

SCIENCES^{et}

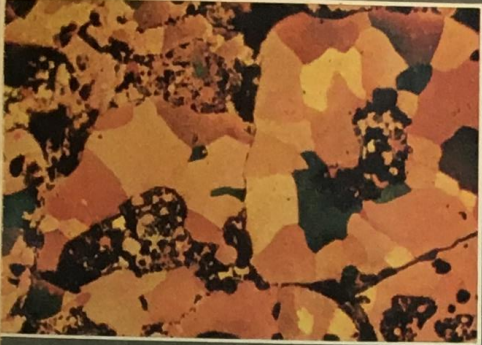
N° 130 • DÉCEMBRE 1957 • REVUE MENSUELLE

PRIX: FRANCE: 100 FR. • BELGIQUE: 19 FR. BEL.

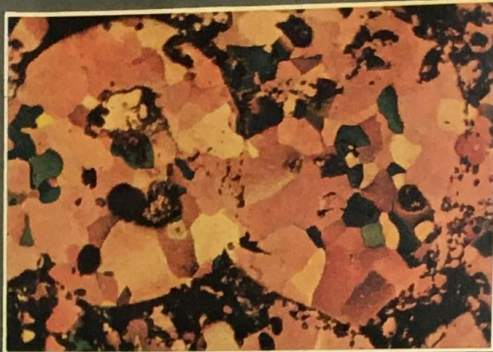
l'avenir

LE MYSTÈRE DES
« FEMMES-GIRAFES »
DE BIRMANIE

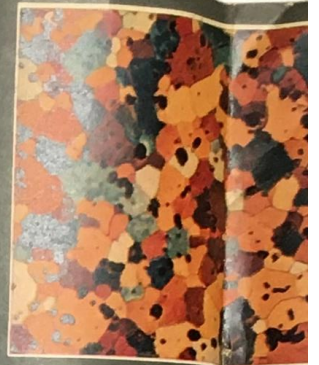




1. Les teintes d'interférence développées dans les pellicules minces formées à la surface des métaux mettent en évidence les différents grains constitutifs d'après leur orientation cristalline. Elles permettent notamment de suivre les transformations



de structure qui s'effectuent au cours des opérations thermiques ou mécaniques. La première photographie représente — à l'échelle 100 environ — le pénible stade du frittage, au moment où les particules se soudent entre elles. — 2. Les lignes de contact présentent maintenant des zones d'interpénétration :



caractéristique du soudage des grains. couleur ayant la même orientation cristalline. — 3. Les lignes de contact constituent le début de la soudure. — maintenant 800°. Les pores, petites cavités

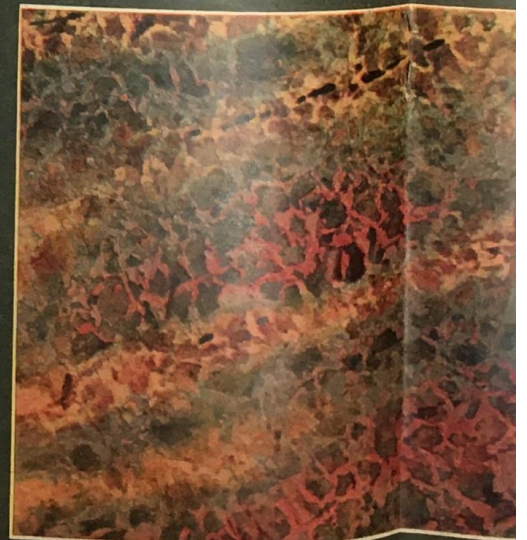
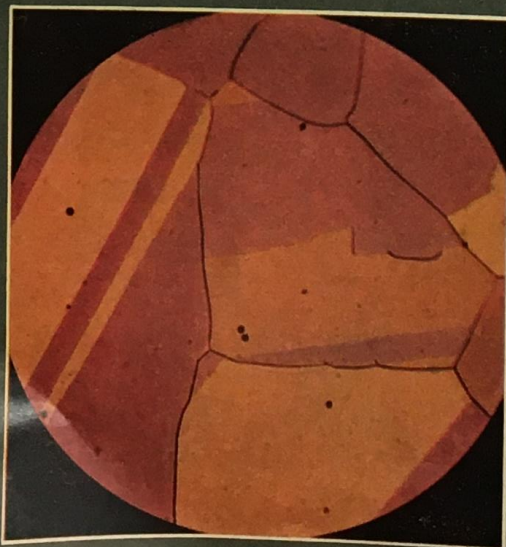
Féerie multicolore au service des métallurgistes

Sous un grossissement d'environ 100, ce que les techniciens appellent une « fonte grise d'hypoeutectique de lingotière ». Après avoir soumis cet échantillon à un réactif alcalin oxydant à chaud qui met en évidence une dendrite de solidification — l'arête de poisson qui traverse en diagonale la préparation — on peut observer les variations de compositions autour de cette dendrite grâce aux variations de coloration. Le squelette noir n'est autre que du graphite qui a été érodé par le polissage mécanique de l'échantillon.



Cette mosaïque aux couleurs chatoyantes (photo du milieu) est un acier forgé à 0,40 % de carbone. Les couleurs interférentielles obtenues révèlent dans tous ses détails la structure et l'hétérogénéité primaire du lingot. Le forgeage a créé des déformations qui se traduisent ici par un allongement général des différentes zones.

