

A l'insu de cette dernière, au cours de plusieurs soirées, cet ouvrier avait établi un plancher à l'intérieur de la cheminée, à une hauteur de 40 mètres.

Un nuit, s'étant fait accompagner de deux autres ouvriers pour garder les abords de la cheminée, il avait commencé à abattre le sommet de celle-ci. Au-dessus du plancher, il avait fait, dans la maçonnerie, une brèche d'une hauteur maximum de 0<sup>m</sup>,60, sur la moitié de la circonférence de la cheminée, en y plaçant des pilots de soutènement, en bois. Après avoir mis le feu à des fagots contre ces pilots, il était redescendu près de ces compagnons. Ayant remarqué que le feu s'éteignait, il était remonté sur le plancher. Ses compagnons le virent alors essayer de rallumer le feu, puis l'entendirent frapper à coups de marteau sur les pilots. Presque aussitôt, la partie supérieure de la cheminée s'effondra.

Le cadavre de l'ouvrier fut retrouvé au pied de la cheminée, sous les décombres. Il était muni d'une ceinture de sûreté, dont la chaîne était enroulée autour d'un échelon arraché de la maçonnerie.

## NOTES DIVERSES

# LES ACIERS DE QUALITÉ.

Leur fabrication  
dans les aciéries spéciales de la Ruhr

PAR

L. J. TISON

Ingénieur des Ponts et Chaussées,  
ex-chef du groupe de Dusseldorf de la M. I. C. U. M.

(Suite et fin) (1).

### II. — Aciers pour outils.

#### 1. — Aciers pour outils de coupe.

A) ACIERS POUR TRAVAIL A FAIBLE OU MOYENNE VITESSE.— Avant tout, ces aciers devront avoir une grande dureté.

Cette dureté sera donnée par les aciers à cémentite libre (ou à carbure double), lequel est, de tous les constituants des alliages du fer, celui qui présente la plus grande dureté.

Dans ces aciers à l'état naturel, la cémentite ou le carbure, sous forme d'un réseau de petites lamelles, sépare les grains de perlite les uns des autres. Cette structure influence défavorablement sa ténacité et surtout sa résistance au choc.

Afin de diminuer la fragilité de ces aciers à cémentite libre, on les forge. La cémentite passe alors à l'état de petits grains. Après trempe, ces petits grains sont entourés par une masse à grains très fins de martensite (également très durs), d'où la dureté et la puissance de coupe de ces aciers.

(1) Voir *Annales des Mines de Belgique*, tome XXVII, 1926, 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> livr.

Malgré tout, ils restent très fragiles, même s'ils présentent, comme certains aciers au Cr, un bon allongement et une bonne contraction. En effet, pendant les essais à la traction, ces caractéristiques sont celles de la masse relativement plastique dans laquelle sont logés les grains de carbure. Dans une sollicitation par flexion ou par choc au contraire, des fissures se forment facilement entre les constituants de la masse non homogène. Ceci est particulièrement exact pour les aciers au Cr où le carbure double se forme avec de faibles teneurs en C. La fragilité diminue d'ailleurs avec la division et l'uniformité de la répartition de carbure.

a) *Aciers au C.* — Ils sont encore très employés pour l'usage courant des ateliers.

Ils excluent naturellement l'utilisation des grandes vitesses (on ne peut guère dépasser 8 à 10 mètres/minute de vitesse linéaire. La dureté et, par suite, la teneur en C varient avec la substance à travailler.

Pour les outils de tours, raboteuses, mortaiseuses, destinés au travail de matières très dures (fonte très dure), comme pour les mèches pour le travail des canons de fusils, on emploie des aciers ayant de 1,45 à 1,6 % C.

Pour les mêmes outils destinés au travail de toutes substances, on descend de 1,45 à 1,25 %.

Si ces outils sont destinés au travail de substances douces, on peut descendre de 1,25 à 1,15 %.

La teneur en C des aciers pour fraises et mèches hélicoïdales varie de 0,9 à 1,25. Les plus fortes teneurs sont pour les outils de faibles dimensions soumis à des efforts moins violents. Quant aux outils pour le travail du bois et autres substances douces comme le liège, le caoutchouc, le cuir, le papier, le tabac, etc., on leur demandera évidemment une moindre dureté et comme, d'autre part, ces outils sont soumis soit aux chocs (ciseaux de menuisier, couteaux, etc), soit à de fortes pressions, il convient de leur donner une plus grande ténacité. Il faudra donc ramener la teneur en C entre 0,8 et 1,05 %.

Les scies à bois (circulaires) seront en acier de 0,8 à 0,9 % C.

*Traitement thermique. Trempe.* — Les températures de trempe sont déterminées par le diagramme 3 (voir généralités sur la trempe).

Pour les mèches hélicoïdales, fraises et outils analogues, qui doivent être très durs à la surface, mais présenter un noyau tenace, il est bon d'utiliser un acier fondu pauvre en Mn qui ne se prête pas à une pénétration trop forte de la trempe et d'utiliser la trempe dite interrompue. L'outil est plongé dans l'eau jusqu'à ce qu'il perde la couleur rouge, le refroidissement complet s'opère dans un bain d'huile. De cette façon, la chaleur restant à l'intérieur après la trempe à l'eau conserve à l'outil une certaine plasticité et, repénétrant dans la partie trempée, y provoque un certain revenu (180°).

Les alésoirs sont parfois constitués d'un acier à 0,2-0,25 % de C cémenté vers 950° et trempé par le procédé précédent; les aciers et couteaux minces sont souvent trempés entre plaques à circulation d'eau.

*Revenu.* — Il se fait généralement au bain d'huile et à une température qui varie avec les dimensions de l'outil, le genre de trempe et son utilisation.

A titre d'indication :

A 220°, les couteaux pour le laiton, le bois, le papier, le cuir, etc., les petits outils de tour, les couteaux des raboteuses pour acier.

A 240°, les fraises, mèches pour bois.

A 260 et 275°, les mèches pour bois.

A 285°, les scies, les ciseaux à bois.

b) *Aciers alliés.*

1) *Acier pour outils de tour — raboteuse et mortaiseuse — travaillant des substances très dures (Hartguss, bandages, cylindres de laminoirs, plaques de blindage) à vitesse moyenne.*

Ce sont généralement des aciers au Wo à 5 ou 6 %, que les aciéries produisent souvent en 2 ou 3 degrés de dureté différents suivant la teneur en C qui peut varier de 1 à 2 % (acier Diamant). D'autres (Rudolf Schmidt) fabriquent les trois espèces d'acier, mais font varier la teneur en Wo (5,3-2 %), teneur en C restant environ 1,5 à 1.

Böhler utilise aussi pour le travail de toutes substances à faible vitesse un acier au Cr assez analogue aux aciers fins pour rasoirs de 1,4 à 1,5 % Cr.

2) *Aciers pour fraises, mèches hélicoïdales, tarauds.*

Pour les outils travaillant les substances très dures, on utilise les aciers ci-dessus. Cependant, ils ne sont pas très désignés pour les fraises compliquées et conviennent surtout pour les outils dont on ne trempe qu'une partie. Ils donnent de fortes tensions pour les autres; il faut employer alors la trempe interrompue, parfois même avec recuit antérieur et revenu à 220-230°.

Les aciers de beaucoup les plus employés pour ces usages sont aussi des aciers au *Wo* qui ont une longue durée de coupe aux vitesses ordinaires.

Pour les forets hélicoïdaux et tarauds, pour coussinets à fileter, lames de scies à métaux, on adopte généralement un acier à 1,5 % *Wo* et 1 à 1,2 % *C*. La proportion de *Wo* peut d'ailleurs être moindre et tomber à 0,6 avec 1 % *C*. Ces aciers, généralement fournis étirés, portent alors le nom de *Silberstahl*.

Les fraises peuvent aussi être faites du premier acier cité. On augmente parfois aussi la teneur en *Wo* jusqu'à 3 à 3,5 %.

*Traitement thermique.* — Forgeage : 800-950°.

Trempe : 800-830° dans l'eau.

Certaines aciéries (Rudolf Schmidt) produisent cependant des aciers au *Cr* (0,5 %) avec des teneurs en *C* de 0,8 à 0,9 % pour les tarauds; de 0,9 à 1 % pour les grosses mèches et jusqu'à 1,4 % pour les fraises.

Dorrenberg, également, produit des aciers au *Cr*. Vu leur haute teneur en *C*, ces aciers sont facilement à double carbure (voir diagramme 25) et, par suite, très fragiles. Si on ajoute à cela la tendance à la formation de fissures à la trempe, on voit qu'il leur faut un traitement thermique nettement défini et assez délicat. Donc, autant que possible, on fait usage de la trempe à l'huile à une température de 780° pour les petits objets; on peut dépasser 780° pour les objets plus forts. Parfois, pour une grande dureté, on emploie la trempe interrompue, sans dépasser 760 à 780°.

