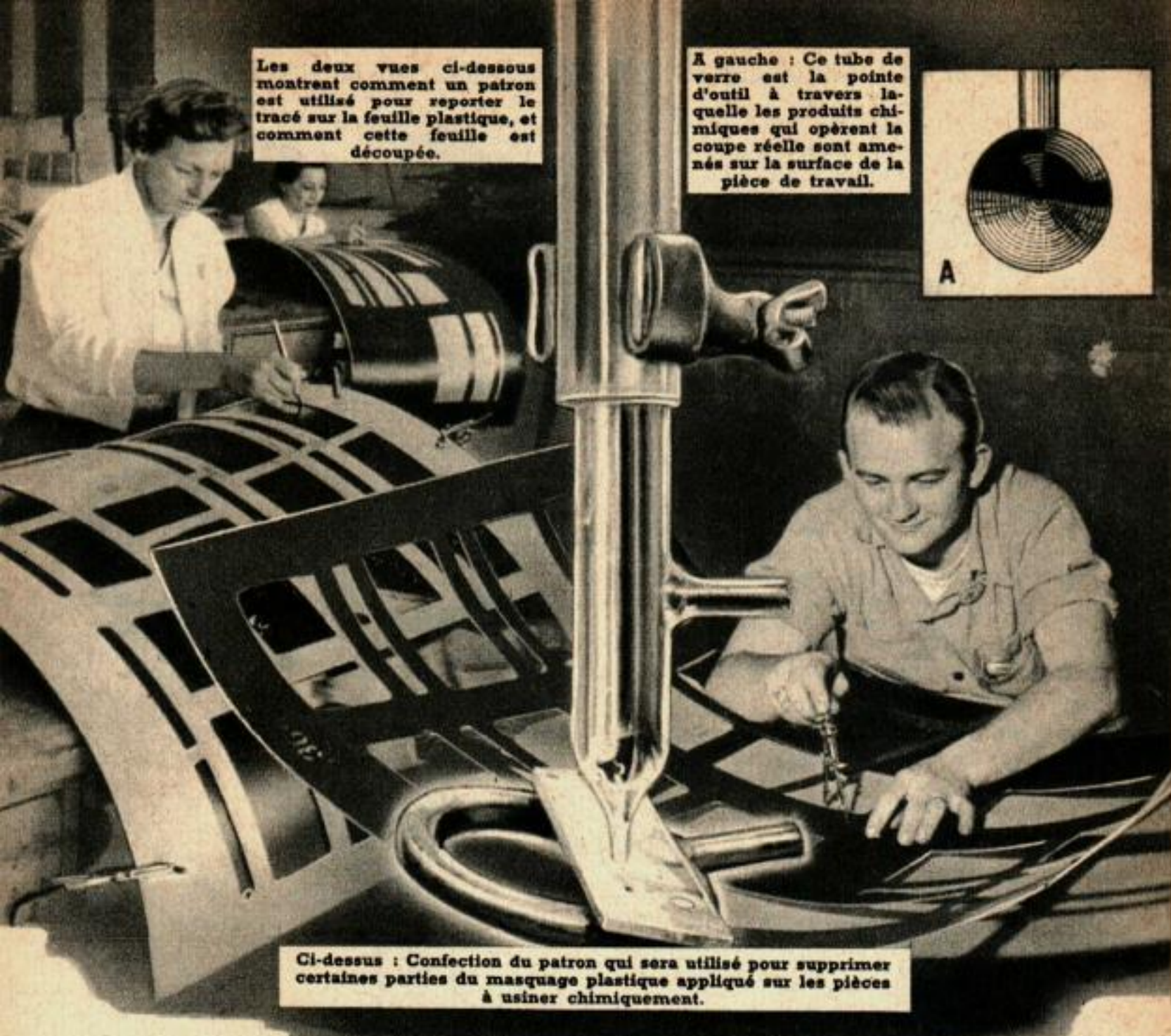
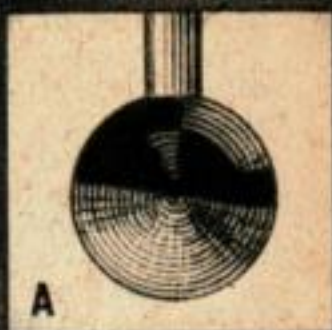




Les deux vues ci-dessous montrent comment un patron est utilisé pour reporter le tracé sur la feuille plastique, et comment cette feuille est découpée.

À gauche : Ce tube de verre est la pointe d'outil à travers laquelle les produits chimiques qui opèrent la coupe réelle sont amenés sur la surface de la pièce de travail.