(Ph. Irsid-Beaujard)





caractéristique du soudage des grains. Les zones de même couleur ayant la même orientation cristalline, on distingue, à travers le dessin polyédrique des grains, les enclaves qui constituent le début de la soudure. — 3. Le recuit atteint maintenant 800°. Les pores, petites cavités apparaissant en



noir, sont nombreux. Leur répartition et leur forme sont à la base d'un grand nombre d'études. — 4. A 900 degrés, on constate le très net grossissement des grains : on s'approche, en effet, de la température à laquelle le fer γ fait place au fer α . Les pores, répartis de façon différente, sont déjà beaucoup



moins nombreux. — 5. A un grossissement moitié moindre que les préparations précédentes, un fer carbonyl laminé. L'action mécanique du laminage a fait disparaître toute porosité.

(Ph. Ecole des Mines)

cellent une « fonte grise » selon à un réactif alcalin on — l'arête de poisson variations de composition. Le squelette noir n'est que de l'échantillon.

Voici un précipité, dans une tôle de fer à 4% de silicium, observé sous un fort grossissement (500 environ). L'intérêt de ce cliché réside dans le phénomène de diffusion qui apparaît autour du précipité sous forme d'un liseré coloré.

(Ph. Irsid-Beaufard)



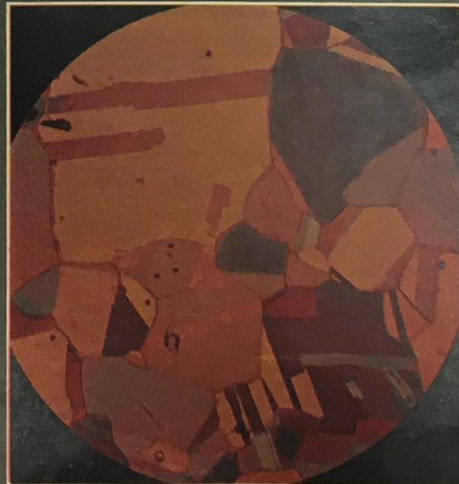
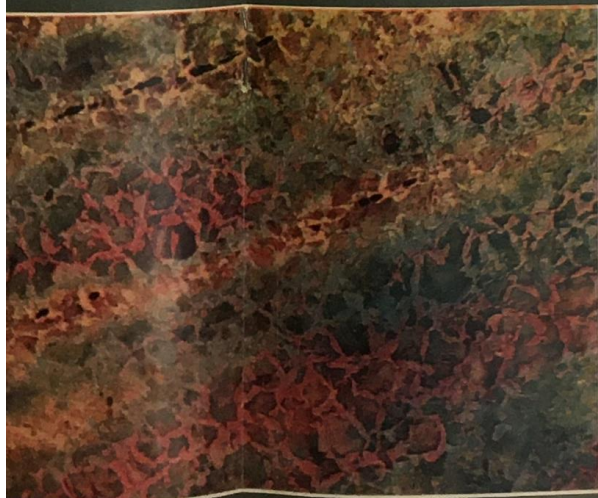
QU'IL s'agisse de la réalisation des fusées destinées aux engins intercontinentaux ou au lancement de satellites, qu'il s'agisse de la fabrication des ailettes de turbo-réacteur, de celles de tubes de refroidissement des piles atomiques ou même, plus simplement, de tubes pour les forages pétroliers, partout l'on réclame des alliages aux propriétés de plus en plus rigoureuses.

Ce sont les progrès de la métallurgie qui commandent aujourd'hui « le progrès » de nombreuses branches techniques. On peut dire que notre civilisation industrielle progresse au rythme de sa métallurgie. N'en indiquons qu'un seul exemple : la découverte d'un alliage léger plus résistant, ou d'un acier plus stable à haute température se traduit immédiatement par des progrès spectaculaires, des performances dans le domaine de l'aviation.

C'est en mettant en œuvre des techniques d'observation très nouvelles que la métallurgie a pu accélérer les progrès pour suivre le rythme des exigences de la technique. Deux procédés révolutionnaires d'examen de la structure des alliages ont vu récemment le jour : les méthodes de photographie couleur par interféromètre et la micro-analyse spectrographique par étincelle.

QUAND LA COULEUR NAIT DE LA TRANS-PARENCE

Utiliser une pellicule couleur pour photographier au microscope la surface d'une pièce métallique aurait semblé une pure hérésie il y a seulement encore quelques années. Certes, quelques métaux comme le cuivre ou l'or ont, par réflexion, une couleur nettement marquée, mais cette teinte uniforme n'ajoute rien à l'intérêt



Il est possible d'obtenir des pellicules minces en utilisant non pas des oxydations en phase liquide mais en phase gazeuse. C'est ce procédé qui a été utilisé ici sur un alliage nickel-chrome (photos à gauche et à droite) porté à 600° et qui montre d'une façon très nette les macles multiples qui se sont développées (grossissement 150 environ). Il ne faut pas oublier que ce sont des films minces analogues à ceux que l'on peut observer sur ces photographies qui sont souvent responsables des remarquables qualités de résistance à l'oxydation, à température élevée, de certains alliages d'un usage maintenant courant dans l'industrie chimique et mécanique.

(Ph. Irsid-Moreau)

du cliché qui ne révèle aucun détail supplémentaire. C'est pourtant la photographie couleur qui, ces dernières années, a bouleversé l'examen microscopique en révélant aux techniciens des détails insoupçonnés dans l'architecture complexe que représente l'enchevêtrement des cristaux au sein des alliages.

