

LE TITANIUM



Par J. JOSEPH

Ce métal irascible dégrade les scies, résiste aux machines-outils, devient cassant à la soudure. Mais il a passé brillamment l'épreuve des vols incandescents à Mach 3.

QUAND on a révélé officiellement l'existence du mystérieux « A-11 », au début de l'année, les journaux l'ont baptisé « l'avion qui vole le plus vite et le plus haut ». C'est vraisemblable étant donné sa vitesse de plus de 3 000 km/h et son plafond estimé à plus de 30 000 mètres.

Mais les informations n'ont pas suffisamment attiré l'attention sur l'aspect le plus important de ce succès : le « A-11 » a été construit en grande partie en titanium, le métal le plus capricieux, le plus exaspérant de notre ère cosmique.

Plus d'un métallurgiste s'est fait des cheveux blancs avant l'âge à vouloir faire l'éducation du titanium.

Si vous essayez de le scier, il se « durcit au travail », devient de plus en plus dur à mesure qu'on lui applique l'outil. Si vous coudez une pièce de titanium, elle « récupère », tend subrepticement à reprendre sa forme initiale. Chauffez une plaque mince de titanium ; au lieu de se dilater comme tout métal qui se respecte, il se contracte.

Si vous soudez des pièces de titanium au contact de l'air, vous vous préparez de bien mauvaises surprises. Il a une affinité extrême pour les gaz qui composent l'atmosphère — oxygène, hydrogène et azote — qui peuvent facilement le contaminer. Il devient alors si fragile que vous pouvez le casser à la main.

« Il nous fallut plusieurs mois pour apprendre à passer le titanium à la meule sans

le fendre, déclare un ingénieur spécialisé dans les moteurs à réaction chez Pratt et Whitney, dont les moteurs équipent le « A-11 ». Et les autres problèmes d'usinage sont aussi délicats. Il fallut mettre au point de nouvelles machines-outils et de nouvelles méthodes de fabrication. »

Même si les pièces fabriquées en titanium ne se cassent pas à l'usinage, elles le font ensuite sans rime ni raison, au stockage. Cela peut en produire plusieurs jours ou plusieurs années après la fabrication.

Mais si le titanium est le cauchemar des métallurgistes, ses propriétés sont trop intéressantes pour qu'on puisse se permettre de le délaissier. Ces propriétés en font un matériau presque idéal pour les vols supersoniques à Mach 3 des avions de transport de demain et de l'« A-11 » d'aujourd'hui. Le titanium est presque aussi solide que l'acier et pèse 44 % de moins. Et il peut résister aux tem-

Le mécanicien s'attaque au titanium. C'est quelquefois un vrai match de lutte pour usiner les pièces du « A-11 ». On voit ici une plaque du métal bridée sur un gabarit.



APPRIVOISÉ



Le nez pointu du « A-11 » indique une nouvelle voie à l'aviation. Une coque en titanium lui permet de maintenir 3 200 km/h ou plus pendant de longues périodes.

pératures de Mach 3 (250 à 350° C) sans perdre sa force.

Dans ces limites de température, le meilleur alliage d'aluminium faiblit. A 200° C par exemple, l'aluminium d'avion a perdu plus de la moitié de sa solidité structurale à la température normale.

De plus, le titanium résiste à la corrosion, ce qui le rend précieux pour certaines applications navales. Un jour, il sera peut-être employé pour la construction des coques de sous-marins.

Il fallut environ dix ans de recherches acharnées pour la construction des coques de sous-marins.