Ci-dessus : Confection du patron qui sera utilisé pour supprimer certaines parties du masquage plastique appliqué sur les pièces à usiner chimiquement.

MAINTENANT ILS UTILISENT LES

... pour percer, former, fraiser, aiguiser, nettoyer et polir les métaux extra-durs suivant les horaires de fabrication les plus serrés.

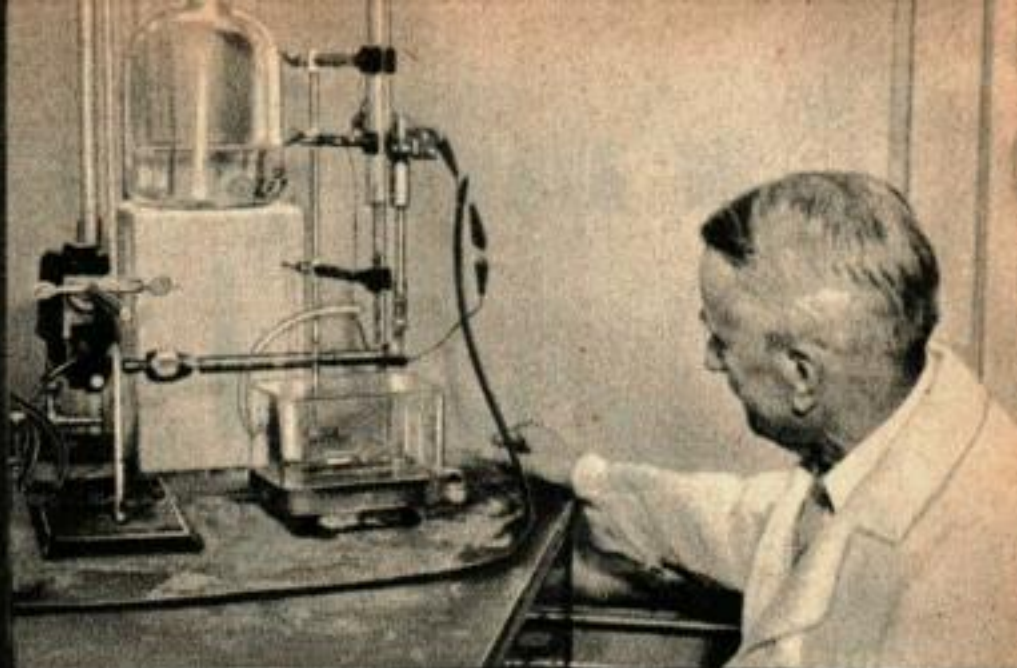
LES métallurgistes d'aujourd'hui fabriquent des métaux d'une dureté fantastique destinés à être utilisés dans les nouveaux groupes de production de force tels que les moteurs-fusées, les turbines à réaction et les tuyauteries des piles atomiques. Ces métaux résistent à des températures qui réduiraient des aciers ordinaires en poussière ou les transformeraient en liquides en quelques secondes. Certains de ces métaux doivent non seulement pouvoir supporter des chaleurs suffisantes pour faire fondre des rochers, mais encore subir des impacts explosifs sans se fissurer ou s'émietter ; ils doivent également résister à l'action corrosive des carburants chimiques tout nouvellement mis au point.

Ces nouveaux métaux, que les outils ordi-

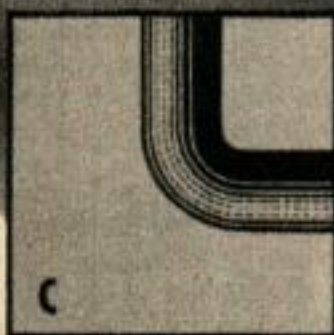
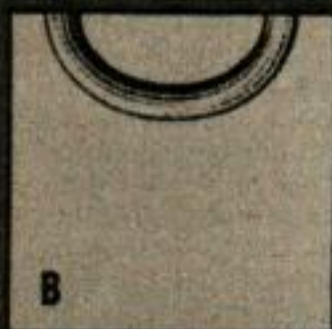
naires ne peuvent même pas égratigner, pour la plupart, ont posé ce qui semblait de prime abord être un problème d'usinage insoluble. Dans les premiers travaux expérimentaux, diverses méthodes d'usinage spéciales utilisant des outils de coupe mis au point à cet effet ont été essayées, puis abandonnées lorsque le travail s'est révélé être impraticable ou lorsque le temps d'usinage ne pouvait convenir à aucun programme de production moderne. C'est alors que les ingénieurs se souvinrent de certains acides qui érodent ou « mangent » le métal par action chimique. Et ils ont imaginé des « outils liquides » qui usinent tout ce qui peut être usiné, et qui exécutent le travail suivant des horaires égaux, et même en certains cas supérieurs en rapidité à ceux que



Voici un engrenage hélicoïdal dont la partie inférieure a été chimiquement polie en quelques minutes. Un polissage à la pierre appliqué à la main demanderait de longues heures.



