

COMPTON

CENTRE D'ÉTUDES ET
DE RECHERCHES SUR
LES QUALIFICATIONS

- L'INDUSTRIE MECANIQUE - N° 5

LES TECHNIQUES ET LEURS EVOLUTIONS

Document de Travail

RECHERCHES
QUALIFICATIONS
B.P. 18-92-VANVES

ement
et Emploi

Septembre 1972



CENTRE D'ETUDES ET
DE RECHERCHES SUR
LES QUALIFICATIONS

- L'INDUSTRIE MECANIQUE -

LES TECHNIQUES ET LEURS EVOLUTIONS

Document de Travail

*Département
Innovation et Emploi*

Septembre 1972

SOMMAIRE

Pages

Introduction 7

Fiche n° 0 : La commande numérique
des machines-outils

I - Description de la commande numérique
et de ses avantages..... 15

II- Description de quelques machines en service..... 20

III- Les tendances d'évolution de la
commande numérique..... 21

IV-Commande numérique et emploi..... 25

V - Adaptation des fabricants de machines-outils
à la commande numérique..... 27

Fiche n° 1 : Mise en forme sans enlèvement
de matière

11 - La fonderie de moulage

A - Les techniques..... 31

B - Les évolutions 33

C - Les innovations..... 34

12 - Forgeage, estampage, matriçage, emboutissage

A - Les techniques..... 37

B - Les évolutions 38

C - Les innovations 40

13 - Le frittage

A - Les techniques..... 43

B - Les innovations..... 43

14 - Le poinçonnage

- A - Définition de la machine à poinçonner..... 45
- B - Les évolutions..... 45

16 - Le débit (sciage, tronçonnage)

- A - Définition..... 47
- B - Les évolutions..... 47
- C - Les innovations..... 47

Fiche n° 2 : Usinage par enlèvement de matière

231 - Le tournage

- A - Les techniques..... 51
- B - Evolutions des machines classiques..... 51
- C - Les innovations..... 51

233 - Le perçage

- Les innovations..... 55

234 - Le fraisage

- A - Les techniques..... 57
- B - Les évolutions..... 58
- C - Les innovations..... 58

235 - La rectification

- A - Définition..... 63
- B - Les évolutions..... 63
- C - Les innovations..... 64

236 - Le taillage des engrenages

- A - Les techniques..... 67
- B - Les évolutions..... 67
- C - Les innovations..... 68

237 - Le polissage

- Les innovations..... 69

23 - Annexe : Machines spéciales et accessoires	
Les innovations.....	71
242 - Usinage électrochimique	
A - Les techniques.....	79
B - Les innovations.....	82
243 - Usinage par laser	
Les innovations.....	85
249 - Autres : l'usinage électrique	
Les innovations.....	87

Fiche n° 3 : Traitements

31 - Traitements thermiques	
311 - Trempe et revenu	
Les innovations.....	91
32 - Traitements de surface	
321 - Préparation et traitements divers	
A - Les techniques.....	95
B - Les innovations.....	95
323 - Revêtements métalliques	
Les techniques.....	97
324 - Emaillage	
Les techniques.....	99
325 - Peintures et vernis	
A - Les techniques.....	101
B - Les innovations.....	101

Fiche n° 4 : Assemblages

42 - Le soudage

A - Les techniques	105
B - Les évolutions	106
C - Les innovations	107

433 - Le collage

A - Les techniques	109
B - Les évolutions	111

<u>Bibliographie</u>	113
----------------------------	-----

Ce rapport est un document de travail élaboré au cours de la phase préparatoire du dossier de "branche mécanique" entrepris par le CEREQ dans le cadre de son programme d'activité 1972.1973. Il repose pour l'essentiel sur le dépouillement de revues techniques et intègre pour une faible part les résultats d'observations directes.

Le but d'un tel document est de rassembler une information disparate en un tout ordonné et suffisamment simple pour être utilisé par ceux qui, n'étant pas spécialistes, s'intéressent aux emplois de la mécanique et à leurs évolutions, dans le cadre ou non de l'étude de branche".

Dans un but de simplification, ces informations ont été classées en suivant le code n° 1 (1) de l'étude de "branche mécanique" se rapportant aux phases de fabrication et aux opérations réalisées en atelier.

A chaque phase de fabrication correspond une fiche divisée en sous-chapitres portant chacun le numéro et le titre de l'opération correspondante.

Dans le cas où aucune information, concernant une opération voire une phase de fabrication, n'a pu être trouvée, le sous-chapitre, ou la fiche, n'est pas mentionné.

Dans la mesure du possible les informations disponibles concernant une opération de mécanique ont été classées en trois rubriques :

- les techniques
- leurs évolutions
- les innovations.

Dans de nombreux cas les innovations concernent les machines-outils utilisées pour cette opération.

Une fiche portant le numéro zéro et concernant la commande numérique de machines-outils en général a été ajoutée.

En effet, ce type de technique nouvelle constitue une évolution qui n'est pas propre à un type de machine-outil particulier mais se retrouve presque dans tous les sous-secteurs de la mécanique. Il a paru utile de préciser ses caractéristiques dans la mesure où elle constitue une technique répandue.

(1) Ce code figure à la fin de l'introduction

CODES DES PHASES DE FABRICATION

ET OPERATIONS EN ATELIER

1- Mise en forme sans enlèvement de matière

- 11- Fonderie
 - 111 - Fonderie à sable ou à coquille
 - 112 - Fonderie sous pression
- 12 - Forgeage, estampage, matriçage, emboutissage
- 13 - Laminage, tréfilage, extrusion, frittage
- 14 - Découpage, cisailage, poinçonnage
- 15 - Pliage, roulage, profilage
- 16 - Sciage, tronçonnage
- 19 - Autres

2- Usinage par enlèvement de matière

- 21 - Ajustage (travail à la main)
- 22 - Décolletage
- 23 - travail à la machine
 - 231 - Tournage
 - 232 - Rabotage, mortaisage
 - 233 - Perçage, alésage
 - 234 - Fraisage
 - 235 - Rectification, meulage, affûtage
 - 236 - Taillage des engrenages
 - 237 - Superfinition, rodage
 - 239 - Autres
- 24 - Travail par procédés spéciaux
 - 241 - Usinage chimique
 - 242 - Usinage électrochimique
 - 243 - Usinage par lasers
 - 259 - Autres

3- Traitements

- 31 - Traitements thermiques
 - 311 - Trempe et revenu
 - 312 - Traitement par le froid
 - 313 - Traitement des non ferreux
 - 314 - Traitements divers
 - 319 - Autres

- 32 - Traitements de surface
 - 321 - Préparation et traitements divers
 - 1 - Traitements chimiques
 - 2 - " mécaniques
 - 3 - " électriques
 - 4 - " à la flamme
 - 5 - Nettoyage aux ultra-sons
 - 322 - Protection contre la corrosion
 - 323 - Revêtements métalliques
 - 1 - Procédés par immersion
 - 2 - Galvanoplastie
 - 3 - Métallisation par dépôt phase vapeur
 - 324 - Divers
 - 1 - émaillage, céramique
 - 2 - phosphatation
 - 325 - Peintures et vernis
 - 329 - Autres

4 - Assemblages

- 41 - Brasage

- 42 - Soudage

- 43 - Autres
 - 431 - Rivetage, clavetage
 - 432 - Agrafage
 - 433 - Collage
 - 434 - Serrage, frettage
 - 435 - Boulonnage
 - 439 - Autres

5 - Montages

- 51 - Montage d'ensembles métallurgiques

- 52 - " " mécaniques

53 - Montages d'ensembles électriques

54 - " " mixtes

59 - Autres montages d'ensembles

6 - Traçage

7- Autres phases de fabrication

71 - Conditionnement, emballage

79 - Autres.

FICHE N° 0

LA COMMANDE NUMERIQUE

DES MACHINES-OUTILS

I- DESCRIPTION DE LA COMMANDE NUMERIQUE ET DE SES AVANTAGES

La "commande numérique" n'est qu'un procédé comme un autre d'automatisation de la machine-outil. Elle a été inventée et mise au point pour résoudre les problèmes d'usinage difficiles voire impossibles à réaliser avec les machines conventionnelles. Elle a donc été d'abord appliquée aux machines-outils universelles (fraiseuse, perceuse, puis plus tard aux tours).

Une machine-outil à commande numérique peut être décomposée pour description en plusieurs sous-ensembles :

- la partie électronique (lecture des bandes, mémoire, centre de calcul etc...)
- les éléments mobiles ou chariots
- les commandes d'avance
- les organes de mesure
- les équipements accessoires.

1- La partie électronique

11- La partie électronique peut être plus ou moins complexe. De cette complexité dépendra le degré d'interdépendance dans les déplacements de la table de travail et des tourelles porte-outils.

On distinguera trois sortes de commandes :

- commande "point à point" : les déplacements de la table suivant les deux axes se font de façon indépendante. La table ne se déplace que l'outil en position haute. Ce type de commande s'applique surtout aux perceuses et aux taraudeuses.
- commande "paraxiale" : la table se déplace suivant les deux axes mais seulement l'un après l'autre. Ce déplacement a lieu pendant que l'outil travaille. Les fraiseuses et les aléseuses sont souvent équipées de ce type de commande.
- commande dite de "contournage" : ici la table se déplace pendant le travail de l'outil simultanément selon tous les axes de commande. Les machines les plus perfectionnées peuvent avoir jusqu'à 6 axes de déplacement ; deux sont les axes de translation de la table, les autres sont des axes de rotation soit de la table soit de la tête porte-outil. Les machines

travaillant en contournage sont essentiellement des tours, des rectifieuses et des fraiseuses.

La conception électronique de la commande de contournage est la plus élaborée, la trajectoire de l'outil est entièrement programmée point par point selon tous les axes.

Ce type de commande est surtout utilisé pour l'usinage des surfaces gauches. Les machines-outils équipées de ce type de commande perdent leur spécificité en matière d'usinage (fraisage, alésage etc...) pour se transformer en machines polyvalentes appelées "centre d'usinage".

12 - Les supports d'instructions.

Les "instructions" données aux machines consistent d'une part en des coordonnées de points ou de trajectoires, d'autre part en "instructions annexes" telles que : vitesses des broches, vitesses d'avance de travail, outils à employer, cycles de travail.

L'introduction des instructions dans la machine peut se faire :

- par affichage à main : l'opérateur rentre les instructions en mémoire à partir d'un pupitre de commande .
- par bandes perforées ou magnétiques : la bande perforée est un procédé ancien mais commode. Elle peut facilement subir des modifications (coupures et rajouts).

2- Les éléments mobiles

Les frottements solides et les jeux sont les principaux ennemis de la commande numérique. Ce sont ces frottements qui imposent une limite inférieure au plus petit déplacement.

Les systèmes directeurs de commande numérique permettent de contrôler et de commander les déplacements des organes mobiles de la machine avec des incréments de commande de l'ordre de 1 à 2 microns.

Pour qu'une machine puisse utiliser pleinement ses possibilités de déplacement, il est nécessaire que cette machine soit conçue avec un système de glissières qui supprime le phénomène de collage, ce phénomène interdisant des déplacements inférieurs à 1 ou 2 centièmes de millimètre .

Afin d'éviter ce phénomène les machines-outils à commande numérique ont été équipées de glissières à faible coefficient de frottement (par revêtement de Téflon) mais surtout montées sur roulements à galets ou équipées de systèmes à recirculation de billes.

En plus de l'absence de collage, les glissières à roulement présentent l'avantage de pouvoir être préchargées par un système hydraulique, ce système faisant disparaître le jeu habituel d'un chariot non chargé.

3- Les commandes d'avance

La commande d'avance ou "chaîne cinématique" d'avance se compose essentiellement d'un moteur et d'un système de transmission.

Ce système de transmission, sur les petites et moyennes machines, est un système de vis à billes. Sur les grosses on trouve un système de pignons-crémaillères avec rattrapage de jeu automatique.

En ce qui concerne le moteur, les solutions sont ici plus nombreuses. On trouve des moteurs hydrauliques, des moteurs électriques à courant continu, des moteurs électriques "pas à pas" et des moteurs électro-hydrauliques "pas à pas".

31 - Moteurs hydrauliques

Ce type de moteur associé à des servo-valves connaît actuellement un succès mérité, en particulier sur les grosses machines pour des puissances supérieures à 3 KW.

Cet élément possède des performances intéressantes, une grande fiabilité, et une faible inertie. Seul son prix reste une limitation à son emploi. Il nécessite également une centrale hydraulique importante en puissance et en débit. Il permet l'utilisation de toute la gamme des vitesses d'avance de 1 à 5000 sans aucun système d'engrenages dans la chaîne cinématique.

32- Les moteurs électriques à courant continu

Les moteurs classiques à grande inertie ont des performances limitées. Ils sont contrôlés par des asservissements simples dans le but de réaliser des ensembles peu coûteux mais donnent en général des résultats médiocres. La gamme de variation possible est de 1 à 600, ce qui

nécessite de prévoir des rapports de transmission pour obtenir les vitesses de travail et les vitesses de mise en position de l'outil.

Les moteurs à faible inertie, de par leur construction avec aimants permanents et rotor creux, autorisent des variations de vitesse très grandes et très rapides. Associés à des asservissements électroniques à thyristors, ils peuvent passer de -800 à + 800 t/m en 60 millisecondes.

Ces résultats permettent de construire des chaînes d'avance très simplifiées donc plus rigides pour obtenir la gamme des avances de 1 à 5000.

Ce matériel est encore peu diffusé du fait de son prix élevé, sensiblement égal à celui du matériel hydraulique.

