



Informations électroniques

**N° 15****BULLETIN ÉDITÉ PAR LE BUREAU DE DOCUMENTATION TECHNIQUE
DU DÉPARTEMENT COMMERCIAL "ÉLECTRONIQUE", DE LA
MANUFACTURE BELGE DE LAMPES ET DE MATÉRIEL ÉLECTRONIQUE S. A.****1956**

USINAGE PAR ÉLECTRO-ÉROSION ET COMMANDE ÉLECTRONIQUE

Gâce aux procédés d'usinage par électro-érosion, la forme des pièces est obtenue directement, par reproduction du profil et du relief de l'électrode en creux sur la pièce à usiner.

Si ce nouveau mode d'usinage s'est répandu si rapidement, dans les principaux pays du monde (voir le tableau inséré dans ce bulletin), il le doit surtout à son automatisme intégral permettant d'utiliser une main d'œuvre non spécialisée pour l'exécution d'outillages complexes.

Dans le domaine de l'électro-érosion, le générateur d'étincelles utilisé joue le rôle essentiel, et la France occupe une place de choix dans cette branche de la technique, à la suite des recherches théoriques et industrielles de MM. BRUMA et MAGAT et de leurs collaborateurs, consacrées par de nombreux brevets du Centre National de la Recherche Scientifique. Les mêmes principes pour la construction de ces générateurs sont appliqués en Belgique par la Compagnie des Compteurs et Manomètres à Liège et en France par la Soudure Électrique Languepin.

Cela nous permet de mesurer une fois de plus, sur un exemple vécu, que le développement industriel des nations dépend dans une large mesure, de l'heureux aboutissement des recherches scientifiques.

Le sujet reste fructueux pour l'avenir et les travaux se poursuivent, comme on l'indiquera dans ce bulletin.

Les tubes électroniques, les redresseurs à atmosphère gazeuse et les thyratrons de la Radiotechnique équipent ces nouvelles machines pour toutes les puissances qui peuvent être exigées actuellement dans l'exploitation.

Département Commercial « Électronique ».

USINAGE PAR ÉLECTRO-ÉROSION ET COMMANDE ÉLECTRONIQUE

AVANTAGES FONDAMENTAUX DE L'USINAGE PAR ÉLECTRO-ÉROSION

Des décharges électriques « brusques » (étincelles), provoquées entre deux électrodes polarisées, s'accompagnent d'un arrachement de matière qui affecte les deux électrodes d'une manière inégale. Dans des conditions bien déterminées, on peut obtenir la majeure partie de l'érosion sur l'électrode positive (anode).

Si l'on immerge les électrodes et si l'on provoque les étincelles dans de l'huile minérale, on augmente, toutes choses égales par ailleurs, le **NOMBRE DE MILLIMÈTRES CUBES ENLEVÉS PAR MINUTE**. La matière ainsi éliminée, par ce mode d'usinage bien particulier, se retrouve en suspension dans le liquide sous la forme d'un agglomérat de **MICROCOPEAUX**. Les surfaces des électrodes, entre lesquelles ont jailli les étincelles, sont rongées par une multitude de minuscules cratères, lesquels peuvent être invisibles à l'œil nu. La figure 1 montre le fini d'une pièce assez compliquée, usinée par électro-érosion.

Si on le compare à tous les procédés antérieurement connus, ce mode d'usinage présente un premier avantage en propre.

L'ARRACHEMENT DE MATIÈRE A L'ANODE S'EFFECTUE, QUELLES QUE SOIENT LES DURETÉS RESPECTIVES DES MÉTAUX OU DES ALLIAGES CONSTITUANT LES ÉLECTRODES. Ainsi, l'on peut entamer l'acier TREMPÉ et même le **CARBURE DE TUNGSTÈNE** à l'aide d'électrodes de cuivre, de laiton d'aluminium, etc... Mieux encore, des procédés particuliers permettent d'obtenir la reproduction du relief et du profil de la cathode **EN CREUX** sur l'anode.

En reliant à la cathode, un outil de la forme désirée fait de laiton ou d'autre alliage courant, et à l'anode une pièce à usiner en acier trempé ou en carbure de tungstène, l'effet d'électro-érosion

donne un usinage automatique et progressif **SANS AUCUN CONTACT MÉCANIQUE ENTRE L'OUTIL ET LA PIÈCE A USINER.**

Une comparaison immédiate avec les procédés traditionnels met en évidence, avec une grande éloquence économique et technique, que l'électrode-outil agit comme le feraient des arêtes coupantes **MULTIPLES**, chaque étincelle opérant sur la pièce à usiner comme une arête coupante élémentaire. Alors que les outils courants travaillent seulement selon une

ÉLECTRIQUE DE LA MANIÈRE LA PLUS DIRECTE, avec, par conséquent, **UN RENDEMENT BIEN SUPÉRIEUR.**

LES MACHINES ÉLECTRO-ÉROSIVES

L'élément essentiel des machines électro-érosives modernes est constitué par le **générateur d'étincelles**. Le bâti supportant, d'une part le bac de travail

dans lequel on fixe la pièce à usiner et, d'autre part l'électrode-outil, n'exige évidemment pas une étude aussi approfondie ou aussi neuve et se rattache, souvent, à la conception des machines semi-pointeuses. Un servomécanisme électronique assure, automatiquement, **SANS INTERVENTION DE L'OPÉRATEUR**, la continuité de l'usinage sans contact mécanique.