Ceci est l'un des premiers montages de laboratoire pour l'usinage électrolytique. Le travail est maintenu en rotation au moyen d'un moteur et d'engrenages installés sous « l'outil » en verre que l'on voit sur le côté droit de l'appareillage.



Des rainures et des contours divers peuvent être coupés à des dimensions très précises dans les métaux les plus durs. Il suffit de faire tourner le travail sous l'outil.

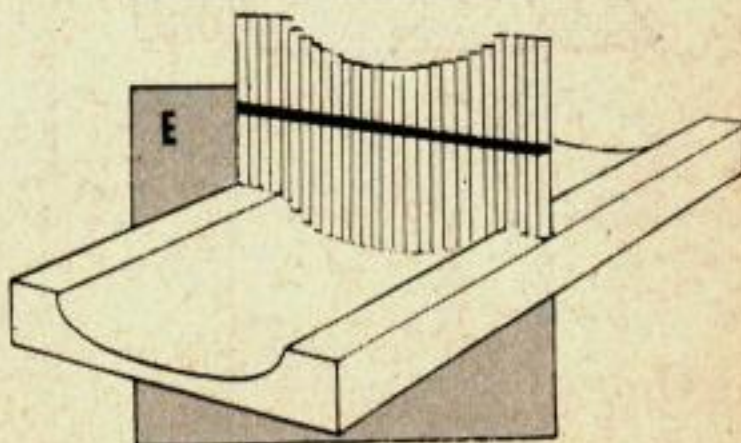
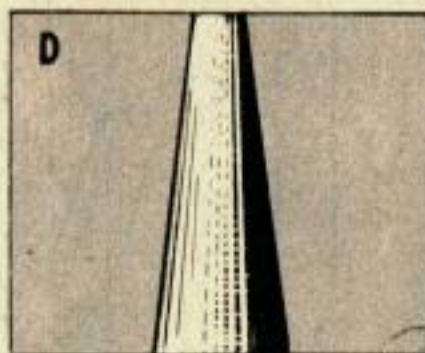
Les détails de A à D illustrent graphiquement la diversité qu'il est possible de réaliser dans la formation de trous par usinage électrolytique ou chimique. Le détail E illustre la formation de contours par un montage à multiples jets.

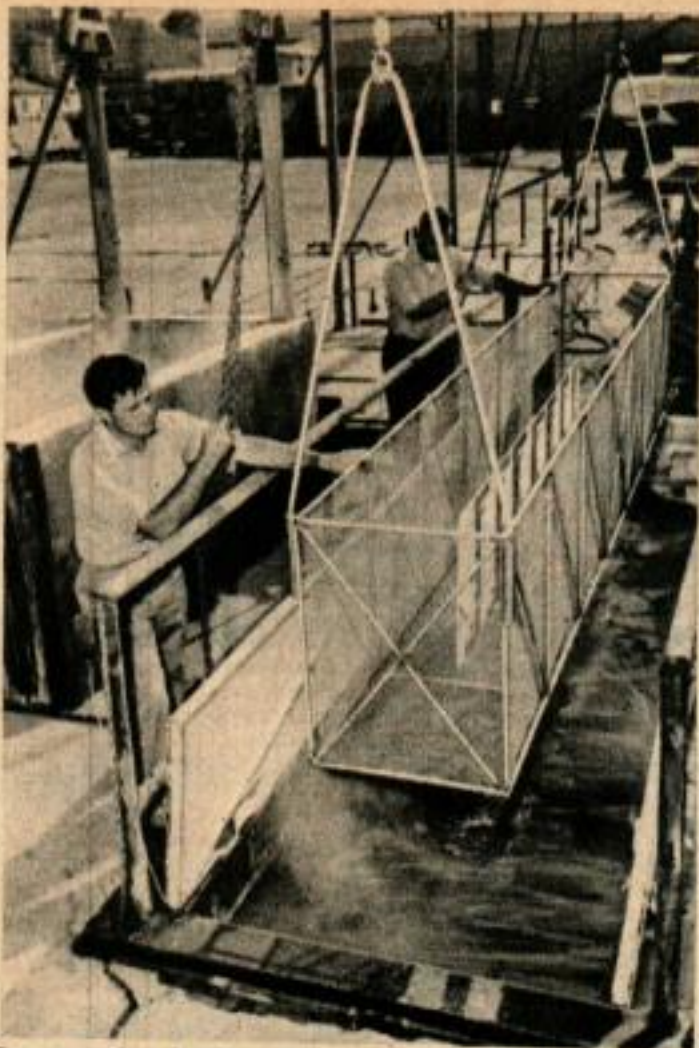
PRODUITS CHIMIQUES

permettent les méthodes normales les plus rapides pour l'usinage des métaux communs en atelier.

