Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 84 (1958)
Heft: 8: Outillage

Artikel: L'évolution des outils de coupe et des méthodes d'usinage
Autor: Auer, R.-C.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-63487

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 14.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

84e année Lausanne, 12 avril 1958 N° 8

BULLETIN TECHNIQUE DE LA SUISSE ROMANDE

paraissant tous les 15 jours

ORGANE OFFICIEL
de la Société suisse des ingénieurs et des architectes
de la Société vaudoise des ingénieurs et des architectes (S.V.I.A.)
de la Section genevoise de la S.I.A.
de l'Association des anciens élèves de l'E.P.U.L. (Ecole polytechnique de l'Université de Lausanne)
et des Groupes romands des anciens élèves de l'E.P.F. (Ecole polytechnique fédérale de Zurich)

COMITÉ DE PATRONAGE
Président: J. Calame, ing. à Genève
Vice-président: † G. Epitaux, arch. à Lausanne
Membres:
Fribourg: H. Gicot, ing.; M. Waeber, arch.
Genève: Cl. Grosgurin, arch.; E. Martin, arch.
Neuchâtel: J. Béguin, arch.; R. Guye, ing.
Valais: G. de Kalbermatten, ing.; D. Burgener, arch.
Vaud: A. Chevalley, ing; A. Gardel, ing.; E. d'Okolski, arch.; Ch. Thévenaz, arch.

CONSEIL D'ADMINISTRATION
de la Société anonyme du « Bulletin technique »
Président: A. Stucky, ing.
Membres: M. Bridel; R. Neeser, ing.; P. Waltenspuhl, arch.
Adresse: Ch. de Roseneck 6, Lausanne

RÉDACTION
D. Bonnard, ing.
Rédaction et Edition de la S. A. du « Bulletin technique »
Tirés à part, renseignements
Adresse: Case Chauderon 475, Lausanne

ABONNEMENTS

1 an	Suisse Fr. 26.—	Etranger. .	Fr. 30.—
Sociétaires . . .	» » 22.—	» . .	» 27.—
Prix du numéro . . .	» » 1.60		

Chèques postaux: « Bulletin technique de la Suisse romande », N° II. 57 75, Lausanne.
Adresser toutes communications concernant abonnement, changements d'adresse, expédition, etc., à: Imprimerie La Concorde, Terreaux 29, Lausanne

ANNONCES
Tarif des annonces:

1/1 page.	Fr. 275.—
1/2 »	» 140.—
1/4 »	» 70.—
1/8 »	» 35.—

Adresse: Annonces Suisses S. A.
Place Bel-Air 2. Tél. (021) 22 33 26. Lausanne et succursales

SOMMAIRE

L'évolution des outils de coupe et des méthodes d'usinage, par R.-C. Auer, ingénieur RIAT – Outillage Eskenazi S. A. Genève.
L'outillage diamanté dans les industries mécaniques, électriques et électroniques, par P. Eglème, ing. civil diplômé, Bruxelles.
Conception, fabrication et emploi de l'outil de coupe par enlèvement de copeaux en carbure de tungstène, par Prof. Dr. ing. habil. Dr. J. Witthoff, Essen
La tenue de coupe de l'outillage, par Raymond Naville, ingénieur dipl. E.P.F., Nidau
L'actualité aéronautique VI
Bibliographie — Documentation générale — Service de placement
Informations diverses : Foire suisse d'échantillons de Bâle

9:621.96.02

L'ÉVOLUTION DES OUTILS DE COUPE ET DES MÉTHODES D'USINAGE

par R.-C. AUER, ingénieur RIAT — Outillage ESKENAZI S.A., Genève

Introduction

A côté de l'évolution de la technique en général qui nous frappe tous, il est curieux de constater que souvent les techniciens méconnaissent le développement des outils de coupe et des méthodes d'usinage qui pourtant jouent un rôle important en pratique.

Il faut préciser qu'il s'agit en effet d'un domaine assez complexe, car les *outilleurs* dépendent d'abord des *métallurgistes* avec lesquels souvent ils se confondent, ainsi que des *constructeurs de machines-outils* qui exigent des outils un rendement toujours plus grand.

Il se trouve ainsi que l'outillage et la machine-outil font une perpétuelle course-poursuite du fait des exigences sans cesse croissantes que la technique impose à l'outil.

En l'occurrence, on recherche :

une plus grande vitesse de coupe ;
une plus grande résistance à l'usure ;
une plus forte tenue à chaud ;
une meilleure ténacité.

Ces besoins réunis ont créé une industrie très spécialisée, occupée à solutionner des problèmes d'usinage, à construire de nouveaux outils ainsi qu'à trouver de nouveaux procédés. Les spécialistes de la branche estiment toutefois que l'effort scientifique n'est pas encore suffisant vis-à-vis d'autres secteurs de la mécanique ; en effet, jusqu'à ces dernières années, les recherches avaient plutôt un caractère empirique qu'analytique.

Historique

La création de l'outil de coupe est née avec l'humanité, car l'homme a toujours désiré couper et tailler, en réalisant un outil ou une arme quelconque avec un matériau d'une dureté plus élevée que l'objet à travailler ou blesser.

Matériau et outilleur sont ainsi liés, ce qui montre bien la parenté qui unit ce dernier au métallurgiste.

Dans l'antiquité, la machine-outil n'existant pas, on retrouve les mêmes affinités, puisque l'on sait que

l'acier était déjà connu. En effet, Homère nous apprend, dans son *Odyssée*, que nos ancêtres faisaient du traitement thermique. Les Romains étaient également préoccupés par la réalisation d'outils qui, « avec l'aide de l'eau et du feu », deviennent très durs et permettent d'ouvrager des objets métalliques. Pline l'Ancien (premier siècle ap. J.-C.) note que les « outilleurs » de l'époque trempaient les outils à l'eau ou à l'huile, selon la fonction ou les circonstances.

Quelques stades de cette évolution jusqu'à nos jours

Il faut évidemment remonter à la fin du siècle passé pour voir apparaître un début d'industrie de l'outil de coupe. La lenteur de cette évolution est expliquable par le fait que ce n'est effectivement qu'en *1750* que se réalise l'idée que le fer peut être raboté comme le bois. On en retrouve une trace dans le *Recueil des Machines et Inventeurs*, approuvé par l'Académie des Sciences *(fig. 1, 2, et 3)*.