33- Les moteurs électriques "pas à pas"

Dans ce type de moteur il existe une relation couple-vitesse de rotation qui interdit une grande zone d'utilisation. Dans la pratique, il faut prévoir un moteur électrique classique pour réaliser les déplacements rapides et laisser au moteur "pas à pas" la seule fonction de positionnement précis.

Ce type de moteur est surtout utilisé dans les machines "point à point".

34 - Les moteurs électro-hydrauliques "pas à pas"

La commande de rotation est assurée par un moteur électrique "pas à pas" de faible couple, donc capable de fonctionner à grande fréquence pour obtenir des déplacements rapides. Le couple nécessaire aux déplacements est produit par un moteur hydraulique dont la rotation est asservie au moteur "pas à pas".

L'inconvénient de cette technique est de nécessiter à la fois une centrale hydraulique et un asservissement électrique, d'où un prix de revient élevé.

4- Les organes de mesure

Les dispositifs de mesure des déplacements sont de trois types, à savoir : digitaux, analogiques ou codés. Le but de ces dispositifs est de

transformer les déplacements des organes mécaniques en informations ou grandeurs électriques.

Ces dispositifs peuvent être du type rotatif et placés en bout des vis de commande des déplacements, ou du type linéaire et placés alors sous forme de règles, sur les organes mobiles de la machine.

En fait, le système rotatif est le plus souvent adopté du fait de sa bonne étanchéité, et de son coût relativement peu élevé.

5- Les équipements accessoires

Toutes les catégories de machines décrites peuvent comporter des équipements accessoires qui modifient sensiblement leurs conditions d'utilisation :

- les porte-outils : Ils permettent d'effectuer le pré-réglage des outils sur des bancs spéciaux.

- les tourelles porte-outils : elles peuvent avoir des formes diverses (tambour, tourelle revolver...) ; elles permettent de monter plusieurs outils qui sont ensuite sélectionnés par rotation de la tourelle selon le programme d'usinage.

- les magasins d'outils : ils permettent le stockage d'outils pré-réglés beaucoup plus nombreux que la tourelle (45 contre 10 environ). Les outils stockés sont automatiquement fixés dans la broche à partir du programme d'usinage. Sur certains équipements, le changement d'outil s'effectue pendant que le travail s'effectue ailleurs. Les temps morts s'en trouvent ainsi réduits d'autant.

- les échangeurs de pièce : de conceptions diverses, ils permettent de fixer les pièces suivantes pendant que d'autres sont usinées. Ils réduisent les temps morts d'usinage et permettent l'approvisionnement automatique des machines.

6- Les avantages de la commande numérique

La commande numérique s'applique aux machines pour fabrications à la pièce ou en petites séries. Elle devrait donc intéresser les petites et moyennes entreprises. Le coût des machines à commande numérique étant de 10 à 100 fois plus cher que les machines classiques, les

petites et moyennes entreprises se heurtent à un problème d'investissement. Ce type de commande permet une plus grande adaptabilité de la machine et un abaissement des coûts de main-d'oeuvre et de prix.

II- DESCRIPTION DE QUELQUES MACHINES EN SERVICE

Ces différentes machines sont décrites dans les rubriques concernant les opérations qu'elles effectuent.

III- LES TENDANCES D'EVOLUTION DE LA COMMANDE NUMERIQUE

1- L'évolution de la programmation

La tendance générale est au développement de techniques génératrices d'économies, les deux exemples ci-dessous sont significatifs de ce point de vue.

11- L'éditeur de programmes

L'élaboration des rubans perforés classiques demande que des réserves soient faites par le programmeur et certaines limites doivent être observées pour tenir compte de conditions qui lui sont inconnues au départ.

Ensuite plusieurs essais sont nécessaires produisant un va-et-vient entre l'atelier et la programmation. Après la première application du programme, des améliorations peuvent être apportées, ce qui entraîne une reprise entière du travail de la bande.

"L'optimiseur de programme" basé sur la commande numérique directe par ordinateur permet de modifier facilement et à peu de frais les rubans perforés. Le programmeur peut créer, vérifier et améliorer directement les programmes de pièces et perforer de nouvelles bandes tout en observant les opérations sur les machines-outils et en y introduisant des corrections immédiates.

L'éditeur de programme est autonome et peut être déplacé d'une machine à l'autre. Cet équipement peut diminuer le temps de vérification des programmes jusqu'à 40 % et par contre-coup, accroître l'utilisation de la machine de 15 à 20 %.

12- Programmation de formes complexes

La programmation des formes complexes, non géométriques, était difficile, limitant les applications de la commande numérique à l'usage de pièces telles que moules et matrices.

La Régie Nationale des Usines Renault a pu mettre au point une machine à usiner et à sculpter qui résout partiellement les problèmes.

Cincinnati a mis au point le Scanner Acramatic qui permet la programmation de ces formes par copiage sur un modèle. Le ruban perforé est directement préparé par un copiage auquel s'ajoutent les informations auxiliaires de coupe, introduites par un clavier.

La précision générale de la reproduction est de $\pm 0,125$ mm.

Un système de sécurité avertit le programmeur s'il dépasse les possibilités d'inclinaison de l'outil ou les vitesses d'absorption des programmes.

La machine peut usiner une pièce pendant la préparation du ruban, ce qui constitue un test.

2- Commande numérique et ordinateur

L'électronique équipant les dispositifs de commande et de programmation pose certains problèmes. Dans les systèmes classiques la logique de la machine est incorporée de façon permanente à l'ensemble électronique et ne peut être changée. Elle peut donc se périmer rapidement. On tend donc vers un dispositif de commande où la logique du système est programmée sur un mini-ordinateur et mise en mémoire. Le programme du système agit sur la mémoire selon un schéma défini et détermine ainsi la logique de l'opération d'usinage. Le schéma peut être modifié à volonté, permettant d'adapter la commande aux exigences diverses d'usinage par simple reprogrammation.

D'une façon générale, les machines-outils à commande numérique doivent se doter de dispositifs de mesure et de capteurs de plus en plus élaborés. C'est pourquoi, avec les tolérances actuelles de l'ordre du micron, elles sont équipées d'étalonnages au laser des dispositifs de mesure, avec compensation automatique par le programme des erreurs de positionnement et autres. L'emploi du laser s'étend à la mesure "on line" ou en temps réel, des déplacements de la table et de la broche.

L'apparition de machines-outils à commande numérique a rendu possible l'usinage de pièces aux formes complexes. Mais en retour, les bureaux d'études ont été conduits à concevoir des pièces de plus en plus complexes qui posent des problèmes aux machines-outils.

La tendance à produire des pièces plus complexes conduit les bureaux d'études à utiliser les ordinateurs pour leur calcul. De même, un ordinateur sert, grâce à la communication graphique directe, aux

études de base. L'ordinateur produit alors le programme de la pièce presque automatiquement une fois l'étude terminée.

La complexité accrue des pièces entraîne le développement de la technique dite "de contournage" qui permet d'usiner des trous de diamètre différents avec les mêmes fraises, ce qui évite les opérations de perçage et d'alésage, de dégrossissage pour passer directement à l'alésage de finition.

La tendance à la baisse du prix des composants électroniques entraîne un maintien du prix des machines-outils à commande numérique, alors que le prix de revient des machines classiques tend à s'accroître. La commande numérique devient donc de plus en plus compétitive, aussi bien pour les petites que les grandes séries.

Grâce à la mise au point de la commande adaptative, il devient possible de surveiller continuellement les paramètres significatifs de l'opération d'usinage (vibration, contrainte due à l'effort de coupe, usure de l'outil) de façon à ce que le dispositif de commande puisse intervenir dans le fonctionnement de la machine. Cette méthode permet d'optimiser les vitesses d'avance sans crainte de rupture d'outil.

Au delà de l'optimisation du processus de fabrication des pièces elles-mêmes, il devient possible d'optimiser l'ensemble du processus. Le système de commande numérique est associé à un ordinateur pilote qui donne au dispositif de commande un accès direct à une bibliothèque de programmes de fabrication. Il devient également possible d'enregistrer les informations essentielles pour la gestion : stocks, factures, bordereaux de livraisons etc...

3- Equipement actuel en France et prévisions

Il existe actuellement en France environ 1 000 machines à commande numérique, alors que en 1968 on en avait prévu 6 000 pour 1975. De plus la majorité de ces machines sont à programmation manuelle. La diffusion est donc beaucoup plus lente que prévue.

D'ici 1973, on pense que 1 500 à 2 000 entreprises des secteurs constructions mécaniques et électriques envisagent l'implantation de machines-outils à commande numérique.

IV - COMMANDE NUMERIQUE ET EMPLOI

L'introduction de la commande numérique devrait entraîner une profonde reconversion.

1 - L'ouvrier

11- L'ouvrier de fabrication

A la place des ouvriers de fabrication traditionnels, qui devaient guider les déplacements de l'outil ou de la table, apparaissent des "opérateurs" dont la qualification dépend essentiellement de trois facteurs :

- la complexité et la taille des pièces à usiner :

Si une pièce est complexe, donc longue à usiner et chère, l'opérateur doit veiller sur le degré d'usure des outils de coupe et prendre seul la responsabilité de leur changement, il devra donc avoir une qualification élevée. Elle pourra être moindre dans le cas contraire.

- le niveau technique de la machine :

Si tous les axes de la machine ne sont pas commandés par programme, l'opérateur devra effectuer des réglages de butées donc avoir une qualification traditionnelle.

- la division des tâches effectuées par l'entreprise :

Lorsque la division des tâches est faible (il n'existe pas d'agent de méthode, contrôleur, régleur), l'opérateur doit avoir toutes les connaissances de la mécanique traditionnelle pour effectuer les montages, les réglages, les changements d'outils, les contrôles. Dans le cas d'une forte division des tâches, il n'a qu'un rôle de surveillance, mais dans ce cas, l'opérateur devra posséder une connaissance suffisante des problèmes d'usinage pour pouvoir interpréter des informations données par la machine (comportement de l'outil de coupe, vibrations de la machine, informations qui ne sont pas codifiées et qui de ce fait ne sont pas prises en compte par le programme, etc...). Son rôle consistera alors à corriger les défauts éventuels ou, s'il n'est pas suffisamment qualifié, à arrêter l'opération.

12- L'ouvrier d'entretien

L'entretien de ce type de machine est essentiellement préventif. Il demande des formations en techniques électroniques pour les travaux de routine, et des spécialistes très polyvalents connaissant l'hydraulique, la pneumatique, l'électronique et même les circuits de base des calculateurs.

2- Les techniciens

21 - Préparation

Les techniciens de préparation doivent connaître le langage de la programmation pour traduire en termes compréhensibles par l'ordinateur la gamme d'usinage choisie. Ils doivent connaître les principes de base du système à commande numérique.

22 - Méthode

Les techniciens devront connaître la programmation des machines. Ils devront repenser leur outillage et leurs montages. Ils devront en outre se familiariser avec les techniques des calculateurs électroniques, avec le télétraitement et avec le calcul économique.

23 - Bureau d'étude

Ces techniciens doivent également se mettre aux techniques d'automatisation dans le cadre de leur travail. Ils seront amenés à utiliser des tables à dessiner automatiques, à communiquer directement avec l'ordinateur, à utiliser des rappels de dessins automatiques.

3- Les ingénieurs

D'une façon générale les ingénieurs doivent assimiler toutes les techniques (commande numérique, programmation, calculateur), pour les intégrer dans la mise en oeuvre de leur outil de production.

Les ingénieurs de production devraient avoir des notions d'électronique et d'informatique.

Le rôle de l'ingénieur sera de trouver les moyens d'exploitation des ressources nouvelles dégagées par la commande numérique, pour produire au moindre coût.

V - ADAPTATION DES FABRICANTS DE MACHINES-OUTILS A LA COMMANDE

NUMERIQUE

L'évolution de certaines techniques semble devoir être envisagée avec plus de prudence : la commande numérique directe par ordinateur.

La prévision établie par Eurofinance indique un accroissement de la production en 1969 et 1970 égale à 20 % par an. La situation devrait se dégrader avec une plus mauvaise année en 1972 et une reprise en 1974.

On estime qu'il y a en Europe 1800 constructeurs de machines-outils employant 25 000 personnes. D'après les statistiques du CECIMO (1) qui portent sur 1 500 constructeurs, 70 % des entreprises occuperaient moins de 100 personnes et 2 % seulement atteignent le millier de salariés.

Ces firmes devront rationaliser leurs moyens de production ; d'autre part les petites entreprises peuvent difficilement construire une organisation de marketing suffisamment efficace pour s'implanter sur le marché mondial.

En Angleterre et en Allemagne le regroupement a tendance à se faire autour des constructeurs axés sur la commande numérique et l'informatique, lesquels sont souvent les prolongements d'importants groupes mécaniques ou chimiques.

Cette situation est favorable au développement de la commande numérique qui n'intéresse actuellement que 6 % de la production européenne. Mais selon le C.I.R.P. plus de la moitié des machines fabriquées en 1980 devraient être à commande numérique ou commandées par ordinateurs.

Les machines classiques ou semi-automatiques occuperont toujours près de la moitié des ateliers. On peut même prévoir que le développement des machines-outils à commande numérique et les gains de productivité qui en résulteront, accéléreront les renouvellements du parc classique.

La machine-outil classique restera donc un marché intéressant pour les constructeurs européens de taille moyenne ou petite.

(1) CECIMO : Comité Européen de Coopération des Industries de la Machine-Outil

FICHE N° 1

MISE EN FORME SANS ENLEVEMENT

DE MATIERE

11 - LA FONDERIE DE MOULAGE

A - LES TECHNIQUES

1 - La fonderie de moulage

Elle fond des produits de première fusion auxquels s'ajoutent des métaux de récupération. Elle refond, affine et coule les pièces qui seront ensuite usinées.