C'est ainsi que, par exemple, l'ingénieur E. V. Howe, de la compagnie « General Electric », a démontré la vitesse et la précision des « outils liquides » sur une barre d'alliage de cobalt et de carbure de tungstène, l'un des plus durs de tous les métaux les plus durs.

Il a expérimentalement percé deux trous de précision dans celle-ci. Le perçage du premier trou, effectué par les méthodes traditionnelles, demanda près de trois jours d'usinage, et le deuxième trou fut percé en 15 minutes. En utilisant des « outils liquides », Howe peut percer un trou dans l'une des faces du travail et l'agrandir à l'intérieur du matériau, percer un trou pénétrant dans une face du travail et sortant par la même face, percer un trou dans une face et débouchant sur une face adjacente, ou percer un





Les grandes feuilles de tôle destinées à être usinées chimiquement sont placées dans un panier de support qui est ensuite descendu dans une cuve contenant « l'outil liquide ». La durée d'immersion est surveillée de très près.

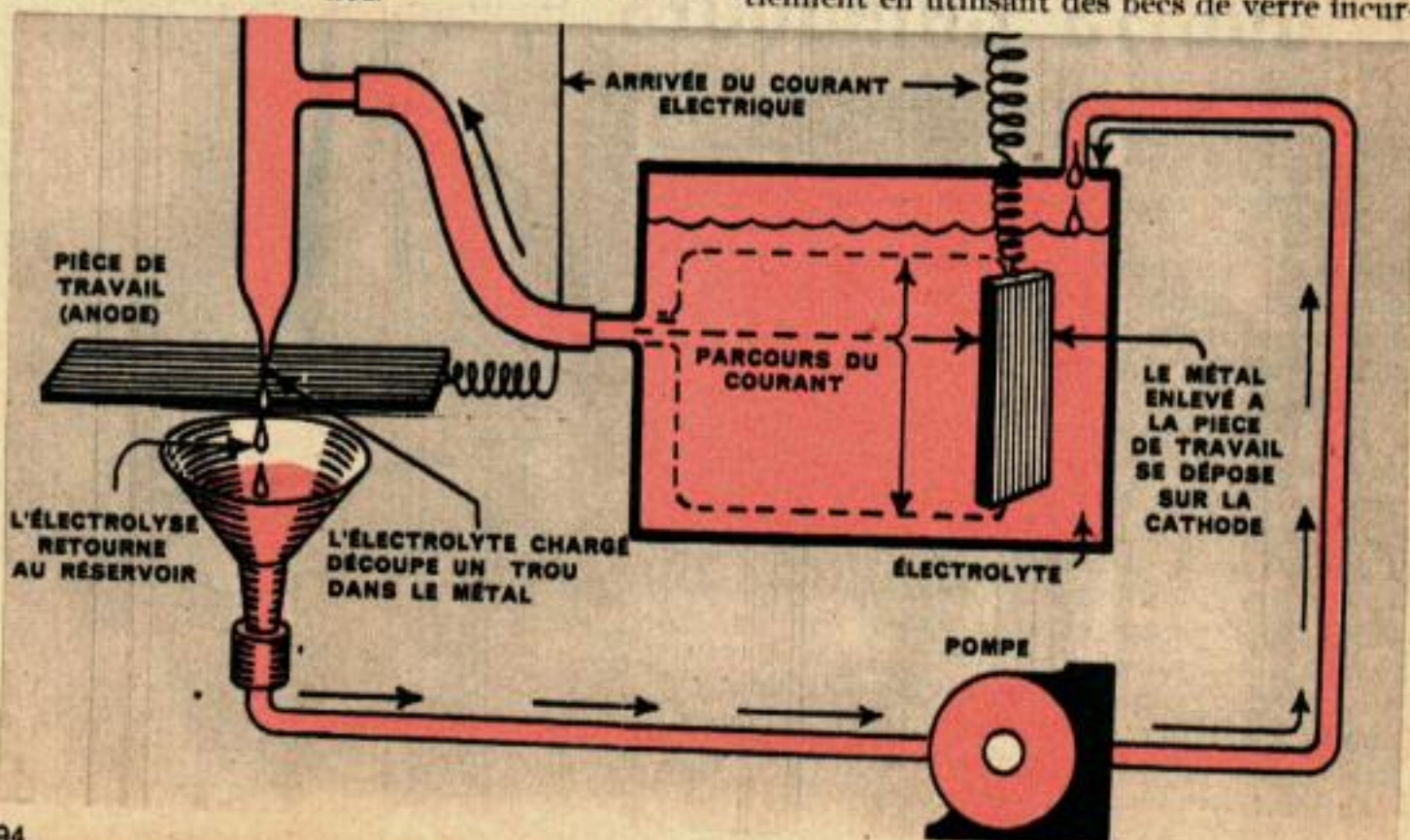
trou à un diamètre et à un degré de conicité donnés, voir détails A à D inclus. Les alliages durs peuvent être usinés sur toutes leurs faces, être rainurés et épaulés à des dimen-