Il fallut environ dix ans de recherches acharnées pour apprivoiser progressivement le titanium. Avec les progrès de la technologie, on utilisa de plus en plus le titanium dans la construction des avions, notamment pour les cloisons pare-feu, les tuyères de réac-

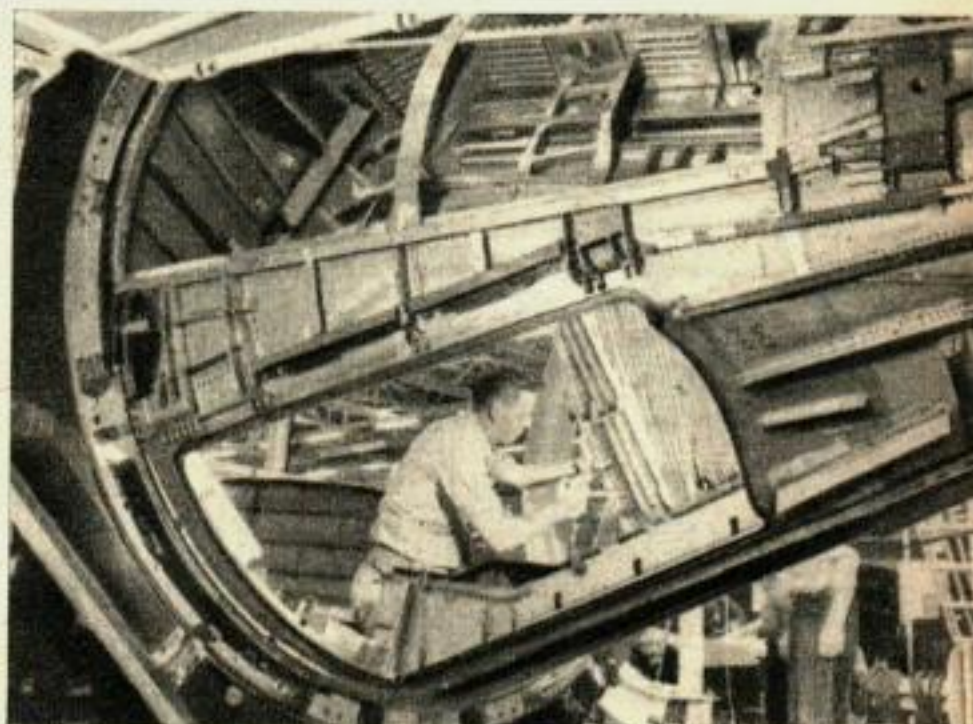
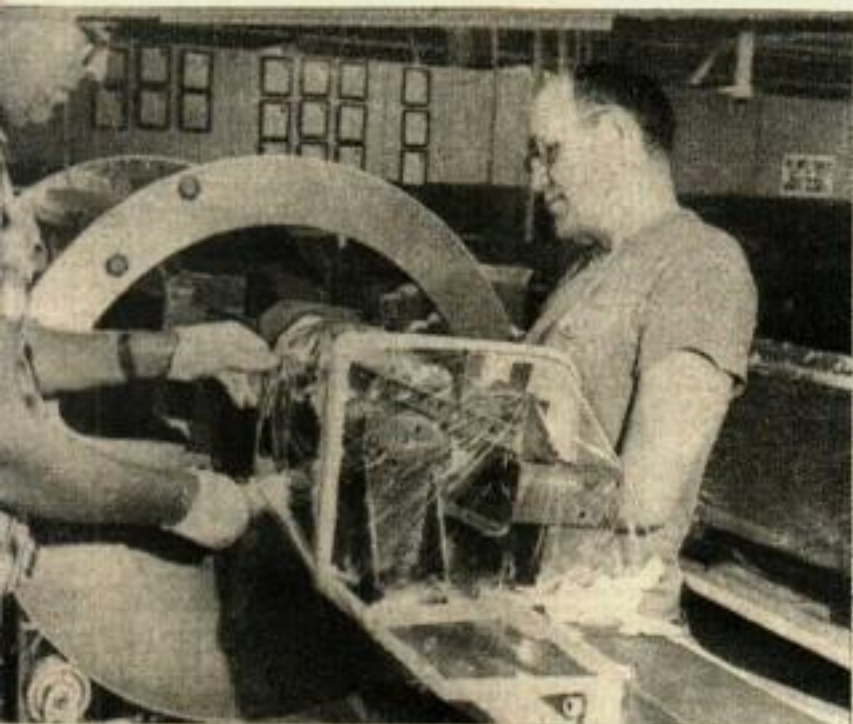
teur, les éléments de train d'atterrissage et les tuyauteries de conditionnement d'air.