C'est à cette époque qu'on voit officiellement la naissance de la machine-outil et la consécration du « burin de rabotage » et c'est à ce moment aussi que commence le concours perpétuel entre la machine et l'outil de coupe, outil dont auparavant l'utilisation n'était que manuelle, et de ce fait d'un rendement très limité, alors que dès maintenant la production des copeaux va se faire en série.

Dès *1750*, l'évolution de l'outillage sera rapide, grâce, d'une part, au précurseur de la métallurgie Lavoisier et plus près de nous à des savants comme Taylor, et, d'autre part, au progrès continuel de la machine-outil. En effet, aussitôt après la *raboteuse* de Focq, ce même « mécanicien » crée l'*aléseuse*. A ce propos, il est peut-être intéressant de préciser que l'*affûtage* des outils avec des meules abrasives était alors pratiquement au point, puisqu'en 1760 Jors signale que « les petits ciseaux de l'aléseuse de Focq peuvent être enlevés quand on veut les aiguiser sur une meule placée tout auprès, parce qu'il faut autant qu'il est possible qu'ils marchent tous en même temps ».

La construction mécanique de l'outil évolue également dans *la recherche de la forme la plus efficace* et ceci notamment pour les outils travaillant à la torsion, tels les mèches hélicoïdales, alésoirs et tarauds, desquels on exige qu'ils soient à la fois durs et tenaces. Pour la forme des fraises, il y a eu une lente évolution et l'on pourrait aussi bien admettre que Focq a été le créateur d'une fraise monodent, avec son premier burin à aléser, comme Archimède serait le précurseur du taraud après avoir dessiné sa spirale.

Pendant plus d'un siècle, l'outil de coupe se développe et s'améliore, réalisé avec des aciers toujours plus riches, jusqu'à l'apparition en 1900, à l'Exposition de Paris, de *l'acier « à coupe rapide »*, mis au point par *Taylor* et *White*, acier qui va marquer cette époque et procurer de l'avance à l'outil de coupe sur la machine-outil.

Cette importante amélioration métallurgique est une étape dans la fabrication de l'outillage, et dès cet instant l'outil de coupe pourra présenter des caractéristiques distinctes :

tenue de coupe à chaud ;
ténacité ;
résistance à l'usure

caractéristiques que l'on fera varier en fonction du rôle de l'outil.

Parallèlement, *les traitements thermiques* de ces aciers spéciaux se développent et, si jusqu'à la fin du XIXe siècle, ces opérations n'étaient étayées par aucun contrôle de laboratoire, des progrès très nets, dès le début du XXe siècle, sont réalisés grâce à plusieurs grands métallurgistes.

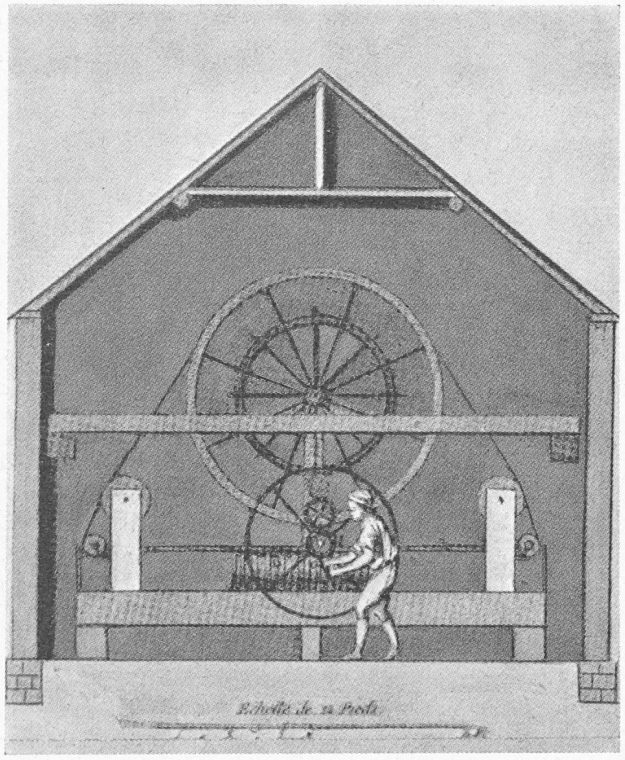


Fig. 1. — La machine à raboter de Nicolas Focq.

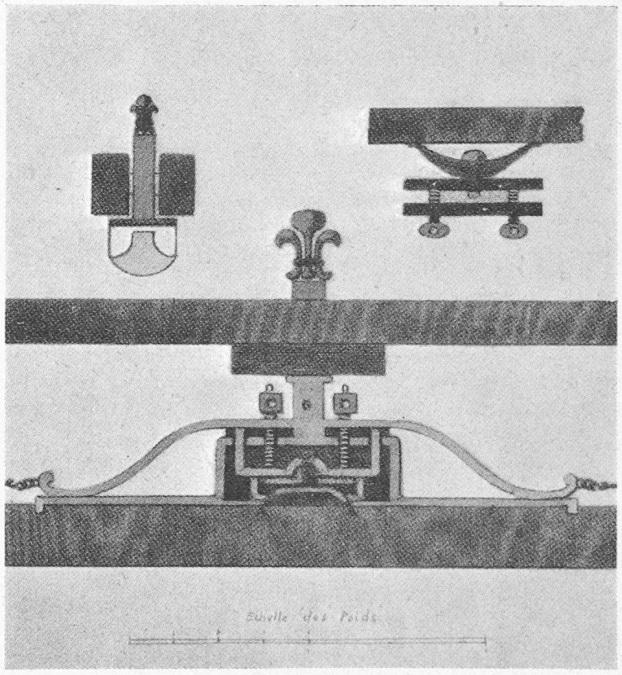


Fig. 2. — L'outil de la raboteuse de Focq.

D'un autre côté, l'apparition de la *production en série* favorise l'étude des *angles de coupe les plus favorables* pour obtenir le meilleur rendement. L'Américain Taylor, entre autres, est vivement intéressé par ce facteur dans ses études sur la rationalisation de la production.