En fonderie de fonte ou de fer, l'appareil principal est un cubilot ; c'est un four vertical chargé par le haut en coke, mélange de fonte et castine, laquelle joue le rôle de fondant (abaisse le point de fusion de l'ensemble). A la partie inférieure on recueille la fonte affinée que l'on coule dans les moules.

En raison de la raréfaction relative du coke, de l'évolution de la législation sur la pollution atmosphérique, les entreprises devraient tendre à une substitution partielle du coke par le gaz naturel. Les expériences faites en U.R.S.S. et surtout en Allemagne depuis 1970 donnent des résultats intéressants. L'introduction de procédés mixtes, devrait entraîner une diminution sensible du coût spécifique par tonne de fer. Elle devrait être rapide en France à partir de 1972

2 - Les fours de fusion et de maintien en fusion de métaux non ferreux.

Les fours à flamme nue à sole sèche ou à bassin peuvent être utilisés pour les alliages d'aluminium,

- soit pour la fusion dans des fonderies dont la production est très importante, le maintien se faisant dans des fours à creuset,

- soit pour la fusion ou le mélange dans les usines de production du métal neuf, ou chez les affineurs pour la fusion et l'affinage de métaux de récupération.

Les fours à creuset peuvent être à chauffage par combustible ou à chauffage électrique par induction. Leur emploi est généralisé en fonderie de moulage de métaux non ferreux pour la fusion du métal et pour le maintien en fusion.

Certains fours servent seulement à la fusion, ils sont alors complétés par d'autres pour le maintien en fusion. Dans certains ateliers les deux opérations se font dans un même four. Les fours de fusion seuls sont souvent du type basculant.

Il semble que les fours chauffés au gaz soient compétitifs avec ceux chauffés au coke ou au mazout, et permettent un confort et une propreté des ateliers nettement supérieurs. De plus les fours à creuset chauffés au gaz peuvent être équipés de dispositifs automatiques d'allumage qui permettent d'effectuer cette opération avant l'horaire de travail de même que des marches réduites pendant la nuit.

3 - Les opérations annexes de fonderie

- Séchage du sable.

Le sable de carrière contient de 5 à 10 % d'eau et doit être ramené à moins de 1 %. Le séchage s'effectue dans des séchoirs qui peuvent être verticaux à trémie pour les productions moyennes (0,5 t/h) ou verticaux à plateaux rotatifs superposés pour les productions supérieures à 5 t/h.

- Séchage des moules

Les moules sont des pièces creuses en sable comprimé et séché et dans lequel se fait la coulée du métal en fusion.

Le séchage des moules peut se faire, pour les moules de dimensions importantes, soit à la flamme avec des chalumeaux légers, soit à l'air chaud avec des générateurs portatifs, soit par rayonnement infra-rouge. Les moules de petites dimensions peuvent être étuvés. Les étuves peuvent fonctionner : soit en discontinu avec des cycles de 3 à 12 heures, soit en continu (étuves tunnels) dans le cas d'une production en série.

- La cuisson des noyaux.

Les noyaux sont des pièces de sable dont la rigidité est obtenue par mélange avec un produit thermodurcissable (résines synthétiques). Ils servent à ménager les cavités et les évidements des pièces coulées. Leur cuisson se fait en continu dans des étuves tunnels ou à balancelles.

- La cuisson des carapaces.

Les carapaces sont des moules en sable de petites dimensions fabriquées selon la technique de noyaux par des machines spéciales.

- Les Coquilles

Sont des moules métalliques servant au moulage des métaux non ferreux. Elles sont utilisées le plus souvent sur les machines à mouler sous pression. A l'inverse des moules en sable ou des carapaces elles peuvent servir à des centaines de coulées. Très souvent elles doivent être préchauffées.

- Séchage et préchauffage des poches de coulées.

Les poches de coulées, qui servent au transport du métal liquide de l'appareil de coulée aux moules, doivent être préchauffés pour éviter un refroidissement excessif du métal.

B - LES EVOLUTIONS

1 - Tendances générales.

- automatisation avec, aux postes de coulées et de décochage, des dispositifs automatiques associés à de puissants aspirateurs de fumée.

- allègement des pièces. La pénibilité (poids, température, poussières) devrait être fortement réduite et les conditions de travail améliorées.

2 - Tendances de certains domaines

21 - Les matériaux : Les alliages d'aluminium, les cupro-aluminium, les fontes à graphite sphéroïdal se développent très largement.

22 - La précision : en préparation et en fabrication, des moyens de mesure et de contrôle nouveaux apparaissent : rayons X, gammagraphie, ultrasons, accélérateurs linéaires de particules.

23 - La masse de matière : pour un même service, les tuyaux en fonte à graphite sphéroïdal représentent un allègement de 20 % dans les petits diamètres et de 40 % dans les gros diamètres, par rapport à la fonte grise classique.

24 - La production suit en gros la croissance industrielle générale. Les marchés perdus sont remplacés par de nouvelles applications.

3 - Facteurs à l'origine de ces progrès

31 - La chimie : Les matériaux de moulage et noyautage ne sont plus des sables naturels liés à l'huile de lin, mais des sables synthétiques ou agglomérés par des résines synthétiques variées. Les conséquences en sont :

- suppression de l'étuvage des moules et de la cuisson des noyaux.
- meilleure précision et meilleur fini des formes.

32 - Les procédés de moulage : L'emploi de la cire perdue assure une précision et un fini permettant de limiter l'usinage à un simple surfacage ou même de le supprimer totalement. Les ailettes de turbo réacteur passent directement de la fonderie au comparateur.

33 - Les machines de moulage : Le moulage sous pression, les moules métalliques permanents permettent d'effectuer des moulages en séries : celles-ci peuvent aller de 100 000 à 1 000 000 de pièces par an avec une précision voisine de celle obtenue par usinage. Ces machines sont fortement automatisées.

C - LES INNOVATIONS

1 - Généralités

11 - Actuellement : On trouve dans les unités modernes :

- de petits appareils mécaniques individuels entièrement automatiques, qui ont entraîné la disparition de nombreuses opérations manuelles.
- des chaînes de fabrication continue, intégrant des machines hydrauliques de serrage de sable à haute pression et la coulée du métal télécommandée voire entièrement automatique.

12 - Perspectives : Remplacement de l'arc électrique ou de l'induction à 50 périodes, par des fréquences radio ou des canons à électrons, de façon à réduire au maximum les impuretés.

- Application du vide ou atmosphère de gaz neutre pour éviter toute réaction entre le métal et son environnement.

- Fusion avec "Modèles Perdus" en mousse de plastique : la coulée de métal a lieu, le modèle en mousse restant dans l'empreinte; celui-ci se gazéifie sous l'action de la chaleur du métal liquide. Cette méthode devrait entraîner une simplification considérable, le modèle étant usiné à très grande vitesse.

Un ordinateur dirigeant une machine-outil à commande numérique pourra garder en mémoire les données de formes et de dimensions relatives à chaque pièce.

Remarque : Les fondeurs sont susceptibles d'une très grande variété d'inventions : travaillant, les alliages, les combinaisons fusion - traitement du métal liquide, les refroidissements et les traitements thermiques, ils arrivent à obtenir des structures cristallines variées avec des alliages identiques permettant de répondre à autant de problèmes particuliers.

De plus des aciers difficilement forgeables, ainsi que de nombreux alliages réfractaires se moulent couramment.

2 - Exemples :

1 - Fonderie en coquille économique.

On remplace les coquilles traditionnelles qui sont souvent en plusieurs parties et usinées, par des coquilles moulées pour coulage de pièces mécaniques en alliages légers.

Ces nouvelles coquilles métalliques permettent d'éviter un outillage coûteux qui ne peut s'amortir que sur des séries importantes. Elles ont les mêmes avantages que la coquille classique (précision de reproductibilité, bon état de surface, longue série avec un même moule).

Leur application est limitée à des petites et moyennes séries.

2 - Moulage de pièces en aluminium.

La production horaire de pièces moulées sous pression dans des moules en acier a pu être augmentée de 50 % par adoption d'un nouveau procédé de poteyage qui remplace des produits à base d'huile, permettant d'éviter d'attendre que le moule soit suffisamment refroidi pour procéder à une nouvelle injection. Il facilite le démoulage de la pièce et accroît la durée de vie de l'empreinte. La cadence de moulage est passée de 80 à 120 pièces à l'heure.

Ce nouveau procédé est employé pour le moulage de pièces en alliage d'aluminium et en zamac entrant dans la fabrication d'appareils électroménagers.

12 - FORGEAGE . ESTAMPAGE

MATRICAGE . EMBOUTISSAGE

A- LES TECHNIQUES

1 - Généralités : Mécanique et chaudronnerie

De plus en plus la mécanique lourde et la chaudronnerie lourde s'interpénètrent économiquement : Babcock et Wilcox a pris le contrôle de Fives-Lille - Cail. Alstom a pris le contrôle de Stein Industrie et développe avec Neyrpic ses activités de mécano-soudage. La SFAC a fusionné avec la C.A.F.L.

Cette interaction s'observe non seulement dans ces grands groupes polyvalents, mais aussi dans le reste de l'industrie. De plus en plus, la chaudronnerie devient "mécanicienne" en réalisant des usinages de précision et inversement la mécanique fait une place croissante au mécano-soudage, utilisant ainsi les techniques de base de la chaudronnerie.

2 - Définition technique de la chaudronnerie

21- La chaudronnerie peut être définie comme un ensemble de techniques fondées sur les possibilités de formage et de soudure de métaux en feuille, permettant de construire des appareils destinés à contenir, transporter ou transformer des produits de toute nature, avec ou sans pression, et avec ou sans transformation physique ou chimique.

22 - La chaudronnerie serait à distinguer du mécano-soudage, ce dernier, basé sur les procédés de soudage, permettant de réduire ou de supprimer les opérations d'usinage sur machines-outils.

La chaudronnerie aurait donc pour but de fabriquer par formage et soudage des appareils de forme généralement cylindrique à partir de métaux en feuilles. Le mécano-soudage permettrait de fabriquer des ensembles mécaniques par l'utilisation des mêmes procédés.

3 - Définition économique de la chaudronnerie

Des secteurs d'activités économiques très variés tels que les chantiers navals, les entreprises de constructions métalliques en profilés, la construction automobile et aéronautique font appel à des techniques de chaudronnerie .

De même dans de nombreux équipements les parts respectives de la chaudronnerie, du mécano-soudage et de la mécanique sont indissociables. Il en va ainsi pour les turbines hydrauliques, les locomotives, les matériels pour la sidérurgie (hauts-fourneaux), les fours pour la métallurgie, les cimenteries, les sucreries, les matériels pour la chimie et l'alimentation, les matériels de travaux publics.

En résumé, ces techniques interviennent pratiquement dans presque tous les biens d'équipement considérés comme mécaniques.

B - LES EVOLUTIONS

Dans les années à venir les techniques de base, c'est-à-dire le roulage des métaux en feuille, devraient connaître des améliorations et innovations importantes qui permettraient des progrès de production substantiels.

1 - Le formage

11 - Amélioration dans la précision et la variété des formes obtenues.

12 - Abandon du formage à chaud au profit du formage à froid, qui donne une plus grande précision dimensionnelle, une meilleure qualité de surface et permet un degré plus élevé de déformation.

13 - Pour le formage léger, les presses magnétiques, plus économiques, tendent à supplanter les presses hydrauliques.

14 - Les machines à former équipées de commande numérique sont de plus en plus nombreuses ; les temps morts de machines à former étant élevés, l'automatisation tend à englober :

C - LES INNOVATIONS

1 - Le formage électro-hydraulique des métaux

Il s'agit d'une nouvelle méthode de formage des métaux en feuille qui tendra à compléter ou même remplacer pour certaines utilisations les presses d'estampage classiques.

Technique : une décharge électrique en milieu aqueux sous tension élevée provoque la formation d'une bulle de plasma et d'une onde de choc qui se propage dans la phase liquide.

Application : Formage à très faible tolérance de pièces complexes à géométrie cylindrique bombée en métal difficile à travailler : titane, niobium, alliages spéciaux (hironnel et nimmic). Le secteur aérospatial est le plus concerné.

Avantage : cette méthode permet parfois de remplacer la fabrication et l'assemblage de plusieurs sous-ensembles par le formage d'une pièce unique éliminant ainsi les frais d'outillage provenant de la multiplicité des pièces.

Fonctionnement : Semi-automatique.
L'ébauche de la pièce à former, munie de joints toriques d'étanchéité est placée dans la chambre de formage électro-hydraulique qui est ensuite remplie d'eau. Le vide est fait entre l'ébauche et la matrice. Après verrouillage du dispositif de sécurité, l'opérateur commande la charge électrique du condensateur et lorsque le niveau d'énergie affiché à l'avance est atteint la mise à feu se fait automatiquement.

Afin d'augmenter les cadences de production un seul système électrique alimente deux systèmes de formage.

Une machine verticale a été conçue pour mettre en forme des pièces d'un diamètre maximal de 130 centimètres.

Pour certaines fabrications il est possible d'opérer en plusieurs fois pour permettre des traitements thermiques de la pièce.

2 - les presses

21 - Définition : une presse est constituée par un bâti métallique dont la partie supérieure mobile peut exercer sur la partie inférieure une pression allant jusqu'à 2 500 tonnes pour les plus grosses. La commande de la partie supérieure peut être hydraulique ou mécanique (un énorme

volant restitue l'énergie cinétique emmagasinée).

Dans une presse à estamper la feuille de métal à former est placée entre deux matrices solidaires des batis. Sous l'effet de la pression la feuille de métal épouse la forme de l'empreinte.

