

Année

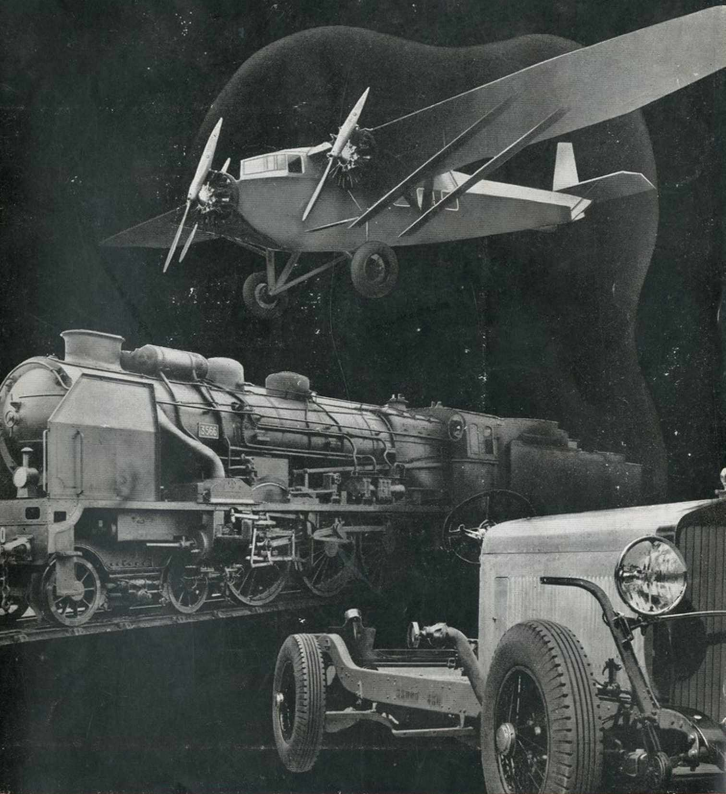
N° 4.

Octobre 1931

# REVUE DU NICKEL



PUBLIÉE PAR LE CENTRE D'INFORMATION DU NICKEL



"LES ACIERS AU NICKEL - POSITION ACTUELLE", par M. Léon Guillet, Membre de l'Institut.



# Les Alliages Nickel-Chrome pour résistances chauffantes

## Les Alliages Nickel-chrome pour résistances chauffantes

L'emploi des alliages nickel-chrome et nickel-chromefer s'est considérablement développé pour la fabrication des résistances chauffantes employées dans de nombreux types d'appareils de chauffage industriels ou domestiques.

Ces alliages à haute teneur en nickel peuvent être divisés en deux classes principales :

- 1° Ceux qui ne contiennent pratiquement pas de fer.
- 2° Ceux qui contiennent des quantités de fer allant habituellement jusqu'à 25 %.

### Caractéristiques des Alliages Nickel-Chrome pour résistances chauffantes (1)

#### *Alliages binaires nickel-chrome.*

Jusqu'à ces dernières années, on considérait les alliages sans fer comme étant tous formés d'une solution solide et présentant un eutectique au voisinage de 50 % de nickel. Des recherches récentes ont montré que les solutions existent jusqu'à 40 % de chrome à une extrémité du diagramme et jusqu'à 10 % de nickel à l'autre extrémité. Les alliages les plus utilisés sont ceux qui contiennent de 10 à 30 % de chrome. Lorsqu'ils renferment plus de 30 % de cet élément, les alliages sont très difficiles à travailler et

aucun avantage ne vient compenser cet inconvénient. On constate même que pour une teneur supérieure à 30 % de chrome, la résistance mécanique aux températures élevées commence à diminuer.

Les alliages de cette catégorie sont presque entièrement constitués par du nickel et du chrome. Ils ne contiennent que de faibles proportions de métaux étrangers, ne dépassant généralement pas 2 % au total. On admet quelquefois que le manganèse améliore le travail de l'alliage : cependant, il est rare que sa teneur dépasse 1 %. Tous les autres éléments doivent être considérés comme des impuretés qui, pour la plupart, nuisent à la bonne qualité des alliages.