Tout le monde a pu observer les colorations prises par une tache d'huile répandue sur une flaque d'eau; des zones irisées aux teintes vives ou pâles s'évanouissent au moindre souffle pour se reconstituer dans d'autres tonalités quelques secondes plus tard. C'est qu'une partie de la lumière s'est réfléchiée sur la surface de l'huile tandis qu'une autre partie traversant la pellicule d'huile s'est réfléchiée, elle, sur la surface de l'eau; les longueurs d'ondes de la lumière — comprises entre 0,4 et 0,8 millièmes de millimètre — sont voisines de l'épaisseur de cette couche et les vibrations lumineuses réfléchies par l'huile et par l'eau se contrarient et se détruisent partiellement suivant le phénomène classique d'interférence (1).

Il y a annulation de certaines parties du spectre lumineux et la lumière blanche, privée d'une partie de son spectre va devenir colorée. La teinte obtenue dépend naturellement de la région du spectre dans laquelle s'effectue cette neutralisation et par conséquent de l'indice ou de l'épaisseur du film d'huile.

Or, à la surface des métaux il se forme souvent à la suite de certains traitements une très fine couche transparente d'oxyde qui joue le même rôle que la pellicule d'huile.

Ce phénomène, sur lequel nous allons revenir en détail, est d'ailleurs assez courant: il y a très longtemps que les ouvriers d'aciérie reconnaissent la température d'un «recuit» à la couleur apparente du métal refroidi et parlent d'un «recuit bleu» par exemple. Dans ce cas, c'est la couche d'oxydation formée à la surface du métal qui donne lieu à ce phénomène.

C'est ainsi encore que les lames de rasoir «bleues» ne doivent leur couleur à aucun artifice, mais seulement aux conditions de leur traitement thermique. Même explication pour les copeaux métalliques portés à haute température lorsqu'ils sortent de la fraiseuse ou du four: à la couleur propre du métal se superposent des irisations bleues, vertes ou rouges qui ne sont autre chose que des colorations d'interférences.

La nouvelle acquisition de la métallographie est de s'être aperçu que ces fantaisies optiques pouvaient être utilisées comme un moyen d'étude extrêmement précis des surfaces métalliques. En effet, par des méthodes appropriées on peut faire apparaître à la surface de nombreux alliages, des pellicules transparentes dont l'épaisseur variera non seulement avec la nature des micro-cristaux mais même avec leur orientation.

(1) Parmi les rayons réfléchis qui atteignent notre œil, certains auront une différence de trajet optique égale à $n \times c$, si n est l'indice de réfraction du film d'huile et c son épaisseur si ce produit correspond à une longueur d'onde comprise entre 0,4 et 0,8 millièmes de millimètres des parties correspondantes du spectre lumineux.

Le schéma de principe de la coloration est donc le suivant: à chaque épaisseur de pellicule correspond une teinte d'interférence; à chaque zone de même orientation cristalline correspond un développement en épaisseur particulier de la pellicule formée; le troisième terme de ce syllogisme rigoureux est donc qu'à chaque orientation cristalline correspond une teinte particulière. L'observation de la mosaïque colorée conduit ainsi à ce que l'on pourrait appeler une micrographie d'orientation par opposition à ce que l'on obtient en métallographie classique par gravure.

LA COULEUR, AUXILIAIRE PRÉCIEUX

Avec la couleur l'observateur dispose d'un paramètre de jugement supplémentaire, il différencie des aspects autrefois confus, il contrôle des hypothèses restées timides, il perçoit de nouveaux détails. Par sa finesse de discrimination, la couleur a permis de mieux connaître les phénomènes de recristallisation et de fixer les caractères fugaces

Dans la métallographie classique, en attendant qu'une solution corrosive la surface d'un alliage préalablement polie comme un miroir, on faisait apparaître de micro-reliefs, certains cristaux se trouvant plus attaqués que d'autres. Tout l'art du photographe consistait à tirer un parti maximum de ces reliefs pour rendre aussi nette que possible la structure cristalline de l'alliage. L'examen ne constituait souvent qu'un renseignement topographique limitant l'intérêt de la micrographie à une méthode descriptive ou morphologique.

Dans les procédés de micrographie en couleur, il ne s'agit plus de gravure: il n'y a plus d'attaque de la surface de l'échantillon mais simplement développement sur celle-ci d'une pellicule transparente dont l'épaisseur est telle qu'elle donne lieu à des phénomènes d'interférence. Si l'épaisseur de cette couche mince est déterminée par l'orientation cristalline du métal sous-jacent — on dit alors que la pellicule est épitaxiale — chaque cristal d'un agrégat apparaîtra, lorsqu'il est éclairé en lumière blanche, avec une coloration propre dépendant de l'épaisseur du film à cet endroit.

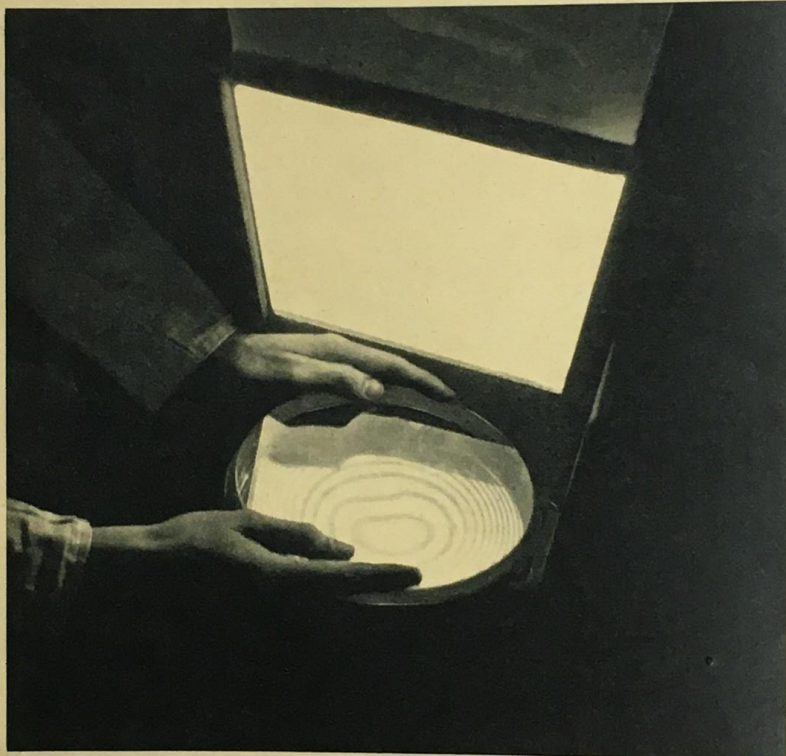
LES VOIES OUVERTES PAR LA MICROGRAPHIE EN COULEUR