Il existe des presses à : emboutir, estamper, matricer, poinçonner, plier, redresser, refouler etc...

22 - Exemples

Généralement l'innovation apparaît dans le type de commande de la machine : semi-automatique, automatique, programmable.

221 - Presses hydrauliques à refouler : utilisées dans le domaine de la déformation à chaud ou à froid. Ces presses peuvent être monobloc ou constituées de plusieurs éléments positionnés selon la dimension des pièces :

- l'alimentation est hydraulique.
- chaque outillage forme un ensemble complet, le remplacement des poinçons et matrices se fait très rapidement en dehors de la presse.
- un dispositif permet d'éviter tout glissement et déformation par flambage lors des opérations de refoulement.
- les pièces brutes sont stockées et positionnées automatiquement. L'évacuation est automatique.
- lorsque le refoulement se fait à chaud il est possible d'incorporer avant chaque opération un poste de chauffage par induction.
- les cadences vont de 400 à 1 500 pièces à l'heure suivant les opérations et la dimension des pièces.
- les pièces sont généralement terminées et ne nécessitent aucune retouche d'usinage.

222 - Presses de redressage automatique

Ce type de presse est destiné à redresser en grande série des pièces déformées après forgeage ou traitement thermique. La force peut aller de 3 à 60 tonnes.

L'équipement est composé de moto-réducteurs pour assurer les mouvements, d'un capteur de mesures, d'une platine d'alimentation, d'un amplificateur et d'un coffret de commande et réglage.

La pièce à redresser est positionnée automatiquement selon la déformation la plus grande. Après pressage le résultat de l'opération est confronté automatiquement avec les données ; le cycle s'arrête si le résultat est compatible, dans le cas contraire un nouveau cycle est entrepris. Pour le redressage multipoint , le cycle complet est répété au droit de chaque point à redresser.

En automatisant l'arrivée et la sortie des pièces, tout personnel peut être supprimé, le contrôle de qualité étant directement intégré à la machine de production.

223 - Presse plieuse à sélection automatique d'angle de pliage

Un affichage permet de programmer 8 plis successifs avec quatres angles différents. Le nombre de plis et l'ordre d'exécution peuvent être changés. Ce dispositif élimine le stockage et la reprise entre chaque plis d'une même pièce. Les commandes sont à cames.

La très grande simplicité et la rapidité de mise en oeuvre du programme permet l'utilisation pour les petites séries et les pièces unitaires, tout en n'exigeant pas de formation particulière de la part de l'opérateur. Ce système convient bien sûr à la grande série.

Les principaux avantages sont : la réduction de manutention; la réduction des temps de fabrication; la réduction des stocks , la pièce étant directement utilisable pour la fabrication; la possibilité d'interrompre le programme pour quelques pièces et de revenir instantanément au réglage initial.

13 - LE FRITTAGE

A- LA TECHNIQUE

1- Définition

C'est une opération effectuée dans la métallurgie des poudres. Elle consiste à agglomérer des grains de métaux divers afin de constituer une pièce ayant une cohésion et une rigidité suffisantes.

2 - Les divers modes de frittage

Le frittage à chaud : consiste à chauffer des grains de poudre d'un métal, déjà mis en contact l'un de l'autre, par tassage ou pression. Il se réalise entre les grains une soudure et non une fusion.

Le frittage à froid : l'agglomération des grains est obtenue à température ambiante ou peu élevée.

Le frittage sous pression consiste à appliquer une pression sur les pièces durant tout le cycle de chauffage et de refroidissement.

B - LES INNOVATIONS

1 - Le frittage du carbure de tungstène

Le carbure de tungstène, très apprécié pour sa dureté et sa résistance à l'usure, a, d'autre part, une ductilité très faible.

De ce fait, les pièces d'assez grandes dimensions fabriquées suivant les procédés courants de la métallurgie des poudres, présentent des défauts internes et une surface poreuse, incompatibles avec l'usage auquel on les destine.

Ce procédé de fabrication, basé essentiellement sur l'emploi d'une presse isostatique, permet d'obtenir des pièces pratiquement sans défaut et d'une forte densité. A l'intérieur d'une cuve blindée, un gaz

inerte (argon ou hélium) exerce sur le matériau une très forte pression, identique dans toutes les directions. L'opération est réalisée à haute température (1500 °C). On dispose pour le matériau proprement dit, d'un volume cylindrique de 35 cm de diamètre et de 130 cm de long, ce qui, pour cette technique, permet de réaliser des pièces de dimensions importantes.

On fabrique ainsi des pièces dont on attend une très grande solidité : des axes et des cuves de broyeurs, des pistons et des filières pour extrusion à froid, et des pièces nécessitant de plus un excellent état de surface, comme les rouleaux de laminoirs ou de polissage. La capacité de production avec l'appareillage actuel pourrait atteindre 140 à 150 t/an.

2 - Le frittage de l'aluminium

L'aluminium, grâce à la métallurgie des poudres, permet actuellement de réaliser des pièces forgées (bielles, pistons, vilebrequins) ayant une limite de fatigue de 12,3 kg/mm² et une résistance de 46,2kg/mm².

Pour obtenir ces pièces, trois opérations sont nécessaires :

- la poudre d'aluminium est d'abord préformée par tassage,
- ensuite elle est agglomérée sous atmosphère contrôlée,
- puis elle reçoit sa forme finale par forgeage à chaud.

La technique de l'aluminium fritté supprime le cycle complexe d'élaboration des pièces de mécanique usinées. Comparée aux autres méthodes d'élaboration, elle présente des avantages économiques en particulier la réduction des prix de revient.

14 - LE POINCONNAGE

A - DEFINITION DE LA MACHINE A POINCONNER

La structure de base est une presse. Le bâti supérieur mobile est lié à un outil appelé emporte-pièce servant à percer, découper ou former les métaux en feuilles par simple pression de l'outil sur le métal.

B - LES EVOLUTIONS

L'évolution de la technique dans ce type d'appareil est surtout sensible au niveau de l'automatisation, automatisation de la commande mais aussi du changeur d'outils.

Exemple : Poinçonneuse à commande numérique "Pullmatic 193".

Avec une puissance de 25 tonnes elle est destinée à la petite et moyenne série.

L'innovation principale réside dans l'apparition d'un échangeur d'outils qui assure le transport des outils et leur positionnement sur la machine, depuis le magasin.

Le magasin peut recevoir 72 outils de poinçonnage. Un vérin hydraulique permet le déplacement vertical du magasin. Les outils restent en place grâce à un cliquet à ressort. Le changement d'outil ne nécessite pas plus de 5 secondes. Aucun réglage des outils n'est nécessaire.

La table coulissante est mue par moteurs linéaires. Ils commandent des vis-écrous à billes pré-étreints, à l'aide d'engrenages à compensation de jeu.

La commande numérique est appliquée au déplacement de la table dans deux directions et aux changements d'outils. La précision de positionnement de la table est de l'ordre du dixième de mm.

16 - LE DEBIT (SCIAGE - TRONCONNAGE)

A - DEFINITION

Cette rubrique regroupe toutes les opérations de découpe de métal préliminaires à des opérations d'usinage ou de formage. Le métal peut être sous forme de feuilles (découpe au chalumeau) ou de barres (sciage).

B - LES EVOLUTIONS

Ces dernières années, l'évolution du rendement de ce type de machine est surtout due à la généralisation de l'emploi du carbure de tungstène sur les lames de scies (circulaires ou à rubans), à l'apparition de nouveaux abrasifs au diamant et à l'apparition de la commande numérique pour le guidage des portiques d'oxycoupage.

C - LES INNOVATIONS

1 - Banc d'oxycoupage

L'installation est commandée par bande perforée ou par lecteur optique sur plans à l'échelle 1/10. En commande numérique, la précision de coupe est de $\pm 0,6$ mm entre deux points distants de 10 m.

Les portiques d'oxycoupage ont une longueur variant de 12,5 m à 30 m. Ils acceptent plusieurs types de chalumeau : normaux ou têtes plasma, pour acier inox ou alliages légers.

Cette installation présente un avantage pour l'opérateur : la commande peut se faire à distance et il n'y a pas de problème de circulation autour de la machine, grâce aux enrouleurs de grand diamètre portant les flexibles.

2 - Abrasif diamanté pour le sciage

Le matériau de base de cet abrasif est un nouveau diamant industriel qui présente une haute résistance à la cassure, une plus grande stabilité thermique et qui coupe des matériaux très denses et très durs (matériaux réfractaires et béton solidifié).

FICHE N° 2

USINAGE PAR ENLEVEMENT

DE MATIERE

231 - LE TOURNAGE

A - LES TECHNIQUES

1 - Définition :

Le tour est la plus universelle des machines-outils ; il permet d'obtenir toutes les surfaces de révolution et certaines surfaces hélicoïdales. Pour obtenir une hélice on conjugue de la façon déterminée l'avance de l'outil avec la rotation de la pièce.

2 - Principales opérations effectuées

- chariotage cylindrique ou conique
- dressage des surfaces planes
- tronçonnage
- carottage (tronçonnage intérieur)
- perçage
- alésage
- chambrage
- moletage (refoulement du métal sur une surface extérieure cylindrique ou profilée)

B - EVOLUTIONS DES MACHINES CLASSIQUES

La précision est en progrès sensible grâce à l'amélioration des éléments de positionnement et de guidage. On assiste à un emploi de plus en plus fréquent d'assises hydro-statiques et de broches à coussinet d'air.

C - LES INNOVATIONS

Nous pouvons distinguer deux grandes catégories d'innovations : celles concernant les machines classiques et celles ayant trait à la commande numérique.

1 - Innovations sur machines classiques

11 - Tour pour usinage de haute précision

Un dispositif hydraulique spécial a permis d'éliminer les vibrations. Ce tour permet d'obtenir des surfaces identiques à celles que l'on obtient sur une rectifieuse. Les tolérances sont très étroites sur l'axe longitudinal.

Les domaines d'applications privilégiés de ce type d'appareil sont : le perçage, l'alésage et le tournage.

12 - Usinage au diamant

L'aluminium s'usine au diamant sur des tours de précision conçus spécialement. Le but de cet usinage est d'obtenir des disques en aluminium, usinés sur les deux faces, de 1,3 mm d'épaisseur avec une tolérance de 25 microns. Ces disques revêtus d'une fine couche d'oxyde magnétique sont utilisés pour enregistrer les données d'ordinateur, la mémoire à disque tendant à remplacer celle à tambour, le changement et le stockage étant plus commodes.

13 - Tours à repousser

Ils servent à effectuer des pièces en creux (fonds de citerne, calottes etc...). Les tailles des machines vont du matériel de moyenne capacité (diamètre de 70 cm) au gros matériel lourd (diamètre de 400 cm).

La contrepointe, le reproducteur, le chariot de repoussage sont à commande hydraulique.

La vitesse de broche est variable en continu et commandée par pupitre central.

Les mouvements du chariot de repoussage sont réglables en vitesse et pression pendant le travail, celui-ci peut être muni d'un système d'avance à présélection qui permet un important gain de temps.

14 - Tours à reproduire

Ce type d'appareil possède des tolérances très serrées tant au point de vue dimensionnel (5 microns sur le diamètre pour 4 heures de

production continue) que sur l'état de surface (1,35 microns en moyenne).

Utilisation :

- usinage des formes extérieures de pistons
- réalisation entièrement automatique des formes les plus complexes avec une fidélité remarquable.

Technique :

- la broche et le reproducteur à rotation synchronisée sont supportés par des paliers hydrodynamiques
- la vitesse de broche et les vitesses d'avances sont ajustables
- possibilité de travailler en rafales, le reproducteur étant facilement interchangeable.

15 - Tour à reproduire automatique

Ces tours permettent la reproduction automatique des pièces les plus complexes avec une grande fidélité.

Le support de la broche est à palier hydrodynamique.

Les outils sont fixés sur un barillet à deux positions : l'un pour les outils carbure de demi-finition, l'autre les outils diamant de finition. L'usinage aller fait la demi-finition, l'usinage retour fait la finition.

Le contrôle périodique se fait automatiquement.

Alimentation, chargement, indexage, usinage, arrosage et déchargement se font sans intervention humaine.

Un opérateur peut conduire 4 machines ayant chacune un débit de 50 à 100 pièces à l'heure.

2 - Machines à commande numérique

Les centrales de tournage Cincinnati Milacron :

Les centrales Cincinnati Milacron à commande numérique ont été spécialement étudiées pour l'usinage extérieur et intérieur de pièces placées entre pointes ou prises en mandrin. L'un des objectifs majeurs recherché a été de réduire au maximum les temps de préparation machine, sans rien altérer d'essentiel en matière de productivité et de rendement.

Ces centrales de tournage à commande numérique sont actuellement construites en trois versions :

1. Pour usinage extérieur de pièces prises soit "entre pointes" soit "en mandrin".
Cette version possède une tourelle-revolver à 8 outils indexables.
2. Modèle universel identique au précédent mais avec en supplément une tourelle pour usinage intérieur à 4 outils.
3. Modèle pour usinage en mandrin seul avec 2 tourelles de 8 outils chacune.

La commande numérique est du type à trajectoire continue sur 2 axes.

Technologie de construction

La tourelle-revolver d'extérieur à 8 outils est en forme de couronne renversée. Cette disposition permet d'éviter toute interférence, avec le mandrin, la contre-pointe et la pièce à usiner.

Chacun des 8 outils respecte, lorsqu'il est en position de travail, un même point commun dans l'espace. La programmation s'en trouve ainsi facilitée.

Le même principe est appliqué à la tourelle-revolver d'intérieur avec 4 ou 8 outils.