*Revenu.* — Pour les outils de coupe, jusqu'à 240 à 280°.

B) *ACIERS RAPIDES.* — Le grand inconvénient des aciers au *C*, est de perdre la dureté que leur a donnée la trempe et, par suite, leur capacité de coupe, quand ils sont portés à une température voisine de 300°.

Or, le frottement entre l'outil d'une part, la pièce à travailler et le copeau d'autre part, provoque une élévation de température de ces différents objets, si bien que, lorsque la vitesse de coupe dépasse 5 mètres/minute pour un acier moyennement doux, l'élévation de température est telle que le revenu qui en est la conséquence fait tomber la dureté de l'outil.

Les premiers aciers imaginés pour remédier à cet état de choses furent les « *Mushetstahl* », vitesse de coupe : 7,95 mètres/minute (5 % *Wo*, 0,4 % *Cr*, 2 % *C*, 0,6 % *Mn*).

Dès 1900, Taylor et White s'aperçurent qu'il valait mieux faire tomber la teneur en *Mn* et augmenter la teneur en *Wo* et *Cr*. Ils lancèrent un acier à 8 % *Wo*, 7,8 % *Cr*, 1,85 % *C*, 0,3 % *Mn*, qui permit d'atteindre la vitesse de 17,7-18,6 mètres/minute (1).

De 1900 à 1906, ces aciers furent améliorés constamment et on arrivait en 1906 à la composition suivante :

19 % *Wo* - 5,5 % *Cr* - 0,7 % *C* - 0,4 % *Mn* - 0,3 % *Vn*, donnant pour le même matériau 30,2 mètres/minute de vitesse de coupe.

Jusqu'à la guerre, on s'en tint à peu de chose près à ces compositions. En Allemagne, la pénurie de *Cr* et de *Wo* pendant la guerre firent tomber les teneurs de ces éléments.

Mais l'après-guerre ayant donné une période avec main-d'œuvre à hauts prix, on essaya d'augmenter le rendement de ces aciers en augmentant les teneurs en éléments précieux, particulièrement en *Wo*. Ce rendement augmente d'ailleurs avec la teneur en *Cr*-*Wo* et on n'est limité à environ 26 % *Wo* et 7 % *Cr* que par la nécessité d'obtenir un alliage forgeable.

(1) De plus, le nouvel acier possédait la curieuse propriété de présenter une augmentation de dureté vers 600°.

Ci-dessous un tableau donnant la composition d'aciers rapides :

	C	Si	Mn	Cr	W <sub>p</sub>	Mo	Ve
Böhler Boreas . . . . .	1,5	0,6	0,25	2,2	9,18		
Bleckmann . . . . .	2,26	0,7	1,22	6,17	3,5		
Schmidt, . . . . .	0,57	0,09	0,10	3,5	11,25		
Lindenberg . . . . .	0,63	0,15	0,05	3,40	25,80		
Böhler Rapid . . . . .	0,60	0,10	0,11	3,10	12,50		
Id. . . . .	0,75	0,24	traces	7,3	25,28		
Krefelder Stahlwerk . . . . .	0,45	0,09	0,05	6,44	21,65		
Lindenberg . . . . .	0,66	0,13	0,04	7,10	26,28		
Bleckmann . . . . .	0,65	0,18	0,03	5,40	18,25		
Id. . . . .	0,48	0,10	0,04	5,48	15,17	3,38	0,22
Dörrenberg . . . . .	0,73	0,10	0,02	3,62	19,20		
Böhler Rapid . . . . .	0,60	0,10	0,11	4,15	18,20	2,30	0,45

#### Influence des divers éléments :

On ne dépasse plus guère aujourd'hui 0,95 % C.

Le Mn rend le forgeage difficile (celui-ci est déjà très délicat par suite de la grande proportion d'éléments étrangers; on compte qu'au-dessus de 30 % de ces éléments le forgeage est impossible).

Le Si diminue la vitesse de coupe.

Le Mo peut remplacer le Wo, mais l'acier devient moins forgeable, plus fragile et le Mo coûte cher.

Le titane et l'aluminium n'interviennent que comme agents de désoxydation. L'urane et le tantale, parfois employés, ne donnent aucune propriété particulière aux aciers.

Le Vn, outre son action épuratrice (grande affinité pour l'oxygène), augmente la faculté qu'ont les aciers au Cr-Wo de conserver leur puissance de coupe aux hautes températures.

De plus, la dureté et la ténacité sont améliorées. Jusqu'à 1,25 % de Vn, on admet que chaque 0,3 Vn permet d'augmenter

la vitesse de coupe de 10%. Le Vn a enfin l'avantage de permettre la trempe à l'eau sans formation de fissures.

Au sujet de l'action du Co — 3,5 à 5,5 % dans les aciers rapides — (lancé par la Stahlwerke Becker un peu avant la guerre), les avis sont très partagés :

#### COMPARAISON DES VITESSES DE COUPE D'ACIERS RAPIDES AVEC ET SANS Co (SCHLESINGER).

								Temps de coupe pour travail de durée de coupe avant réaffutage		
								Acier à 100 kg/mm <sup>2</sup>	Acier à 50 kg/mm <sup>2</sup>	Fonte grise à 15 kg/mm <sup>2</sup>
								Section du copeau		
C	Si	Mn	Cr	Mo	Wo	Va	Co	3,9 × 1 mm v = 20 m.	8,98 × 2,5 mm v = 25 m.	9,75 × 2,5 mm v = 30 m.
0,76	0,28	0,10	4,38	0,3	16,40	0,62	5,03	13m,54 sec.	6m,32 sec.	6m,55 sec.
0,88	0,28	0,07	5,09	0,6	18,10	1,16	—	5m,20 sec.	2m,52 sec.	1m,25 sec.

Par contre, les contre-expériences faites par de nombreuses aciéries ont donné les conclusions suivantes : le Co n'est avantageux que pour les aciers peu alliés, il est sans influence sur les aciers à haute teneur en Wo-Cr.

La plupart des aciéries fabriquant aujourd'hui des aciers rapides avec diverses teneurs en Wo et par suite à rendement assez différent. Généralement, elles ont quatre types de ces aciers :

- 1) Type ayant de 22 à 25 % de Wo;
- 2) Type ayant environ 20 % de Wo;
- 3) Type ayant environ 18 % de Wo;
- 4) Type ayant environ 15 % de Wo.

#### Théorie des aciers rapides.

D'après Osmond, le Wo a pour effet de diminuer la teneur en C de l'eutectique. Il en résulte que les aciers rapides sont des aciers

à carbure double. Ce carbure double se dissout très difficilement, sa solubilité augmente cependant avec la température. C'est analogue à ce qui se passe pour la cémentite des aciers au C (voir diagramme 3). D'où la nécessité de porter ces aciers à de très hautes températures et de maintenir souvent ces températures un certain temps pour faire passer ce carbure à l'état de solution solide.

Il découle de cette faible solubilité du carbure que sa répartition n'est pas uniforme, même à haute température, dans la masse qui est au fond formée de deux constituants inégalement carburés. La trempe conserve naturellement cette constitution non homogène et c'est ainsi que, pour un outil judicieusement trempé, on observe de petits grains de cémentite (carbure) aussi finement divisé que possible dans une masse d'austénite. Si l'on fait revenir cet acier, on observe vers 660° une augmentation de la dureté qu'Osmond explique en l'attribuant à la transformation d'austénite en martensite plus dure (fig. 26).

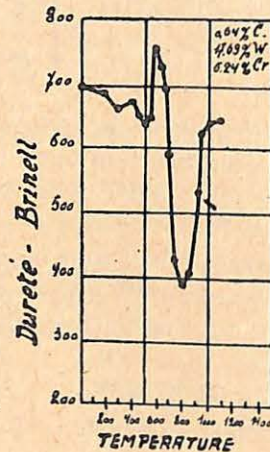


Fig. 26.

La raison du peu de convenance de l'emploi du Mn réside dans le fait qu'il travaille au maintien de la texture austénitique moins dure que la martensite.

#### Traitement et production.

L'acier rapide se prépare soit au four électrique, soit, comme c'est encore très souvent le cas, au creuset. Le Cr et le W sont des métaux trop coûteux pour se permettre d'utiliser le four Martin pour la fabrication de ces aciers.

Les matières premières utilisées étant généralement très pures, la fabrication des aciers rapides est au fond une des plus faciles, sans compter que de faibles variations dans les teneurs du Cr, du W et même du C influent peu sur les propriétés de l'acier obtenu.