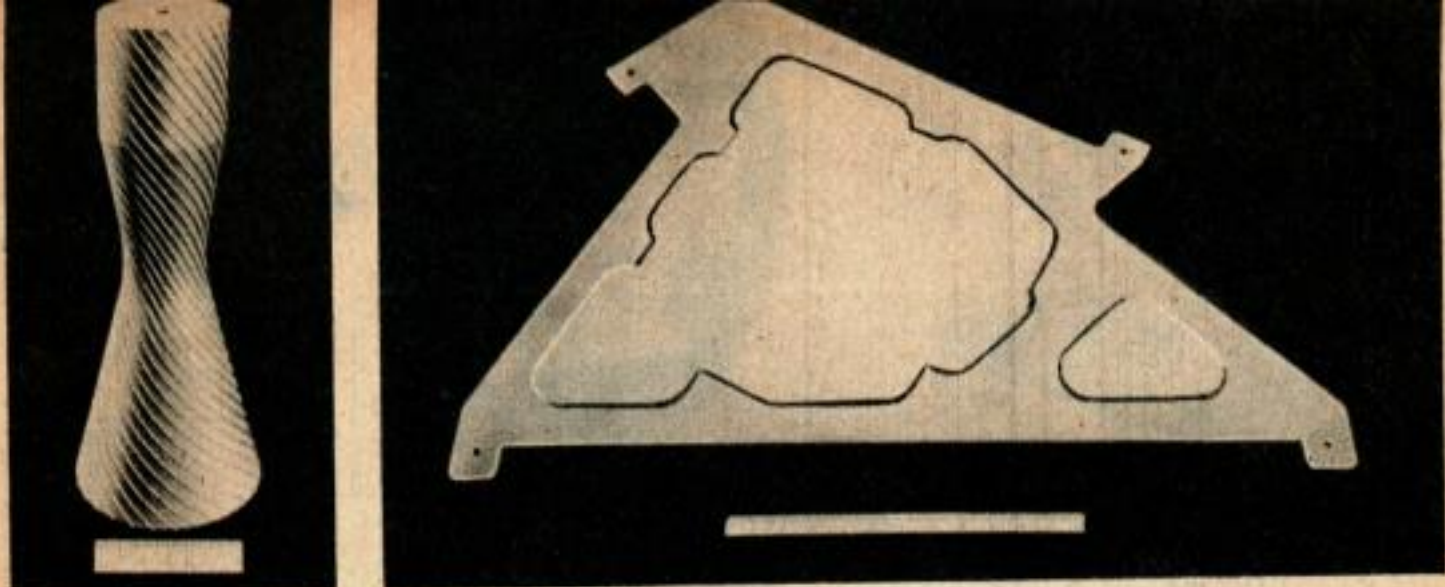
Les petites pièces sont usinées au moyen de l'installation schématisée ci-dessous. Dans celle-ci, un bec en verre est utilisé pour concentrer le travail de « l'outil liquide », comme par exemple pour le perçage d'un trou.

sions de précision. En disposant des pointes d'outils côte à côte dans un support convenable comme le montre le détail E, il est possible d'usiner la surface d'une pièce à peu près à n'importe quel contour.

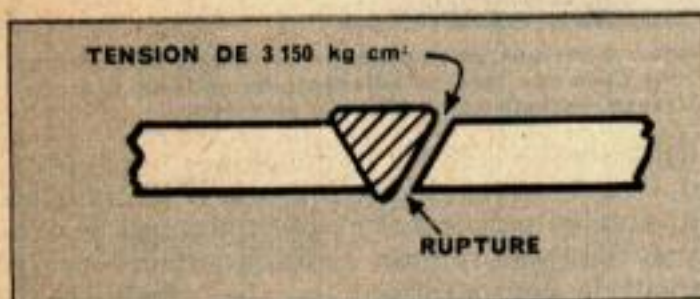
Les pièces finies peuvent être polies à un degré dont la brillance et la douceur égalent ou dépassent tout ce qu'il est possible d'obtenir par les méthodes ordinaires de meulage et de polissage. Et, dans certains cas, ceci peut être réalisé en une fraction seulement du temps requis pour l'usinage par les méthodes traditionnelles.