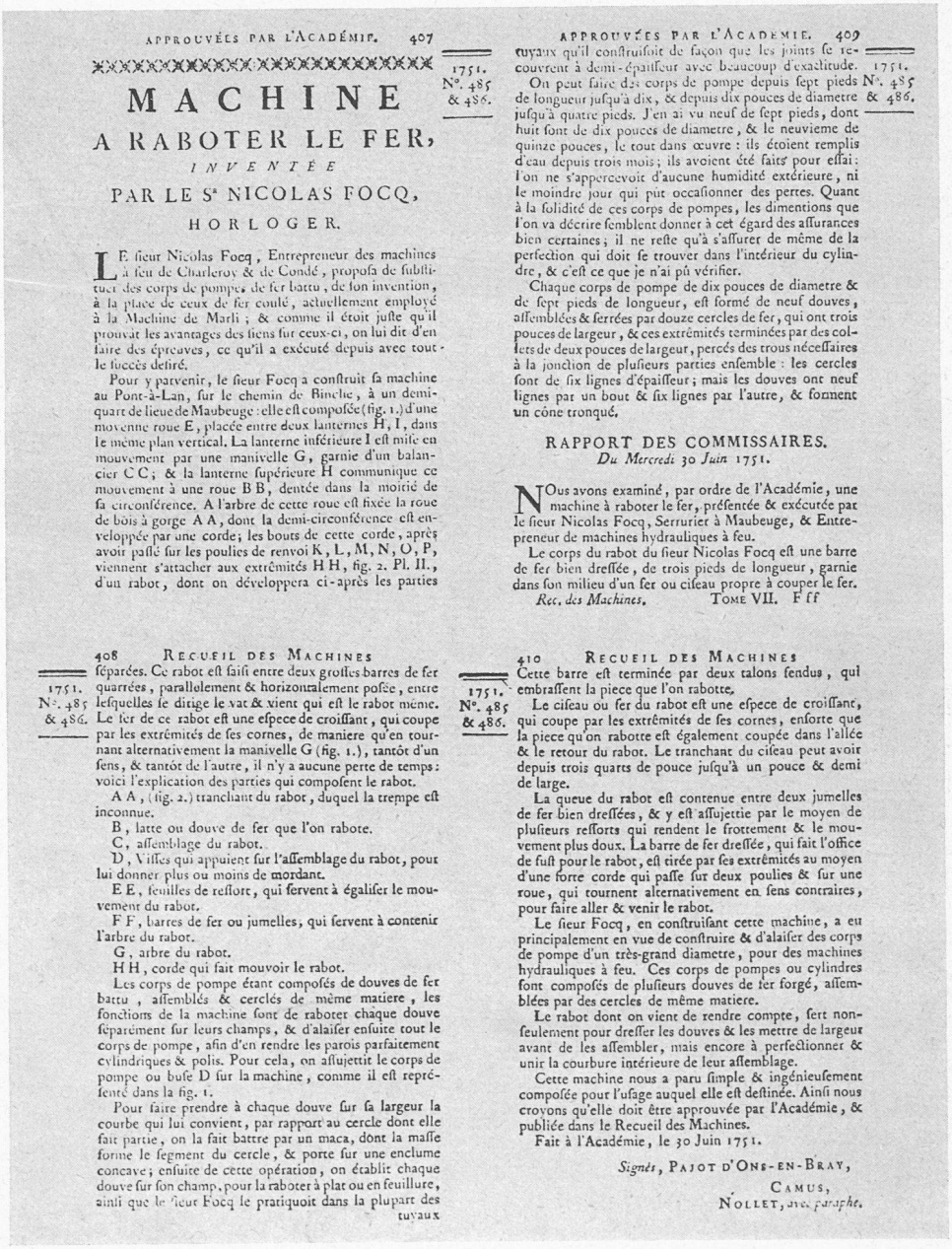
Signalons encore les premières *études sur l'amélioration de la qualité des états de surface*, pour diminuer l'usure des outils, ainsi que les *traitements thermiques superficiels* pour, non seulement diminuer l'usure, mais aussi favoriser le glissement du copeau. Enfin, l'amélioration de la coupe a été favorisée par la lubrification, champ d'étude nouveau ouvert aux chimistes qui forme actuellement le domaine important des *huiles de coupe*. Ces évolutions ont du reste un caractère simultané.

Précisons encore que l'amélioration des états de surface a obligé les fabricants de *meules abrasives* à étudier la production de nouvelles matières, avec des grains toujours plus fins.

Vers 1910, la fabrication de l'outil de coupe est influencée par l'apparition d'« *alliages coulés à très forte teneur* », comme la Stellite découverte par Haynes qui, dans certains cas, donne des résultats inattendus.

Après 1918, on constate que les constructeurs de machines-outils, par des efforts constants, sont en avance sur l'outil de coupe. En effet, ils présentent des machines-outils rigides, équipées de moteurs puissants, qui produisent des articles en série, après avoir été mises au point par la fabrication des armes et des munitions ; l'outil restait en acier rapide ou en alliage coulé.

En 1926, c'est l'apparition de la *métallurgie des poudres*, caractérisée par l'application des carbures métalliques, qui va bouleverser les méthodes d'usinage, et plus particulièrement le tournage. Les *carbures métalliques* représentent, pour les outils de coupe, le même progrès que l'apparition du réacteur dans l'aviation



APPROUVÉES PAR L'ACADÉMIE. 407

1751. N°. 485 & 486.

MACHINE
A RABOTER LE FER,
INVENTÉE
PAR LE Sr NICOLAS FOCQ,
HORLOGER.

LE sieur Nicolas Focq, Entrepreneur des machines à feu de Charleroy & de Condé, proposa de substituer des corps de pompes de fer battu, de son invention, à la place de ceux de fer coulé, actuellement employé à la Machine de Marli ; & comme il étoit juste qu'il prouvât les avantages des siens sur ceux-ci, on lui dit d'en faire des épreuves, ce qu'il a exécuté depuis avec tout le succès desiré.

Pour y parvenir, le sieur Focq a construit sa machine au Pont-à-Lan, sur le chemin de Binche, à un demi-quart de lieue de Maubeuge : elle est composée (fig. 1.) d'une moyenne roue E, placée entre deux lanternes H, I, dans le même plan vertical. La lanterne inférieure I est mise en mouvement par une manivelle G, garnie d'un balancier CC ; & la lanterne supérieure H communique ce mouvement à une roue BB, dentée dans la moitié de sa circonférence. A l'arbre de cette roue est fixée la roue de bois à gorge AA, dont la demi-circonférence est enveloppée par une corde ; les bouts de cette corde, après avoir passé sur les poulies de renvoi K, L, M, N, O, P, viennent s'attacher aux extrêmités HH, fig. 2. Pl. II., d'un rabot, dont on développera ci-après les parties

408 RECUEIL DES MACHINES

1751. N°. 485 & 486.

séparées. Ce rabot est saisi entre deux grosses barres de fer quarrées, parallelement & horizontalement posée, entre lesquelles se dirige le vat & vient qui est le rabot même. Le fer de ce rabot est une espece de croissant, qui coupe par les extrêmités de ses cornes, de maniere qu'en tournant alternativement la manivelle G (fig. 1.), tantôt d'un sens, & tantôt de l'autre, il n'y a aucune perte de temps : voici l'explication des parties qui composent le rabot.