L'acier rapide est toujours coulé en petits lingots (on ne dépasse guère 150 millimètres) car :

- Le travail de laminage ou de forgeage de ces aciers est trop coûteux.
- De plus, suivant certains aciéristes, le forgeage ou le laminage est moins nécessaire pour ces aciers dont on ne demande qu'une bonne capacité de coupe, qu'il possède déjà à l'état fondu après trempe.

Pour d'autres cependant (Rudolf Schmidt), le forgeage est tout aussi nécessaire pour les aciers rapides que pour les autres, car il assure une répartition et une division plus complètes et plus uniformes du carbure dans la masse, augmentant ainsi la dureté de l'acier (voir à ce sujet ce qui a été dit pour les aciers à aimants et plus loin les aciers à cémentite libre).

*Forgeage.* — Le Cr et le W relevant les températures de transformation, il importe de ne pas laisser descendre la température de forgeage en dessous de 900°. Le travail à une température inférieure, poursuivi pour l'obtention d'une plus grande précision de dimensions, provoque la formation de tensions et de fissures.

Par suite de la mauvaise conductibilité de ces aciers, leur chauffage doit se faire très prudemment (d'après Becker, il doit durer deux jours). Le forgeage de plats donne moins de déchets que celui des carrés et le forgeage de ceux-ci moins que celui des ronds.

*Meulage.* — Il peut se faire :

- A l'état non trempé, après le forgeage et en utilisant la chaleur de celui-ci. Il est alors sans danger.
- Après trempe, très délicat, toujours par suite de la mauvaise conductibilité des aciers rapides. Les élévations locales de température font naître des tensions et, par suite, des fissures. Le meulage à la pierre de grès semble être particulièrement dangereux.

*Recuit.* — Après sa fabrication en barres, l'acier rapide est toujours recuit. Ce recuit a pour avantage de déceler les défauts que le travail antérieur aurait occasionnés.

Il convient de porter l'acier à une température de 800 à 900° et de le laisser refroidir très lentement (2-6 h.) jusqu'à 500°, ceci à cause de la faible vitesse de transformation déjà signalée plus haut. Théoriquement, la chute de température peut être quelconque en dessous de 500°. Pratiquement, un refroidissement trop rapide peut provoquer des tensions.

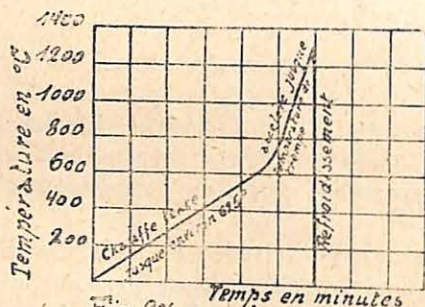


Fig 27 courbe de trempe pour acier rapide

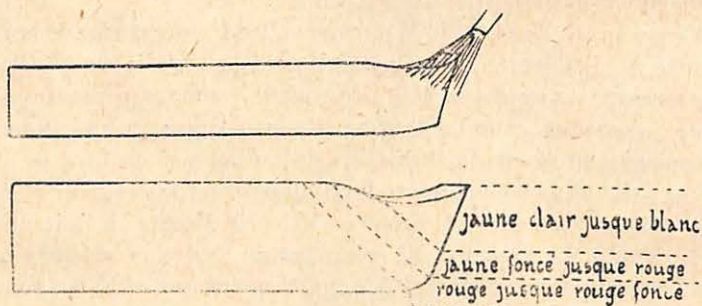


Fig 28

*Trempe* (fig. 27 et 28).

Il est à conseiller de ne pas utiliser l'eau comme liquide de trempe (sauf pour les aciers au Vn). On emploie généralement la trempe à l'air ou à l'huile (toujours à cause de la mauvaise conductibilité).

Les outils qui, comme les mèches hélicoïdales, n'ont pas la robustesse de forme du couteau de tour, doivent être trempés à des températures inférieures.

Il faut d'ailleurs remarquer qu'une haute température favorise la formation, surtout à la surface, d'austénite, qui est plus douce que la martensite.

Sans inconvénient pour les couteaux, car l'intérieur aura la dureté exigée, cette apparition d'austénite est peu désirable pour les mèches hélicoïdales, les tarauds, etc., pour lesquels une grande exactitude de dimensions est demandée.

On les chauffera donc moins, de façon à ne pas provoquer cette formation d'austénite, mais on les chauffera plus longtemps à une température inférieure pour obtenir une bonne répartition du carbure.

Cette couche superficielle moins dure peut d'ailleurs être due aussi à la décarburation. Pour l'éviter, on procède comme suit : on trempe l'objet rapidement avant la trempe dans du ferrocyanure de K. La partie décarburee reprend le C du ferrocyanure.

Ci-dessous les températures de trempe des divers outils :

Mèches, filières, de diamètre moyen . . .	900°	950°
» » de fort diamètre . . .	950°	1000°
Fraises . . . . .	1000°	1100°
Couteaux de tour . . . . .	1300°	

Le revenu préconisé à 625° par Taylor pour les aciers primitifs à forte teneur en C n'est plus guère utilisé aujourd'hui.

*Données pratiques :*

	Profondeur de la passe	Largeur de la passe	Vitesse de coupe en m/minute
Acier jusque 50 k/mm <sup>2</sup> . . .	10 m/m	2 m m	30 — 40
Id. 70 id. . . . .	5 »	2 »	20 — 30
Acier au-dessus de 70 id. . . . .	5 »	1,5 »	10 — 20
Fonte grise . . . . .	5 »	1,5 »	15 — 25
Fonte blanche . . . . .	1 »	0,5 »	1 — 2

## C) ACIERS POUR COUPELLERIE ET TAILLANDERIE.

## a) Aciers au C.

Aciers pour faux . . . . .	0,6 % C, 0,15 Si, 0,4 Mn
» pour socs de charrue . . . . .	0,45 % C, 0,5 Si, 0,7 Mn
» pour ciseaux et couteaux . . . . .	0,4 % C, 0,4 Si, 0,8 Mn
» pour instrument de chirurgie . . . . .	0,6 % C
» pour rasoirs . . . . .	de 1,25 % C: à 1,60 % C

Quant au procédé utilisé pour la production de ces aciers, il varie avec la qualité du produit qu'on veut obtenir.

La qualité inférieure des produits de Solingen est faite d'acier Bessemer. La qualité courante est faite d'acier Martin et enfin on réserve pour les qualités supérieures, les aciers électriques, ceux des creusets et des fours à puddler.

## b) Aciers alliés.

Seuls les rasoirs de qualité secondaire sont faits en acier au C.

La coutellerie fine et surtout les rasoirs de bonne qualité sont en acier au Cr (1,4 à 1,5 % C; 0,2 Si; 0,15 Mn; 0,3 à 0,5 Cr). Ces aciers sont naturellement à carbure double. Ils demandent un forgeage soigné si l'on veut obtenir une répartition uniforme du carbure fortement divisé. L'examen sous grossissement des lames de rasoirs montrent que le tranchant est constitué par un alignement de ces petits globules de carbure légèrement en promontoires sur la masse martensitique (après trempe).

Pour obtenir un taillant bien régulier, il y a donc nécessité d'avoir une répartition aussi uniforme que possible du carbure.

*Traitement thermique.* — Les lames sont trempées en les glissant dans l'eau, le dos restant presque horizontal. Les rasoirs ne sont généralement pas revenus, les couteaux de table sont revenus à l'huile. On fait revenir les couteaux de poche en les mettant sur le dos sur une plaque chauffée ou dans un bain de plomb fondu.

D) ACIERS QUI NE DOIVENT SUBIR QU'UN FAIBLE RETRAIT A LA TREMPE. — Ces aciers sont spécialement utilisés pour les outils pour lesquels une grande exactitude de dimensions est nécessaire, comme les tarauds, coussinets à fileter, matrices, mandrins et disques à étirer, mèches hélicoïdales, alésoirs.

Lors de la trempe, la cémentite ou le carbure libre que peut contenir un acier reste seul sous cet état. Les autres constituants passent à l'état de martensite plus volumineuse. Les modifications de volume et de forme seront donc d'autant plus faibles que l'acier contient plus de carbure libre.

Pour les aciers au C, il faut donc choisir des aciers à très haute teneur en C (1,25 %).

Mais l'expérience a montré que les aciers qui subissent les moindres modifications à la trempe sont des aciers au Cr-Mn (parfois aussi avec le Wo):

0,9 % C; 0,6 à 1 % Mn; 0,5 % Cr.

Ces aciers ont encore l'avantage de reprendre des formes et dimensions presque identiques aux primitives par revenu.

L'augmentation de volume due à la trempe provoque, pour la grande majorité des aciers, une diminution de la grande dimension de la pièce et une augmentation de ses dimensions transversales.