Le procédé peut être décrit en de simples termes comme un placage électrolytique à rebours. Des particules de métal sont enlevées du travail qui forme l'anode, et déposées sur la cathode. Des combinaisons électrisées d'acides sulfurique, chlorhydrique et fluorhydrique additionnés de divers sels (électrolytes) sont pompées à travers un système semblable à celui qui est schématisé ci-dessous. L'électrolyte s'écoule à travers un tube de verre de forme spéciale sous certaines conditions contrôlées de très près, et enlève de minuscules particules de métal de la pièce à usiner. Le tube de verre, dont l'extrémité est resserrée pour former un très petit orifice, ne touche lui-même jamais le travail. Il ne sert qu'à diriger l'écoulement de l'électrolyte qui effectue la « coupe ». En utilisant des bords de verre simples ou multiples en diverses formes et en divers arrangements, il est possible de reproduire à peu près toutes les coupes d'usinage ordinaire sur les métaux les plus durs. Dans le perçage des trous et dans certaines autres coupes, le calcul de la vitesse avec laquelle le liquide traverse le métal permet d'obtenir le taux d'avancement à imprimer au bec de verre pour obtenir un trou de diamètre donné, ou une coupe de profondeur donnée. Les trous incurvés, les tournants à angle droit à l'intérieur du matériau, et diverses autres coupes de pénétration s'obtiennent en utilisant des bords de verre incur-

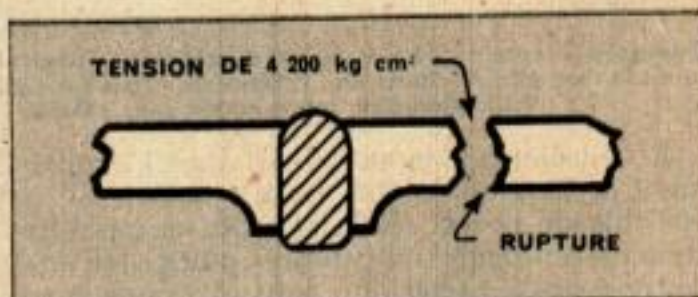




Rainures hélicoïdales coupées sur l'extérieur d'une tuyère de fusée par fraisage chimique. Ces rainures serviront de canalisations de refroidissement lorsque le revêtement extérieur aura été monté. A droite : Evidements usinés chimiquement dans un panneau de tôle mince.



Cette feuille de tôle d'aluminium se rompt à la soudure lorsqu'elle est placée sous tension. La tôle n'a pas été usinée. Comparer avec le détail de droite.