Un système de pompe avec tuyauteries assurant la circulation et la filtration de l'huile minérale complète la liste des organes.

Ce sont les époux **LAZARENKO (U.R.S.S.)** qui paraissent avoir imaginé, les premiers, un dispositif pouvant servir à l'utilisation industrielle de l'électro-érosion. Leur dispositif est le plus simple de ceux qui peuvent être utilisés. On

charge (fig. 2) des condensateurs **C** à l'aide d'une source de tension continue **E**, à travers une résistance, **R**. L'outil

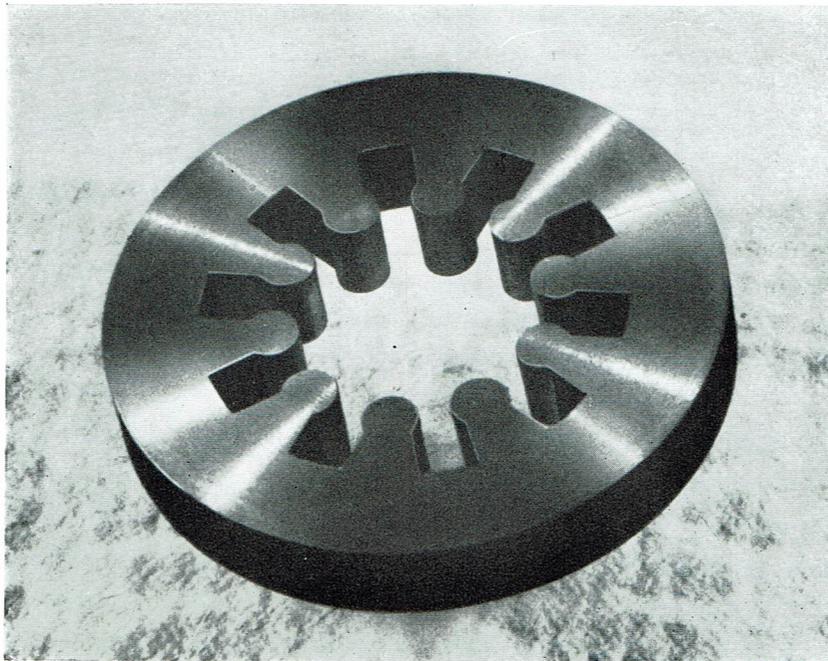


Fig. 1. — Pièce réalisée par électro-érosion avec une machine ELEKTRA-C.C.M. (cliché Cogéphoto)

génératrice, on dispose, dans le cas de l'électro-érosion, d'une **INFINITÉ D'ARÊTES COUPANTES, UTILISANT LE COURANT**

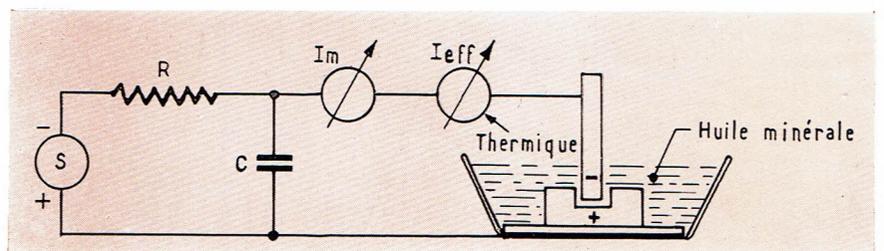


Fig. 2. — Principe de la machine Lazarenko.

et la pièce à usiner, immergés dans un liquide diélectrique, viennent en parallèle sur le condensateur C, avec les polarités convenables. Le temps de charge t_c est très grand par rapport au temps de décharge par étincelle t_e . L'énergie de chaque étincelle est au rendement près $T = 1/2 CV^2$, V étant la tension de charge, très voisine de E.

Ce système simple présente quelques inconvénients importants, car les condensateurs et la source d'énergie ne sont séparés que par la résistance R. Un courant de court-circuit, inutile pour l'usinage, se superpose donc au courant « utile » des condensateurs entre les deux électrodes. Bien que ce dispositif diminue la rentabilité industrielle de

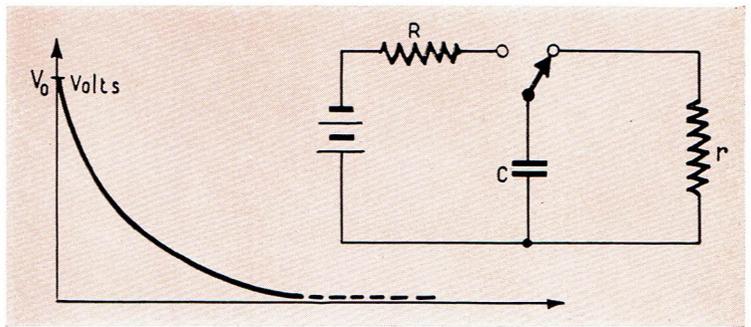


Fig. 3. — Décharge amortie d'un condensateur.

l'électro-érosion, il a été utilisé, non seulement en U.R.S.S., mais aussi en Occident, et il a inspiré quelques constructions dont les résultats techniques sont, dès à présent, entièrement connus et peuvent être comparés en détail avec les solutions françaises. On donnera plus loin, le résultat précis de cette confrontation.