AA, (fig. 2.) tranchant du rabot, duquel la trempe est inconnue.

B, latte ou douve de fer que l'on rabote.

C, assemblage du rabot.

D, Visses qui appuient sur l'assemblage du rabot, pour lui donner plus ou moins de mordant.

EE, feuilles de ressort, qui servent à égaliser le mouvement du rabot.

FF, barres de fer ou jumelles, qui servent à contenir l'arbre du rabot.

G, arbre du rabot.

HH, corde qui fait mouvoir le rabot.

Les corps de pompe étant composés de douves de fer battu, assemblés & cerclés de même matiere, les fonctions de la machine sont de raboter chaque douve séparément sur leurs champs, & d'alaiser ensuite tout le corps de pompe, afin d'en rendre les parois parfaitement cylindriques & polis. Pour cela, on assujettit le corps de pompe ou buse D sur la machine, comme il est représenté dans la fig. 1.

Pour faire prendre à chaque douve sur sa largeur la courbe qui lui convient, par rapport au cercle dont elle fait partie, on la fait battre par un maca, dont la masse forme le segment du cercle, & porte sur une enclume concave ; ensuite de cette opération, on établit chaque douve sur son champ, pour la raboter à plat ou en feuillure, ainsi que le sieur Focq le pratiquoit dans la plupart des tuyaux

APPROUVÉES PAR L'ACADÉMIE. 409

1751. N°. 485 & 486.

tuyaux qu'il construisoit de façon que les joints se recouvrent à demi-épaisseur avec beaucoup d'exactitude.

On peut faire des corps de pompe depuis sept pieds de longueur jusqu'à dix, & depuis dix pouces de diametre jusqu'à quatre pieds. J'en ai vu neuf de sept pieds, dont huit sont de dix pouces de diametre, & le neuvieme de quinze pouces, le tout dans œuvre : ils étoient remplis d'eau depuis trois mois ; ils avoient été faits pour essai : l'on ne s'appercevoit d'aucune humidité extérieure, ni le moindre jour qui pût occasionner des pertes. Quant à la solidité de ces corps de pompes, les dimentions que l'on va décrire semblent donner à cet égard des assurances bien certaines ; il ne reste qu'à s'assurer de même de la perfection qui doit se trouver dans l'intérieur du cylindre, & c'est ce que je n'ai pû vérifier.

Chaque corps de pompe de dix pouces de diametre & de sept pieds de longueur, est formé de neuf douves, assemblées & ferrées par douze cercles de fer, qui ont trois pouces de largeur, & ces extrêmités terminées par des collets de deux pouces de largeur, percés des trous nécessaires à la jonction de plusieurs parties ensemble : les cercles sont de six lignes d'épaisseur ; mais les douves ont neuf lignes par un bout & six lignes par l'autre, & forment un cône tronqué.

RAPPORT DES COMMISSAIRES.
Du Mercredi 30 Juin 1751.

NOus avons examiné, par ordre de l'Académie, une machine à raboter le fer, présentée & exécutée par le sieur Nicolas Focq, Serrurier à Maubeuge, & Entrepreneur de machines hydrauliques à feu.

Le corps du rabot du sieur Nicolas Focq est une barre de fer bien dressée, de trois pieds de longueur, garnie dans son milieu d'un fer ou ciseau propre à couper le fer.

Rec. des Machines. TOME VII. Fff

410 RECUEIL DES MACHINES

1751. N°. 485 & 486.

Cette barre est terminée par deux talons fendus, qui embrassent la piece que l'on rabotte.

Le ciseau ou fer du rabot est une espece de croissant, qui coupe par les extrêmités de ses cornes, ensorte que la piece qu'on rabotte est également coupée dans l'allée & le retour du rabot. Le tranchant du ciseau peut avoir depuis trois quarts de pouce jusqu'à un pouce & demi de large.

La queue du rabot est contenue entre deux jumelles de fer bien dressées, & y est assujettie par le moyen de plusieurs ressorts qui rendent le frottement & le mouvement plus doux. La barre de fer dressée, qui fait l'office de fust pour le rabot, est tirée par ses extrêmités au moyen d'une forte corde qui passe sur deux poulies & sur une roue, qui tournent alternativement en sens contraires, pour faire aller & venir le rabot.

Le sieur Focq, en construisant cette machine, a eu principalement en vue de construire & d'alaiser des corps de pompe d'un très-grand diametre, pour des machines hydrauliques à feu. Ces corps de pompes ou cylindres sont composés de plusieurs douves de fer forgé, assemblées par des cercles de même matiere.

Le rabot dont on vient de rendre compte, sert non-seulement pour dresser les douves & les mettre de largeur avant de les assembler, mais encore à perfectionner & unir la courbure intérieure de leur assemblage.

Cette machine nous a paru simple & ingénieusement composée pour l'usage auquel elle est destinée. Ainsi nous croyons qu'elle doit être approuvée par l'Académie, & publiée dans le Recueil des Machines.

Fait à l'Académie, le 30 Juin 1751.

Signés, PAJOT D'ONS-EN-BRAY,
CAMUS,
NOLLET, *avec paraphe.*

Fig. 3. — Extrait du « Recueil des Machines et Inventeurs ».

Il n'est pas inutile de rappeler que ce sont Krupp et Osram qui ont techniquement mis au point ces carbures et les ont lancés sur le marché.

A ce moment, les ingénieurs de machines-outils ont dû faire un gros effort pour augmenter la vitesse et la rigidité, car aucun tour n'était assez puissant pour les carbures métalliques. Non seulement les caractéristiques de coupe étaient doublées, triplées, voire même quintuplées, mais encore la construction de l'outil était influencée par l'introduction de ces plaquettes de coupe rapportées par brasage sur le corps de l'outil.

Parallèlement, la sidérurgie des aciers fins ne restait pas inactive et disposait alors d'une quantité d'analyses parfaitement mises au point, analyses que l'on commence à traiter thermiquement d'une façon scientifique. En effet, c'est vers 1930, à la suite d'une série d'essais faits par Davenport et Bain, que les courbes TTT ont été déterminées ; elles vont transformer les méthodes de *traitement thermique des outils*. Ces initiales « TTT » (Temps, Transformation, Température) désignent les courbes qui permettent d'étudier dans le temps la transformation de l'austénite en d'autres constituants *(fig. 4 et 5)*.