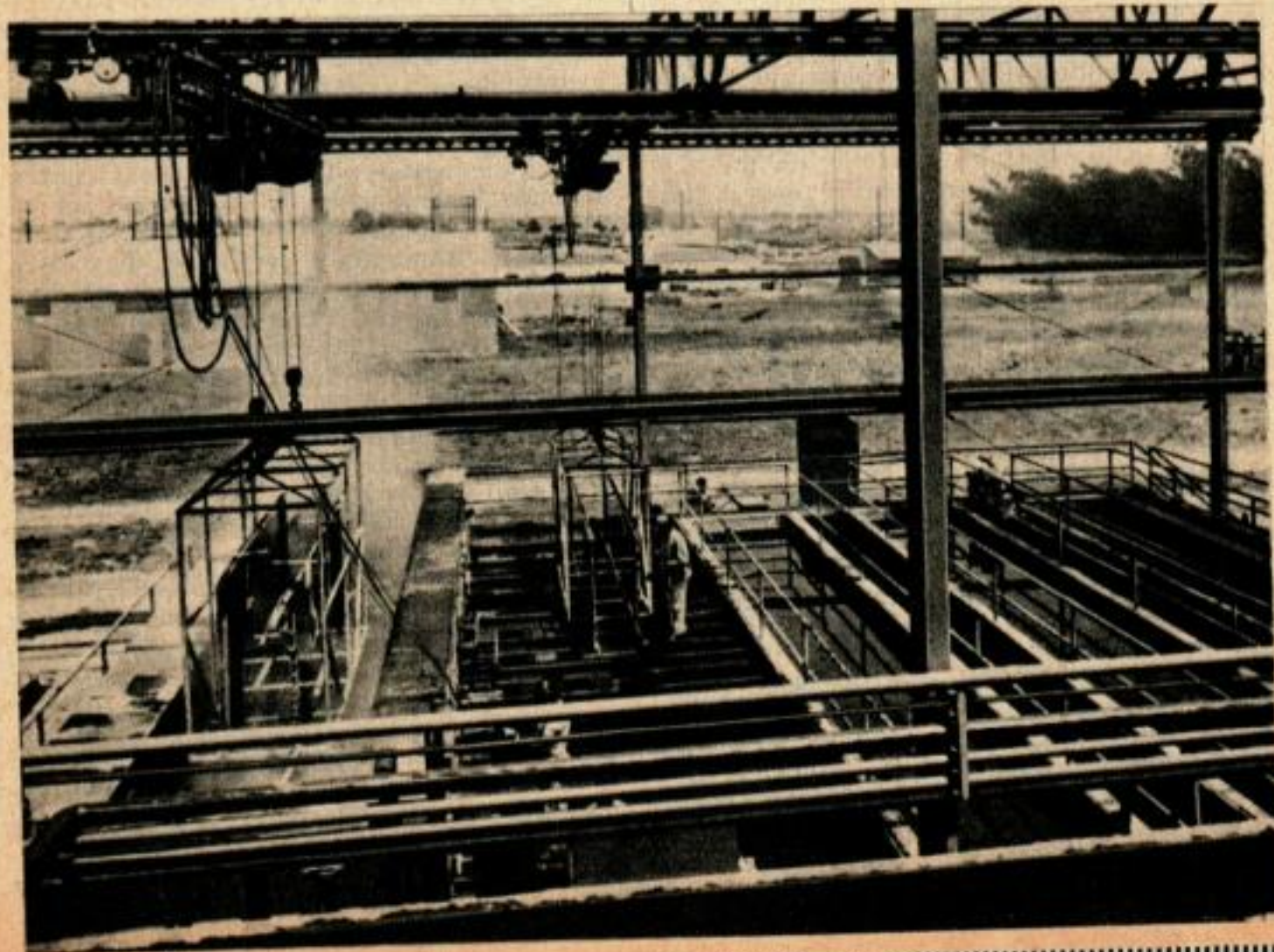


Une feuille de tôle semblable à celle de gauche, mais usinée après soudage, ne se rompt pas à la soudure, même sous une plus forte tension.

vés, des becs flexibles ou des becs comportant des ouvertures disposées sur le côté au lieu de l'être en extrémité. D'après les ingénieurs qui ont conduit ces travaux expérimentaux, le secret de l'obtention de résultats précis et

uniformes consiste à déterminer quel est exactement l'électrolyte convenable pour un métal déterminé, puis à appliquer à cet électrolyte une charge électrique ayant exactement la densité voulue.

La photo ci-dessous montre comment sont disposés des bacs suffisamment grands pour l'immersion de grandes pièces d'aviation. Des palans sur rails de roulement sont prévus pour permettre d'abaisser et d'élever les paniers de support dans lesquels sont placées les pièces. Le temps de l'immersion est contrôlé avec précision.





Quelques exemples de perçage et d'évidement électrolytique sur métaux extra-durs. La cordelette montre comment le trou pénètre dans une surface de la pièce et débouche dans une surface adjacente de celle-ci. A droite : Utilisation d'un micromètre pour vérifier l'épaisseur restante après fraisage chimique.

En accélérant ou en ralentissant l'avancement du bec suivant un taux constant, il est possible de percer des trous présentant une conicité uniforme d'à peu près n'importe quel degré requis. Lorsqu'un taux d'avancement de coupe uniforme a été établi pour un montage de travail donné, il est possible de reproduire certaines pièces en série à l'état de finition ou de semi-finition avec une précision comparable à celle de l'usinage en série de matériaux communs par les méthodes traditionnelles.

Un autre procédé, similaire en principe, mais différent en application, a également été mis au point. Au lieu de confier l'action de coupe de l'outil chimique à une très petite zone, comme c'est le cas pour le perçage et les autres opérations effectuées avec un tube ou bec de verre, le matériau à usiner ou à fraiser est enduit d'un cache plastique comme première phase du travail. L'enduit plastique est ensuite recoupé en utilisant un patron ou gabarit délimitant les portions du métal à recouper. Le travail est ensuite abaissé dans une cuve contenant « l'outil chimique » qui coupe les portions exposées du métal et laisse intactes celles qui sont protégées par le cache. La durée d'immersion est déterminée par un dispositif de minutage réglé à l'avance. A la fin de la période ainsi pré-déterminée, le travail est extrait du bain automatiquement, puis il est ensuite rincé dans un bain neutralisant.