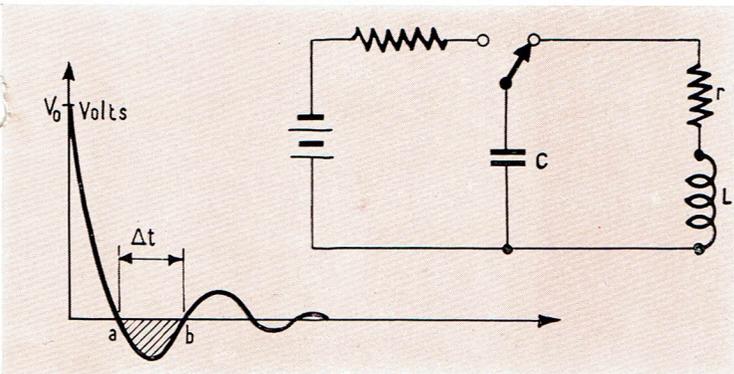


Fig. 4. — Décharge oscillante d'un condensateur.

PRINCIPE GÉNÉRAL DES GÉNÉRATEURS (BREVETS C.N.R.S.)

Les recherches du C.N.R.S. ont démontré que l'effet d'électro-érosion dépend étroitement de la forme d'onde de la décharge électronique.

La figure 3 montre la décharge amortie d'un condensateur et la figure 4 la décharge

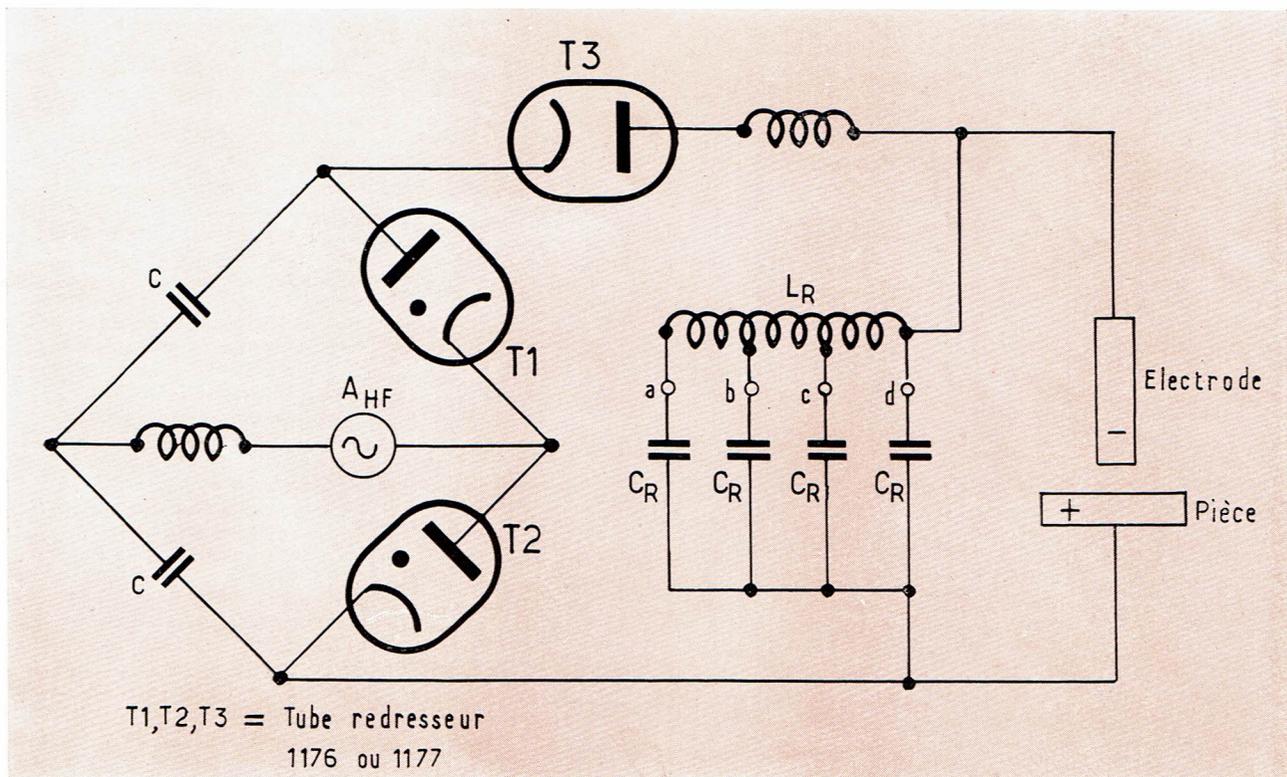


Fig. 5. — Principe des machines d'électro-érosion selon certains brevets du C.N.R.S.