Pour les aciers mentionnés ci-dessus, au contraire, l'augmentation se porte sur les trois dimensions; il en résulte évidemment une déformation linéaire moindre (fig. 29).

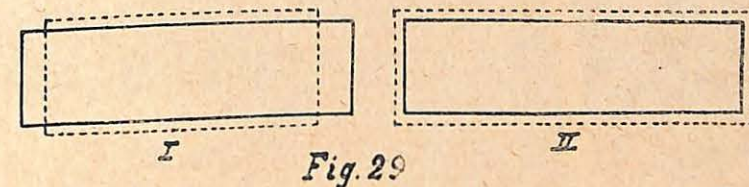


Fig. 29

L'expérience a montré qu'en réchauffant les aciers trempés à 150-200°, on ne diminuait pas sensiblement la dureté, mais que, par contre, on faisait disparaître les tensions que les changements de constituants avaient introduites et qui provoquaient les modifications de forme et de dimensions. C'est ainsi qu'après trempe les objets précédemment cités sont soumis à ce que les Allemands appellent Tempverfahren, qui consiste à les traiter par l'huile à 150° pendant un temps assez long (10 heures parfois).

*Traitement.* — Trempe : Forgeage, 900-950°;  
Chauffage, 900-830°.

Refroidissement dans une huile fluidé ou encore trempe interrompue qui donne un noyau tenace avec une croûte dure, constitution favorable aux moindres déformations par la trempe.

## 2. — Aciers pour outils soumis aux chocs.

Outils pneumatiques (marteaux, burins, bouterolles).

Mêmes outils à main, tranches, lames de cisailles, poinçons.

Outils très résistants pour le travail du bois.

Fabrication des pointes et rivets (frappeurs), emporte-pièces.

Outils à estamper.

Ces aciers doivent satisfaire aux deux conditions suivantes :

1. Avoir une dureté suffisante ;
2. Avoir une bonne ténacité et surtout une grande résistance aux chocs, donc une bonne résilience (de là le nom de « Dauerstahl » souvent donné aux aciers spécialement destinés à ces usages.

On utilise encore beaucoup pour ces outils de *simples aciers au C* ; les deux conditions ci-dessus travaillent alors en sens opposé sur la teneur en C : la dureté demandant une teneur élevée, la résistance au choc exigeant au contraire un acier assez doux.

En effet, les expériences de Langenberg (Eisen und Stahl, 2 août 1923) montrent que, même jusqu'à une température de 500°, la résilience diminue quand la teneur en C augmente.

Les aciers suivants : A. 0,364 % C, 0,68 % Mn, 0,26 % Si ;  
B. 0,82 % C, 0,62 % Mn, 0,12 % Si ;  
C. 0,176 % C, 0,69 % Mn, 0,075 % Si,

donnent pour  $\rho$  :

	RECUITS		AMÉLIORÉS	
	0°	50°	0°	50°
A	2 kgm	14 kgm	53 kgm	81 kgm
B	2 »	6 »	6 »	11 »
C	4 »	43 »	43 »	140 »

Il suffit, d'autre part, pour les aciers à forte teneur en C, de s'en reporter à ce qui a été dit sur les aciers à cémentite libre (voir aciers pour outils de coupe).

Il faudra donc réaliser un compromis entre la dureté et la résilience, leur influence relative faisant d'ailleurs passer la teneur en C de 0,65 % pour les outils particulièrement exposés aux chocs à 1,3 % pour ceux pour lesquels la dureté est surtout requise.

Bouterolles, marteaux de forge, poinçons pour cuir et tôles douces, enclumes . . . . .	0,65 à 0,75 % C
Poinçons, tranches, coins à frapper les monnaies, emporte-pièces, poinçons et couteaux de machines à clous, outils pour forage, barres à mines pour pierres tendres, matrices à chaud, lames de cisailles . . . . .	0,75 à 0,9 % C
Burins à main, outils pneumatiques, étampes, bédanes, emporte-pièces . . . . .	0,9 à 1,05 % C
Outils pour pierres dures, poinçons . . . . .	1,05 à 1,15 % C
Outils pour pierres très dures . . . . .	jusque 1,45 % C

*Influence du traitement thermique.* — Dureté et résilience agissent de nouveau en sens inverses. Alors que la première demande un acier trempé à structure martensitique, la seconde exige, au contraire, un acier recuit ou au moins revenu (fig. 30), la martensite étant peu résistante au choc.

C'est ainsi que pour les aciers carburés (à partir de 0,75 % C), on se contente de tremper le tranchant, le reste restant à l'état naturel.

Dans le même ordre d'idée, on s'efforcera d'avoir seulement une couche martensitique, l'âme étant autant que possible à texture sorbitique beaucoup plus résistante aux chocs.

A cet effet, dans ces aciers et en général dans les aciers à outils à forte teneur en C, on s'efforcera de diminuer la teneur en Si et en Mn, ceux-ci facilitant la pénétration de la trempe.

On arrive ainsi à constituer une âme de sorbite.

Jusqu'à 0,25 Si et 0,3 Mn, l'action de ces deux corps est insignifiante.



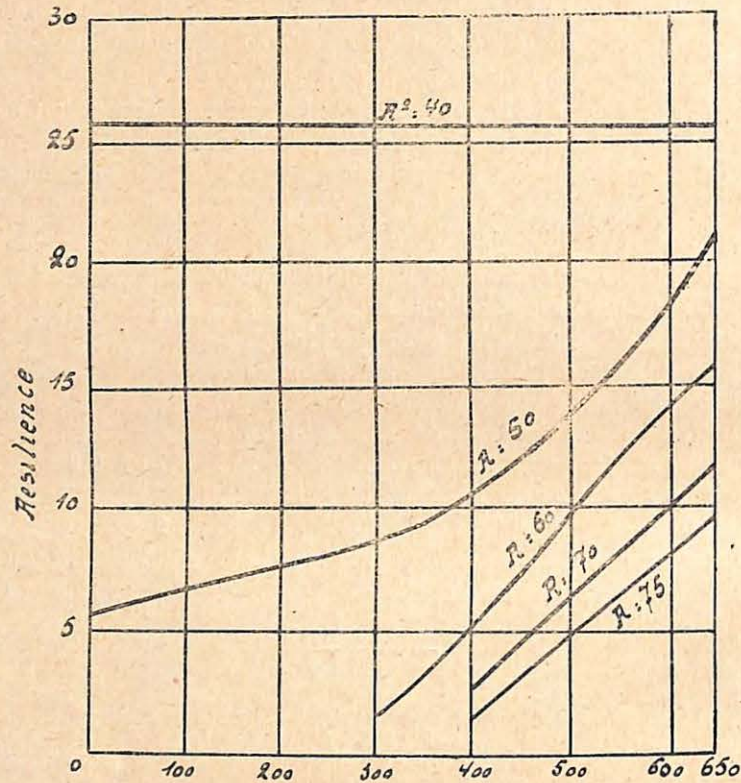


Fig. 30. TEMPERATURE DE REVENU APRES TREMPE

Diagramme montrant l'effet du revenu après trempe sur acier ordinaire. Le R le long des courbes représente le Rz sur éprouvette recuite.

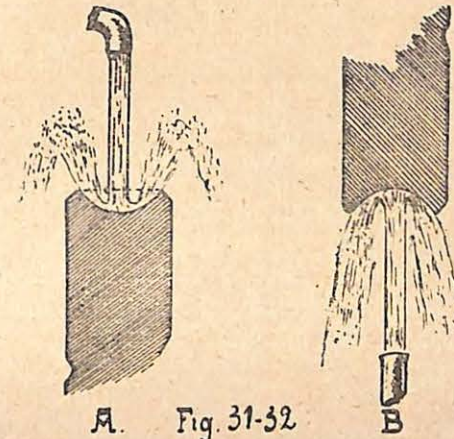
L'extrémité seule des burins et ciseaux doit être trempée sur une longueur de 20 à 30 millimètres.

Il ne faut pas diminuer la longueur de la zone trempée, sinon les chocs courbent l'outil au-dessus de la partie trempée et ces déformations peuvent être la cause de sa rupture.

Un bon procédé consiste à les empaqueter dans un bout de tube, le taillant tourné vers la flamme.

Pour la trempe des bouterolles, le procédé ordinaire donnerait une bordure trop dure et trop fragile, le fond de la cavité n'étant

pas assez dur. Les croquis fig. 31 et 32 donnent une idée de la façon de tremper.



A. Fig. 31-32

B

Les températures de trempe sont données par le diagramme des aciers au C. Quant au revenu, il convient de réaliser une température d'environ 260°.