Cette simple méthode d'usinage de découpes et d'évidements dans les métaux est maintenant largement utilisée par les industriels qui fabriquent de grandes structures pour avions et aussi par ceux qui fabriquent les pièces hautement spécialisées des fusées de guerre. Cette nouvelle méthode de fraisage chimique, ainsi qu'elle a été appelée, crée non seulement des formes qu'il est difficile ou même impossible d'usiner par les méthodes traditionnelles, mais permet encore de produire de nombreuses pièces plus vite à meil-

leur marché qu'avec les machines-outils ordinaires. Il a été découvert que ces nouvelles méthodes permettaient de maintenir le travail dans des tolérances subissant favorablement la comparaison avec les pratiques de fabrication traditionnelles. Le résultat de ceci est que le fraisage chimique a été appliqué, non seulement à la formation et à l'usinage des métaux extra-durs, mais encore au travail des métaux plus tendres tels que l'aluminium, le magnésium et les aciers au carbone. Des pièces coulées et forgées de certains types sont maintenant formées avec des « outils chimiques ». Des « containers » d'expédition en acier, des antennes de radar, des turbines de pompe, et même des panneaux décoratifs en métal ont été produits par cette méthode. Celle-ci a également été étudiée expérimentalement pour son application éventuelle à la réfection et à l'aiguillage des outils à bord de coupe.

Pour le moment, le fraisage chimique est principalement appliqué dans la construction aéronautique, pour laquelle les vitesses d'usinage et la réduction du poids sont de toute première importance. A titre d'exemple, signalons que chaque livre qui peut être supprimée des pièces d'une fusée sans nuire à l'efficacité et à la résistance de celles-ci donne au projectile un supplément d'altitude de 5 km environ, avec l'accroissement de portée correspondant. Les tubulures qui amènent le carburant aux moteurs des fusées sont tout d'abord pliées à la forme requise, puis elles sont réduites chimiquement à une épaisseur de paroi minima.

Les extrémités des conduites, qui requièrent une épaisseur supplémentaire pour supporter les colliers de serrage, sont masquées pendant le processus de l'usinage et conservent leur épaisseur d'origine. Ceci permet d'économiser jusqu'à 20 livres de poids par fusée. C'est de la même manière qu'une centaine de livres de métal inutile est éliminée des cloisonnements annulaires des

avons de la série « Constellation » fabriqués par Lockheed, une économie de poids qui n'était pas praticable avant l'invention du fraisage chimique, car cette élimination de métal coûtait trop cher lorsqu'elle devait être effectuée par les méthodes normales.

« L'usinage chimique n'avait qu'un très petit nombre d'utilisations lorsque nous l'avons mis au point il y a cinq ans, dit Manuel C. Sanz, le chef du Service des Recherches sur les Matériaux de la Division des Fusées de la compagnie « North American Aviation ». Puis nous avons découvert que nous pouvions exécuter de nombreux « trucs » avec cette méthode.

« Nous pouvons effiler l'épaisseur d'une feuille de tôle simplement en faisant descendre celle-ci très lentement dans le bain chimique, en utilisant à cet effet un palan à dispositif de minutage qui l'immerge à une vitesse pré-déterminée. La profondeur de l'attaque dépend de la durée d'immersion, ce qui permet d'obtenir un amincissement « biseauté » très progressif. Un effet quelque peu similaire peut être obtenu en immergeant la feuille de tôle par phases successives, ou en la démasquant progressivement.

« Pour obtenir une forme bombée, nous mettons la pièce en rotation et nous l'immergeons lentement en même temps. Ses bords extérieurs restent plus longtemps dans le bain que le matériau qui se trouve près du centre, ce qui fait qu'une plus grande quantité de métal est enlevée des bords

« Il est naturellement des choses que l'usinage chimique ne peut pas faire. Celui-ci n'éliminera aucun des outils standard. Mais, dans certains domaines, il a été estimé qu'un équipement chimique d'une valeur de 15 millions de francs pouvait délivrer la même somme de travail que trois fraiseuses coûtant peut-être 300 millions de francs. »

L'un des plus grands avantages du procédé d'usinage chimique est qu'il permet de travailler sur un seul ou sur les deux côtés de matériaux extrêmement minces sans aucun risque de distorsion provoquée par la tension ou de voilage provoqué par la chaleur. Ceci permet de réaliser des formes complexes et des conceptions enchevêtrées en réalisant une grosse économie sur le prix de l'estampage qui exige des matrices très coûteuses et un investissement considérable en machines individuelles.