Plus de 250 kg de titanium, 16 % du poids total, entrent dans la construction d'un moteur à réaction Pratt et Whitney « J-57 », qui équipe notamment le vénérable « KC-135 », l'avion citerne de ravitaillement en vol dont dérive le transport civil « Boeing 707 ». Environ 1 200 pièces en titanium font partie du premier chasseur supersonique North American « F-100 ». Plus de 5 500 kg de ce remarquable métal sont incorporés dans le nouveau bombardier supersonique « B-70 ». On trouve encore une forte proportion de titanium dans le corps de fusée de 2^e étage du « Minuteman » ainsi que dans les capsules spatiales Mercury et Gemini.

Mais le fameux « A-11 » est le premier avion construit presque entièrement en alliages de titanium. Sa coque est en titanium et il est utilisé aussi pour les longerons d'aile,

Parce qu'il est contaminé par l'air le titanium doit être gainé pendant la soudure. Une technique : on place la pièce sous une cellule plastique et la « gaine » avec un gaz inerte.

La capsule spatiale biplace visible ici en construction, compte sur le titanium pour obtenir la solidité et la résistance aux températures infernales du retour dans l'atmosphère.



les petites pièces et les deux réacteurs Pratt et Whitney « J-58 ».

Quoique le titane ait un comportement étrange, il est assez commun. Ce métal de couleur argenté se trouve dans la plupart des roches et dans toutes les parties du monde. Il vient au 9^e rang des éléments les plus communs et au 4^e rang des métaux structuraux les plus communs. On le tire surtout de deux minerais, l'ilménite et le rutile, ce dernier ayant l'aspect d'un sable noir à gros grains.

Mais les caprices du titane sont précoces — au stade où le minerai est raffiné. Il faut prendre alors de grandes précautions pour éviter de contaminer le métal. On s'est aperçu par exemple que le bris à retardement était dû à un lavage à l'acide qui a libéré de l'hydrogène. Le titane en fusion a une grande affinité pour ce gaz et, en se combinant avec lui, crée des points faibles dans sa masse. « Il suffit d'une très petite quantité d'hydrogène », a expliqué un chercheur qui précise d'ailleurs que cet inconvénient a été éliminé.

L'usinage du métal n'est pas non plus une partie de plaisir. Le titane subit des modifications dans sa structure cristalline aux très hautes températures. Dans sa phase alpha — en dessous de 870° C — le métal a une grande résistance, mais il est presque impossible de le travailler. Dans sa phase bêta — au-dessus de 870° C — on peut l'usiner facilement, mais il est moins résistant. Une fois porté au-dessus de sa température critique le titane ne retrouve plus jamais sa résistance initiale.

Les chercheurs ont fini par trouver une méthode pour tourner cette difficulté. En ajoutant d'autres métaux, ils ont pu réaliser des alliages usinables, mais très résistants.

« Ce qui nous intéresse, dit un savant au service de la Titanium Metals Corporation of America, c'est un alliage alpha-bêta qui contient suffisamment de stabilisateurs bêta — disons, vanadium et molybdène — pour donner au titane un certain degré de ca-