Les blocs porte-outils sont interchangeables. Chaque outil est réglé sur un banc de préréglage livré séparé avec la machine. Le chariot transversal et la contre-pointe se déplacent sur le même jeu de glissières, ce qui assure un parfait alignement.

La poupée est lubrifiée automatiquement. La contre-pointe est bloquée hydrauliquement. La boîte de vitesses possède un embrayage à commande hydraulique.

Il existe déjà 300 centrales de ce type en fonctionnement dans le monde.

233 - LE PERCAGE

A - LES INNOVATIONS

1 - Perçage du trépan ;

Cette unité de perçage sera montée sur des tours horizontaux. Elle remplace la poupée mobile ou la contre-pointe.

Elle permet des perçages de 25 à 75 mm de diamètre et de 3 à 11,250 mètres. La vitesse de coupe peut atteindre 100 mètres/minute.

Ce type d'appareil de conception simple est de conduite facile.

La tête est portée par 2 tubes s'emboîtant l'un dans l'autre, entre lesquels circule de l'air comprimé qui refroidit la tête de perçage et évacue les copeaux.

2 - Trépan réglable :

Il s'agit ici d'un porte-outil à trépanner et à aléser à diamètre variable (existe en 4 grandeurs standards). Il peut être monté sur perceuses, tours ou aléseuses.

Cet outillage convient très bien pour effectuer les découpes sur tôles, tubes, réservoirs, pièces chaudronnées. Les copeaux sont automatiquement éjectés, le carottage est rapide et régulier.

Tous les aciers, les métaux non ferreux, les alliages légers, les matières plastiques sont parfaitement usinables par ce procédé.

3 - Unité d'usinage automatique pour perçage transfert

La rotation des broches est assurée par des moteurs électriques. L'avance est pneumatique avec régulation hydraulique.

Les avantages sont :

- une avance de travail très précise
- un réglage rapide et précis
- après réglage, un interrupteur réalise le blocage instantané de l'ensemble qui permet le commencement du travail.

234 - LE FRAISAGE

A - LES TECHNIQUES

1 - Définition :

Le fraisage est un procédé d'enlèvement de métal caractérisé par deux mouvements :

- mouvement de rotation de l'outil-fraise, entraîné par la broche de la machine
- mouvement de translation de la pièce fixée sur la table de la machine.

2 - Principales opérations

- surfaçage :
Préparation d'une surface plane.

- rainurage :

On distingue :

- rainurages "de défonçage" pour la préparation de rainures profondes
- rainurages en forme : té ou queue d'aronde
- rainurages pour clavetages.

- sciage :

C'est un rainurage caractérisé par une grande profondeur de passe et une faible largeur de copeau.

- fraisage hélicoïdal

Il faut pouvoir donner à la pièce un mouvement de rotation conjugué avec le mouvement de translation de la table.

- perçage, alésage, pointage.

B - LES EVOLUTIONS

La machine classique évolue peu. Seule la précision augmente sensiblement. La commande des verniers est devenue électrique avec lecteur optique de ceux-ci. Tous les boutons de commande sont regroupés sur un pupitre mobile. L'aspect général de la machine change peu.

La seule évolution importante est l'apparition de la commande numérique. Les machines deviennent plus polyvalentes et il devient difficile de leur donner un nom précis. Elles deviennent des centres d'usinages.

L'apparition de machines multibroches permet de réduire les temps d'usinage et les coûts de fabrication .

C - LES INNOVATIONS

1 - Les machines multibroches

Les fraiseuses multibroches (plusieurs têtes de fraisage) permettent, de réduire les temps d'usinage, d'abaisser le coût unitaire de fabrication, de diminuer les investissements et de permettre des amortissements plus élevés.

Des systèmes de changement des têtes de fraisage permettent l'usinage de chaque métal ou alliage avec la broche la mieux adaptée.

Ces fraiseuses multibroches permettent l'usinage en "panoplie", de quatre pièces identiques ou symétriques quatre à quatre.

Elles peuvent être équipées de moteur hydraulique à couple constant et vitesse variable, ce qui permet des couplements directs sur les éléments à commander sans réducteur mécanique.

2 - Les machines à commande électronique

Dans ce type de machine une série de commandes électroniques assure diverses fonctions de télécommande et d'assistance hydraulique.

Ces commandes remplacent certaines fonctions assurées jusque là par des systèmes mécaniques ou électromagnétiques.

L'introduction de ces automatismes simples est techniquement et économiquement compatible avec les besoins de fabrication en petites séries souvent non répétitives.

Ces équipements peuvent être plus ou moins évolués.

On distingue :

- des équipements utilisant la définition de chaque déplacement (axe et valeur) par butées réglables.
- des équipements où les cycles de mouvements sont définis par programmation
 - a) programmation à commutations avec code descriptif élémentaire des combinaisons de mouvements
 - b) programmation à matrice à fiches pour affichage direct des données de chaque signaux avec fonctions auxiliaires.
- des équipements utilisant la définition totale des déplacements (axes, valeurs, sens) par affichage numérique direct sans butées et comportant ou non une visualisation simultanée sur les trois axes des valeurs de déplacements.
 - a) programmation avec affichage numérique direct de chaque élément de déplacement (plus éventuellement de fonctions auxiliaires) avec possibilité de mémorisation par cartes porte - fiches.
 - b) programmation par commutateur à décades, des valeurs, axes et sens de chaque déplacement (plus des fonctions auxiliaires en séquences plus ou moins nombreuses).
 - c) commande numérique paraxiale "classique" par bande perforée.

3 - Les machines à commande numérique

31 - Fraiseuse à 5 axes

- la table se déplace selon 3 axes : longitudinal, transversal, vertical.
- le plateau circulaire incorporé à la table donne le 4e axe

- la poupée porte-broche peut se déplacer de 200 mm suivant son axe : cela permet de percer, tarauder, ou aléser suivant une inclinaison donnée.
- le système de commande numérique permet de fournir sur chaque axe 99 999 positions, ce qui donne une grande précision de la trajectoire obtenue par rapport à celle programmée.
- Applications : usinages complexes (pièces hélicoïdales, profils gauches etc...). Ce type d'équipement n'est utilisable que dans les ateliers très spécialisés où il est impossible de réaliser des pièces par des moyens traditionnels (longerons d'ailes d'avions).

32 - Centre d'usinage monobroche à commande numérique

Les machines de ce type ne peuvent plus porter de nom particulier, elles peuvent effectuer les opérations suivantes : fraisage, alésage, perçage, taraudage.

La commande numérique est sur trois axes dont deux simultanés en contournage avec interpolation linéaire, circulaire, et correction du rayon d'outil.

L'origine est déplaçable sur les 3 axes et on dispose d'une compensation de longueur et rayon d'outil.

Les mesures analogiques se font en absolu. Les outils peuvent être utilisés dans un ordre quelconque et le changement dure environ six secondes.

33 - Exemple : Fraiseuse "Précimill " à commande numérique 5 axes.

Les innovations dans ce type de machines-outils

- moteurs à courant continu à rotor plat dont on peut faire varier la vitesse à volonté pour couvrir la gamme habituelle des vitesses d'avance.
- lubrification sous pression des glissières en acier traité et rectifié.
- broche horizontale associée à un plateau tournant permettant l'usinage de 5 faces d'un bloc sans débridage.
- les blocages sont assurés par des vérins hydrauliques.

- la commande numérique comporte :
 - origine flottante sur les trois axes grâce à laquelle une pièce peut être placée n'importe où sur l'attable de la machine sans avoir à prendre des butées mécaniques de référence.
 - visualisation sur chaque axe :
 - soit de la distance séparant le mobile de l'origine flottante
 - soit de la distance séparant cette même position de celle programmée.
 - usinage "miroir" qui évite d'établir un programme complet pour une pièce possédant un axe ou un plan de symétrie.

Dans le cas où l'on n'a qu'une seule pièce à usiner, la machine peut être conduite manuellement comme une machine conventionnelle.

34 - Commande automatique adaptable aux machines-outils

Mise au point par Boeing & Co Associated Products.

Cette commande permet de maintenir constante la force exercée par une fraise contre la pièce à usiner, quelle que soit la dureté ou les changements de section. L'avance de l'outil est automatiquement réglée à cet effet.

L'intérêt est d'arriver à réduire de 40 % en moyenne la durée d'usinage et à doubler la vie de l'outil lorsqu'il travaille l'acier.

L'installation des capteurs à l'extérieur du capot dans un anneau métallique qui entoure la broche à quelques centimètres de l'outil de coupe rend l'adaptation et la réparation du dispositif en cas de panne, beaucoup plus aisée et rapide.

Des circuits compensent les erreurs dues à certains facteurs tels que : jeu des roulements de la broche, déformations dues aux variations de température.

235 - LA RECTIFICATION

A - DEFINITION

La rectification consiste généralement à achever à la meule une surface usinée.

Elle permet, après un traitement thermique, de donner à une pièce ses dimensions en respectant des tolérances étroites.

L'opération s'effectue à l'aide de meules de grande qualité et de machines de haute précision dites rectifieuses.

B - LES EVOLUTIONS

1 - Accroissement des vitesses de meules

Cet accroissement de vitesse donne un meilleur fini des surfaces et une réduction notable du temps d'usinage.

Des rectifieuses cylindriques où la vitesse atteint 60 m/s sont apparues mais leurs outils ont un prix de revient très élevé.

2 - Amélioration dans la précision des dispositifs d'approche

Les rectifieuses de capacité moyennes pour travaux de grande précision bénéficient des améliorations suivantes :

- commande hydraulique des chariots de diamantage pour accroître souplesse et fiabilité

- regroupement de l'équipement électrique en une armoire étanche

- conception pour obtenir une machine très compacte

- conception pour faciliter le démontage des meules, pour assurer douceur et sensibilité de réglage des côtes.

- possibilité d'adaptation d'équipements annexes : diamantage automatique, compensation automatique d'usure des meules, auto-calibrage automatique, commande par impulsion, équilibrage électronique.

C - LES INNOVATIONS

1 - Rectification plane et de profil

Les progrès réalisés depuis quelques années dans la fabrication des meules abrasives permettent d'augmenter considérablement les performances des rectifieuses conventionnelles. Simultanément, l'application de l'électrochimie dans le domaine de la rectification plane et de profil fait ressortir dans de nombreux cas, des gains de temps appréciables. On peut donc se demander quelles seront les places occupées par ces deux techniques rivales dans un avenir plus ou moins rapproché.

11 - Rectification dans la masse

La rectification dans la masse consiste à rectifier une pièce en une seule passe de grande profondeur, cette profondeur étant de l'ordre de plusieurs millimètres.

Ce procédé s'applique à la rectification de profil lorsque l'on part d'une surface plane et que le profil de la pièce terminée est donné par celui de la meule.

On désigne dans ce cas par profondeur de passe l'écart entre la face de départ et l'endroit où le profil de la pièce usinée présente le creux le plus important.

12 - Rectification électrochimique

Le principe de l'électrochimie en général, et de la rectification électrochimique en particulier consiste à établir une différence de potentiel entre l'outil et la pièce à usiner, puis à introduire un électrolyte dans l'espace compris entre l'outil et la pièce.

Une rectifieuse électrochimique ressemble donc à une machine conventionnelle, dans laquelle le liquide d'arrosage serait remplacé par l'électrolyte.

En électrochimie l'outil doit être conducteur mais n'a pas besoin d'être dur, du fait qu'il n'est pas en contact avec la pièce. On peut donc se servir de "meules" en graphite ou en cuivre, le terme "meule" étant conservé par analogie malgré l'absence de propriétés abrasives.

Remarque : on utilise parfois des meules mixtes, à la fois abrasives et conductrices.

121 - Applications de l'électrochimie

L'électrochimie se prête aussi bien à la rectification plane qu'à la rectification de profil. Elle présente un avantage supplémentaire dans cette seconde application grâce à l'absence totale d'usure de la "meule".

Pour obtenir un débit analogue à une rectifieuse à meule une puissance de 40 à 100 KW est nécessaire.

En contrepartie, l'électrochimie peut s'appliquer quelle que soit la dureté des pièces à usiner, pourvu qu'elles soient conductrices d'électricité.

Compte tenu de l'utilisation de plus en plus grande de matériaux très durs, notamment dans les industries aérospatiales et nucléaires, il existe donc un domaine qui échappe inévitablement à la rectification conventionnelle et dans lequel l'électrochimie est le seul procédé utilisable.

122 - Caractéristiques des rectifieuses électrochimiques

L'électrolyte étant introduit sous pression, la réaction sur la pièce est sensiblement la même que dans une machine conventionnelle, ce qui implique la même rigidité de bâti.

Il faut prévoir un isolement entre le support de la pièce et le porte-outil.

Des précautions importantes doivent être prises pour l'étanchéité de la machine car l'électrolyte (eau salée) a une action corrosive sur le métal.

Du fait du générateur de courant continu et des équipements annexes en acier inoxydable, le prix de l'installation complète d'électrochimie est supérieur à celui de l'installation nécessaire pour la rectification dans la masse.

2 - Rectifieuse grande vitesse

La vitesse périphérique de la meule est doublée par rapport aux rectifieuses classiques. Elle est de l'ordre de 60 m/s. Cet accroissement de vitesse réduit proportionnellement les efforts de coupe en améliorant la précision et la qualité. Les surfaces sont en meilleur état et les frais d'ébarbage réduits.

Ce type de machine a une application particulière pour les enlèvements importants de métal et les longues courses de plongée. Le nombre d'opérations pour arriver à la pièce finie est réduit.

3 - Abrasif pour rectification de précision

L'utilisation d'abrasif au nitrure de bore cubique, qui est un produit de synthèse, au lieu de meules à base d'oxyde d'aluminium permet l'usinage des outils en acier rapide allié, ainsi que la rectification des matrices présentant de grandes surfaces.