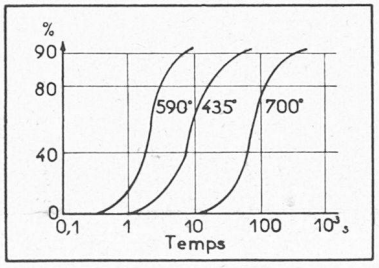


Fig. 4. — Courbe de transformation de l'austénite.

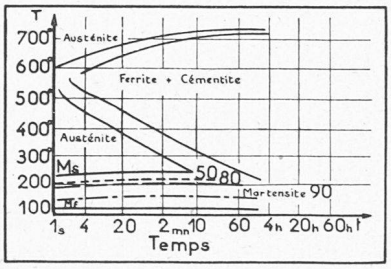


Fig. 5. — Transformation de l'austénite en fonction du temps.

Dès 1938, avec l'aide *des bains de sel*, débute, sur un plan industriel, le traitement thermique rationnel, c'est-à-dire « les trempes étagées » des outils, d'où une importante amélioration des rendements.

Il est intéressant de relever que si déjà avant 1914 de nombreuses publications signalaient le traitement des outils aux bains de sel, ce n'est que vers 1925-1930 que les outilleurs américains commencent à appliquer cette technique nouvelle, qui ne s'introduira réellement en Europe qu'en 1938, pour être définitivement adoptée par tous les fabricants, après la guerre, pour concurrencer les produits similaires américains.

Dans ce domaine aussi, les outilleurs américains ont une sensible avance sur leurs collègues européens, au point de vue sidérurgique et traitement thermique ; par exemple, pour les outils de coupe, on leur doit notamment l'introduction des aciers rapides au molybdène et le *traitement* des aciers spéciaux *par le froid* (deep freeze), qui améliore la transformation martensitique, en diminuant le pourcentage d'austénite rédiduelle.

Simultanément, *la métrologie* offre aux fabricants d'outils des moyens de contrôle toujours plus étendus, la clientèle exigeant de son côté des tolérances toujours plus serrées. En outillage de précision, parler microns est aujourd'hui chose courante, alors qu'il y a trente ans seulement, le micron était l'apanage de quelques maisons très spécialisées.

Les moyens de contrôler la qualité de la matière se sont également développés et il devient de plus en plus rare qu'un outil fini soit rebuté par la présence d'une paille, car les bonnes aciéries détectent ces défauts avec des appareils ultrasoniques, tels que le réflectroscope, et, plus récemment, en généralisant l'application des rayons X *(fig. 6)*.

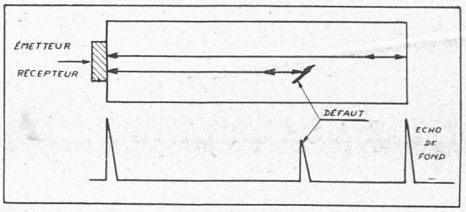


Fig. 6. — Schéma de la détection d'un défaut par le réflectroscope (méthode par impulsion réflexion).

Après 1945, on note une nouvelle contribution aux méthodes d'usinage classique d'enlèvement de la matière par la coupe d'un copeau, par l'apparition de *procédés nouveaux* utilisant la haute fréquence, les ultrasons, la désintégration, etc.

Procédés actuels

Pour la production en série, on constate que l'outil de coupe en acier au carbone a pratiquement disparu du marché (même les filières sont faites en acier rapide).

Toute la production est faite en acier rapide et en carbure métallique avec une généralisation toujours plus étendue pour ce dernier ; il faut préciser que depuis 1945 on assiste à une évolution, aussi bien dans la composition des aciers rapides que dans celle des carbures.

Analytiquement parlant, on constate pour les aciers rapides un emploi toujours plus grand du molybdène et du vadanium, au détriment du tungstène et du cobalt, alors que dans les carbures, il y a aujourd'hui des adjonctions de tantale, titane et nobium (plus communément appelé dans l'industrie, sous sa dénomination anglo-saxonne, columbium). Ce sont justement ces trois derniers éléments qui ont donné naissance à ces fameux

carbures-triples (premium grades) qui permettent d'étendre la capacité d'usinage d'une nuance, comme par exemple de la semi-finition à l'ébauche *(fig. 7a et 7b)*.

A ce sujet, le développement de ces carbures triples a été très apprécié des utilisateurs, car ils simplifiaient la diversité des nuances qui, ces dernières années, était devenue exagérément grande.

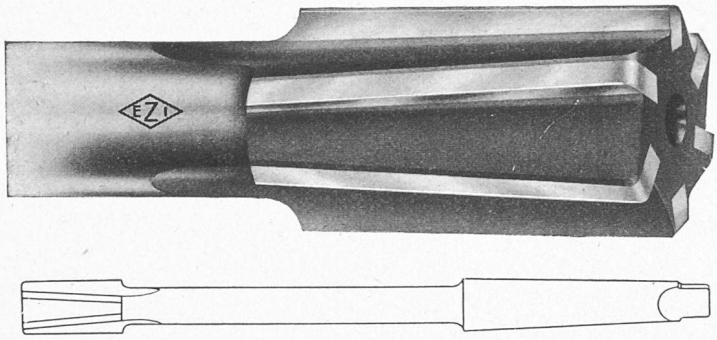


Fig. 7a — Alésoir à denture alternée avec plaquette en carbure de tungstène, nuance H 1.

Ces alésoirs, grâce à la double orientation des dents, créent un état de surface particulièrement propre et précis pour de grandes séries.

Fig. 7b — Tête à fraiser à lames striées interchangeables en carbure métallique.

Des lames différentes pour l'usinage de l'aluminium, de la fonte ou de l'acier se montent sur le même corps.

Au point de vue carbure, il faut admettre que si le problème du tournage a atteint un réel degré de perfection, ce n'est pas encore le cas pour le *fraisage*. Dans cette opération, des difficultés de coupe restent encore à résoudre, car la succession des chocs thermiques, rencontrés à chaque tour et par chaque dent de la fraise, sont incompatibles avec la composition actuelle de nos carbures, quelle que soit leur provenance. Pour le fraisage, il y a un problème de conductibilité thermique à analyser qui devrait résoudre la tenue de coupe des fraises.

Ces dernières années, le domaine de la coupe en général a fait l'objet d'une étude poussée de l'Ecole polytechnique fédérale ; lors d'essais suivis, les réactions chimico-physiques qui se produisent sur une arête de coupe en travail ont été examinées ; l'une d'elles, d'ordre chimique, mais qui n'a pas encore été entièrement définie, s'aliène en intensité sous l'action du froid (essais effectués avec de l'anhydride carbonique (CO_2).