#### Aciers alliés.

Au lieu de chercher la dureté en augmentant la teneur en C, ce qui a, comme on l'a vu, l'inconvénient de provoquer la fragilité des aciers, on a essayé de lui donner cette dureté par d'autres éléments.

#### a) Acier au Cr-Wo-Si :

Ils sont employés pour les outils pneumatiques ainsi que pour les burins, bouterolles, tranches à main, lames de cisailles.

Böhler donne la composition suivante :

0,3 à 0,4 % C — 0,5 % Si — 0,1 % Mn — 1 % Cr — 1 % Wo

Le Rheinmetall a une composition presque identique pour les burins à main et pneumatiques.

Le Wo est parfois remplacé par du Mo.

Pour les emporte-pièces, poinçons pour tôles fortes, les lames de cisailles courtes, les étampes, on porte la teneur en C à 0,5 %.

Rudolf Schmidt produit un acier du même genre :

0,33 % C — 0,5 Si — 0,6 Cr — 0,75 Wo.

La présence de Wo, assez analogue au Cr comme régénérateur de la dureté, est due à ce qu'il donne moins de fragilité.

Le Si intervient pour donner l'indéformabilité de l'outil.

b) *Aciers au Cr-Si :*

Böhler produit un second acier sans Wo :

0,3 à 0,4 % C; 1 % Si; 0,5 % Mn; 0,5 % Cr.

La plus forte teneur en Si rend cet acier plus fragile : la résistance au choc d'un acier tombe, en effet, rapidement quand sa teneur en Si dépasse 0,4 à 0,5 %.

c) *Aciers au Cr-Wo :*

Ils sont assez semblables aux aciers décrits sous a); la teneur en Si y est un peu inférieure. Dörrenberg fait ces aciers en quatre degrés de dureté en faisant varier la teneur en C : 0,3 à 0,4 % pour les premiers (voir les usages ci-dessus); 1 à 1,3 % pour les deux dernières catégories qui sont réservées aux découpoirs et emporte-pièces pour substances très dures, pour certains étampes, pour fleurets de mines pour roches très dures, en un mot pour les usages pour lesquels on peut sacrifier un peu la résistance aux chocs à la dureté.

d) *Aciers au Cr :*

Rheinmetall et Becker fabriquent pour les outils pneumatiques un acier à

0,3 % C et de 1 à 1,5 % Cr.

Böhler utilise pour les lames de cisailles pour métaux mous, son acier pour cylindres de laminoirs à froid. Il le recommande aussi pour les emporte-pièces.

e) *Aciers au Wo :*

Certaines aciéries craignent de faire entrer le Cr dans les aciers pour outils soumis aux chocs, le Cr donnant trop de fragilité.

Le Bergische Stahl Industrie particulièrement produit un acier à 1,5 Wo environ sans Cr (fig. 33).

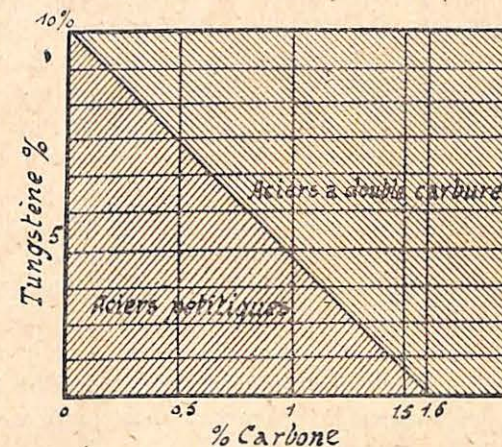


Fig. 33 DIAGRAMME DES ACIERS AU TUNGSTÈNE D'APRÈS GUILLET

En résumé, la question des aciers pour outils pneumatiques et instruments soumis aux chocs n'est pas encore bien éclaircie. D'une façon générale, on semble cependant tendre vers un acier contenant un peu de Cr (moins de 1 %), un peu plus de Wo (0,75 à 1,5) et ayant une teneur en C qui varie, suivant l'usage, de 0,35 à 1,3 %.

*Traitement thermique de ces aciers.*

*Acier au Cr :*

*Forgeage.* — On ne descend pas au-dessous de 800°, car le Cr relève les points de transformation.

*Trempe.* — Chauffer à 850°. Tremper dans l'eau. Les outils pneumatiques sont trempés complètement, on ne fait revenir que le fût et le creux des bouterolles ou la tranche des burins.

Pour les outils à main, on ne trempe et on ne fait revenir que le tranchant : le corps, dont la sollicitation est moins régulière que dans les outils pneumatiques, est ainsi moins fragile.

Les burins et les poinçons sont revenus à 220-230° (dureté plus grande) et les bouterolles à 185° (la résilience l'emporte sur la dureté).

*Aciers au Cr-Wo et Cr-Wo-Si (aussi Cr-Si Böhler):*

*Forgeage.* — Ne pas descendre au-dessous de 800°.

*Trempe.* — Le *Wo* rend l'acier moins sensible à l'action des hautes températures, car le grain reste fin à hautes températures. Les températures de trempe seront donc moins nettement imposées (ceci n'est cependant vrai que pour les aciers peu carburés; pour les aciers à forte teneur en C, l'action de ce dernier élément prévaut et impose une température plus basse).

Böhler, par exemple, donne comme température de trempe de 800 à 1000° pour ses aciers pour outils pneumatiques.

Pour les aciers plus carburés (0,5 à 1,3 C), les limites de l'échauffement sont resserrées entre 800 et 850°. Si la teneur en C dépasse 1 %, les objets de faibles dimensions sont à tremper à l'huile. Pour ceux de plus fortes dimensions, on emploie la trempe interrompue qui équivaut à un revenu moins prononcé que la trempe à l'huile.

Revenu : à 240-285°, à température d'autant plus élevée que la résilience doit l'emporter sur la dureté.

### 3. — Aciers pour filières et matrices d'étirage à froid de tubes.

Pour les aciers de construction de ce genre, on utilise, comme on l'a vu plus haut, des aciers au *Mn*.

Pour les filières et matrices, la résistance des aciers au *Mn* ne suffit plus. La dureté doit être plus mordante. On fait alors appel à l'élément qui, tout en donnant une plus grande dureté, favorise plus que le *Mn* la pénétration de la trempe : le *Cr*.

a) Pour les fils d'acier à grande résistance ( $R_r = 180$  à  $270$  k./mm<sup>2</sup>), les fils durs de cuivre, laiton ou bronze, on emploie des aciers à très forte teneur en C et surtout en *Cr* :

1,5 à 1,8 % C ; 0,5 % Si ; 0,25 % Mn ; 13 à 14 % Cr.

Krefelder Stahlwerk produit des filières particulièrement appréciées.

La forte teneur en C et en *Cr* rend le forgeage de ces aciers relativement difficile.

*Traitement thermique.* — Les chauffer lentement (mauvaise conductibilité des aciers au *Cr*) jusqu'à 900° à 950°. Les refroidir

dans un courant d'air pour les tremper. (Ces aciers sont martensitiques). Voir aciers au *Cr* (fig. 25).

Le même acier est utilisé pour les filières d'étirage de barres à profil compliqué, pour les fabriques de serrures, pour les lames de ciseaux, etc.

Krupp est particulièrement outillé pour la fabrication de ces filières à profils compliqués.

Böhler, tout en produisant un acier analogue au précédent, préconise l'emploi d'une sorte d'acier rapide de composition suivante.

1,5 % C ; 0,6 % Si ; 0,25 % Mn ; 2,2 % Cr ; 9 % Wo.

Cet acier a l'avantage d'être moins sensible que le précédent aux hautes températures, par suite de la présence de *Wo* (donc peut être traité par des ouvriers peu expérimentés). Sa dureté est d'autre part comparable à celle des aciers au *Cr*.

Bergische Stahl Industrie fabrique un acier presque identique : 3 % Cr ; 10 % Wo.

Rudolf Schmidt, bien que produisant les aciers précédents, fabrique aussi dans ses fours à creusets un alliage non forgeable à 3 % de C. La filière reçoit sa forme par coulée, à part un léger usinage de *ab* à la lime (fig. 34).

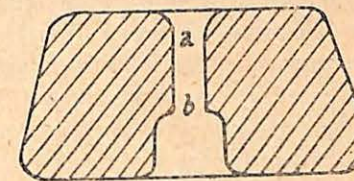


Fig. 34

b) Pour les fils d'acier mi-dur (pour câbles) 140 à 180 k./mm<sup>2</sup> et pour les métaux durs, on utilise des aciers à

1,8 à 2 % C ; 0,3 % Si ; 0,15 % Mn ; 0,3 à 0,5 % Cr.

