلى ارتفاع في درجة حرارة ما تحمله الشاحنة من مواد ويستغرق إعادة تبريد الحيز الداخلي للشاحنة وما تحتويه من مواد إلى درجة الحرارة المطلوبة وقتاً ليس بالقصير .

ولذلك تستخدم مادة مبردة ذات درجة غليان منخفضة مثل التبريد

السائل ، ويستخدم مقدار ضئيل من هذه المادة التي يجري تصعيدها (تبخيرها) لتبريد الشاحنة بسرعة والاحتفاظ بدرجة حرارة منتظمة على الرغم من فتح الأبواب نتيجة ارتفاع محتواها البارد . ويتم عمل ترتيبات للتحكم الأوتوماتي في درجة الحرارة بالربط بين أداة قياس درجة الحرارة وبين صمام دخول التروجين السائل الموضوع على قمة حيز التبريد . وبذلك يعمل كمطلق للشرر حيث يقوم باعناق تيار من نقط صغيرة من التروجين السائل والغاز البارد ، وبذلك يبرد الحيز بسرعة .

ويطلق على هذه العملية أحياناً اسم التيار القطبي . وقد استخدمت في الولايات المتحدة كذلك في عربات الشحن بالسكك الحديدية . ولا تتميز هذه الطريقة باحتياجها إلى تبريد مبدئي أقل وانتظام درجة الحرارة فحسب . ولكن تتميز كذلك ببساطة المعدات الميكانيكية المطلوبة وانخفاض الرطوبة المنقودة بالتصعيد في حالة الحمل القسرى التي يتضمنها التبريد الميكانيكي

المواد الحية :

كثيراً ما وجد أن التبريد السريع للخلايا الحية حتى درجة حرارة التروجين السائل يحدث حالة من الإنعاش المعلق ، بمعنى أنه عند تدفئة المادة ثانية حتى درجة الحرارة العادية - ولو بعد مضي وقت كبير - يتضح عدم فسادها على الإطلاق .

ومن الأمثلة الشائعة على الإنعاش لمعلو وتصله بالأغذية ، عملية الإخصاب الاصطناعي وهي عملية تستخدم منذ زمن طويل مع الخيل والكلاب وبالأخص مع الماشية . ويكون للحيوانات المنوية حياة محدودة عند درجة حرارة الجو حتى درجات قليلة تحت نقطة تجمد الماء . فإذا ما تم تبريد الحيوانات المنوية الخاصة بالثيران بسرعة حتى درجة حرارة التروجين السائل ، أصبح من الممكن حفظها لسنوات عديدة ، قد تصل إلى قرن من الزمان أو

يزيد . ويوجد حوالى ٥٠ بنكا للحيويات المنوية فى المملكة المتحدة مثلا ، وأكثر من ذلك الرقم بكثير فى الولايات المتحدة حيث يعد حفظ الحيوانات المنوية الخاصة بالثيران مجرد عملية تبريد . ويستخدم النروجين السائل لحفظ الدم البشرى إلى ما لانهاية تقريباً بالمقارنة بالمدة العادية وهى حوالى ثلاثة أسابيع - ومن الأمور الأساسية فى ذلك تبريد الدم حتى درجة حرارة النروجين السائل خلال فترة لا تزيد عن الدقيقة الواحدة ، وكذلك تسخينه ثانية بمنتهى السرعة حتى درجة حرارة الدم عندما يراد استخدامه .

كما يستخدم النروجين السائل فى العديد من الأغراض المتصلة بمهنة الطب ، كاستخدامه لحفظ نخاع العظام والغدد والأنسجة ، أيضاً يستخدم النروجين المسال لخفض درجة حرارة الجسم حتى الحد الأدنى من الشغل لتجمده . ومن الأمثلة الأخرى تدمير النمو السرطانى بالتجمد والتدفئة المتتالين . ونظراً لشبوع استخدام هذه الأساليب فى الطب استحدث اصطلاح الجراحة التبريدية على نطاق واسع .