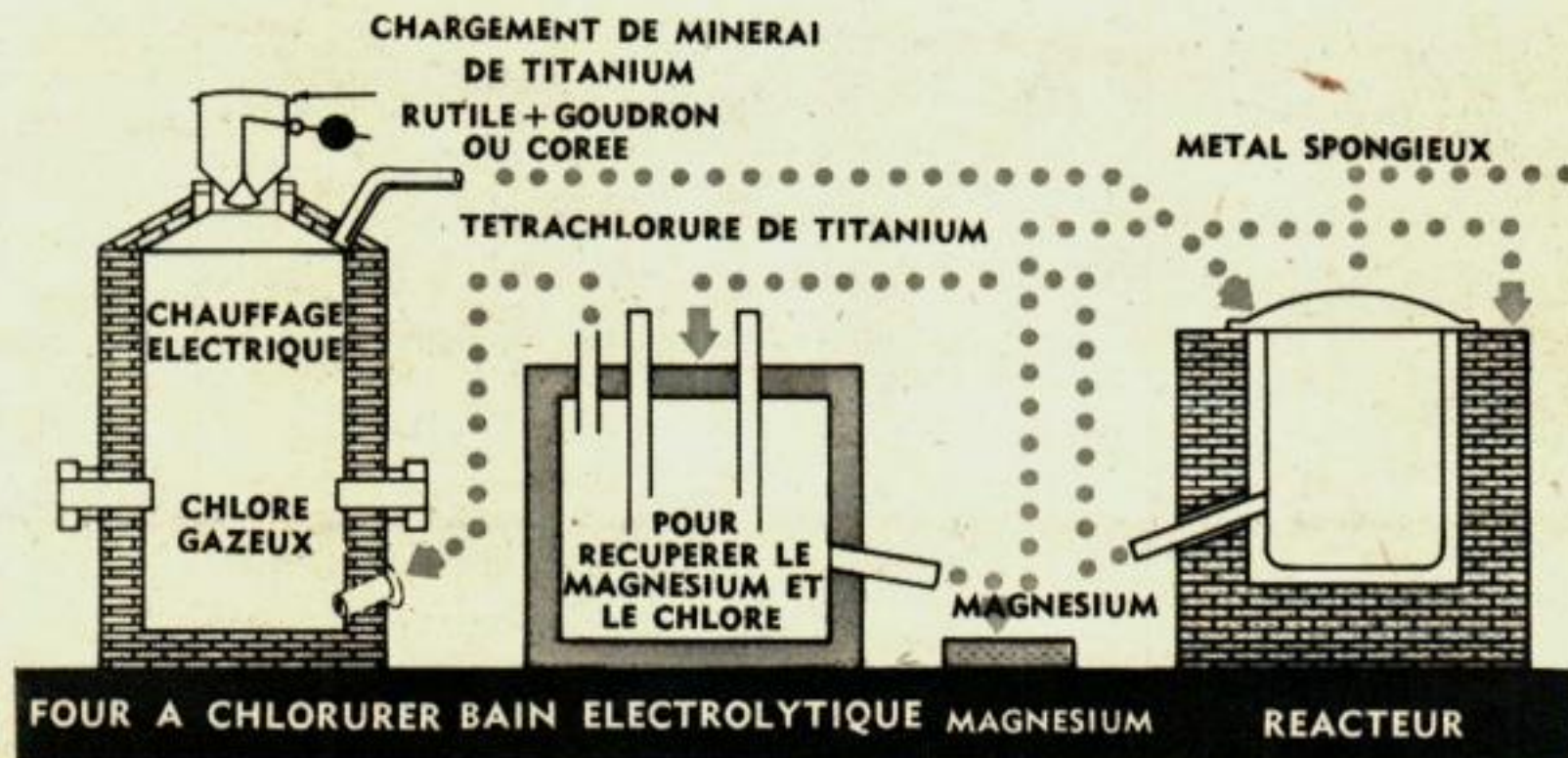


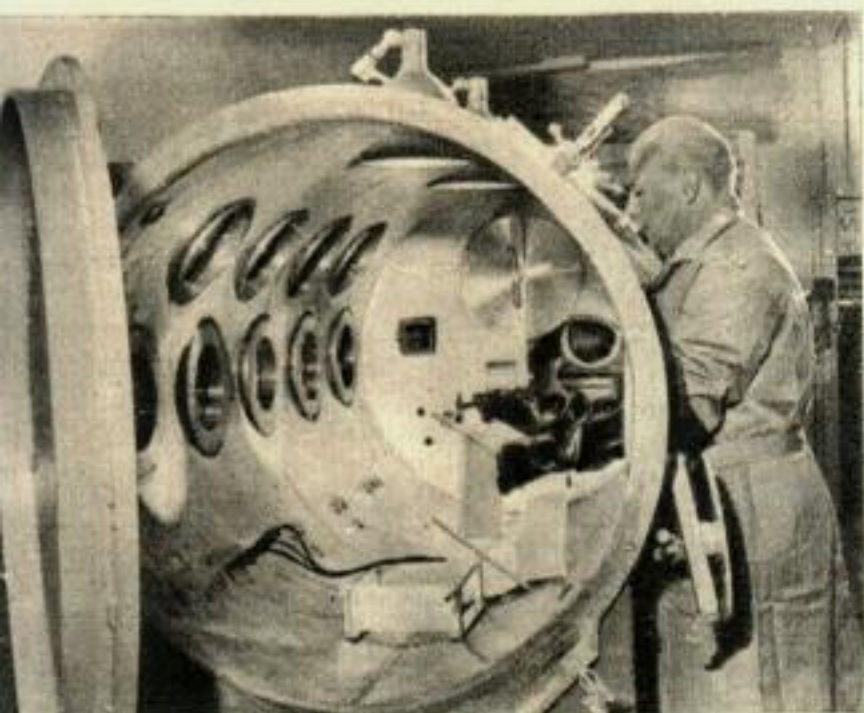
Le soudeur peut travailler en plein air avec ce chalumeau. Ce dernier porte deux ajutages concentriques qui projettent de l'argon sur la soudure, chassant l'air qui contaminerait le métal.

ractéristiques bêta à la température normale.

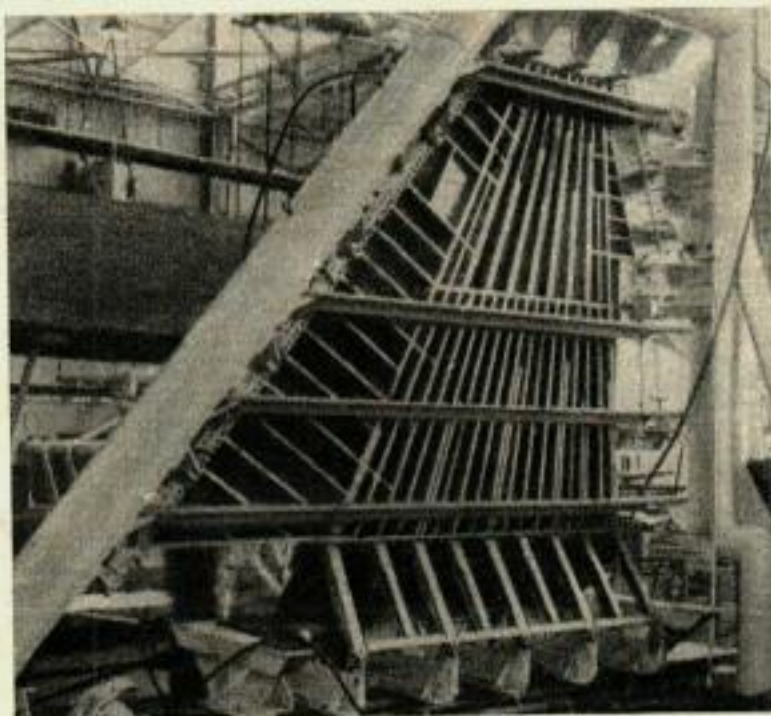
Une quantité assez petite d'agent stabilisateur permet d'obtenir les caractéristiques désirées. Par exemple, Ti-6Al-4V — l'alliage alpha-bêta le plus utilisé dans le commerce — contient 6 % d'aluminium, 4 % de vanadium et 90 % de titane. Il est plus que probable qu'une forte proportion d'alliage 4-6, ainsi qu'une demi-douzaine d'autres, entrent dans la construction de l'« A-11 ». Et certains de ces alliages ont dû être éprouvés d'une façon rigoureuse dans l'avion expérimental « X-15 » qui a atteint 6 500 kmh pendant de courtes périodes. On a annoncé que 18 % du « X-15 » est constitué d'alliages de titane.