Il est peut-être intéressant de rappeler que l'arête de coupe d'un outil travaillant dans de l'acier se recouvre souvent d'une certaine quantité de métal qui crée une nouvelle arête rapportée, d'ailleurs instable, assez dure pour remplacer le tranchant même de l'outil. Il se trouve ainsi que le copeau qui est toujours arraché, mais jamais coupé, glisse près de l'arête de coupe sur un dépôt métallique et pas directement sur la face de l'outil (*fig. 8*).

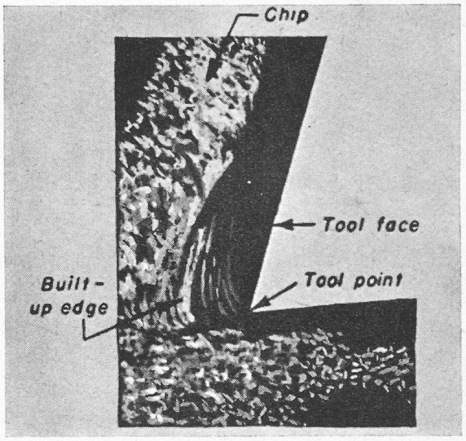


Fig. 8. — Formation du copeau (Chip) et d'un dépôt métallique instable (Built-up edge).

(*Tool point* = pointe de l'outil ;
Tool face = face de l'outil.)

Ce rapide tour d'horizon concernant les nouvelles matières de coupe ne doit pas nous faire oublier les derniers outils apparus sur le marché, et que l'on appelle : *céramique* et *cermet*.

Bien qu'il s'agisse de la conception classique de l'usinage par copeaux, il vaut la peine de s'étendre sur ces céramiques et cermets, car ils font présentement l'objet de grandes discussions chez les spécialistes de l'outillage quant à leur réelle efficacité. Ces nouvelles matières, que l'on utilise sous forme de plaquettes, semblent être d'origine russe, bien qu'avant la guerre les Allemands aient déjà fait des recherches dans ce sens *(fig. 9)*.

Il faut faire une distinction entre les céramiques et les cermets. Les *céramiques* utilisées comme matière de coupe sont en général des composés d'oxydes d'alumine (AL_2O_3), à structure cristalline, et qui sont

obtenus à partir d'une poudre pressée et frittée. Par contre, les *cermets* qui sont, comme leur nom l'indique, un composé céramique-métallique, s'emploient particulièrement pour des pièces devant résister à haute température, notamment en aérotechnique et en

Fig. 9. — Microstructure d'une céramique.

machines thermiques. Les cermets, pour l'instant encore, sont peu utilisés en tant qu'outils de coupe.

Les céramiques atteignent une très haute dureté, pouvant aller jusqu'à 98 RA (carbure max. 92,5-93 RA) ; elles ont une faible densité (environ 3,5 à 4, alors que le carbure fait 14 à 15), mais par contre elles sont très fragiles. En Europe, les résultats pratiques obtenus jusqu'à ce jour n'ont pas encore répondu aux espérances ; aux U.S.A., on réaliserait certaines opérations d'usinage sur un plan industriel *(fig. 10)*, bien que les avis restent partagés.

S'il est vrai que l'on peut obtenir avec les céramiques des vitesses de coupe de l'ordre de 600 à 800 m/min dans de l'acier, 1000 m/min et plus dans de la fonte, toutes

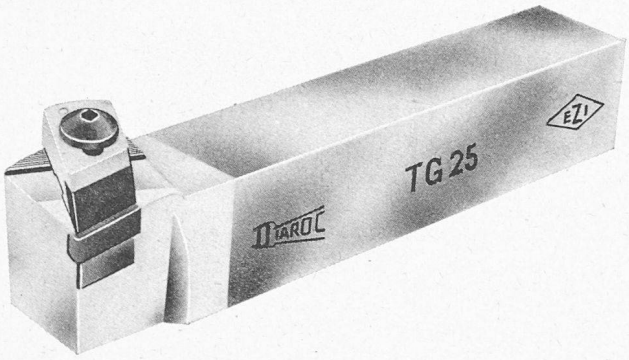


Fig. 10. — Porte-outil à serrage mécanique pour plaquettes clamées en métal dur ou céramique, avec brise-copeau en carbure, réglable selon la matière à usiner.

ces extraordinaires performances sont rarement confirmées dans des applications industrielles courantes et en série. En général, ces caractéristiques fabuleuses ne sont obtenues que pendant un laps de temps très court, ne dépassant pas le cadre d'un essai *(fig. 11 et 12)*.

Par contre, pour des opérations dites de « finition » et « superfinition », et ceci grâce aux vitesses de coupe très élevées, les états de surface obtenus avec des céramiques sont comparables à une rectification. En outre, l'élimination des céramiques ne se fait jamais par cratérisation, mais en général à la suite d'une ébréchure ou d'une rupture *(fig. 13)*.

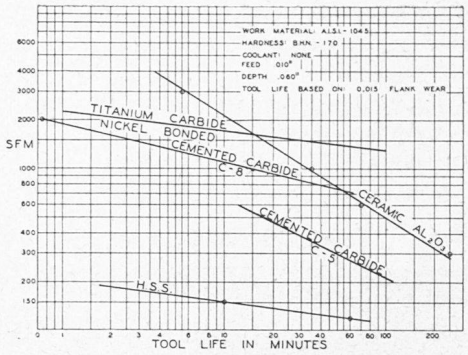


Fig. 11. — Courbes de la longueur de vie d'un outil en fonction de la vitesse de coupe (en pieds par minute) entre trois carbures, un acier rapide (H.S.S.) et une céramique.

Acier usiné :	AISI 1045
Dureté Br. :	170
Lubrifiant :	point
Avance :	0,25 mm/tour
Profondeur de coupe :	1,5 mm
Longueur de vie de l'outil basée sur :	0,37 mm d'usure par côté.