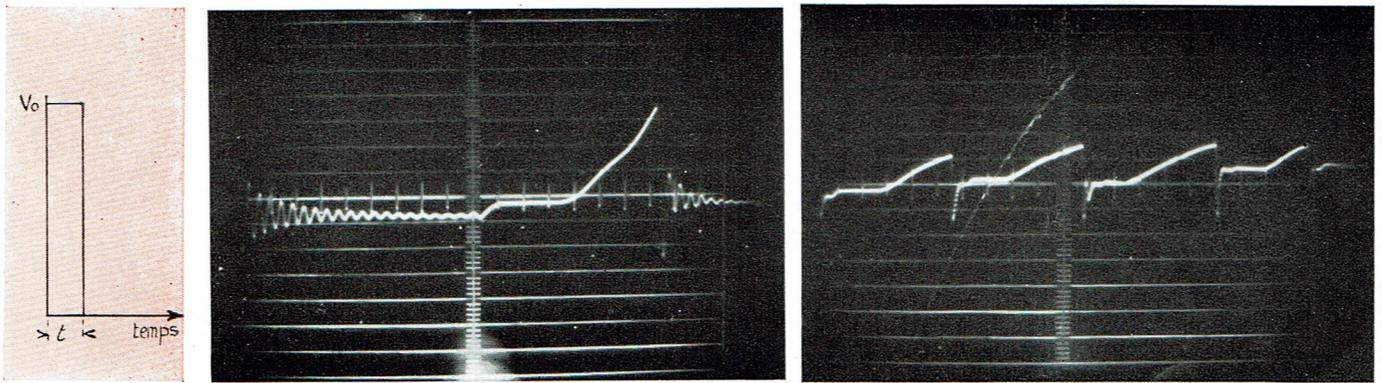
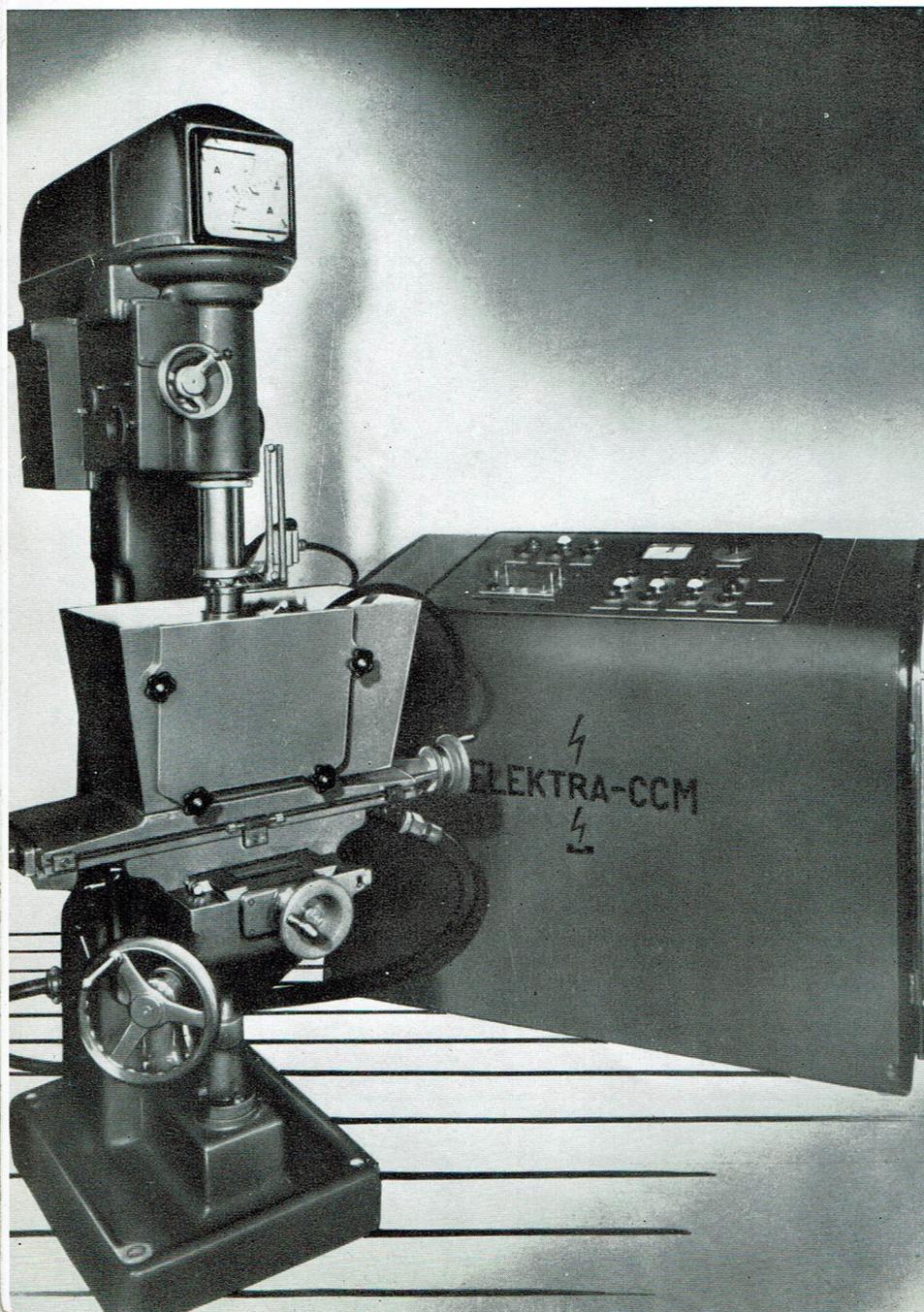


Fig. 6. - Forme d'onde théorique de la décharge de la ligne à retard et oscillogrammes expérimentaux : à gauche : décharges très oscillantes - à droite : décharges non oscillantes.



du même condensateur, mais lorsque le montage remplit la condition d'oscillation.