Mais une fois l'alliage de titane désiré obtenu, de nouveaux problèmes se posent dès qu'on commence à le travailler. Quand il est en fusion ou porté au rouge — avec un chalumeau de soudeur par exemple — le titane se transforme en buvard métallique.





Cette chambre à vide a permis à Lockheed de résoudre des problèmes de soudure. Les soudeurs travaillent à l'aide de gants allongés et étanches passant à travers la paroi. La porte est fermée pendant l'opération.



Le titanium a été utilisé pour les longerons et les couples de cette aile destinée à l'avion-fusée « X-15 ». La technologie développée pour le « X-15 » a servi ensuite pour le « A-11 ».

A moins d'être séparé de l'atmosphère, il est contaminé et devient fragile.

Pour combattre cela, certains lingots de titanium sont recuits dans des fours spéciaux à vide. Une autre méthode plus simple et moins coûteuse consiste à laminier des plaques et des barres avec des dimensions plus grandes que les pièces demandées. Après refroidissement, la surface extérieure contaminée est meulée. Il faut quelquefois « écorcher » ainsi 1/4 mm d'épaisseur de métal contaminé.

Les constructeurs d'avions, dans l'impossibilité de placer leurs ateliers sous vide, ont découvert d'autres solutions. La North American Aviation, une des premières firmes à perfectionner et à utiliser le titanium, recouvre ce métal susceptible d'une pellicule de silicate appliquée sous pression pour l'isoler de l'air.

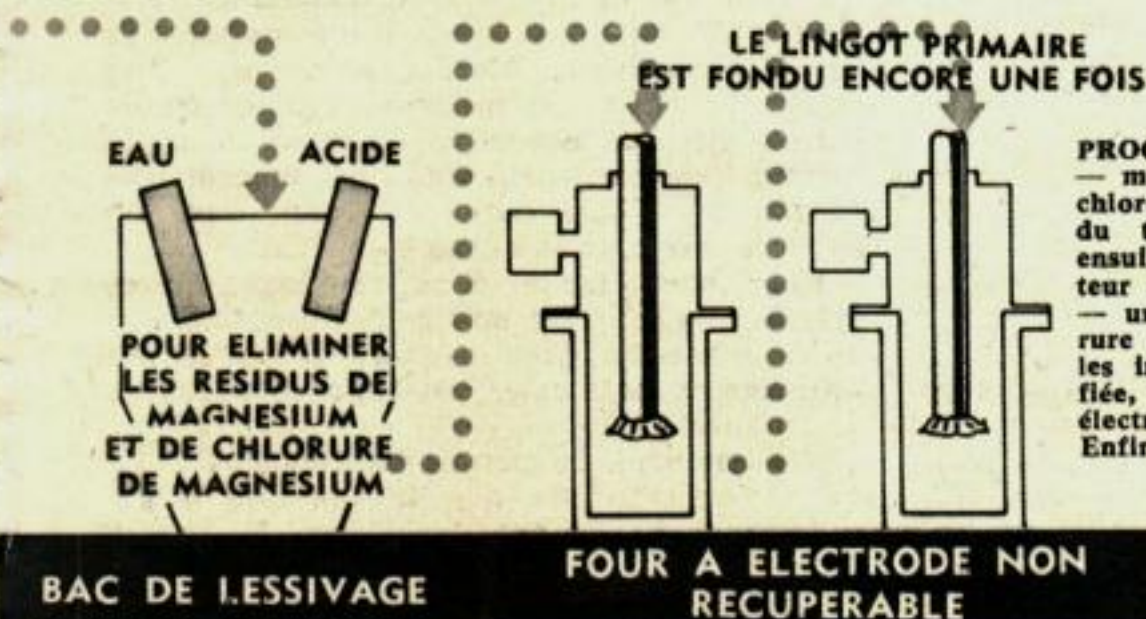
« Cela donne de très bons résultats, dit Wayne A. Reinsch, le contrôleur des métaux

pour le « B-70 ». Habillé de silicate, le titanium se laisse chauffer pendant plus de 3 heures à 600° C sans être contaminé. »