Qu'il s'agisse de mettre en évidence des hétérogénéités très faibles de composition, des relations étroites d'orientation entre cristaux, des structures préférentielles de recristallisation primaire ou secondaire qu'il s'agisse de différencier les divers états d'un même métal par l'étude des structures de fonderie, d'écrouissage ou de restauration, qu'il s'agisse de matérialiser les premières traces de déformation plastique de cristaux soumis à une tension ou la diffusion de l'oxygène dans les sous-couches d'oxydes, le développement des pellicules épitaxiales et leur observation au microscope conduit à des résultats surprenants. Parmi tous les exemples qu'il serait possible d'illustrer, nous en avons choisi seulement quelques-uns montrant, soit les possibilités de suivre une évolution

soit la variété analytique de tels examens. Les photographies de cet article provenant de l'Institut de Recherche de la Sidérurgie — laboratoires de MM. Moreau, Capricet et Beaujard — soit de l'École Nationale Supérieure des Mines de Paris — laboratoire du professeur Lacombe — donneront au lecteur, mieux que tout commentaire, une idée plus précise de la valeur de cette méthode d'investigation.

Indépendamment des renseignements qu'on est susceptible d'obtenir par la micrographie en couleur sur la structure même des alliages, comme nous l'avons signalé plus haut, la formation même de films minces doit conduire à une meilleure connaissance — et par là à une meilleure maîtrise — de phénomènes très divers.

Dans cet ordre d'idées, il ne faut pas oublier que ce sont des films minces, parfois invisibles,



Cette expérience classique d'interférence met en évidence comment des colorations en anneaux apparaissent lorsque la lumière partiellement réfléchiée par la surface d'un liquide se trouve combinée avec une autre partie du flux lumineux qui a pénétré sous la surface et revient avec un décalage de phase.

(Ph. Doisneau)

ou difficilement appréciables des phénomènes d'héritage des grains; par ses nuances subtiles, la couleur a donné des dimensions aux propriétés diffusantes de certaines impuretés, elle a matérialisé des paramètres mal connus ou inconnus dans l'évolution naturelle ou artificielle des métaux.

Mais la couleur n'est pas seulement là pour faire éclater en mille teintes chatoyantes l'art abstrait des architectures cristallines; son origine, liée, comme nous le verrons, à la structure même du métal examiné vient poser de nouveaux points d'interrogation. Reflet très fidèle de l'orientation des cristaux superficiels elle a surtout permis jusqu'à présent des déterminations comparatives. Une meilleure connaissance des phénomènes et notamment de la formation des couches épitaxiales apportera sans doute des éléments nouveaux d'un intérêt indiscutable.

qui sont responsables des remarquables qualités de résistance à l'oxydation aux températures élevées de certains alliages dont l'usage est devenu courant dans l'industrie chimique et mécanique : aciers ferreux au chrome, aciers austénitiques au chrome-nickel, etc... Dans ce domaine, les exigences sans cesse accrues de la technique ne peuvent être satisfaites qu'à la suite d'études approfondies sur la constitution des films protecteurs (1).

Enfin, l'influence de l'atmosphère sur le matériau ne doit pas être négligée. La présence d'un film d'oxyde protecteur superficiel peut en effet modifier d'une façon importante non seulement les caractéristiques de fluage et de fatigue à haute température, mais encore son comportement au cours du laminage à froid.

Ainsi ce film qui est à l'origine d'une observation colorée au pouvoir discriminatoire élevé présente lui-même, en tant que couche superficielle primaire, un intérêt considérable. Nous ne voulons voir là qu'un nouvel

alliage. Cet appareil n'analyse pas la composition d'un cristal microscopique de la surface métallurgique, mais la composition moyenne de toute une zone comportant plusieurs dizaines de cristaux.

Or, aujourd'hui, un très remarquable appareil — un appareil français — permet de faire se rencontrer ces deux sciences sur un grain bien déterminé d'une structure métallique. C'est le « micro-analyseur » du professeur Raymond Castaing, aujourd'hui professeur en Sorbonne.

Il en réalisa d'abord une ébauche expérimentale à l'Office National d'Etudes et de Recherches Aeronautiques (ONERA). Les résultats s'étant avérés excellents, l'ONERA et l'IRSID (Institut de Recherches de la Sidérurgie) se mirent d'accord pour lui commander deux exemplaires d'un appareil définitif. Cet appareil, qui fut alors repensé à partir de zéro, a donné de si bons résultats, a été tellement admiré par des visiteurs étrangers de nos deux grands organismes de recherche, que sa construction a plusieurs

exemplaires a été décidée par la Compagnie Générale de T.S.F. ou, plus exactement, par une de ses filiales, la CAMECA.