Les alliages nickel-chrome à 80 % de nickel et 20 % de chrome sont très utilisés et peuvent être considérés comme les meilleurs à tous points de vue. On a essayé de remplacer une certaine partie du nickel par du molybdène, du tungstène ou du cobalt, mais il est douteux que cette substitution apporte des améliorations. Une augmentation de la teneur en chrome jusqu'à 30 % améliore la résistance aux températures élevées mais une telle augmentation de la teneur en chrome introduit de nouvelles difficultés dans le travail des alliages et l'on verra plus loin que ce travail est extrêmement délicat.

Les alliages 80/20 peuvent être employés à l'air comme éléments de chauffage jusqu'à 1050°C. S'ils sont à l'abri de l'air et placés sur des supports convenables, ils peuvent être utilisés, d'une façon continue, à une température voisine de 1200°C.

(1) Ces caractéristiques ont été étudiées par J. H. Russel — «Metal Industry» — 4 et 15 Avril 1930. Voir aussi M. Bailly — «Les Applications du Nickel dans les Industries Électriques» — Revue du Nickel — Janvier 1931, pp. 5-7.

### Alliages ternaires nickel-chrome-fer.

Ces alliages n'ont pas les qualités des précédents, mais ils sont moins chers; ils ont des compositions très variables, cependant la composition la plus courante est la suivante :

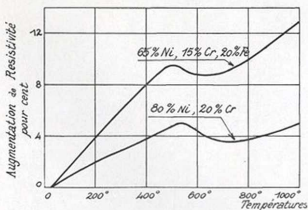


On ajoute de 1 à 2 % de manganèse pour faciliter le travail. Comme ces alliages contiennent déjà un élément oxydable, le fer, il semble inutile de trop baisser la teneur en manganèse. L'influence du silicium est mal connue; certains auteurs prétendent qu'il augmente la résistance à l'oxydation aux températures élevées : la teneur en cet élément est généralement inférieure à 1 %.

Ces alliages peuvent être utilisés comme éléments chauffants jusqu'à 900°C. Lorsqu'ils sont à l'abri de l'air et placé sur un support approprié, ils peuvent être utilisés jusqu'à 1100°C.

### Résistance électrique des alliages.

Au point de vue résistance électrique, la différence entre les alliages binaires et ternaires est pratiquement sans importance, ainsi que l'on peut s'en rendre compte en se reportant aux courbes ci-jointes qui montrent la variation de la résistance électrique en fonction de la température pour l'alliage nickel-chrome 80/20 et l'alliage nickel-chrome-fer 65/15/20.



### Mécanisme de la résistance à la chaleur des alliages.

A première vue, on pourrait croire que le meilleur produit pour résister aux températures élevées est celui qui a le point de fusion le plus haut; il n'en est rien puisque le fer qui fond à 1505°C et le nickel pur qui fond à 1452°C résistent mal à l'oxydation à haute température, tandis que l'alliage nickel-chrome 80/20 dont la température de fusion n'excède jamais 1400°C résiste particulièrement bien aux températures élevées. On peut dire d'une

façon certaine que la caractéristique essentielle de cette catégorie est sa résistance à l'oxydation. Par exemple, si l'on porte un fil de fer dans l'air à une température de 800° il se forme immédiatement, quel que soit le mode de chauffage, une pellicule d'oxyde sur toute sa surface et cet oxyde augmente progressivement d'épaisseur parce qu'il n'est pas imperméable à l'oxygène. En un temps très court le fil est entièrement transformé en oxyde et devient très fragile. Au contraire, si l'on chauffe dans les mêmes conditions un fil d'alliage nickel-chrome 80/20, il se recouvre immédiatement d'une fine pellicule d'oxyde mais cet oxyde a la propriété remarquable de s'opposer à la pénétration de l'oxygène et d'empêcher ainsi l'oxydation de se produire plus profondément. Ce sujet a été étudié par plusieurs expérimentateurs, parmi lesquels Smithells, Williams et Avery (1) qui ont montré que la pellicule d'oxyde doit contenir au moins 50 % d'oxyde de chrome pour être protectrice.