L'usure de ces meules au nitrure de bore est plus faible ; elles permettent de respecter des tolérances sévères.

Les temps d'usinage et de dressage des meules étant plus courts, cet abrasif permet de réaliser des économies de main d'oeuvre.

4 - Autocalibrage électronique

Traditionnellement les appareils pour les mesures dimensionnelles de grande précision étaient des appareils pneumatiques à haute pression.

Les nouveaux appareils combinent un palpeur en carbure, ou diamant, avec un palpeur électronique qui reçoit l'information du précédent et la transmet à un coffret électronique. Le coffret élabore le signal et donne les informations visuelles à l'opérateur par affichage de la constante et allumage des voyants de seuil, ainsi que des informations électriques à la machine par contact de relais.

L'équipement comprend donc essentiellement un coffret électronique, relié à un ensemble de prise de cote à mise en place manuelle ou automatique par vérin hydraulique.

Ce type d'appareil doit équiper des rectifieuses cylindriques et des rectifieuses planes.

236 - LE TAILLAGE DES ENGRENAGES

A - LES TECHNIQUES

1 - Principe

Cette opération consiste à fraiser de profil l'espace compris entre deux dents consécutives au moyen d'une "fraise de forme" à profil constant et denture étalonnée.

Le taillage complet s'effectue par passage d'un creux au creux suivant en utilisant le diviseur universel.

Ce procédé est très lent et ne peut s'employer que pour des travaux unitaires et lorsque l'on ne dispose pas de machines spéciales à tailler les engrenages par génération automatique.

2 - Mode opératoire

21 - Réglage de la profondeur de passe

Pour obtenir un taillage précis il est recommandé d'effectuer une passe d'approche et une passe de correction.

22 - Manoeuvre du diviseur

Manoeuvrer le diviseur dans le même sens, sans dépasser le point d'arrivée afin d'éliminer les jeux de fonctionnement.

B - LES EVOLUTIONS

Les innovations de ces dernières années ont permis d'améliorer considérablement la rentabilité du taillage des engrenages par génération:

- la modification des chaînes cinématiques permet d'obtenir une plus grande vitesse de rotation de la fraise, réglable en continu.

- la conception modulaire permet l'équipement soit pour des taillages rentables en petites séries ou même à l'unité, soit pour un taillage automatique à grand rendement en séries importantes.

- ces machines peuvent être équipées d'un programme à double cycle, pour ébauche et finition en un seul montage, avec changement automatique de la profondeur de coupe et de la vitesse de fraisage. L'ébauche effectuée en "avalant" et la finition en "conventionnel" diminue les temps et accroît la rentabilité.

- pour l'automatisation en grande série, les machines peuvent être équipées de différents modèles de magasins conçus en fonction des pièces à usiner.

C - LES INNOVATIONS

Nouvelle machine à tailler les engrenages par fraise-mère:

- le système de commande hydraulique est sans contacts électriques
- le dispositif d'avance est réglable de manière continue.

Les principaux avantages de cette nouvelle machine sont :

- la robustesse
- le retour automatique de la fraise à sa position de départ
- la grande rigidité
- la précision optimale.

Ce type de machine est très utilisé dans les industries optiques et horlogères ainsi que dans la fabrication d'appareils de mesure.

237 - LE POLISSAGE

LES INNOVATIONS

Réduction de la consommation des produits de polissage.

Des dispositifs ont été conçus à partir des pompes à moteur pneumatique afin de pulvériser le mélange liquide (abrasif + diluant) à travers des buses en carbure de tungstène.

Ils ont pour effet de diminuer de moitié l'usure des disques de polissage et la consommation des produits jusqu'à 50 %. Le travail s'effectue ainsi dans des conditions de plus grande propreté. Les temps d'injection sont courts et permettent d'accroître les cadences de production, surtout sur les chaînes de polissage automatique. Les pompes permettent d'obtenir des débits variables et des largeurs de jets de 50 à 500 mm.

23 - ANNEXE

MACHINES SPECIALES ET ACCESSOIRES

LES INNOVATIONS

1 - Machine à fileter automatique

Principe : La pièce à fileter est entraînée à basse vitesse tandis que le filetage est obtenu par un jeu d'outils au carbure montés sur une couronne tournant à vitesse élevée.

Le réglage de la vitesse d'entraînement de la pièce est obtenu par variateur, contrôlé par tachymètre.

Le guidage de la pièce est assuré par des lunettes porte-buille. Celles-ci sont refroidies par un système incorporé à la machine.

L'arrêt de fin de course est automatique, ce qui permet la conduite de plusieurs machines par un seul opérateur.

2 - Unités de perçage et de taraudage Atlas Copco

Ces matériels construits par Atlas Copco pour le perçage et le taraudage automatiques ont été élaborés pour mécaniser et automatiser un grand nombre de travaux d'usinage différents. Le système comporte des éléments de base, complétés par divers accessoires adaptables et plusieurs dispositifs de fixation.

Un seul matériel d'usinage peut accomplir différents travaux : perçage, alésage, fraisage, et taraudage, au moyen de différents accessoires.

Grâce au large éventail de vitesses des outils, il est toujours possible de choisir les données de coupe appropriées au travail à réaliser et au matériau à usiner. Au cours du perçage de "longs" trous, le système de déburrage fait que l'outil se dégage automatiquement du trou aussi souvent qu'il est nécessaire pour évacuer les copeaux. Pour le taraudage la vitesse de rotation de l'outil est synchronisée automatiquement sur l'avance, afin que l'usinage du filetage soit le plus précis possible.

Au cours de toutes les opérations d'usinage, le mécanisme de pilotage hydraulique intégré règle la vitesse de l'outil : approche rapide, avance d'usinage et retour rapide.

Un détecteur de contact permet de passer de l'approche rapide à l'avance d'usinage, dès que l'outil touche la pièce.

Il est facile de transformer un nombre quelconque de groupes de taraudage et de perçage Atlas Copco en une machine "sur mesure" pouvant réaliser plusieurs opérations simultanément. Grâce aux faibles dimensions globales des groupes par rapport à leur capacité de travail, on peut usiner plusieurs trous à la fois, même sur des pièces de faibles dimensions.

Une telle machine peut également être automatisée et intégrée à d'autres machines-outils, sur une chaîne de fabrication.

De même, les groupes peuvent être transférés à une autre machine, car ils sont interchangeables, puis remontés lorsqu'on le désire. Les coûts d'amortissement sont ainsi réduits.

Une telle installation entièrement automatique diminue la durée d'usinage de 70 % et son coût d'entretien représente seulement 15 % environ de celui de l'usinage avec une perceuse classique.

Les unités pneumatiques du système LBL se divisent en trois familles de machines. Selon la puissance du moteur, la capacité de perçage va de 5 à 15 mm dans l'acier.

3 - Machines transfert à commande mécanique

Les constructeurs de machines transfert de précision ayant une commande mécanique, cherchent à rendre leur matériel attrayant à travers la standardisation systématique des éléments, de façon à le rendre universel.

Ils recherchent : précision, robustesse, simplicité de réglage, interchangeabilité, facilité d'évacuation des copeaux.

Ce type d'appareil s'adresse plus particulièrement à la petite mécanique, robinetterie, automobile, appareils électriques.

La conception en éléments standards permet l'interchangeabilité aussi bien d'unités complètes que d'éléments simples.

Le positionnement des broches se fait rapidement par chariots selon plusieurs axes.

4 - Machines à transfert rotatif

Les pièces à usiner doivent avoir un diamètre inférieur à 12 mm.

L'usinage se fait en cinq postes de travail dont un de chargement. Chaque poste peut être équipé de deux unités d'usinage.

Le blocage en position de travail se fait avec une grande précision ($\pm 0,01$ mm) et une grande rigidité.

La machine peut être équipée d'unité de fraisage, perçage, taraudage, avec une capacité de 800 à 1 000 pièces à l'heure.

Les avantages d'une telle machine sont : la simplicité de conception, l'adaptabilité à une grande variété d'opérations d'usinage, un accès facile à tous les organes.

L'alimentation de la machine peut être automatique (le poste de chargement a été conçu à cet effet). Elle est utilisée en production de moyenne et grande série.

5 - Usinage automatique de pistons

L'usinage des pistons de R 12 à l'usine Renault de Cléon se fait automatiquement.

21 machines sont réparties en 4 groupes correspondant à 4 opérations :

- 4 machines pour le tournage d'ébauches
- 6 machines pour le tournage de demi-finition et la segmentation
- 1 machine pour le perçage et l'alésage.

Elle comporte 16 stations :

- 7 d'usinage
- 3 de contrôle
- 6 de positionnement des pièces.
- 10 machines pour le tournage de finition de la forme extérieure.

La manutention est automatique. Les machines sont reliées entre elles par des convoyeurs automatiques avec points de stockage et tampons intermédiaires.

La capacité de production est d'environ 650 pièces à l'heure.

6 - Usinage automatique de carters de boîtes de vitesse

Chez Renault l'usinage des carters de boîte de vitesse de R 6 se fait automatiquement sur une ligne de machines transfert de 240 mètres.

On a 12 machines-transfert soit :

- 111 stations de transfert
- 68 unités d'usinage
- 29 unités de contrôle.

La répartition des machines est faite en trois tronçons parallèles de 80 mètres chacun. Le tout est relié par convoyeurs automatiques.

Les pièces peuvent être traitées par les machines :

- soit unitairement
- soit par paire (sont ensuite remises en files à l'évacuation).

L'alésage de finition se fait sur trois machines en parallèle, en raison du temps de l'opération.

Il existe un dispositif de rattrapage automatique de l'usure des outils de coupe. En raison du coût des arrêts les corrections des outils de coupe se font pendant les temps morts de la machine.

La cadence de production est de 160 pièces à l'heure avec un rebut de 10 % environ.

Les moyens de manutention sont ici plus complexes que pour les pistons, car il est nécessaire de positionner les pièces suivant les usinages à exécuter, de les regrouper avant certaines machines, de les remettre en file ensuite, de leur faire franchir des allées de circulation. Il existe des bancs de stockage intermédiaires pour ne pas provoquer des ruptures du rythme de travail. En fin de ligne un répartiteur distribue les carters à chaque machine d'alésage-finition.

7 - Accessoires communs aux machines à outils de coupe

71 - Changeur automatique d'outils

Il s'agit d'un dispositif permettant d'effectuer automatiquement les changements d'outils nécessaires à l'usinage en 5 secondes environ. Les informations "changement d'outil" et sélection de l'outil "appelé" sont lues sur une bande perforée.

Le magasin d'outils est généralement limité à 12 ou 15 positions, mais il est possible d'adjoindre des stocks annexes pré-réglés. Le chargement et le déchargement du magasin se font pendant le cycle d'usinage.

L'ensemble du dispositif est commandé par un système électro-hydraulique réparti dans deux armoires distinctes. L'armoire hydraulique comprend le groupe moto-pompe, l'électro-valve, le régulateur de débit, etc...

72 - Huile de coupe

Une nouvelle huile de coupe sulfochlorée permet une meilleure précision et un fini accru de l'état de surface. Elle diminue également l'usure des outils et le nombre des rebuts.

Cette huile est utilisée de préférence lors de l'usinage de matériaux durs et dans les machines à grand rendement travaillant à grande vitesse.

73 - Appareil permettant de déterminer les caractéristiques d'usinage des aciers inoxydables

Il a été mis au point un appareil permettant de mesurer l'effort de coupe et la température de l'outil. La connaissance de ces deux paramètres permet de déterminer les conditions optimales d'usinage d'un acier déterminé. Il découle de ceci un allongement de la durée de vie des outils, sans diminution de la qualité du produit ainsi qu'un meilleur choix des vitesses d'usinage.

74 - Interféromètre à laser pour mesures de précision

Pour étalonner le réglage de positionnement des machines-outils, on se servait jusqu'ici d'un étalon physique tel qu'une échelle graduée ou

une cale étalon. Cette méthode permettait d'obtenir des résultats relativement précis pour des longueurs à mesurer jusqu'à 600 mm. Au delà ils ne correspondaient que rarement au degré de précision exigé pour la machine testée.

L'interféromètre à laser a doté l'industrie mécanique d'une longueur étalon de haute précision, convenant aux machines-outils de toutes dimensions.

Avec un laser à Hélium-Néon ayant une longueur d'onde de 6328 Angström on obtient une précision de mesure de l'ordre du centième de micron.

Les premiers essais d'étalonnage avec un interféromètre à laser n'ont pas toujours permis un contrôle fidèle, et des mesures variables ont été enregistrées.

Les causes de ces variations ont été analysées :

- l'indice de réfraction de l'air est variable d'où une modification de la longueur d'onde du laser.

- influence de la température sur la machine avec les déformations que cela implique.

- déformations mécaniques des machines pendant le travail (ex : déformation du bâti sous le poids du chariot...).

a) Principe de l'interféromètre

Son fonctionnement est basé sur l'interférence optique de deux ondes lumineuses, de même longueur d'onde, qui s'annulent si, lorsqu'elles sont dirigées dans la même voie, les "creux" de l'une correspondent aux "crêtes" de l'autre, ou se renforcent quand les crêtes coïncident entre elles.

La projection du faisceau commun verra son centre fluctuer du clair au sombre à mesure que la nature de l'interférence alternera d'un type à l'autre. On pourra en conclure que le comptage des transitions du clair au sombre (franges) est une méthode de mesure de la distance.

b) interféromètre à laser 5525 Å.

Interféromètre à laser Hewlett-Packard présenté en 1970.

Son calculateur incorporé lui permet de tenir compte de la vitesse de la lumière et assure un affichage numérique stable ainsi qu'une résolution de mesure plus grande.