Un atome, frappé par des rayonnements énergétiques, réagit en émettant lui-même d'autres rayonnements. Nous savons tous qu'un atome ainsi « excité » peut émettre de la lumière et que les longueurs d'ondes des composantes de cette lumière sont caractéristiques de sa nature. Mais les spectres lumineux présentent des « raies » qui, le plus souvent, sont fort complexes et qui peuvent être fort peu nettes et, même, se présenter de façon très embrouillée.

Mais quand, sous des énergies plus fortes, c'est par des rayons X que répond l'atome, alors cette émission donne un spectre plus simple et plus net qui permet une identification facile du corps.

Ce principe d'une analyse par émission de rayons X est connu depuis Moseley, le jeune et grand physicien anglais qui fut tué à la première guerre mondiale.

Depuis, quelques essais d'application



exemple de l'orientation prise par une méthode pour devenir elle-même un sujet de recherches.

LE « MICRO-ANALYSEUR » DU PROFESSEUR CASTAING

Mais ce n'est pas tout de connaître la structure des métaux, de discerner sur leur surface une mosaïque complexe de formes intriquées. Nous voudrions descendre plus loin, voir ce qui, dans leur composition intime, distingue entre eux ces divers cristaux dont l'assemblage forme la masse de l'alliage.

Autrement dit, il faudrait que, à la connaissance morphologique corresponde une égale connaissance chimique : quelle est la composition de l'alliage en tel ou tel point très précis de sa surface.

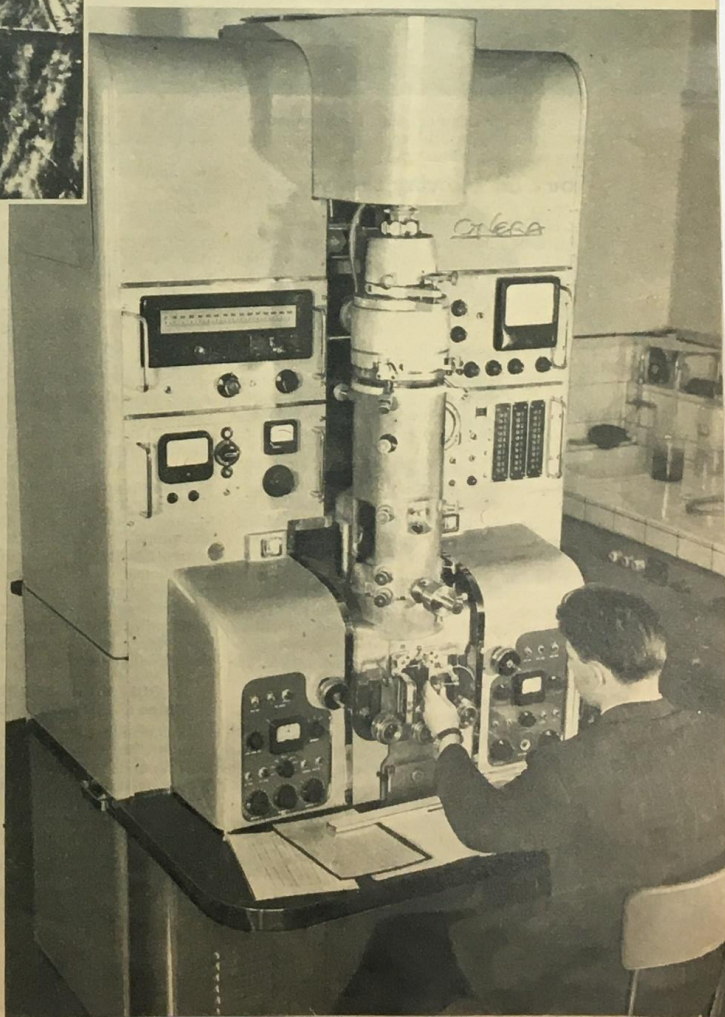
On songe tout de suite à l'analyse chimique. Ce n'est pas d'aujourd'hui que celle-ci se pratique en métallurgie, elle donne des résultats tout à fait remarquables, mais à le défaut d'être une méthode assez longue. Il faut souvent plusieurs heures pour faire une bonne analyse.

Plus récemment mise au point, l'analyse spectrographique permet d'obvier à cet inconvénient. Très perfectionnée depuis quelques années, grâce à la technique des quantomètres, elle permet l'analyse presque instantanée de la composition d'un alliage. Les « quantomètres » sont des appareils d'analyse automatique : entre la pièce de métal à tester et une électrode jaillit une étincelle ; la lumière de cette étincelle, caractéristique des atomes arrachés à l'échantillon, est envoyée sur un réseau de diffraction qui l'étale en un spectre. Les « raies » de ce spectre, caractéristiques des métaux de l'alliage, sont focalisées sur des cellules photo-électriques ultra-sensibles qui, spécialement étalonnées, donnent la proportion de tel ou tel élément. Ainsi peut-on connaître en quelques secondes la composition d'un alliage. Ce qui est d'une importance considérable dans les industries métallurgiques où il est devenu possible de contrôler, en moins d'une minute, une coulée d'acier ou de vérifier si la teneur d'une pièce en telle ou telle impureté ne dépasse pas le taux autorisé.