Il ne suffit pas que l'alliage soit à l'abri d'une oxydation plus poussée, il faut encore que l'oxyde formé soit très adhérent. En général, les appareils de chauffage sont utilisés d'une façon intermittente : la pellicule d'oxyde ne doit donc pas s'écailler sous l'effet de la contraction due au refroidissement du fil, sinon l'alliage est mis à nu et il s'oxyde immédiatement lorsqu'on fait passer à nouveau le courant. La pellicule d'oxyde sur l'alliage 80/20 adhère fermement et ne présente pas ce défaut. La résistance à l'oxydation des alliages nickel-chrome-fer, bien qu'assez élevée, est loin d'être égale à celle des alliages nickel-chrome. De plus, la présence d'oxyde de fer dans le revêtement d'oxyde permet à l'oxygène de pénétrer lentement, ce qui se traduit par une destruction assez rapide des résistances chauffantes lorsqu'elles sont utilisées à des températures élevées, de 850 à 900°C., alors qu'à de telles températures, la durée des alliages 80/20 est pratiquement illimitée.

### Elaboration et Travail des Alliages

#### Fusion.

La fusion est une des opérations les plus importantes dans la production de ces alliages. Il ne faut utiliser que les meilleurs matériaux ayant le degré maximum de pureté. Jusqu'à ces dernières années, on n'employait que le four électrique à arc, mais depuis quelque temps, le four à induction à haute fréquence semble se répandre.

Il faut contrôler la composition de la scorie, la température de piquée et la vitesse de coulée. Il est souvent diffi-

(1) Journal of the Institute of Metals, Vol. XI, pp. 259-296.

Pour obtenir des bains de métal fluide car, avec un pourcentage important de chrome, il n'est pas facile d'effectuer la désoxydation du bain. D'autre part, si les bains sont peu fluides, il y a de sérieux dangers de formation de soufflures. Les alliages ont un retrait de solidification extrêmement important; de plus, leur intervalle de solidification est très grand. Il est recommandé d'utiliser une poche à quenouille pour couler ces alliages. Il faut faire un usage modéré des désoxydants car la plupart sont nuisibles au produit fini. Le magnésium convient parfaitement sauf dans les alliages à 25 % de fer. Quand les alliages contiennent du fer, il n'y a aucun inconvénient à utiliser le manganèse. Pour faciliter leur travail, il faut couler les alliages en lingots aussi petits que possible.

#### *Forgeage.*

Il est impossible de laminar directement les lingots coulés et, pour cette raison, ceux-ci sont toujours forgés avant laminage; ils doivent être convenablement vérifiés et sont meulés ou usinés lorsque cela est nécessaire pour enlever les défauts superficiels. Il est indispensable de chauffer le métal dans une atmosphère dépourvue de soufre car cet élément est nuisible à tous les alliages de nickel; il se forme un sulfure de nickel à bas point de fusion qui pénètre rapidement dans le métal et le fait criquer sous le marteau: c'est pourquoi les fours chauffés au charbon ne sont pas recommandés. Le métal doit être porté à environ 1200°C; la vitesse de chauffage est peu importante à condition que le lingot soit chauffé uniformément. Même à 1200°C, l'alliage est très dur et doit être forgé avec soin. L'importance des passes de forgeage doit être telle que la température de l'alliage se maintienne constante. Si le métal se refroidit pendant le forgeage, il doit retourner au four sinon il se cricque; les criques se forment quelquefois au centre, ce qui fait présumer à tort que le lingot contenait des soufflures. D'autre part, si la déformation par forgeage est trop grande, le métal se surchauffe rapidement et cricque dans les angles. La méthode couramment suivie consiste à forger partiellement le lingot, à enlever les défauts au burin ou à la meule et à le forger ensuite aux dimensions convenables pour le laminage. Comme ces alliages se forgent mieux qu'ils ne se laminent, il faut les travailler le plus loin possible à la forge et réduire le laminage au minimum.