C'est une véritable règle étalon de plus de 70 m graduée en centièmes de micron.

L'appareil est composé de trois éléments :

- une tête interférométrique, qui génère un faisceau laser, de faible intensité
- un réflecteur qui renvoie le faisceau vers la tête interférométrique
- une unité de commande et d'affichage qui calcule et affiche les mesures.

Le système est très compact : 20 kg, une valise suffisant à son transport.

Son installation est très simple : il suffit d'installer soit la tête interférométrique, soit le réflecteur sur l'ensemble dont on veut mesurer le mouvement, l'autre restant fixe.

L'interféromètre possède 2 modes de fonctionnement :

- en mode normal l'affichage apparaît instantanément avec une résolution de 0,01 micron. Mais les vibrations de la machine suscitent des modifications de dimensions qui provoquent le défilement continu du dernier chiffre.

- mode de fonctionnement amorti :

L'affichage indique une mesure moyenne et non une position instantanée.

Parmi les développements intéressants signalons que cet appareil est utilisé à titre d'option "précision" sur des machines-outils à commande numérique, disposant de leurs propres transducteurs de position incorporés.

242 - USINAGE ELECTROCHIMIQUE

A - LES TECHNIQUES

1 - Principe

Dans l'usinage électrochimique tel qu'il est connu maintenant on combine l'action du courant et la forme de l'outil électrode :

- Tout le métal est enlevé par électrolyse
- La forme de la pièce est déterminée par la forme de l'outil cathode et par le déplacement de l'outil par rapport à la pièce pendant l'usinage.

La quantité de métal enlevé est régie par la loi de Faraday sur l'électrolyse. Pour une intensité de courant donnée on peut prévoir la quantité de matière enlevée. (tableau A.1).

L'espace entre l'outil et la pièce dépend de la vitesse d'avance de l'outil et de la rapidité avec laquelle le métal est enlevé (liée à l'intensité du courant). La forme finale de la pièce dépend de la dimension de cet espace et son contrôle est une des caractéristiques essentielles de la machine.

La conductivité de l'électrolyte doit être contrôlée pour obtenir un usinage précis. Elle est liée à la température et à la quantité d'hydrogène contenu dans l'électrolyte.

TABLEAU A. 1.

Taux théoriques d'enlèvement de métal
en usinage électrochimique

métal	valence	poids spéci- fique g/cm ³	métal enlevé pour un courant de 1000 A.	
			g./h	cm ³ /mn
Aluminium	3	2,67	336	2,06
Chrome	2	7,19	972	2,25
Cobalt	2	8,85	1 099	2,05
Cuivre	1	8,96	2 370	4,39
Fer	2	7,86	1 044	2,21
	3		694	1,47
Magnésium	2	1,74	454	4,34
Molybdène	3	10,22	1 194	1,95
	4		894	1,47
	6		599	0,98
Nickel	2	8,90	1 094	2,11
	3		731	1,36
Argent	1	10,49	4 026	6,39
Etain	2	7,30	2 215	5,05
Titane	3	4,51	595	2,19
Tungstène	6	19,3	1 144	0,98
Vanadium	3	6,1	636	1,74
Zinc	2	7,13	1 221	2,85

2 - Les différentes formes d'usinage électrochimique

21 - Le perçage

La cathode est de préférence un tube dont les parois latérales sont isolées, il conduit l'électrolyte dans l'espace de travail. Le trou est toujours d'un diamètre supérieur à celui de l'outil (0,2 mm environ).

Le perçage électrolytique est utilisé pour forer dans des matériaux durs et tenaces des trous profonds et de petit diamètre ; exemple : 1 mm de diamètre sur 60 cm de long.

22 - Copiage et défonçage

L'usinage électrochimique des aubes de turbines à gaz est un procédé de défonçage. L'aube obtenue est ensuite achevée par un polissage abrasif.

23 - Le tournage

En faisant avancer un outil de forme vers une pièce en rotation, on obtient une pièce tournée au profil de l'outil.

Ce procédé est surtout employé pour tourner des pièces de faible section, qui se déforment sous les efforts de coupe en tournage classique.

24 - Le tronçonnage

Utilisé pour couper des métaux tels que le tungstène ou ses alliages. Un disque mince en métal tournant à 5 000 m/mn à la périphérie est utilisé comme cathode. L'électrolyte est projeté radialement dans la zone de coupe. On obtient des vitesses de coupe de 4 mm à la minute.

25 - Le fraisage

Utilisé pour meuler sans abrasif les outils en carbure de tungstène, avec une roue en aluminium et une solution de nitrite de sodium comme électrolyte.

On utilise une roue métallique comme électrode. Un choix judicieux de l'avance permet d'éviter le contact avec la pièce.

3 - L'étude des machines électrochimiques

A première vue on pourrait penser que puisqu'il n'y a pas contact entre la pièce et l'outil, il n'y a aucune force entre eux et qu'il serait donc possible d'utiliser des techniques de constructions légères. En vérité les forces électromagnétiques, hydrostatiques et hydrodynamiques doivent être prises en considération. Une pièce d'une surface de 53X23 cm² peut subir une pression hydrostatique de 20 tonnes force.

La machine doit donc être très résistante à la flexion si on veut obtenir une précision d'usinage correcte. De plus les matériaux utilisés doivent être protégés contre la corrosion provoquée par les électrolytes. Le plastique est utilisé chaque fois qu'il est possible. L'isolation électrique est importante et une résistance à environ 30 V sans claquage est nécessaire.

B - LES INNOVATIONS

1 - Machine à percer

Cette machine permet de percer simultanément 30 trous dans des rotors d'acier trempé.

Les opérations de réglage ont été simplifiées et ne demandent pas plus de 30 mn. La machine peut être conduite par des ouvriers n'ayant pas de formation spéciale.

Elle permet d'usiner des alliages difficiles à travailler, des carbures agglomérés, le titane, le tantale et leurs alliages.

2 - Machine à ébavurer

Cette machine remplace le grenailage ou les disques abrasifs. Elle apporte une amélioration de la qualité avec rapidité, précision, et fiabilité.

Les applications privilégiées sont les grandes séries ou les petites répétitives, ainsi que les domaines où l'on recherche une qualité élevée.

3 - Système de filtration inédit

Ce système de filtration s'applique aux machines d'électro-érosion. Avant le travail on place dans le bas du filtre des diatomées (algues), qui, entraînées par la circulation du fluide, remplissent des gaines textiles en les précolmatant.

Ce système est plus efficace et plus économique que les filtres à cartouche.

243 - USINAGE PAR LASER

LES INNOVATIONS

1 - Usinage de précision par laser

Pour obtenir d'un laser le maximum de puissance lumineuse, il ne faut pas le faire fonctionner en jet continu mais par impulsions. La puissance sera proportionnelle à la cadence des modulations.

L'innovation est un modulateur acousto-optique. Ce nouveau dispositif agit sur l'amplitude du faisceau lumineux. Le modulateur est placé à l'intérieur de la cavité du laser.

Ce système remplace le modulateur fondé sur l'effet électro-optique. Il est simple à réaliser, et possède d'excellentes performances.

Avec ce modulateur des fréquences de un million de Hertz peuvent être atteintes. La puissance lumineuse est alors égale à 50 fois celle disponible lorsque le laser n'est pas modulé.

2 - Découpeuse à laser

Cette machine peut découper le nickel-chrome, l'or, l'aluminium, la plupart d'autres métaux en feuilles minces ainsi que les pellicules de plastiques sur verre absorbant les infra-rouges, et les céramiques.

249 - Autres

L'USINAGE ELECTRIQUE

LES INNOVATIONS

Machine à usiner le graphite

Cette machine permet d'usiner le graphite en supprimant les inconvénients de l'empoussiéage.

Elle réalise les électrodes deux fois plus vite et ne nécessite pas de personnel qualifié. 500 cm² est une surface d'électrode limite. Les outils doivent être confectionnés par des chalumeaux à plasma.

Apparue en 1971, cette machine remplace les machines-outils conventionnelles.

FICHE N° 3

TRAITEMENTS

31 - TRAITEMENTS THERMIQUES

311 - TREMPE ET REVENU

LES INNOVATIONS

Lignes continues de traitement thermique

La première ligne continue de recuit isotherme de pièces estampées comporte deux fours en parallèle et les organes de manutention nécessaires au fonctionnement automatique. Les pièces sont disposées sur des plateaux en acier réfractaire. La capacité de traitement est d'environ 600 kg de pièces par heure.

La deuxième ligne de traitement thermique comporte deux fours en parallèles : un bac de trempe à huile avec refroidisseur, agitateur et skip de relevage des pièces, un bac de trempe à eau avec les mêmes accessoires et les organes de manutention nécessaires au traitement automatique de 1 000 kg de pièces à l'heure.

Les processus de traitements sont les suivants :

1) recuit isotherme

- réchauffage et maintien à 900 °C dans le four haute température
- refroidissement rapide de 900 ° à 700 °C. Il est effectué sur le transfert reliant le four haute température au four basse température, par deux ventilateurs situés de part et d'autre du transfert.
- maintien en température à 700 °C dans le four basse température.

2) Trempe et revenu

- réchauffage et maintien à 850 °C dans le four haute température,
- trempe à huile ou à eau par chute des charges dans les bacs, relevage des pièces par skip,

- réchauffage et maintien à 550 °C dans le four basse température.

3) Recuit de normalisation

Ici seul le four haute température est en service. Les pièces subissent un réchauffage et maintien à 850/900 °C avec refroidissement à l'air.

32 - TRAITEMENTS DE SURFACE

Le traitement de surface a pour but essentiel la protection de la surface d'un métal :

- soit pour diminuer le coefficient de frottement,
- soit pour éviter la corrosion,
- soit dans un but décoratif.

Le revêtement des surfaces comporte généralement deux séries d'opérations:

- le traitement de préparation destiné à éliminer toute impureté ou film graisseux qui s'opposerait au contact entre le métal et le revêtement protecteur ;
- l'application du ou des revêtements protecteurs qui peuvent être soit du métal, soit de l'émail, soit des peintures ou vernis.

321 - PREPARATION ET TRAITEMENTS DIVERS

A - LES TECHNIQUES

Le traitement de préparation comporte une succession d'opérations élémentaires : dégraissage, décapage, rinçage ou séchage et, dans certains cas, passivation.

Cette préparation avant revêtement peut se faire soit par pulvérisation, soit par immersion en continu ou non, les procédés variant selon les méthodes utilisées.

type d'opération	mode de travail
Dégraissage aux lessives alcalines	Aspersion ou immersion
Dégraissage aux phosphates amorphes (en vue de passivation du métal)	Aspersion ou immersion
Dégraissage aux solvants chlorés	Immersion dans liquide ou vapeur
Décapage à l'acide - chlorhydrique - sulfurique	Immersion Aspersion ou immersion
Séchage	Air chaud

B - LES INNOVATIONS

Traitement mécanique par grenailleuse.

Cette machine assure une projection de grenaille sur des pièces métalliques. Les grenailleuses de précontrainte servent, par exemple,

à améliorer la résistance aux contraintes répétées (ressorts, tiges de soupapes...).

Différents paramètres (temps d'application, intensité, direction du jet, vitesse de rotation) sont programmés.

Il existe un système de récupération et de tri de la grenaille, pour ventilation après nettoyage et dé poussiérage.

Le contrôle se fait par un programme à fiche. En cas d'arrêt en cours d'un cycle, les compteurs et minuteriers conservent en mémoire la partie du cycle déjà réalisée.

323 - REVETEMENTS METALLIQUES

LES TECHNIQUES

1 - La galvanisation

Il s'agit ici de l'immersion, dans un bain de zinc en fusion, de pièces ou demi-produit, préalablement décapés et dégraissés pour faciliter l'adhérence.

La réalisation peut aller de la galvanisation à façon d'objets divers (chassis, pièces, profilés) jusqu'à la galvanisation en continu de feuillards et tôles, en passant par la fabrication d'éléments avec galvanisation intégrée.

Les formes, dimensions et dispositions de cuves de même que les systèmes d'avancement ou de manutention sont les plus divers.

2 - Autres métallisations

D'autres types de métallisation par métal fondu, telles que le plombage ou l'étamage, sont couramment employés dans des installations de capacité très modeste.

La métallisation peut ainsi se faire par projection de gouttelettes du métal en fusion, "shoopage", pour le zinc par exemple.

324 - EMAILLAGE

LES TECHNIQUES

Le processus d'émaillage de la tôle et de la fonte consiste à déposer, sur une surface métallique, un revêtement minéral, qui est ensuite vitrifié par cuisson au four à une température supérieure à 800 °C.

Le processus comprend :

- une préparation
- un premier revêtement en "émail de masse", qui a pour but d'assurer l'adhérence sur le métal
- une deuxième couche en émail de couvert à but décoratif.

Chaque couche subit une cuisson appropriée. L'émaillage de la tôle se fait uniquement en liquide, soit par immersion dans un bain, soit par projection au pistolet. L'émaillage de la fonte peut se faire par poudre, par liquide ou solide fondu.

Phases	émaillage de la tôle	émaillage de la fonte		
		poudre	liquide	liquide et poudre
Préparation	<ul style="list-style-type: none"> - dégraissage - rinçage - décapage - rinçage - neutralisation - séchage 	<ul style="list-style-type: none"> - décapage - rinçage - brossage - neutralisation 	<ul style="list-style-type: none"> - dégazage (recuit à 760°C) - décapage mécanique 	<ul style="list-style-type: none"> - décapage mécanique
Email de masse	<ul style="list-style-type: none"> - immersion - séchage - cuisson à 850 °C 	<ul style="list-style-type: none"> - poudrage - chauffage à 850 °C 	<ul style="list-style-type: none"> - pulvérisation - séchage - cuisson à 850 °C 	<ul style="list-style-type: none"> - pulvérisation - séchage - cuisson à 850 °C
Email de couverture	<ul style="list-style-type: none"> - pulvérisation - séchage - cuisson à 850 °C 	<ul style="list-style-type: none"> - poudrage - cuisson à 850 °C 	<ul style="list-style-type: none"> - pulvérisation - séchage - cuisson à 850 °C 	<ul style="list-style-type: none"> - poudrage - cuisson à 850 °C

En fonction de la nature des pièces et de l'importance des séries, on emploie des fours cellules (fours boxes) ou des fours continus.