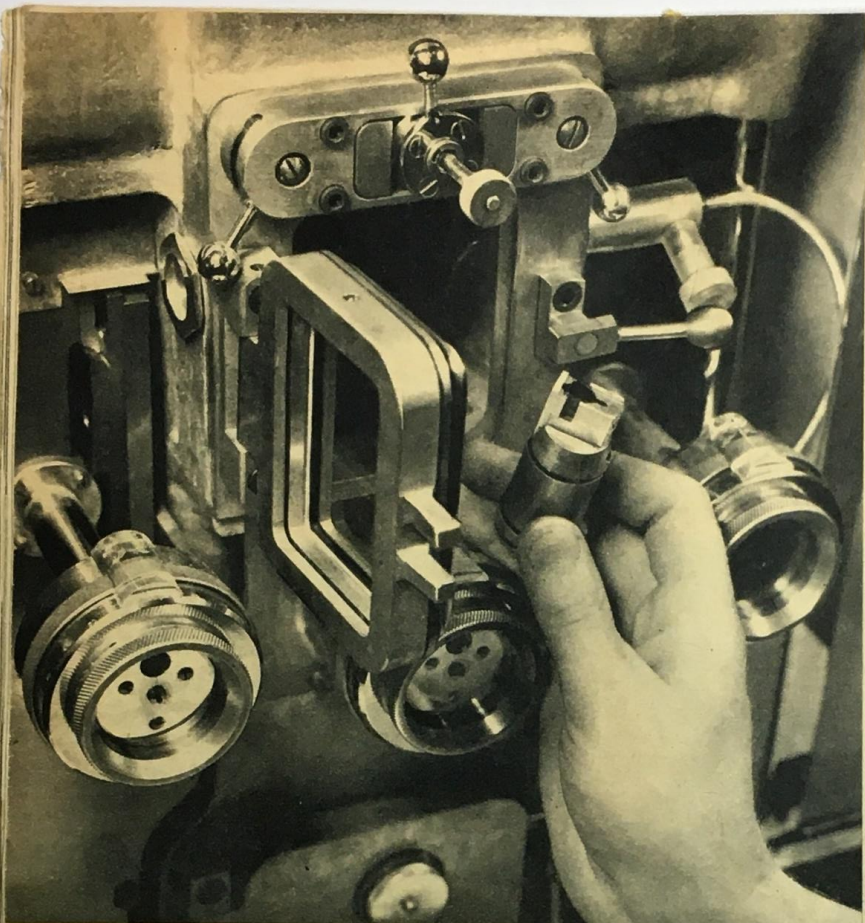
Aussi merveilleux, aussi précis que soit ce procédé d'analyse, il ne peut rendre compte que globalement de la composition d'un

Vue générale de la micro-sonde électronique. On remarque sous la main de l'opérateur le dispositif optique qui permet de repérer le point exact de l'échantillon métallique sur lequel portera l'analyse spectrographique. — Ci-contre un échantillon d'un barreau d'uranium gainé de zirconium (la limite de séparation des deux métaux traverse un peu en biais le cliché de haut en bas sur la partie gauche). L'uranium a diffusé dans le zirconium et il s'agit d'étudier cette diffusion. Les points noirs bien visibles à travers le cliché sont les points touchés successivement par l'étincelle de la micro-sonde ; chacun d'eux a permis une analyse précise de la teneur uranium-zirconium. Ce cliché est pris au grossissement 800 si bien qu'entre les deux points extrêmes il n'y a en réalité qu'un dixième de millimètre ce qui permet d'apprécier l'extraordinaire finesse du procédé.

(Photos Compagnie Générale de T. S. F.)



(1) Etude par diffraction électronique de la constitution de film d'oxydation sur le fer et différents alliages binaires.



avaient bien été tentés. Mais c'est seulement avec l'actuel appareil que le principe donne toutes ses possibilités.

OU L'ON AUSCULTE LES ATOMES

L'énergie qui vient frapper les atomes, c'est celle d'un faisceau d'électrons qu'émet un filament tungstène chauffé et porté à un potentiel électrique élevé. Des particules sortent donc à grande vitesse de ce « canon à électrons ». Selon les techniques aujourd'hui classiques de l'« optique électronique », ce faisceau est repris, concentré, focalisé par deux lentilles magnétiques. Finalement, l'impact de ces électrons d'une énergie de trente électron-volt se focalise sur une plage d'un micron, d'un millième de millimètre. Résultat déjà extraordinaire, car un faisceau électronique se manie moins aisément qu'un faisceau lumineux...

Voici donc bombardés les atomes du métal à analyser. Ils répondent en émettant des rayons X en tous sens. De ces gerbes, nous n'allons garder qu'un très étroit faisceau, dans une direction quelconque. Et ce faisceau, nous l'enverrons sur un cristal de quartz. De même qu'un rayon lumineux s'étale, au sortir d'un prisme, en un spectre où s'ordonnent les diverses couleurs, de même, au sortir du quartz, les rayons X seront triés en éventail selon leur longueur d'onde.

Donc, selon leur origine, c'est-à-dire, en définitive, selon la nature du métal qu'auront frappé les électrons.

Bien que les spectres X soient plus simples que les spectres lumineux, il faut évidemment choisir une raie parmi les autres, la plus intense, cela va de soi, qui servira d'indicateur.

Ainsi, le fer est caractérisé par une émission de 1,93 angströms et, s'il y a du molybdène sur la plage d'un micron-carré qui fait l'objet de la micro-analyse, on recueillera aussi une émission sur 0,71 angströms, caractéristique du molybdène. Et si l'on trouve des rayons de 1,1 ou de 7,11 angströms, cela

signifiera que l'alliage recèle du magnésium ou du silicium.

On voit donc la simplicité de l'analyse: il suffira de promener au travers de l'éventail sorti du quartz un détecteur de rayons X (pratiquement, c'est un compteur Geiger) pour savoir quels métaux sont présents dans l'alliage au point considéré. En un instant, on peut les connaître tous, même s'ils ne sont présents qu'à l'état de traces infimes.