#### *Laminage à chaud.*

*Barres et fils.* — Le laminage exige de grands soins. Il est encore indispensable de chauffer le métal dans une atmosphère sans soufre et de le porter à une température

d'environ 1200°C. Comme le métal est mécaniquement très résistant à cette température, on fait des passes moins importantes que celles adoptées dans le laminage de l'acier. Les laminoirs doivent être munis de paliers extrêmement résistants. A leur sortie du four, les barres doivent être transportées au laminoir le plus rapidement possible: le métal se plisse si la barre est insuffisamment chaude. La dernière passe doit être effectuée quand le métal est encore au rouge; une barre finie à froid est sujette à criquer.

*Tôles.* — Il est à conseiller d'effectuer de petites passes et de maintenir le métal très chaud. Si le métal est trop froid ou si la passe est trop forte, il se produit des criques de surface. Par suite de leur importante vitesse de refroidissement, il est nécessaire de réchauffer fréquemment les tôles pendant le laminage: quelquefois il est plus économique de laminar à froid et de recuire. Les laminaires à chaud et à froid soumettent les cylindres de laminoirs à de dures conditions de service; ceux-ci doivent donc être dressés très souvent.

#### *Étirage des fils.*

Le procédé d'étirage est analogue à celui utilisé dans la production des fils ordinaires en acier. Les fils doivent être homogènes et de dimensions précises sinon, pendant leur emploi, il y a des surchauffes locales qui entraînent leur destruction.

Les barres saines sont d'abord recuites et décapées (un bain de décapage constitué par une solution à 10 % d'acide sulfurique à 50°C donne de bons résultats). Le décapage est long mais il doit être fait sérieusement pour éviter des ennuis au cours des opérations suivantes. Après un séjour prolongé dans le bain de décapage, il reste parfois sur l'alliage une pellicule d'oxyde qu'il faut enlever en « frappant » les fils. On recouvre les fils d'un lubrifiant pour faciliter l'étirage, ensuite on les sèche dans un four. Pour enlever les inégalités du laminage, il faut que les premières passes soient très faibles sinon les filières se détruisent rapidement. Ces filières doivent être fabriquées avec un acier de haute qualité; les opinions quant à la nature des aciers à utiliser sont très divergentes; les aciers au chrome à haute teneur en carbone donnent toute satisfaction. Contrairement à ce que l'on pourrait croire, les filières les plus dures ne sont pas celles qui présentent les meilleurs résultats, il faut surtout qu'elles soient tenaces; leurs parties travaillantes peuvent être durcies par pression à froid.

Après la première passe, il faut recuire la barre, la nettoyer, la passer au cuivre et à la farine, ensuite on opère



Grille-pain muni d'éléments en fil d'alliage de Nickel et de Chrome.  
 (Compagnie française Thomson-Houston).

l'étirage avec des machines utilisant des matrices d'acier d'un seul bloc.

Pour terminer, lorsqu'il a le diamètre voulu, le fil passe, après avoir subi l'étirage à sec, dans des machines à filières multiples en diamant dans lesquelles l'étirage s'effectue à l'état humide; il faut choisir des filières de bonne qualité. La vitesse adoptée doit être beaucoup moindre que pour l'étirage des fils d'acier ou de cuivre. Les filières en diamant, même de bonne qualité, ont une durée très faible. Il faut surveiller les parties travaillantes des filières pour qu'elles ne se déforment pas. Il est nécessaire de lubrifier le fil (un mélange de savon, d'huile de colza et d'eau convient très bien). Pour l'entretien des filières en diamant, il est nécessaire d'avoir un tailleur de diamant afin de n'être pas obligé de retourner les filières au fabricant pour les faire retoucher. Aussitôt qu'elles commencent à s'user, les filières doivent être envoyées au polissage car, dès qu'elle est amorcée, l'usure croît rapidement.

#### Fabrication des rubans.

Le ruban peut être fait en passant un fil du diamètre convenable entre les rouleaux de laminoirs aplatisseurs.