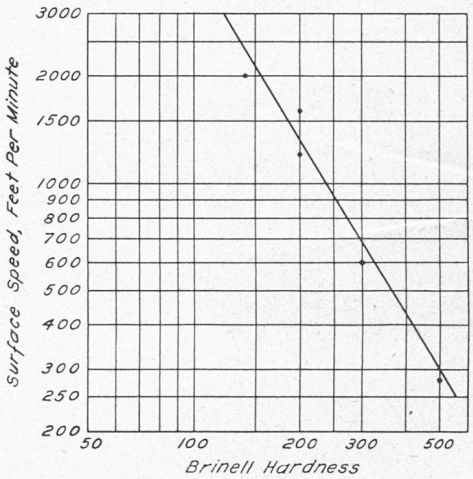


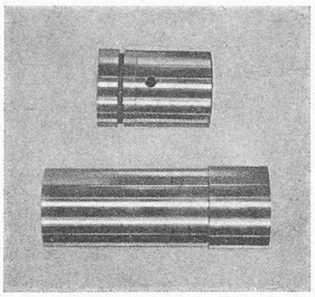
Fig. 12. — Relation entre la dureté Brinell du matériau à usiner et la vitesse de coupe (1 pied = 0,33 m) suggérée qui devrait être utilisée comme valeur de départ avec des céramiques.

En Europe, on estime que ce manque de rendement provient à la fois des céramiques elles-mêmes, dont la résilience doit être améliorée, et également des moyens d'utilisation, c'est-à-dire des machines-outils qui ne sont pas encore adaptées à ces hautes performances. Nous nous retrouvons donc à un nouveau stade où il semble que l'outil va dépasser la machine ; en effet, d'après diverses constatations, il faudra disposer de machines d'une très grande rigidité, équipées de moteurs puissants, au moins 25 ch, pour utiliser rationnellement les céramiques.

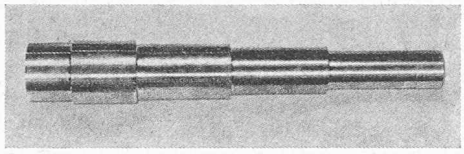
Une démonstration faite avec une plaquette céramique reste toujours impressionnante, car on voit le métal presque couler sur l'outil, alors que la plaquette reste absolument froide, la totalité de la chaleur étant absorbée par le copeau et la pièce à usiner (et ceci grâce au faible coefficient de conduction des céramiques).

Ajoutons qu'actuellement, seul le serrage mécanique donne suffisamment de garantie pour l'utilisation de ces plaquettes, car leur brasage est très difficile. En effet,

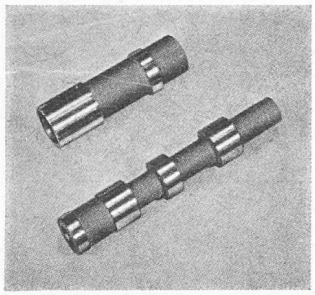
il faut d'abord métalliser la surface de contact et même dans cette condition on ne réalise que très difficilement la cohésion entre la plaquette et le corps de l'outil. On peut essayer de remplacer le brasage par un collage, mais les colles mises à notre disposition limitent l'utilisation des plaquettes à des pièces d'usure, car les températures rencontrées dans la coupe sont toutes plus



a)



b)



c)

Fig. 13. — Exemples d'états de surface obtenus avec des céramiques de coupes.

a) Pièces traitées à 38/42 RC tournées en finition à 130 m/min et avance de 0,076 mm/tour. Le temps d'usinage complet a été de 1,69 min comparativement à un temps de rectifiage de 2,83 min pour la même opération.
b) Pièces traitées à 58/62 RC tournées en finition.
c) Acier AISI 4145 tourné en finition à 370 m/min et avance de 0,089 mm/tour. Le fini de l'état de surface est de 23 micropouces.

élevées que le point de fusion des produits de collage.

Il ne faut pas oublier que c'est grâce au développement des carbures métalliques et de la métallurgie des poudres que les *outils diamantés* sont apparus sur le marché ; ils ont facilité et simplifié la plupart des problèmes d'usinage, rectifiage et affûtage de matériaux durs.

Actuellement, en fonction des besoins, on trouve des outils de granulation diamantée différente, de densité diamantée différente, enrobés dans des liants métalliques, résinoïdes ou vitrifiés, ces liants pouvant s'obtenir dans une grande gamme de nuances *(fig. 14)*.

Si, il y a une vingtaine d'années, la meule diamantée était considérée comme un moyen de luxe et de laboratoire, elle est aujourd'hui très répandue et son utilisation est aussi indispensable que celle des carbures.

A leur avantage, avec des meules diamantées, les céramiques se laissent plus facilement affûter que les carbures ; toutefois, aux U.S.A. cette condition favorable est plutôt secondaire, car l'utilisation économique de ces plaquettes, dans les travaux de grandes séries les lie à la « coupe négative ». En effet, pour les travaux de tournage effectués avec des plaquettes en coupe négative, le principe de travail est basé sur le remplacement de la plaquette après usure, plutôt que sur le réaffûtage.

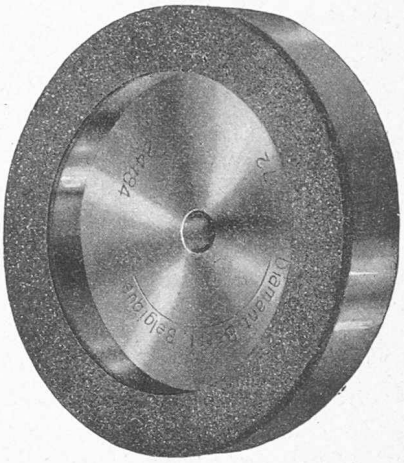


Fig. 14. — Meule diamantée à boisseau, à liant métallique poreux, pour travail à sec et lubrifié, utilisée pour l'affûtage de gros outils à plaquettes en carbure métallique. (∅ 150 mm - boisseau 20 mm).

Par contre, en Europe où l'usinage en « coupe positive » reste utilisé dans la grande majorité des cas, la plaquette est réaffûtée à la meule diamantée.

Enfin, si les céramiques n'ont pas encore fait toutes leurs preuves, il est certain que, dans un bref avenir, de la même façon qu'il y a vingt ans les carbures, elles s'introduiront sur le marché, utiles à certaines opérations déterminées.

Dans le domaine des *meules abrasives*, les producteurs présentent une diversité d'outils qui répondent très bien aux exigences des utilisateurs ; toutefois, il nous faut signaler les recherches qui se poursuivent actuellement pour résoudre les problèmes de rectifiage et d'affûtage des aciers à haute teneur en vanadium (2 % et plus), la grande résistance à l'abrasion de cet élément, accompagnée d'une plus haute teneur en carbone, en étant le principal obstacle.

Nouveaux principes de coupe

Depuis quelques années, nous assistons à une lente évolution dans la technique habituelle de la coupe par enlèvement des copeaux.