Les formes d'onde des figures 3 et 4 ne donnent à l'étincelle qu'une fraction de l'énergie ($1/2 CV^2$) emmagasinée dans le champ électrique du condensateur, celle qui correspond à la partie *impulsionnelle* de la décharge. Le restant de l'énergie se dissipe sous forme de chaleur inutile et même nuisible. La forme d'onde de la figure 4 présente l'inconvénient supplémentaire de l'inversion de polarité entre les instants *a* et *b*, provoquant une usure anormale de l'électro-outil.

La figure 5 donne l'un des montages qui correspondent aux brevets pris par le C.N.R.S.

Le symbole A_{HF} représente un alternateur de fréquence assez élevée, 2500 HZ, par exemple. Il alimente un montage doubleur de tension formé par les batteries de condensateurs *C* et les tubes redresseurs à vapeur de mercure DARIO, T_1 et T_2 (type 1176 ou 1177, selon les puissances converties). Un autre tube redresseur à vapeur de mercure, T_3 , sert à éviter le courant de court-circuit. Un autre élément du montage contribue aussi à la supériorité du procédé. On voit en effet que la ligne à retard (L_R , C_R) peut ainsi se décharger sur une impédance purement ohmique égale à son impédance caractéristique.

La figure 6 montre la forme d'onde de décharge que l'on obtient avec le générateur d'étincelles de la figure 5 lorsque les éléments de la ligne à retard sont correctement calculés.

Dans le montage de la figure 2, le dispositif fonctionne par un effet thermique pur, procurant une fusion oxydante ou non oxydante, selon la nature du fluide diélectrique utilisé dans le bac d'usinage. Au contraire, dans le montage de la figure 5, le dispositif électronique fonc-

Fig. 7. — Machine électro-érosive construite par C.C.M. (Liège), sous licence du C.N.R.S. (cliché Cogéphoto).

tionnant avec la ligne de retard élimine le courant de court-circuit, sans utiliser aucune résistance dissipant inutilement en chaleur l'énergie électrique. Le rendement des montages se trouve donc amélioré, dès le principe, puisque la pièce à usiner n'est plus soumise aux échauffements nuisibles du courant de court-circuit.

La vitesse de coupe et la rugosité dépendent simultanément de l'énergie d'une décharge électrique. Si l'on modifie la valeur de la capacité C, ou la tension redressée V, on règle en même temps la vitesse d'usinage et la rugosité.

C'est pour cela que l'on utilise comme source un alternateur de fréquence élevée et que l'on synchronise le rythme des décharges sur la fréquence de l'alternateur. Ce principe a permis de multiplier par 10 la vitesse d'usinage, pour un état de surface égal à celui d'autres procédés ou meilleur.

On peut utiliser, pour accumuler l'énergie, un condensateur ou une bobine. Dans ce dernier cas, l'énergie est libérée à la rupture du circuit de charge. Quel que soit l'organe employé, on peut dire, aux rendements près, que pour une source de 1 kW de puissance moyenne chaque étincelle qui frappe la surface usinée le fait sur une surface de 0,01 mm², mais avec une puissance instantanée de 100 kW soit avec une densité de puissance utile de 10 000 kW par mm². Ces chiffres énormes mesurent l'efficacité et l'intérêt pratique incontestable des procédés d'étincelage, à commande électronique par tubes redresseurs à vapeur de mercure avec ligne de retard reliée aux bornes des électrodes.

COMPARAISON DES RÉSULTATS

Si l'on compare le travail des machines construites selon les brevets C.N.R.S. (Recherches de MM. Bruma et Magat) à celui des machines établies en Tchécoslovaquie (VJK1), les machines Languepin ou Elektra (procédés C.N.R.S.) peuvent enlever, en asymptote, 1 000 mm³/mn avec une batterie de condensateurs d'une capacité totale de 10 μF et 500 mm³/mn en fonctionnement normal, en prenant au réseau une puissance apparente de 6,5 kVA. Les machines VJK1, pour l'enlèvement de 300 mm³/mn en asymptote, nécessitent l'utilisation d'une batterie de condensateurs d'une capacité de 250 μF et consomment 10 kVA sur le réseau.

Les recherches du C.N.R.S., se poursuivent. Elles ont donc déjà beaucoup amélioré la capacité d'action de l'électro-érosion mais aussi la qualité du travail. Or, la rugosité de la surface est « proportionnelle aux farads » et, sachant que les deux types de machines comparés ici fonctionnent sous la même tension, l'état de surface obtenu grâce aux recherches du C.N.R.S. est 35 fois meilleur. En ramenant tous les résultats à une même vitesse d'usinage, les pièces obtenues par les procédés français ont une bien moindre rugosité.

L'AVENIR DU TRAVAIL PAR ÉLECTRO-ÉROSION

La technique actuelle des machines par étincelage est fondée maintenant sur des assises suffisamment stables, que l'on considère les explications théoriques ou les résultats pratiques. On peut donc se hasarder, sans prendre trop de risques, à envisager l'avenir de ces procédés.