Mais une analyse doit être quantitative. Il faut donc mesurer l'intensité du rayonnement. Pour cela, un moyen évident: la densité des micro-décharges du compteur Geiger donnera directement le renseignement voulu. Nous totaliserons donc automatiquement dans un certain laps de temps — c'est la base de temps de 100 secondes qui a été choisie — le nombre de ces décharges.

Pratiquement, voici comment on opère avec cet appareil dont les automatismes sont très poussés.

CE QUI, HIER, AURAIT SEMBLÉ MIRACULEUX

Une aiguille d'un cadran est amenée sur un certain chiffre correspondant à une certaine longueur d'onde. Par exemple: 0,71, longueur d'onde de la principale raie du molybdène. Cela signifie que, à l'intérieur de l'appareil, le compteur Geiger chargé de détecter les rayons X a été amené au point où, dans le

spectre étalé par le quartz, il peut recueillir la raie du molybdène.

Alors, en appuyant sur un bouton, on met en marche l'appareil. Un faisceau d'électrons est donc émis, il se focalise sur le métal à analyser, ce métal émet des rayons X, et ceux de ces rayons X émis par le molybdène — et ceux-là seulement — sont recueillis par le compteur.

Le comptage des impulsions est, cela va sans dire, automatique; des dispositifs électroniques totalisateurs, comme on en voit aujourd'hui dans tous les laboratoires de physique, se chargent de l'affaire. Après 100 secondes, arrêt automatique.

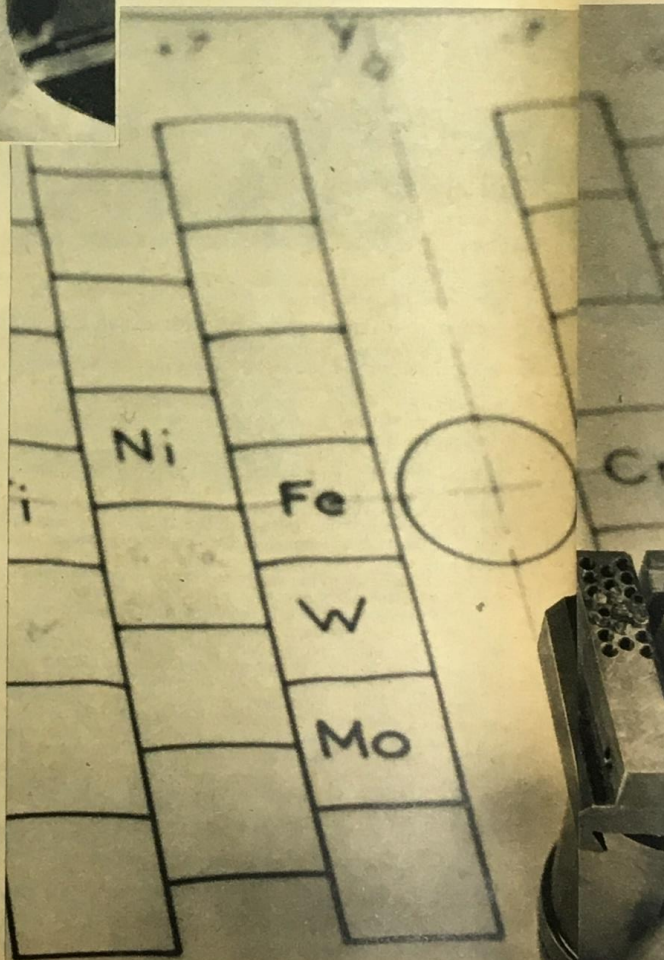
Il suffit de lire sur les cadrans totalisateurs le chiffre « affiché » pour connaître l'intensité du rayonnement X donné par le molybdène. Par exemple, 504 décharges.

Comme — par des expériences antérieures — on sait que le molybdène pur donne 60 000 décharges en 100 secondes, on peut admettre que le métal analysé contient environ 1 % de molybdène.

Mais le réglage de l'appareil pouvant légèrement varier d'une opération à l'autre, on refait chaque fois l'étalonnage du métal pur. Pour cela, on dispose d'un porte-échantillons sur lequel sont répartis tout un choix

Ci-contre: L'échantillon est mis en place dans l'appareil par la fenêtre frontale prévue à cet effet. Les trois boutons servent à régler ses déplacements. — Ci-dessous: L'échantillon est entouré de témoins en métaux purs nécessaires pour l'analyse quantitative. Ces témoins sont soigneusement repérés sur un plan.

← (Photos Compagnie Générale de T. S. F.) ↓



de métaux purs. Ce porte-échantillon est introduit dans l'appareil; sa position est commandée de l'extérieur si bien qu'on peut amener le fragment de molybdène — troisième position sur la seconde rangée — sous le faisceau d'électrons.

A nouveau, l'appareil est mis en marche. Cette fois, le compteur s'emballe. En 100 secondes, il enregistre 62 540 impulsions. Maintenant, on peut connaître avec plus de précision la teneur en molybdène: 62 540: 504, soit 0,8 %.

De la même façon, les diverses composantes de l'alliage seront analysées.

Soulignons bien qu'il s'agit non de la composition globale de l'alliage, mais de sa composition sur une plage d'un micron-carré. Le résultat est déjà merveilleux.

LA MICROSCOPIE ET LA CHIMIE SE RÉPONDENT

Mais on doit penser que la même analyse est possible sur une plage immédiatement voisine. Ainsi verra-t-on la composition du métal varier selon le point que l'on scrutera.

Il semble cependant difficile de faire correspondre le point analysé à un point visuellement identifiable de la morphologie microscopique. Or, ce problème a été résolu en utilisant un effet secondaire de l'action des électrons sur le métal.