العمليات الميكانيكية :

تتغير خواص كثير من المواد عند درجة حرارة النروجين السائل بحيث يمكن الاستفادة العملية من هذا التغير . ومن أمثلة ذلك انكماش جميع الغازات عند تبريدها فتنشأ نتيجة ذلك عملية يطلق عليها التوفيق بالانكماش . وتستخدم هذه العملية عندما يراد إيلاج جزء معدنى داخل فتحة بإحكام شديد . فمن غير المتيسر إجراء ذلك بأية وسيلة ميكانيكية إلا فى حالة الأحجام الصغيرة أما فى حالة الأحجام الكبيرة كإدخال قلم تنظيف داخل ماسورة مدفع أو إدخال عمود معدنى داخل أسطوانة عملاقة كما هو مطلوب فى عمليات مناجم الفحم المكشوفة ، فمن الأفضل إنجاز ذلك بإجبار الجزء المطلوب إدخاله على التقلص الشديد . ويتحقق ذلك بغمسه فى النروجين السائل ثم إيلاجه بعد ذلك

فى المكان المطلوب والسماح له باستعادة حرارته ثانية فى مكانه بإحكام شديد .

وعندما يراد صيانة المواسير المدفونة تحت الأرض ، يحضر خندق حتى يتمكن العمال من الوصول إلى المواسير . وتوجد لبعض أنواع من التربة ، خاصة فى وجود جو رطب ميل لانزلاق ترابها فتنهار وتملأ الخندق ، ومن ثم تعوق عمليات الصيانة . لذلك كان الاتجاه إلى معالجة التربة بالتروجين السائل لتجميد الرطوبة الموجودة فيها . فىظل شكل الخندق ثابتاً لساعات عديدة تكفى للاتهاء من أعمال الصيانة المطلوبة .

وعند درجات الحرارة المنخفضة التى يوحد عندها التروجين السائل ، تصبح المواد البلاستيكية المخلفة وكذلك المطاط صلدة وقصيفة . وعندئذ يمكن طحن هذه المواد وهى فى حالة قصيفة للحصول على مسحوق يتم سكه بعد ذلك إلى الأشكال المطلوبة . وتحتوى الأشياء المسبوكة من المطاط عادة على زوائد (رايش) متصلة بها . ويمكن قطع هذه الزوائد بتبريدها فى التروجين السائل ثم التخلص منها بدلا من القطع بتحريكها مع بعضها داخل أسطوانة .

الميتالورجيا :

تتغير خواص بعض الفلزات عند درجة حرارة التروجين السائل . وقد أمكن الاستفادة من ذلك عند تشكيل الفلزات . ويستعرض الجزء التالى - باختصار - بعض إمكانيات الاستفادة من ذلك على الصعيد الصناعى .

وعند تشغيل بعض السبائك الخاصة ، تتولد كمية كبيرة من الحرارة عند السطح المشترك بين أداة التشغيل والشغلة . ويؤدى ذلك إلى انخفاض عمر الأداة - بغض النظر عن تأكد سطح الشعلة . وحدوث تصلدة نتيجة للشغل الذى يتعرض له ويستخدم أحيانا تبريد ثانى أكسيد الكربون ولكن عندما يستخدم التروجين السائل فى التبريد تتحقق نتائج أفضل على الرغم من

ارتفاع التكلفة ، ويمكن إطالة عمر الأداة والتخلص من التأثيرات السيئة على سطح الشغلة .

وعند درفلة أنواع معينة من الصلب غير القابل للصدأ عند درجة حرارة التروجين السائل بدلاً من درجة الحرارة العادية ، تطراً زيادة في متانة الشد وإجهاد الخضوع والصلادة .

ويطلق على هذه الظاهرة أحياناً اصطلاح « الدرفلة الصفّرية » . وتزيد المتانة أكثر بتسخين الصلب حتى ٤٢٥ م بعد المعالجة السابقة بالتبريد .

وهناك عملية أخرى تعرف « بالإطالة الباردة » تجري على الأوعية المشكلة . فتغلق جميع فتحات الوعاء باستثناء فتحة واحدة خاصة بوصلة الغاز . ثم يبرد الوعاء في التروجين السائل ويسمح له بالمرور تحت ضغط داخل الوعاء من الوصلة المفتوحة . ويثبت الضغط حتى تحدث استطالة للوعاء بنسبة ١٥٪ باستخدام اسطمة تعطى الأبعاد النهائية . وتحدث زيادة في متانة الشد للوعاء عند تدفئته بعد ذلك حتى درجة الحرارة العادية . وبذلك يمكن للفولاذ في حالات معينة منافسة الألياف الزجاجية المربوطة بالشعيرة ، والتي تصنع منها هذه الأوعية كما في حالة أغلفة الصواريخ والطوربيدات والأوعية الكروية التي تستخدم لتخزين الغازات .

ويمكن تخفيف إجهادات سبائك الألومنيوم عند درجات الحرارة المنخفضة . وبذلك تقل المشاكل التي يحتمل نشوؤها عند إجراء مزيد من العمليات على هذه السبائك .