Ils permettent de songer dès maintenant à des applications pour lesquelles les machines-outils traditionnelles sont devenues totalement insuffisantes. On a commencé à faire l'usinage du titane,

celage est en effet le procédé de choix pour le travail des nickels et alliages de nickel et les recherches continuent actuellement sur toute la série des nuances de métaux réfractaires connues.

Les marges de perfectionnement des procédés d'électro-érosion sont encore considérables et seront progressivement réduites par l'étude des montages et des aspects physico-chimiques. C'est la tâche que poursuivent, parallèlement aux travaux propres des constructeurs français et belges cités ici, M. BRUMA et ses collaborateurs au Laboratoire de Chimie-Physique du C.N.R.S., en liaison avec

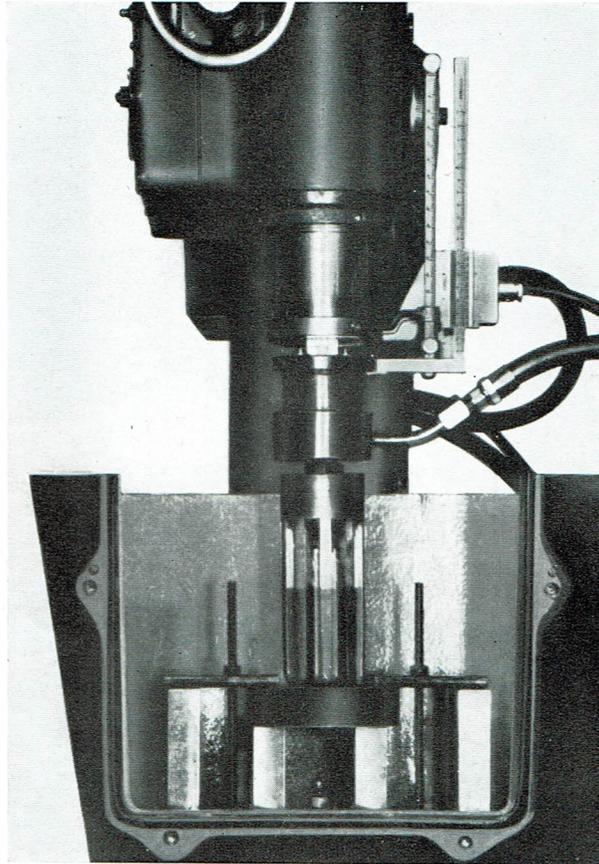


Fig. 8. — Détail de la machine ELEKTRA-C.C.M. construite par C.C.M. (Liège), sous licence C.N.R.S. (cliché Cogéphoto)

métal de grand intérêt, mais extrêmement dur et difficile à machiner par d'autres procédés. On envisage aussi l'usinage du germanium. Le plus célèbre des solides semi-conducteurs peut aussi être usiné. On compte sur les procédés d'étincelage pour travailler plus commodément l'acier 816 utilisé dans la fabrication des moteurs d'avions à réaction, (tuyères d'éjection, couronnes de turbo-réacteurs). L'étin-

M. QUEVRON et ses collaborateurs au Laboratoire de l'Ecole des Arts et Métiers. Les phénomènes complexes sont donc étudiés de façon approfondie et la nouvelle génération d'ingénieurs mécaniciens et physiciens formés auprès de tels maîtres ne vaudra plus rien ignorer des techniques électroniques indispensables pour aborder l'une des plus larges activités industrielles de demain : les machines automatiques.

MACHINE A USINER PAR ÉTINCELLES

POUR L'USINAGE SIMULTANÉ DES QUATRE LUMIÈRES D'UNE CHEMISE DE DISTRIBUTION DE MOTEUR

LA SOUDURE ÉLECTRIQUE LANGUEPIN a livré et mis en service, à la S.N.E.C.M.A. Billancourt (Seine), une machine à usiner par étincelles destinée au perçage simultané des 4 lumières admission et échappement d'une chemise

de moteur à explosion HERCULES.

C'est une machine spéciale à 4 têtes de perçage alimentées par quatre générateurs indépendants, voir la photographie ci-dessous (Fig. 11).

Le métal à usiner est de l'acier nitruré; épaisseur de cloison à perçer : 6 mm; l'opération d'usinage par étincelles étant effectuée après rectification totale et mise à la cote définitive de la chemise du moteur.

La mise en œuvre de ce matériel d'usinage par étincelles permet de réduire considérablement le temps de fabrication de cette pièce, et ne provoque aucune modification physico-chimique de l'acier nitruré.

Ce type de machine est parfaitement adaptable à d'autres problèmes d'usinage, car sa réalisation permet de multiplier le nombre de têtes de perçage et d'électrodes d'usinage, sans aucune limite.

Afin de permettre d'estimer les temps d'usinage pouvant être obtenus par ce matériel, il est précisé que chaque tête de perçage est alimentée par un générateur d'étincelles, licence exclusive CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE - France, dont les performances sont données dans le tableau ci-dessous.

(Les mesures de rugosité sont appréciées en microns; le coefficient 40 est actuellement appliqué à ces chiffres pour obtenir les rugosités en micro inches RMS. De ce fait, la rugosité obtenue en finition est d'environ 30 micro inches RMS).