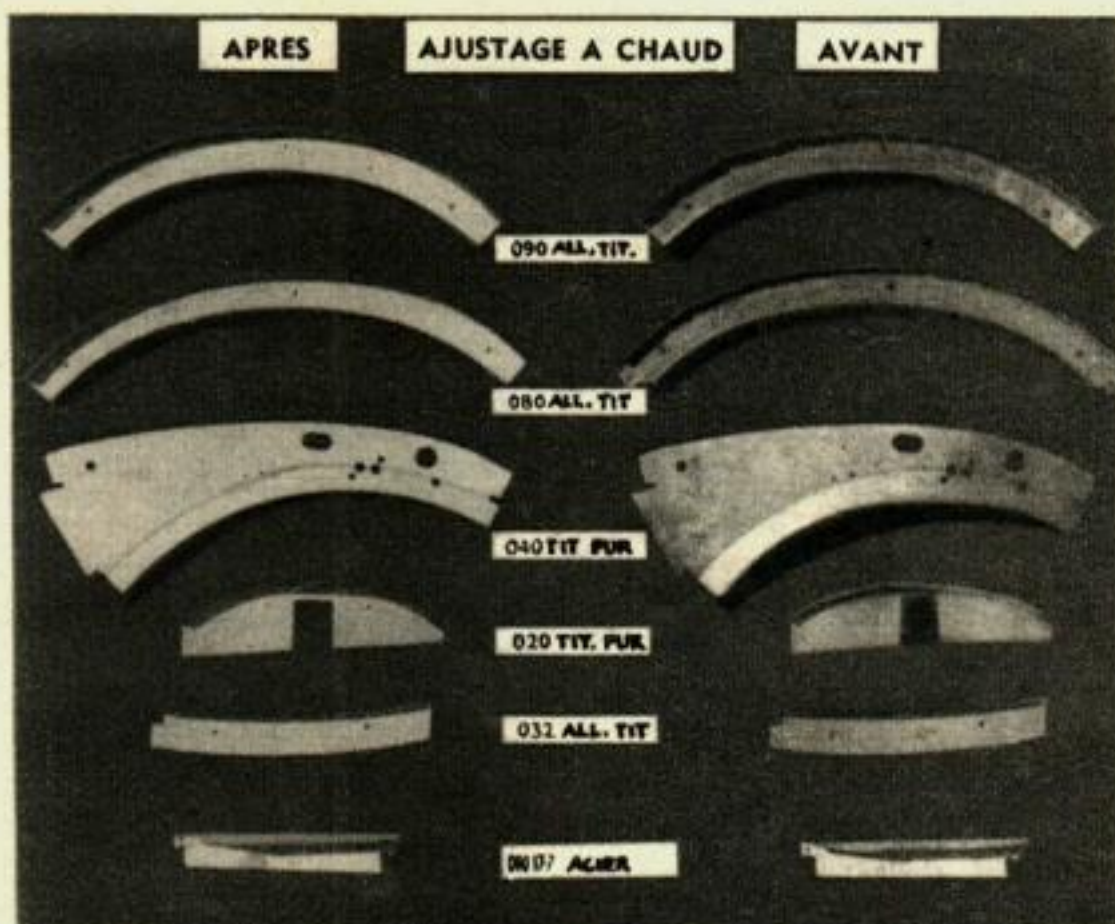
Décapage au jet

Une autre firme fabriquant le titanium — Basic Industries Inc., de Gardena, Calif. — emboutit le métal à la presse, à des températures pouvant atteindre 750° C. La chaleur crée sur la surface du métal une couche d'écailles d'oxydation. Mais un jet d'oxyde d'aluminium et de paillettes de verre, appliqué avec une lance du genre de celles qui servent à sabler, décape le métal et met à nu l'alliage intégral.