Certaines aciéries (Rudolf Schmidt) descendent jusqu'à 1 % Cr.

c) Pour les fils et tubes en métal mou (*Cu* par exemple), on utilise aussi, au lieu des filières précédentes, des filières en acier au *Cr* :

1,4 à 1,5 % C ; 0,2 % Si ; 0,15 % Mn ; 0,3 à 0,5 % Cr.

d) Pour les fils d'acier moins dur, de plomb, d'or, d'argent, de cuivre et d'alliage, on utilise des filières en acier fondu au C. Ce sont naturellement des aciers à forte teneur : 1,3 à 1,5 % C.

Les filières dites « Deutsche Zieheisen » sont constituées par une lame de cet acier au C soudée sur un corps de fer qui donne la robustesse à l'outil, l'acier donnant la résistance à l'étirage.

Pour les filières, mandrins, anneaux à étirer qui doivent avoir des dimensions très exactes, on emploie des aciers qui ne subissent presque pas de déformation à la trempe (voir ces aciers).

#### 4. — Aciers pour matrices, étampes, mandrins.

Le seul caractère commun des nombreux outils désignés ci-dessus est d'être constitués en vue de donner certaines formes ou dimensions exactes. Mais la sollicitation et le mode de travail de ces outils varient beaucoup et sont souvent trop complexes pour que nous ayons pu classer les aciers dont ils sont faits dans une des catégories précédentes.

##### a) Matrices à chaud.

Les différents aciers sont rangés par ordre de valeur décroissante :

1) *Aciers pour matrices à chaud devant résister à de fortes pressions.* — Ces aciers doivent avoir une grande ténacité, une grande résistance à l'usure, donc une très grande dureté; mais il faut de plus qu'ils conservent cette propriété aux températures élevées. Ces conditions sont en réalité celles auxquelles doit satisfaire un acier à coupe rapide. Les aciers rapides peuvent d'ailleurs être utilisés pour la fabrication de matrices spéciales.

Aussi, l'acier qui donne les meilleurs résultats est un acier à : 8 à 10 % Wo; 2 à 3 Cr; 0,6 à 0,65 C.

Cet acier s'emploie particulièrement pour les « spritzmatrizen », mais aussi pour les matrices pour rivets (les conditions sont les mêmes) et en général pour les outils fortement sollicités travaillant à haute température.

*Traitement thermique.* — Forgeage de 1000 à 1200° (points de transformation relevés par Cr et Wo). Refroidir par un jet d'air (martensitique).

2) *Un autre acier très souvent employé est analogue aux aciers pour aimants au Wo : 1 % C; 5 ou 6 % Wo (Böhler et Glockenstahl). Voir ces aciers.*

Böhler et Bergische Stahl font aussi des aciers avec moindre teneur en Wo (3 à 1).

Ces compositions n'ont d'ailleurs rien d'absolu (sauf chez Böhler).

Bien des aciéries (Becker, Bergische Stahl Industrie) fabriquent plusieurs aciers avec teneurs décroissantes en Wo et Cr à partir du premier cité. On admet que le rendement est divisé par 6 quand la teneur en Wo passe de 9 à 0.5.

On emploie aussi parfois les aciers chromés (Zieheisen).

Ces aciers sont moins recommandables.

Lorsque les dimensions des matrices augmentent, l'emploi des aciers ci-dessus deviendrait très onéreux et on fait alors usage de l'acier suivant :

3) *Acier au Cr-Wo-Si (Böhler Rheinmetall) et même au Cr-Si (Böhler) identique à celui utilisé pour les outils pneumatiques.*

Cet acier, comme le suivant, est d'emploi tout indiqué pour les outils pour lesquels la pression se change plutôt en choc (matrice à chaud pour rivets, étampes).

4) *Acier au Cr-Ni < 1 % Cr; 3 à 4 % Ni.*

Fabriqué par presque toutes les aciéries, particulièrement pour les matrices refroidies brusquement par l'eau, la tendance de cet acier à la formation de petites fentes sous l'effet des variations de températures étant moins prononcée que pour les précédents (les aciers au Cr et au Wo sont assez mauvais conducteurs de la chaleur).

*Traitement thermique.* — Forgeage 900 à 1000°.

Trempe 850° dans l'huile.

Recuire pendant 1 à 1 1/2 heure à 650° environ, pour augmenter la résilience du métal.

S'emploie aussi pour les presses à rivets et pour les matrices de villebrequins et autres pièces de construction de petit modèle.

On y ajoute parfois un peu de Vn, 0,5 % (pour les mêmes raisons que dans les aciers rapides).

5) *Aciers au Mn.* Aciers qui ont de 0,45 à 0,5 % de C et de 0,8 à 1,2 % Mn.

Le Mn à ces teneurs augmente, en effet, légèrement la dureté et la résilience.

Ces aciers sont très employés, surtout lorsque le volume de la matrice est assez important.

On l'utilise presque toujours pour les matrices pour boulons et pièces de forges.

#### 6) Aciers au C.

Ce sont des aciers où l'on fait tomber la teneur en Mn à 0,3 %, mais où la teneur du C est portée jusqu'à 0,7 à 0,8 %.

Ces deux dernières variétés ne constituent au fond que les deux termes extrêmes d'une seule classe d'aciers comprenant une série de termes intermédiaires obtenus en agissant en sens inverse sur les teneurs des deux composants C et Mn.

Il est d'ailleurs à remarquer que la grande majorité des matrices à chaud dans les boulonneries, les forges, etc. sont faites de ces aciers au C (ou au Mn).

La question du choix de ces aciers doit faire l'objet d'une étude comparative basée sur ce que les aciers alliés ont le grand avantage de permettre un usage plus long que les aciers au C, mais sont d'un prix beaucoup plus élevé.

On limite donc leur emploi aux matrices de long usage, aux pièces de faibles dimensions et à certains usages spéciaux (spritzenmatrizen, matrices à rivets).

#### b) Mandrins.

Les aciers pour mandrins de laminoirs à tubes et d'étirage à chaud travaillent dans des conditions assez analogues à celles des matrices à chaud. L'alliage idéal pour la confection de ces mandrins n'est d'ailleurs pas encore trouvé, comme le montre la multitude des aciers actuellement utilisés pour cet usage.

Rheinmetall et Böhler proposent pour le laminage les aciers polyédriques au Mn.

Krieger et Werner font au contraire des aciers au Cr-Wo, mais avec des variations de teneurs très considérables suivant l'usine à laquelle ils sont destinés. Ces aciers semblent très utilisés.

On emploie aussi (Böhler) des aciers au Wo (6 %) à 1,5 % C.

Enfin, la firme Mannesmann n'emploie que des aciers au C (voir ci-dessus).

Pour l'étirage de précision, on emploie aussi des aciers rapides.

#### c) Matrices à froid, étampes à froid, poinçons à étirer

Les aciers employés doivent réunir une grande résistance à l'usure (donc une grande dureté) à de fortes pressions et parfois au choc.

Pour les matrices à froid et étampes, particulièrement soumises au choc, les aciers au Cr-Wo à faible teneur en C sont tout indiqués (voir aciers au choc):

0,4 C; 1 Wo; < 1 Cr; 0,5 Si (Böhler).

Un acier à 1 % C et de 1 à 1,5 % Wo est aussi recommandé par Böhler pour matrices à froid à boulons et les étampes à froid. (Trempe de 810 à 830° dans l'eau à 20°.)

Pour les mandrins à étirer l'acier, le fer, le métal (par ex. pour l'étirage des cartouches), la question du choc est beaucoup moins importante et un acier au Cr (plus fragile, mais plus dur) qui conserve la netteté des arêtes, est préférable :

0,8 à 1 % C; 2 % Cr.

Enfin, pour les usages courants, on utilise beaucoup un acier à 0,8 % C et environ 0,25 % Mn, trempé.

L'acier le plus courant pour l'étirage des métaux doux (cartouches) est cependant un acier au Wo assez analogue à celui de plus haut :

1 à 1,5 % Wo; 1 à 1,2 % C.

#### 5. — Aciers pour limes

Ces aciers doivent posséder une grande dureté.

*A priori*, rien ne limitera les procédés pour l'obtention de cette dureté.

Les limes bon marché sont constituées d'un acier Mn à haute teneur en C.

La présence du Mn a surtout pour but de favoriser la pénétration de la trempe; aussi faudra-t-il limiter la teneur en Mn pour les petites limes qui, sinon, seraient trop fragiles (ces limes ont alors environ 1,4 % C et moins de 0,35 % Mn). Les compositions de l'acier ordinaire pour limes sont généralement comprises dans les limites suivantes :

0,9 à 1,4 % C; 0,35 à 0,8 % Mn.

Les aciers au C et Mn pour limes sont généralement des aciers Bessemer. La pureté de la matière première, pauvre en S et en P, permet d'obtenir des aciers de bonne qualité.