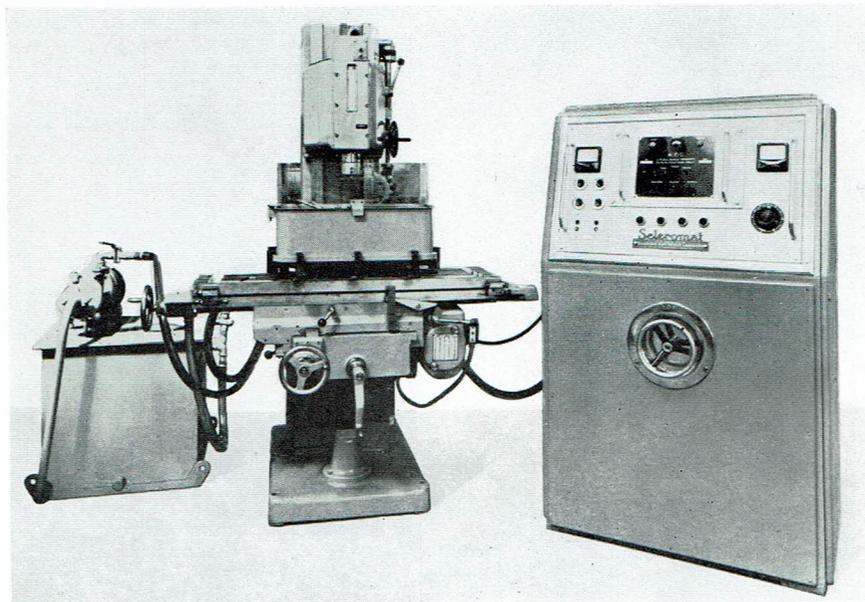


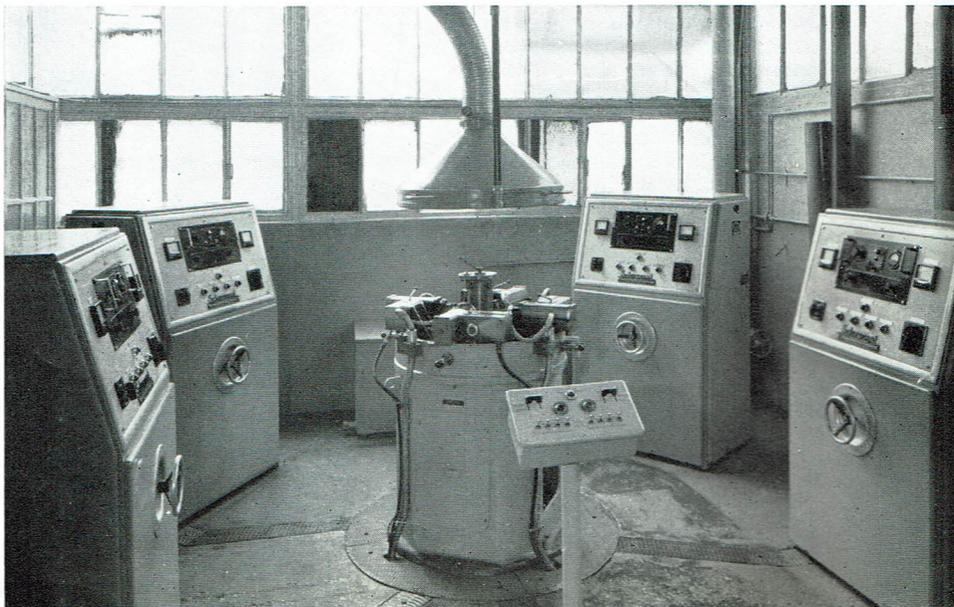
Fig. 9. — Machine à usiner par étincelles, type SELEROMAT J.5. A droite, le générateur d'étincelles; à gauche, le groupe moto-pompe de distribution du liquide diélectrique. Au centre, la machine SELEROMAT J.5 proprement dite, avec sa tête d'usinage servo-contrôlée et le bac d'usinage où se trouve immergée la pièce à usiner. (cliché Languepin)



Fig. 10. — Chemise de moteur usinée par étincelles. (cliché Languepin)

	Volume de métal usiné à la minute	Précision	Rugosité
Dégrossissage	500 mm ³	0,2 mm	
Ebauche	75 mm ³	0,1 mm	10 microns
1/2 finition	7,5 mm ³	0,05 mm	1,5 micron
Finition	0,75 mm ³	0,01 mm	0,8 micron

Fig. 11. — Machine à usiner par étincelles entièrement automatique à 4 têtes. Cette machine usine simultanément les 4 lumières d'une chemise de distribution de moteur sans soupape. Chemise en acier nitruré, épaisseur 4 mm, usinée après rectification complète. Temps brut d'usinage 12mn. Temps net de perçage 6 mn. 30 s. Débit volumétrique 2 cm³/mn. (cliché Languepin)



Les constructeurs de machines d'usinage par étincelage existent dans de nombreux pays :

FRANCE

La Soudure Electrique Languepin Paris - Procédés Bruma - Brevets C.N.R.S.

C.C.I. - 163, rue de Sèvres - Paris XV^e.

Mécaphy - 85, rue Belliard - Paris XVIII^e.