Bien que la section ainsi obtenue ne soit pas parfaitement rectangulaire, elle est suffisante pour toutes les applications. La fabrication de rubans très étroits, en particulier des fils, soumet les cylindres de laminoirs à de sévères conditions de service et ceux-ci doivent être faits avec des matériaux extrêmement durs et de composition uniforme.

Pour mettre les fils et les rubans dans l'état convenable à leur emploi, on les recuit avant de les expédier; ils peuvent être alors enroulés en spirales pour être utilisés dans les chauffeurs électriques à résistance. Il est évident que les fils doivent être parfaitement recuits sinon, lorsqu'ils sont mis en spirale, ils sont sous un état de tension qui disparaît lors du premier chauffage; le fil se détend et cette détente jointe à la dilatation naturelle du fil chauffé peut causer des points de contact qui déterminent des courts-circuits et des surchauffes locales. La déformation du fil nuit également à l'esthétique des appareils.

#### Choix et utilisation des Alliages pour résistances électriques

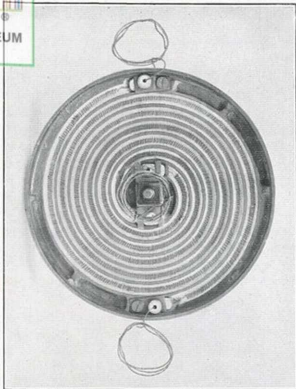
Comme il a été indiqué au début de cet article, il est bien évident que l'on ne doit avoir recours aux alliages ternaires nickel-chrome-fer que lorsque les parties fabriquées ne doivent pas être portées à des températures très élevées. La considération du prix, qui fait quelquefois préférer les alliages ternaires aux alliages binaires, n'est souvent pas décisive, car les alliages ternaires, ayant une durée bien plus courte, doivent être plus fréquemment remplacés ce qui, en définitive, se traduit par une augmentation des prix.

*Les alliages binaires nickel-chrome sont nettement supérieurs à tous les points de vue et doivent être préférés dans de nombreuses applications, non seulement parce qu'ils sont plus résistants à l'oxydation et peuvent être portés sans aucun risque à des températures beaucoup plus élevées, mais également parce que leur résistance mécanique est nettement supérieure à celle des alliages ternaires, ainsi que l'on peut s'en rendre compte par les deux tableaux ci-dessous :*

Alliage Ni = 80 Cr = 20.

Limite élastique apparente (Kg/mm <sup>2</sup> )	Charge de rupture (Kg/mm <sup>2</sup> )	Allongement % (sur 50 mm)	Striction %
57,5	87,5	35,5	61

Propriétés mécaniques sur barres laminées à chaud.



Chauffe-plat avec fils de résistance en nickel-chrome.

Alliage Ni = 65 Cr = 15 Fe = 20

Limite élastique apparente (Kg/mm <sup>2</sup> )	Charge de rupture (Kg/mm <sup>2</sup> )	Allongement % (sur 50 mm)	Striction %
41,5	76,0	40,1	66

Propriétés mécaniques sur barres laminées à chaud.

Lobley et Bets (1) ont montré que l'écoulement à des températures supérieures à 900°C est extrêmement faible dans les alliages du type 80/20.

*Applications des alliages pour résistances chauffantes.*

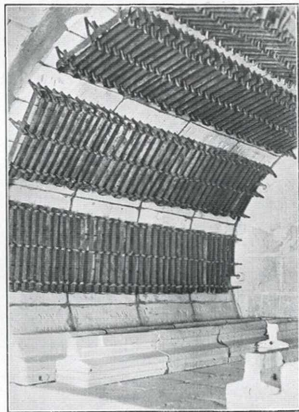
Au cours des dernières années, l'emploi de l'électricité comme moyen de chauffage s'est considérablement développé. Les appareils électriques présentent des avantages très précieux parmi lesquels on peut citer la propreté et la facilité de contrôle et de réglage des températures.

Les appareils électriques sont de plus en plus employés dans les usages domestiques : fourneaux, radiateurs, pla-

ques chauffantes, moules à gâteaux, fers à repasser, appareils à sécher et à onduler les cheveux, percolateurs de café, réchauffeurs de radiateurs d'automobiles, etc.