Dans différents pays, nous apprenons l'étude ou la mise au point d'une machine-outil qui non seulement usine avec l'aide d'un outil, mais également en collaboration de l'électricité.

Ainsi, en liaison avec l'emploi de meules diamantées, une méthode de *rectifiage-électrolytique* est annoncée en Angleterre. Ce procédé est basé sur le principe que la pièce à rectifier et la meule sont les électrodes d'un circuit électrique. L'état de surface obtenu est favorable, quoique d'une profilographie particulière, mais surtout l'usure de la meule est minime, car le grain

diamanté ne participe pas directement à l'enlèvement de la matière *(fig. 15 et 16)*.

Dans le même domaine, mentionnons les nouvelles *machines à éroder* qui ont marqué cette évolution, car ce n'est plus une arête de coupe qui fait un copeau, mais une décharge électrique qui arrache une fine

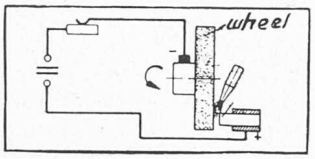


Fig. 15. — Schéma d'une installation de rectifiage électrolytique (l'électrolyte est une solution salée d'alcali).
(*Wheel* = meule diamantée (cathode —)).

particule de la matière. Il s'agit donc d'une « désintégration » et non plus d'un enlèvement « en couches ou bandes continues ».

Au début de son emploi, l'électro-érosion ne s'occupait que d'usinage intérieur dans les carbures métalliques et les aciers trempés, mais son champ d'application est en train de s'étendre également aux usinages extérieurs, ainsi qu'à toutes matières ayant une conductibilité électrique suffisante pour permettre le passage d'un courant.

Il y a plusieurs systèmes de machines à éroder, mais le principe reste toujours le même, à savoir étincelles de rupture dans un milieu diélectrique entre une électrode et la pièce à usiner. C'est cette étincelle qui arrache la particule infinitésimale de matière qui, répétée très rapidement et un très grand nombre de fois, créera la « profondeur de passe ». Cette nouvelle méthode est maintenant couramment adoptée en pratique (on trouve, en effet, dans le commerce des machines très bien étudiées et très précises) *(fig. 17)*.

En partant du même principe, on a mis au point, il y a quelques années, le *polissage électrolytique*, qui comprend la combinaison de décharges électro-érosives et d'une action chimique. Le polissage électrolytique est couramment adopté dans les laboratoires de métallurgie, car c'est un procédé qui fait gagner un temps considérable, comparativement à la méthode classique qui fait appel à une succession de papiers d'émeri et

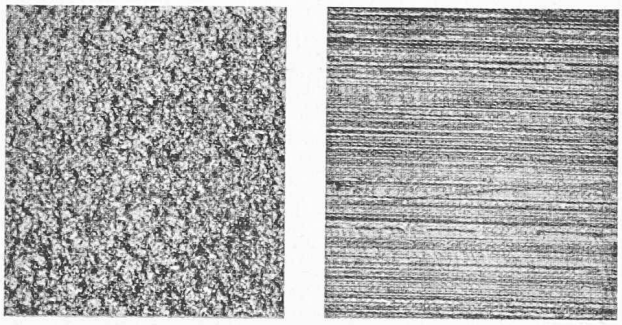


Fig. 16. — Comparaison d'états de surface en carbure métallique obtenus par rectifiage classique (à gauche) et électrolytique (à droite) (agrandissement 275 ×).

poudres à polir pour parvenir au même stade de finition. De plus, l'examen d'une surface polie électrolytiquement est, microscopiquement parlant, plus pure, du fait qu'il n'y a aucun résidu de matières à polir qui faussera l'examen de la surface. En outre, cette dernière, métallurgiquement, se présente dans toute sa netteté, n'ayant pas subi une action mécanique qui a toujours tendance « à étendre » superficiellement la matière.

Dernièrement, une machine-outil dont l'action de coupe dépend de *vibrations soniques ou ultra-soniques*, a été présentée. Son action peut avoir lieu quelle que

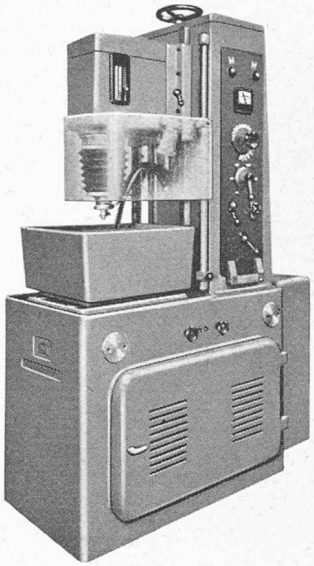


Fig. 17. — Machine à éroder.

soit la dureté de la matière, la conductibilité électrique n'intervenant pas ici. C'est un procédé qui combine à la fois les effets d'abrasion, de bombardement et de cavitation. On utilise pour cela des poudres abrasives qui bombardent la zone à usiner et, vu la multitude de grains qui travaillent en même temps, un très grand nombre de particules sont enlevées à chaque seconde ; le bombardement est créé par un vibreur.

Signalons enfin des expériences, faites en Angleterre, avec des *outils radioactifs*, dans le but d'examiner l'usure de l'arête de coupe. Cette méthode d'essai est basée sur le principe que l'usure de l'outil radioactif est transférée aux copeaux et au lubrifiant et qu'il suffit de mesurer la quantité de radioactivité transférée pour avoir une relation avec l'usure de l'arête de coupe ; le type d'outil choisi était un burin de tournage avec plaquette de carbure rapportée (carbure à 77 % de carbure de tungstène, 8 % de cobalt et 15 % de carbure de titane). Cet outil a d'abord été soumis à un bombardement de neutrons pendant une semaine d'où formation d'isotopes radio-actifs de cobalt 60 et de tungstène 185 ; de grandes précautions contre les dangers des radiations ont été prises ; l'outil lui-même a été enfermé dans une chambre spéciale en plomb, et toutes les commandes ont été faites à distance. La radioactivité « de l'usure » mesurée au cours de ces essais s'est répartie comme suit :

95 % transmis aux copeaux
5 % dans le lubrifiant et sur la pièce usinée

confirmant ainsi que l'usure d'un outil est pratiquement « absorbée » par le copeau.

En *conclusion*, les informations que nous avons fournies montrent bien cette recherche constante pour pouvoir couper toujours plus vite, toujours plus longtemps, et en quantité toujours plus grande, et c'est bien là, la caractéristique du progrès des outils de coupe.