Qualitex - 3, rue de Chantilly - Paris X^e.

BELGIQUE

Cie des Compteurs et Manomètres - Liège - marque : ELEKTRA - Procédés Bruma - Brevets C.N.R.S.

GRANDE-BRETAGNE

Sparcatron Ltd - Wickman.

ALLEMAGNE

Elbo - AEG Elotherm.

ETATS-UNIS

Method X - Co Inc. - ELOX - CINCINNATI.

TCHÉCOSLOVAQUIE

Entreprises de l'Etat Tchécoslovaque.

U.R.S.S.

Entreprises d'Etat (M. et Mme LAZARENKO).

SUISSE

Ateliers des Charmilles - AGIETRON.

Adresses des constructeurs du matériel fabriqué selon les procédés Bruma (C.N.R.S.) :

BELGIQUE

COMPAGNIE DES COMPTEURS ET MANOMÈTRES - 80, rue Bas-Thieux - Liège.

FRANCE

LA SOUDURE ELECTRIQUE LANGUEPIN - 20, 28, rue Toulouse-Lautrec. Paris-XVII^e.



BIBLIOGRAPHIE

I. Références fondamentales sur les théories générales (Livres).

1. Thermodynamique par Y. Rocard.
2. Théorie des circuits impulsionnels par M. Borg.
3. Les lignes à retard par G. Potier.
4. Pulse generators, par Glasoe et Lebacqz (M.I.T.).
5. Redresseurs (Théorie et projets) publié par La Radiotechnique.

II. Articles.

1. M. Bruma et M. Magat. — Rapport au 5^e Congrès International des Fabrications Mécaniques, Turin, 1953.
2. M. Bruma et J. Magat. — L'usinage par l'électricité. « Ingénieurs et Techniciens ». Mars 1954 p. 21-23.
3. Machine Seleromat Languepin. — « La Machine Moderne ». Décembre 1954 p. 10 et février 1955.
4. L'usinage par étincelage. — « L'Usine Nouvelle ». N^o de Printemps 1955.
5. M. Bruma. — L'usinage par étincelage. « La Machine Moderne ». Décembre 1954.
6. M. Bruma. — Théorie des générateurs de décharges électriques intermittentes. « Electricité ». Novembre 1955.

7. M. Bruma. — Aspects scientifiques de l'usinage par étincelles — Revue Universelle des Mines. 9^e série. Tome XI N^o 11. 1955 (Imprimerie Vaillant — Carmanne à Liège).
8. M. Bruma. — Electro-Erosion. Etat actuel et perspectives d'avenir. Schweizer Archiv, Vogt. Schild A.G. Solothurn (Suisse).
9. M. Bruma. — Usinage automatique par machines électro-érosives. Congrès international de l'Automatique, Paris, juin 1956.

III. Principaux brevets.

- A. Brevets français.
N^o 1 066 737 C.N.R.S.
N^o 1 081 854 »
N^o 1 098 961 »
N^o 1 098 174 »
N^o 1 101 189 »
N^o 1 115 562 »
- B. Brevets britanniques.
N^o 637 793 B.R. Lazarenko.
N^o 637 872 D.F. Rudorff.
- C. Brevets américains.
N^o 2 501 954 Mc Kechnie et collab.
N^o 2 628 330 E.M. Williams et collab.

PHOTODIODE A JONCTION OAP 12

au germanium par alliage

Nouvelle cellule photoélectrique miniature pour les applications industrielles, la photodiode OAP12, polarisée par une faible tension V continue, laisse circuler un courant de saturation pratiquement indépendant de la tension V appliquée. Lorsque la jonction est soumise à un flux lumineux, le courant croît avec l'éclairement.

Blindage électrique assuré.

Dimensions : Diamètre 3 mm \pm 0,02 — Longueur = 8 mm.

CARACTÉRISTIQUES PROVISOIRES

Sensibilité (lampe à filament de tungstène, $T_c = 2500^\circ \text{K}$)	> 5 $\mu\text{A}/100 \text{ lux}$
Surface sensible $\sim 1 \text{mm}^2$ Courant d'obscurité	< 15 μA
Impédance interne ($-0,5 \text{V} < V < -30 \text{V}$)	$\rho > 3 \text{M}\Omega$
Maximum de la réponse spectrale à 1,55 μ Seuil à 2 μ .	
Fréquence critique	> 50 KHZ

VALEURS A NE PAS DÉPASSER

(limites absolues)

Tension inverse $V_{\text{max}} = -30 \text{V}$ Courant inverse $I_{\text{max}} = 3 \text{mA}$

Puissance dissipée à la jonction $P_{\text{c max}} = 30 \text{mW}$

Sorties : Le point vert repère la connexion vers le pôle négatif de la batterie

M. B. L. E

MANUFACTURE BELGE DE LAMPES ET DE MATÉRIEL ÉLECTRONIQUE, S.A.

ELECTRONIQUE * TÉLÉCOMMUNICATIONS * PHYSIQUE NUCLÉAIRE * APPLICATIONS ÉLECTRIQUES

80, RUE DES DEUX GARES, BRUXELLES ● TÉL. : 21.82.00 (15 LIGNES)
M.B.L.E - CONGO ● BOITE POSTALE 673 ● LÉOPOLDVILLE ● TÉL. : 4002