Pour les limes de précision, d'horloger, pour verres, pour scies, on ne se contente plus de ces aciers et on prend des aciers au Cr, élément qui non seulement donne une grande dureté mais une trempe profonde.

On admet généralement :

1,4 à 1,5 % C; 0,2 Si; 0,15 % Mn et 0,3 à 0,5 % Cr.

### III. — Aciers pour artillerie.

Alors que les aciers pour canons doivent répondre à des exigences qui les rapprochent des aciers de construction, les aciers pour projectiles auront des points communs avec les aciers pour outils.

#### A. — Aciers pour canons.

Cette fabrication est naturellement interrompue dans le secteur.

Les aciers utilisés autrefois étaient des aciers au Ni (jusque 3 à 4 p. c. de Ni et 0,20 à 0,45 % de Cr); on préférerait, en effet, augmenter la limite élastique de l'acier par recherche d'une bonne composition que par un traitement thermique toujours difficile à appliquer à des pièces de dimensions aussi importantes.

CANONS DE FUSILS. — Ces aciers doivent joindre à une bonne résistance à l'usure, à l'arrachement produit par le frottement du projectile, une grande ténacité pour résister aux hautes pressions.

##### a) Aciers pour canons de fusils ordinaires :

0,55 % C, 0,65 % Si et 0,6 % Mn.

Le Mn intervient pour donner la résistance à l'usure, l'ensemble des trois composants : C, Si, Mn, pour augmenter la ténacité.

Ces aciers sont forgés entre 1050 et 850° et sont alors utilisés bruts de forge.

##### b) Aciers pour canons de fusils fins.

Ce sont toujours des aciers au Wo. Le Wo augmente les Rr et Re de l'acier. De plus, il rend l'acier particulièrement apte à résister à ce que les Allemands appellent l'Ausschiessen, tendance à l'élargissement de l'âme.

Si on préfère le Wo au Cr, c'est que ce dernier, bien que donnant une dureté plus grande, réduit plus fortement la ductilité de l'acier. Or, comme il a été dit plus haut, les aciers pour armes de tir sont plutôt des aciers de construction et doivent par conséquent présenter les caractères de ceux-ci (Re et Rr élevées, mais sans que A et  $\rho$  soient trop fortement réduits).

Composition de ces aciers : 0,6 à 0,7 % C et 1 à 3 % Wo.

##### c) Aciers pour fusils de luxe.

On augmente encore la proportion de Wo dans le but de rendre l'acier inattaquable aux produits de la combustion des poudres.

#### B. — Aciers pour projectiles de rupture.

Les premiers essais furent faits avec des aciers au Cr (1,25 à 2 % de Cr). Depuis, on est arrivé aux compositions suivantes :

C, 0,5 à 0,8 % ; Ni, 2 à 2,5 % ; Cr, 0,6 à 2 %.

Ces obus de pénétration ne sont trempés qu'à la pointe, le corps restant au contraire aussi doux que possible pour ne pas rompre lors du choc de la pénétration.

## CHAPITRE III

## LES ACIÉRIES SPÉCIALES DU SECTEUR DE DUSSELDORF

## Région de Krefeld.

## I. — Aciérie Becker à Willich.

C'est la plus puissante des aciéries spéciales des pays occupés (4,700 ouvriers au 1<sup>er</sup> janvier 1923).

Elle comprend actuellement deux divisions :

1) *Rheinholdhütte, à Krefeld*, où sont établis 2 hauts fourneaux de 500 m<sup>3</sup>, 3 fours Martin fixes de 15 tonnes, 2 fours Martin basculants de 70 tonnes (ces derniers jouant en même temps le rôle de mélangeurs), 6 fours électriques à induction Röchling-Rodenhäuser de 6 à 8 tonnes et un four Héroult de 6 à 8 tonnes.

Les fours électriques sont toujours alimentés par les fours basculants, les fours Martin généralement par la fonte liquide.

La production est indiquée dans le tableau suivant :

1913. . . . .	10,891 tonnes dont 1,054 d'acier rapide.
1 <sup>er</sup> semestre 1914 . . . . .	4,292 » » 556 »
1919. . . . .	24,612 » » 690 »
1920. . . . .	25,771 » » 880 »
1921. . . . .	30,788 » » 915 »
1922. . . . .	43,882 » » 1.122 »

2) *Willich, avec les laminoirs, forges et ateliers de finissage.*

Les installations comprennent :

des laminoirs,

1 blooming (trio),

1 train à stabeisen et petits profilés,

2 trains-fil,

2 trains à tôles fines,

des forges avec une presse de 1.000 tonnes et 11 marteaux de 100 à 300 kilogrammes,

1 Schrägwalzwerk pour tubes et

des presses avec bancs d'étirage pour tubes par le procédé Ehrhardt,

des installations pour l'étirage des fils,

des installations pour le recuit et la trempe.

Toutes les installations des usines Becker sont récentes et plusieurs d'entre elles sont de véritables innovations (chauffage des fours à réchauffer au lignite pulvérisé, procédé Mannesmann pour la fabrication des tubes en acier au Cr).

## II. — Krefelder stahlwerk à Krefeld.

L'usine occupait 2.023 ouvriers au 1<sup>er</sup> janvier 1923.

C'est une des usines anciennes comptant 2 fours Martin de 5 tonnes, 4 de 10 tonnes et 1 de 15 tonnes. Le finissage et les aciers rapides se font dans 4 fours électriques Nathasius de 8 tonnes.

La production est indiquée dans le tableau suivant :

ANNÉES	Aciers à outils au C tonnes	Aciers de construction tonnes	Aciers rapides tonnes
1913 . . . . .	7.065	2.380	606
1 <sup>er</sup> Sem. 1914 . . . . .	2.776	1.081	198
1919 . . . . .	4.919	3.026	561
1920 . . . . .	4.974	5.832	577
1921 . . . . .	5.083	2.733	539
1922 . . . . .	7.281	7.245	949

L'usine possède aussi 4 trains pour tôles, stabeisen et fils, des installations pour la fabrication des tubes par le procédé Ehrhardt, une fabrique d'aimants, des installations pour l'étirage des fils et des bancs, des forges, une fabrique de filières.

Les aciers rapides, les filières, les aimants, les aciers pour billes et roulements, les aciers de construction de Krefelder Stahlwerke sont très renommés.

## Région de Dusseldorf.

## I. — Aciérie Böhler.

L'usine d'Oberkassel n'est qu'une filiale de la grande firme d'origine autrichienne.

A Oberkassel, on compte :

3 fours Martin (2 basiques respectivement de 18 et 8 tonnes et un four acide de 3 tonnes qui prépare les aciers qui servent d'Einsatz aux fours à creusets),

2 fours électriques Héroult de 12 et 6 tonnes,

2 fours à creusets ayant chacun 56 creusets à 35 kilogrammes.

La production se répartit comme suit :

ANNÉES	Aciers rapides	Aciers à outils	Aciers de constructions
1919 . . . . .	275	4.475	184
1920 . . . . .	585	7.240	1.064
1921 . . . . .	698	4.890	1.703
1922 . . . . .	765	8.123	1.418

L'usine Böhler date de la guerre. Elle compte 1.769 ouvriers. Elle ne compte que 2 laminoirs à barres, la plupart des barres elles-mêmes provenant des forges (1 presse de 1.200 tonnes et 11 marteaux de 200 à 500 kilogrammes). Böhler semble avoir rivalisé avec Becker pour l'ampleur de ses installations.

## II. — Aciérie Bleckmann.

Les 2 petits fours à creusets de cette firme d'un modèle très ancien, ne seront probablement plus rallumés et il ne restera plus que la forge de cette petite aciérie (171 ouvriers).

Production en 1919 . . . . .	40 tonnes.
» 1920 . . . . .	20 »
» 1921 . . . . .	42 »
» 1922 . . . . .	96 »

## III. — Aciérie Rudolf Schmidt

Petite aciérie (172 ouvriers) ayant 4 fours à 4 creusets de 30 kilogrammes et fabriquant spécialement des aciers rapides qui sont travaillés dans la forge attenante.

L'aciérie n'existe que depuis fin 1922 et produit actuellement environ 200 tonnes d'acier par an.

Ces 3 aciéries sont des filiales de maisons autrichiennes.

Ces usines ont été établies pour tourner les difficultés soulevées par le Reich pour la vente des aciers autrichiens en Allemagne.

## IV. — Aciérie Krieger (Oberkassel).

Ce n'est pas à proprement parler une aciérie spéciale.

Elle dispose de 4 fours Martin (1 de 12 et 3 de 17,5 tonnes) et d'un four électrique de 6 tonnes. Environ 1.000 ouvriers.

Elle produit surtout des moulages d'acier. Une partie seulement de ces moulages sont en aciers spéciaux (acier au Mn et au Cr-Wo).