De tous les problèmes posés par le titanium, le plus difficile à résoudre est celui de la soudure. « C'est beaucoup plus une affaire de séparation qu'une affaire de soudure », voilà comment un ingénieur décrit la chose. Tout l'air en contact avec la soudure doit



PROCEDE DE RAFFINAGE : Le rutile — minéral de titanium — réagit avec le chlore (à l'extrême gauche) pour former du tétrachlorure de titanium combiné ensuite avec le magnésium dans le réacteur pour obtenir du titanium spongieux — un métal mou et gris — et du chlorure de magnésium. Après avoir lessivé les impuretés dans un bain d'eau acidifiée, le métal spongieux est formé en électrode et fondu à l'arc électrique. Enfin, une nouvelle fusion donne du titanium commercialement pur.



La température est le facteur principal dans la fabrication du titane. Les pièces qui sont alignées à droite sur la photo ont été usinées à la température normale — elles se sont ridées et déformées par la suite. Les défauts ont été corrigés en chauffant les pièces à 650° C et en les remettant en forme, comme visible à gauche.

être éliminé et remplacé par un gaz neutre tel que l'hélium ou l'argon.

De petites pièces sont souvent soudées dans une chambre à vide remplie d'argon. Le soudeur se tient à l'extérieur de la chambre, ses mains engoncées dans des gants spéciaux faisant saillie à l'intérieur. Des vitres lui permettent de voir ce qu'il fait.

Lockheed, le constructeur de l'« A-11 », dispose d'une chambre de ce genre. Mais certaines parties de l'« A-11 » ne peuvent être introduites dans la chambre qui n'a que 2,50 m de long. Il faut donc avoir recours à des techniques et à des outillages nouveaux ; des chalumeaux portant un ajutage supplémentaire qui habille la soudure d'une pellicule de gaz inerte et des coffrages qui enferment la soudure, l'isolant de l'air en l'entourant d'une atmosphère d'argon.

Les soudeurs de la North American Aviation entourent les pièces de titane de plastique transparent et leurs chalumeaux sont appliqués à l'intérieur de ce cocon.

Mais le plus dur de tous les ouvrages est la soudure des tuyauteries en titane. Il ne suffit pas d'enrober la surface extérieure du tuyau, il faut aussi isoler l'intérieur. Le tuyau doit être bouché, vidé d'air et rempli d'argon. Un producteur de titane recommande de remplacer l'air par six fois la même quantité de gaz inerte.

Gaine de verre

Lorsque les producteurs refoulent le titane pour en former des cornières ou des tubes, ils commencent par recouvrir les bielles à refouler d'une gaine de verre qui fait fonction de lubrifiant et protège le métal incandescent (chauffé vers les 1 000° C) de

la contamination par l'air. Il est possible de refouler de cette manière jusqu'à 300 mètres de tubes en moins d'une minute. Quand la pièce refoulée s'est refroidie, la gaine de verre et éventuellement refroidie, la gaine de dation sont éliminées soit par des moyens chimiques soit au jet.

Il faut le prendre par son point faible

Le titane en plaques ne peut être travaillé à la température normale. Quand il est embouti, il « récupère ». Il faut chauffer le métal parfois jusqu'à 750° C avant de le presser entre des matrices chauffées.

« Il faut surtout savoir à quelle température exacte l'alliage que vous travaillez va dire pousse et se laisser faire » a précisé un métallurgiste.

Le travail du titane à la perceuse, à la scie et au tour peut être une source de frustration. Si le mécanicien ralentit ou arrête l'outil, ce diable de métal se durcit et devient impénétrable. Mais Boeing chez qui le titane est une vieille connaissance prétend qu'il n'est pas plus dur à usiner que l'acier inoxydable. Mais cela prend quand même du temps, la méthode demandant de petites vitesses, beaucoup de pression et un refroidissement actif. Certains mécaniciens refroidissent leurs outils de coupe dans un bain de gaz carbonique à — 83°C.

Rien n'est facile dans l'usinage de ce métal contrariant et non conformiste mais si utile. Il résiste pied à pied. Il résiste au raffinage, à la meule, à l'emboutissage et à la soudure.

Néanmoins, il est permis maintenant d'affirmer avec certitude que le titane a été apprivoisé. Le « A-11 » en est la preuve volante.