Dans l'industrie, les fours électriques se répandent pour diverses raisons et en particulier parce que leur emploi supprime la construction des cheminées nécessaires à l'évacuation des produits de combustion. Leur température peut être maintenue constante à l'aide de régulateurs robustes et sûrs, ce qui permet d'obtenir des produits de meilleure qualité. Le chauffage peut être arrêté automatiquement à certains moments en dehors des heures de travail, etc.

Le chauffage par résistance convient pour la plupart des opérations industrielles. Comme la température qu'ils permettent d'atteindre est de l'ordre de 1100°C, les fours à résistance sont surtout employés pour les traitements thermiques de toutes sortes et pour quelques types de travaux à chaud. On peut signaler que certaines parties de fours, telles que les barres d'entretoises, les supports de réfractaires, les crochets et appuis des pièces à chauffer, sont également faites avec des alliages laminés.



Résistance de chauffage d'un grand four, formée de rubans en nickel-chrome.

(Cliché de la " Birmingham Electric Furnaces Ltd. ")

(1) Journal of the Institute of Metals, Vol. XI, 11, pp. 157-179.

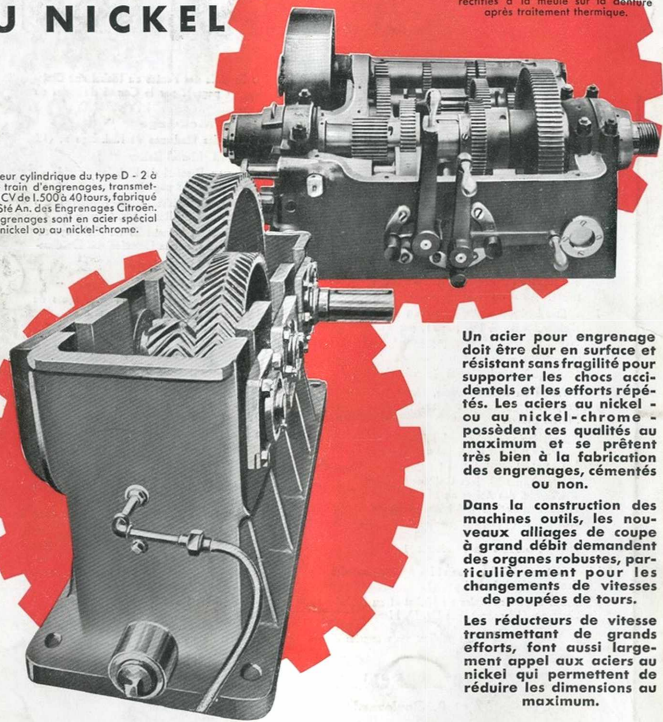


ULTIMHEAT®  
VIRTUAL MUSEUM



# LES ENGRENAGES EN ACIERS AU NICKEL

Réducteur cylindrique du type D - 2 à double train d'engrenages, transmettant 40 CV de 1.500 à 40 tours, fabriqué par la Sté An. des Engrenages Citroën. Ces engrenages sont en acier spécial au nickel ou au nickel-chrome.



Poupée Monopoulie Somua pour tour de 25 m/m, comportant des engrenages en acier au chrome-nickel D F 3 S. Ces engrenages sont rectifiés à la meule sur la denture après traitement thermique.

Un acier pour engrenage doit être dur en surface et résistant sans fragilité pour supporter les chocs accidentels et les efforts répétés. Les aciers au nickel - ou au nickel-chrome - possèdent ces qualités au maximum et se prêtent très bien à la fabrication des engrenages, cémentés ou non.

Dans la construction des machines outils, les nouveaux alliages de coupe à grand débit demandent des organes robustes, particulièrement pour les changements de vitesses de poupées de tours.

Les réducteurs de vitesse transmettant de grands efforts, font aussi largement appel aux aciers au nickel qui permettent de réduire les dimensions au maximum.