Sous l'impact des électrons, on constate que la surface du métal se noircit en 30 ou 40 secondes. Pourquoi?... C'est, on a pu l'établir, que cette surface est couverte d'un film extrêmement mince de matières organiques, notamment de molécules d'huiles provenant de la pompe qui fait le vide dans l'enceinte.

Une vue intérieure de l'un des spectrographes. Dans le carter ouvert, on remarque (de gauche à droite) la fenêtre de sortie des rayons X, le support du quartz analyseur et le compteur de Geiger-Muller. — En haut: Le cadran gradué qui indique la valeur de l'angle d'incidence des rayons sur le quartz.

Ces molécules se polymérisent sous l'action des électrons; d'où le noircissement.

Le point où le faisceau d'électrons analyse le métal se marque donc de lui-même. Ainsi le physicien sait-il exactement la plage que l'appareil examine.

De la sorte, sous le microscope, peut-il savoir sur quelles exactes localisations porte son analyse. Et une ligne de points qui témoigne d'un déplacement de l'échantillon indique la série des analyses successives.

On sait donc que, dans tel grain plus clair, l'acier examiné présente un excès de molybdène, que les auréoles plus foncées qui l'entourent signifient un excès de carbone dans l'acier. Et l'on arrive à une connaissance vraiment parfaite de l'échantillon, tant du point de vue structural que du point de vue chimique. Un tel résultat aurait paru inconcevable il y a quelques années. La technique du microscope et celle de l'analyse se sont complétées.

Du microscope, venons-nous de dire. Or, c'est là que résidait la principale difficulté pour les constructeurs de l'appareil: superposer un microscope au dispositif électronique.

Que l'on pense en effet que, au-dessus de l'échantillon, il faut déjà faire passer le faisceau d'électrons, et recueillir le rayonnement X, et loger le dispositif de l'optique électronique. Comment, de plus, caser l'objectif du microscope? Et où faire passer les rayons lumineux?... Le professeur Castaing a dû, pour résoudre ce problème, recourir à des objectifs ajourés en leur centre.

L'obtention, dans l'ensemble de l'appareil, d'un vide poussé qui doit être refait à chaque expérience — puisque l'introduction d'un échantillon est nécessaire — a également posé des problèmes délicats.

En pratique, cette intime connaissance des métaux mène à de remarquables résultats. Par exemple, nous avons vu à l'IRSID des micro-photos d'un acier inoxydable pour hautes températures qui avait donné des déboires à son fabricant: des pales de ventilateur industriel réalisées avec cet acier au nickel-chrome avaient cassé. « Pourquoi? » avait demandé l'industriel à l'IRSID. Les laboratoires de Saint-Germain-en-Laye ont confié cette affaire à leur micro-analyseur, et la réponse fut que les étroites bandes claires entourées de halos plus ou moins sombres que l'on voyait sur la photo correspondaient à une inégale répartition du chrome: trop haute teneur dans les bandes claires, absence de chrome au contraire dans les zones sombres qui (ce métal conférant l'inoxydabilité à l'alliage) s'oxydaient sous l'effet de la chaleur dans les fours où travaillaient les

ventilateurs. L'industriel a modifié le procédé de fabrication de son acier jusqu'à ce que de nouvelles micro-analyses prouvent que le chrome était parfaitement réparti.

OU L'ON REJOINT «L'ART ABSTRAIT»

On voit que le progrès est considérable, du point de vue pratique surtout, par rapport à la connaissance simplement morphologique de la structure des cristaux enchevêtrés d'un alliage.

Mais l'une et l'autre se complètent. La connaissance précise de la composition de chaque cristal n'aurait aucun sens si nous ne disposions d'une vue générale qui nous permet de situer ceux-ci et de les replacer parfaitement dans leur contexte. A ce titre, les méthodes d'examen métallographique en couleur se rendent, nous l'avons vu, excessivement précieuses.

L'apport de la couleur qui rend les micro-photos infiniment plus faciles à interpréter, nous a conduits dans un domaine esthétique entièrement nouveau. M. G. Delbart, Ingénieur-Docteur, Directeur scientifique de l'IRSID, dans la revue *Techniques et Civilisations* (1), explique cette rencontre de l'observation scientifique avec l'art dit «abstrait». Le peintre qui se refuse à «imiter la nature», ne l'imitait-il pas sans le savoir quand il associe des formes et des couleurs qui ne représentent pas des «objets»? Comprendons qu'il y a bien d'autres univers qui échappent normalement à nos sens, mais qui n'en sont pas moins la nature... «L'abstraction pure ne serait-elle pas, qu'elle le veuille ou non, toujours figurative?»

«Une observation très poussée de la nature, non dans ses êtres vivants, ni même dans les virus dont les formes peuvent se révéler splendides, mais tout simplement dans ses matériaux inertes d'apparence: métaux, oxydes et scories, qui n'attirent pas l'œil par l'aspect extérieur, conduit presque toujours à faire des rapprochements étonnants, et il ne s'agit pas de coïncidences fortuites et rares, comme on le prétend, mais bien, au contraire, tout à fait fréquentes.

«Sans doute, les peintres abstraits n'ont-ils pas toujours été informés de l'existence ici ou là des signes et formes dont ils se sont servis et dont ils ont fait des compositions qui peuvent leur être propres quand ils sont de véritables créateurs, intelligents et sensibles. Il n'en reste pas moins vrai que ces signes et formes existent à l'infini dans la nature où ils sont d'ailleurs généralement disposés suivant des lois que l'on s'explique peu à peu...»

(1) — *L'art abstrait est toujours figuratif* — *Techniques et Civilisations*, Vol. V, N° 5, 1956.