325 - PEINTURES ET VERNIS

A - LES TECHNIQUES

Il n'y a pas lieu de distinguer la nature du produit qui est appliqué. L'ensemble peut être confondu sous un générique commun de "cuisson de peintures".

La cuisson des tôles d'acier laquées en bandes continues comprend une chaîne de prélaquage des tôles en bande, qui est alimentée par des bobines de feuillard ou des tôles laminées à froid préalablement galvanisées ou non. Les bandes passent auparavant dans un tunnel de préparation ; puis, la peinture est appliquée simultanément sur les deux faces par des rouleaux encreurs. Les bandes passent ensuite dans une étuve. Généralement une deuxième couche de finition est ensuite appliquée selon le même procédé avec une seconde cuisson. A la sortie se trouve un sas de refroidissement avec enrôleuse et cisailleuse.

Dans la cuisson en continu des tôles d'aluminium prélaquées, le principe est le même que précédemment, à la différence qu'il n'y a pas de couche primaire.

La cuisson d'impressions et vernis sur fer blanc s'apparente aux techniques de l'imprimerie. Les feuilles avancent horizontalement sur une chaîne jusqu'aux "peignes" des tapis d'une étuve à convection forcée.

Certaines petites installations industrielles utilisent la cuisson par rayonnement infra-rouge. Ces installations ont l'avantage de permettre une grande adaptabilité.

B - LES INNOVATIONS

Chaîne continue de trempe et de finition

Elle produit des feuilles d'aluminium trempé avec un état de finition à la demande du client.

Huit opérations peuvent être réalisées dont : ébarbage des bords, dégraissage de surfaces, découpage à la longueur souhaitée.

Cette chaîne peut traiter des feuilles allant jusqu'à 213 cm de large ; longueur de la chaîne : 400 m. L'alimentation se fait en continu grâce au soudage des bobines.

Ce système donne un produit de qualité uniforme, tant sur la finition que sur les propriétés mécaniques.

FICHE N° 4

ASSEMBLAGES

42 - LE SOUDAGE

A - LES TECHNIQUES

L'apparition de nouveaux matériaux, les besoins particuliers de certains secteurs ont obligé les industriels à imaginer de nouveaux procédés d'assemblage.

En particulier des métaux très purs comme le tantale, le titane, ou les matériaux spatiaux ont posé de nouveaux problèmes de soudage qui ont été résolus par la mise au point de nouveaux procédés.

1 - Définition

L'opération de soudage consiste à assurer une jonction solide entre deux pièces, c'est-à-dire à supprimer l'interface qui les sépare par fusion du métal.

Aux trois procédés classiques, soudage à l'arc, au chalumeau ou par résistance, se sont ajoutés des procédés nouveaux utilisés maintenant de manière industrielle.

2 - Le soudage par bombardement électronique

Le principe consiste à bombarder les bords des parois à souder par un faisceau d'électrons fournis par un canon. La quantité d'énergie fournie par ce faisceau porte les bords à souder en fusion instantanée et localisée.

Cette technique présente de nombreux avantages par rapport aux méthodes classiques tels que :

- soudage possible de tous les métaux, même réfractaires,
- soudage de métaux différents mais chimiquement compatibles,
- pas de modification de la pièce en dehors de la zone soudée,
- procédé très rapide et très précis.

Ce matériel est d'un prix de revient élevé et il est nécessaire d'exécuter le travail sous vide.

L'aéronautique et l'industrie nucléaire se partagent 60 % du nombre des machines à souder électroniquement.

3 - Le soudage par explosion

On utilise l'onde de choc provoquée par une explosion. Cette onde plaque les pièces à souder l'une contre l'autre, il s'ensuit des frottements intenses des surfaces de contact amenant la fusion d'une couche plus ou moins épaisse de métal.

Ce procédé est économique, mais utilisable seulement pour des surfaces de forme simple. Il permet également de souder des matériaux très différents.

Cette méthode de soudage est utilisée en chaudronnerie. On peut estimer à 1 000 tonnes/an la quantité de tôles plaquées par explosion.

4 - Le soudage par friction

C'est un procédé nouveau qui atteint juste le stade industriel. Il consiste à fixer une pièce sur un mandrin relié à un volant. On imprime au volant une certaine quantité d'énergie cinétique, l'autre partie de pièce est ensuite appliquée axialement et très fortement. Le frottement provoqué dégage une quantité de chaleur amenant la fusion du métal et l'arrêt du volant.

Cette technique s'adapte bien à l'automation et l'entretien du matériel est très faible. Il n'y a pas de métal d'apport, ce qui diminue le prix de revient.

B - LES EVOLUTIONS

1 - Expansion du soudage sous gaz

Sans un emploi intensif de machines de soudage électrique par résistance, complètement automatique, les constructions automobile et aéronautique n'auraient jamais atteint un tel développement.

Par contre, on n'a pas toujours une perception assez précise de l'évolution du soudage électrique à l'arc. Les ventes d'électrodes enrobées destinées notamment au soudage des aciers non alliés ont, partout, subi un certain ralentissement, dû à l'expansion du soudage sous gaz carbonique avec fil fusible.

Dans la construction des engins de travaux publics, des matériels agricoles, des matériels roulants de chemin de fer, comme en chaudronnerie et en tuyauterie industrielle, ainsi que dans la construction automobile, le procédé MIG ou MAG, en permettant la mécanisation de l'opération manuelle, a entraîné, grâce à une réduction des temps morts et à un accroissement des vitesses de soudage qui ont doublé et parfois triplé, une profonde réorganisation des ateliers de soudage et, par conséquent, des méthodes de production.

2 - Automatisme

Dans peu d'années la moitié au moins du tonnage de métaux d'apport fondus dans l'arc électrique sera déposée par les procédés automatiques et semi-automatiques, comme on le constate déjà aux Etats-Unis.

L'analyse des opérations de fabrication montre, en effet, que le nombre d'heures consacrées au soudage est rarement inférieur à 25 % du temps total de production. L'effort de productivité doit donc tout naturellement porter sur une réduction toujours plus importante des temps de soudage par l'automatisation des procédés.

Les progrès réalisés dans la rationalisation des ateliers de soudage, par une meilleure organisation du soudage manuel, comme par la mise en oeuvre croissante des nouveaux procédés (TIG, MIG, MAG, ou sous flux en poudre), tendent à assimiler les appareils de soudage à des ensembles opérationnels ou à de véritables machines-outils, intégrés dans les chaînes de production.

C - LES INNOVATIONS

Appareil de soudage CYBER-TIG

C'est un appareil de soudage à l'arc à électrodes de tungstène avec différents modules de commande. Il permet d'effectuer tous les

travaux de soudage manuels et automatiques.

La construction modulaire de l'ensemble procure à l'utilisateur une grande variété de programmes. Chacun des 12 programmes peut être changé en cinq minutes.

Pour le soudage des tôles minces et en toutes positions, le soudage peut être pulsé.

L'élément de base peut être complété par :

- un temporisateur pour purger les circuits de gaz avant soudage,
- un temporisateur pour le pointage,
- un réglage pour pente ascendante et descendante,
- un temporisateur pour régler le temps de soudage.

Le module de base peut fournir une intensité de 300 A sous 32 V en alternatif ou 20 V en continu. L'intensité est réglable de 3 à 300 A. Le facteur de marche est de 60 % en alimentation monophasée ou 100 % en alimentation triphasée.

La tension primaire est régulée, afin d'avoir un courant rigoureusement constant, et il existe un dispositif spécial pour faciliter l'amorçage avec certains gaz tels que l'Hélium.

433 - LE COLLAGE

A - LES TECHNIQUES

Le collage des métaux est apparu durant la dernière guerre mondiale et a été développé en premier lieu dans les industries aéronautiques anglaise et américaine.

1 - Définition et caractéristiques

Les différents types de colles peuvent être classés en trois catégories :

- les colles en film
- les colles solides avec un seul composant
- les colles liquides ou en pâte avec deux ou plusieurs composants.

La qualité d'un collage est conditionnée par deux facteurs importants :

- l'état de surface des pièces à coller : elles doivent être très propres. Les surfaces à coller sont dégraissées aux solvants et subissent des traitements chimiques ou mécaniques.
- les conditions de polymérisation de la colle : la pression exercée sur les surfaces à coller, le mode d'application, la température de cuisson conditionnent la qualité et la solidité d'un collage.

Le collage s'est introduit dans l'ensemble des secteurs en supplantant des techniques anciennes telles que le soudage autogène et le rivetage.

Les avantages du collage sont nombreux :

- déformations insignifiantes ou inexistantes des pièces,
- conservation des propriétés mécaniques du métal,
- conservation des propriétés esthétiques,
- possibilité d'assembler des métaux très différents, ou des métaux et d'autres matériaux (plastiques, bois),
- continuité et étanchéité du joint (par opposition au rivetage).

Par contre, le collage résiste mal aux hautes et basses températures ainsi qu'aux milieux humides et chauds.

2 - Domaines d'application

Les principaux types d'application peuvent être regroupés ainsi :

- collage de raidisseurs de panneaux,
- amélioration de la résistance des bords de structure,
- collage de structure rainurée,
- collage d'emmanchements tubulaires,
- association du rivetage, du soudage par points et du collage,
- collage des panneaux en nids d'abeille,
- suppression des noyaux de fonderie,
- collage métal-plastiques expansés.

Les principaux secteurs d'application sont les suivants :

21 - L'aéronautique

Outre le collage des structures en nid d'abeille largement utilisées pour la fabrication des panneaux et des carlingues, le collage est utilisé dans la fabrication des pales d'hélicoptère et des tours de hublots.

Le collage est utilisé pour la fabrication des obus antichars à charge creuse ainsi que pour l'assemblage des ailettes de roquettes.

22 - Les chemins de fer

Cette technique est aujourd'hui utilisée pour la fixation des poignées pour monter dans les voitures, de certaines pièces qui servent à fixer les panneaux extérieurs sur l'ossature des wagons, des panneaux de revêtement en formica ou polyrex dans les wagons-lits.

23 - L'industrie automobile

Le collage est maintenant très utilisé dans cette industrie. Les tableaux de bords, les renforts de malle arrière et de capots, les portières, certains enjoliveurs font partie des pièces couramment collées en automobile. Certains constructeurs collent les garnitures de freins et d'embrayage.

L'industrie des carrosseries spéciales (isothermes ou frigorifiques) utilisent abondamment la colle pour lier aux panneaux d'aluminium ceux de Klegecell ou de polystyrène expansé ou de polyuréthane mousse.

24 - Les industries mécaniques

Les engrenages non démontables, les pignons, les roulements à billes dans leurs logements, les garnitures de freins ou d'embrayages peuvent être collés.

Une importante société de machines-outils a réalisé le collage d'un chemin de roulement en bronze sur de la fonte ferreuse. Une société française colle du celoron sur de la fonte et une feuille d'acier inoxydable sur un bâti en fonte afin de réaliser un marbre.

B - LES EVOLUTIONS

Le collage est appelé à un développement considérable, car cette technique est capable de rendre des services à toutes les industries en permettant de décomposer la fabrication des pièces complexes en parties plus simples qui sont ensuite collées.

Beaucoup d'assemblages rivés ou soudés par point utilisent comme produit d'étanchéité des résines epoxy, de sorte que ces assemblages sont aussi collés. Des réservoirs à essence expérimentaux pour automobile ont été collés à chaud et ont donné entière satisfaction.

Du point de vue des équipements, le collage nécessite pour une entreprise l'acquisition de matériels spécialisés pour la préparation des surfaces (bacs de dégraissage, séchoirs, nettoyeurs à ultra-sons, machines à anodiser etc...). Le collage proprement dit nécessite des presses bien souvent chauffantes, sinon le total est passé dans des fours généralement une heure à 180 °C.

Ces équipements peuvent remplacer des matériels classiques de soudure et de rivetage.

L'introduction de cette nouvelle technique dans une entreprise peut entraîner des modifications dans la conception des pièces à fabriquer. La production bénéficie parfois de la suppression de certains usinages (gorges, rainures etc...), ce qui raccourcit le processus de fabrication. De même, en fonderie, le collage peut éviter au fondeur l'emploi de noyaux de sable plus ou moins longs à dégager qui fait baisser la cadence de fabrication.

BIBLIOGRAPHIE

OUVRAGES

- BARR (A.F. de) et OLIVER (D.A.) -
L'usinage électrochimique - Paris, Eyrolles, 1971.
- Bureau d'Informations et de Prévisions Economiques.
Les grandes tendances du progrès technique dans les
industries mécaniques. Neuilly , BIPE, 1971.
Doc. ronéoté.

REVUES

- Industries et Techniques : n° 183 (1971), 193,194 (1972).
- Ingénieurs et Techniciens :
n° 254,256 (1971), 260,261,262 (1972).
- "La commande numérique des machines-outils, facteur de
mutation des industries mécaniques."
Le Progrès Scientifique (revue DGRST) n° 131, juin 1969.
- Phase zéro : n° 7,14 (1971) , n° 4 (1972).
- Usine nouvelle : n° 17,21 (1972).