Elle produit parfois aussi des aciers au Si en lingots.

Les aciers spéciaux passent d'abord au four Martin et sont finis au four électrique.

Production d'acier électrique en 1919 . . . . .	2.124 tonnes.
» » » 1920 . . . . .	2.002 »
» » » 1921 . . . . .	2.800 »
» » » 1922 . . . . .	5.072 »

## V. — Aciérie Werner (Erkrath).

Elle se trouve dans le même cas que la précédente, mais ne produit pas de lingots. Elle dispose d'une cornue Bessemer et de 2 fours électriques alimentés en partie par le Bessemer et occupe 500 ouvriers.

Production en 1919 . . . . .	1.637 tonnes.
» 1920 . . . . .	1.415 »
» 1921 . . . . .	1.109 »
» 1922 . . . . .	2.142 »

Cette aciérie est spécialisée dans les moulages à parois minces, les Pilgerwalzen et les mandrins des laminoirs à tubes.

## VI. — Rheinmetall (Derendorf).

L'aciérie du Rheinmetall compte 2 fours Martin de 8 à 10 tonnes dont 1 acide, 1 de 4 à 5 tonnes (acide), 3 de 15 à 18 tonnes, 1 de 20 à 25 tonnes et 1 de 25 à 30 tonnes. Elle possède, en plus,



3 fours à creusets à gaz de 40 à 45 creusets, contenant chacun de 40 à 45 kilogrammes.

A part le petit four Martin de 4 à 5 tonnes qui sert exclusivement aux besoins de l'aciérie spéciale, les autres fours ne servent pas uniquement à la fabrication des aciers spéciaux.

En fait de laminoirs, le Rheinmetall ne possède qu'un train à Stabeisen.

Production :

ANNÉES	Aciers à outils tonnes	Acier rapide tonnes	Acier au Cr, Wo-Ni, Cr-Ni, Wo-Ni tonnes
1918 . . . . .	143	76	277
1 <sup>er</sup> Sem. 1914 . . . . .	71	58	112
1919 . . . . .	725	90	208
1920 . . . . .	892	191	403
1921 . . . . .	227	173	232
1922 . . . . .	334	249	394

Le Rheinmetall produit presque tous les aciers spéciaux qui ont été passés en revue.

### Région de Remscheid Solingen.

#### I. — Bergische Stahl Industrie.

C'est une usine très importante occupant 4.041 ouvriers au 1<sup>er</sup> janvier 1923. L'usine est très ancienne et bâtie en terrain très accidenté. Sa disposition manque par suite d'unité et les installations sont parfois un peu désuètes. L'usine dispose de 9 fours Martin de 9 tonnes et de 2 fours électriques, Röchling-Rödenhauser de 10 tonnes ensemble, ceux-ci évidemment alimentés par l'acier des fours Martin.

Cette firme est spécialisée dans la fabrication des aciers pour automobiles et avions. Elle a, de tous temps, fourni l'industrie automobile française et belge. Elle produit cependant beaucoup

d'aciers pour outils pour l'industrie de la région (Silberstahl pour mèches).

Dans le tableau ci-après sont données des indications sur la production de cette usine :

ANNÉES	Acier à outils et rapide et de construc. (en barres) tonnes	Acier de construction (pièces forgées) tonnes
1913 . . . . .	20.676	13.575
1 <sup>er</sup> Sem. 1914 . . . . .	10.838	1.166
1919 . . . . .	5.842	3.971
1920 . . . . .	9.030	3.820
1921 . . . . .	8.229	3.667
1922 . . . . .	11.75	4.806

#### II. — Glockenstahlwerke A. G.

*Vorm Rich Lindenberg.*

Acierie ne faisant que des aciers spéciaux et occupant 850 ouvriers. L'usine possède 3 fours électriques, respectivement de : 6,4 et 3 tonnes. C'est ici que furent installés, paraît-il, les premiers fours électriques.

Bien que fabriquant tous les aciers spéciaux, cette aciérie a pour spécialité la fabrication des aimants : elle possède pour ce travail une installation toute moderne. Elle fait comme la précédente beaucoup d'acier pour outils (silberstahl). Elle produit aussi beaucoup de tôles minces.

Production en :

1913 . . . . .	5.793 tonnes.
1 <sup>er</sup> semestre 1914 . . . . .	2.559 »
1919 . . . . .	5.120 »
1920 . . . . .	6.401 »
1921 . . . . .	5.483 »
1922 . . . . .	6.811 »

III. — **Bergische Stahl Walz und Hammerwerk.***J. Lindenberg.*

Petite aciérie occupant environ 80 ouvriers. Elle possède 2 petits fours à creusets et 1 train à barres. Elle ne produit que des aciers pour outils (au C, en très faible quantité au Wo).

Production en :

1913 . . . . .	2.155 tonnes.
1 <sup>er</sup> semestre 1914 . . . . .	1.089 »
1919 . . . . .	785 »
1920 . . . . .	993 »
1921 . . . . .	1.159 »
1922 . . . . .	1.540 »

IV. — **Staghehauser Stahl und Walzwerke.***Hessenbruch & Cie.*

Compte environ 180 ouvriers. Elle n'a aussi que 2 petits fours à creusets (1.000 kilogrammes, chacun des fours) ayant produit en :

1913 . . . . .	1.391 tonnes.
1 <sup>er</sup> semestre 1914 . . . . .	667 »
1919 . . . . .	351 »
1920 . . . . .	423 »
1921 . . . . .	456 »
1922 . . . . .	698 »

Mais ses laminoirs et forges travaillent un tonnage environ 5 fois plus important.

Cette aciérie ne produit aussi pour ainsi dire que des aciers pour outils.

V. — **Dörrenberg à Runderoth.**

Aciérie très ancienne, la seule produisant encore en Allemagne l'acier puddlé : Elle occupe environ 650 ouvriers. Elle ne produit que des aciers spéciaux et dispose à cet effet d'un petit four Martin de 6 tonnes, de 4 fours à creusets (23 à 31 kilogrammes) et de 2 fours à puddler (chacun de 200 kilogrammes).

Elle a un train à barres et une forge assez importante avec certains marteaux mus hydrauliquement.

La plus grosse partie de la fabrication est de l'acier à outils. Il y a un atelier spécial pour le travail des barres à mines. Il faut particulièrement signaler son acier puddlé pour la fabrication de la grosse taillanderie.

Production :

1913 . . . . .	2.003 tonnes.
1 <sup>er</sup> semestre 1914 . . . . .	1.116 »
1919 . . . . .	935 »
1920 . . . . .	2.118 »
1921 . . . . .	3.536 »
1922 . . . . .	5.139 »

VI. — **Siegen Solingen Gussethal Aktien Verein.**

Bien que disposant de 2 fours Martin, cette usine produit elle-même peu d'aciers spéciaux. C'est une aciérie de la même société de l'Allemagne centrale qui lui envoie les lingots qu'elle transforme dans la suite (650 ouvriers).

Cette usine est donc surtout une usine de transformation.

Elle possède 4 laminoirs (2 à barres, 10 tôles, 1 train-fil). Elle a aussi des forges et fait beaucoup d'étirage presque uniquement pour les industries de Solingen et de Remscheid.

La production d'aciers spéciaux de ces ateliers peut être évaluée à :

1913 . . . . .	5.846 tonnes.
1 <sup>er</sup> semestre 1914 . . . . .	2.437 »
1919 . . . . .	5.950 »
1920 . . . . .	4.150 »
1921 . . . . .	3.050 »
1922 . . . . .	5.730 »

Il ne s'agit pas d'une production réelle. Depuis 1919, les tonnages indiqués arrivent sous forme de lingots à Solingen pour y être laminés, forgés, étirés.

Comme on l'a vu dans l'énumération précédente, il y a dans l'industrie de l'acier spécial du secteur de Dusseldorf trois centres importants.

Dusseldorf même où ces usines ont été attirées par des raisons avant tout commerciales, Crefeld qui peut être rattaché à Dusseldorf et enfin le groupe bien distinct de Solingen-Remscheid où les aciéries se sont établies depuis plus longtemps encore pour alimenter les industries historiques de ces deux villes.

Les chiffres récapitulatifs suivants donnent une idée de l'importance de cette industrie :

	Dusseldorf et Crefeld	Solingen (1)- Remscheid	Ensemble
	tonnes	tonnes	tonnes
1913 . . . . .	21.729	51.439	72.868
1 <sup>er</sup> semestre 1914 . . . . .	8.588	24.472	33.060
1919 . . . . .	43.379	21.954	65.333
1920 . . . . .	49.500	28.935	78.435
1921 . . . . .	61.017	25.480	86.497
1922 . . . . .	77.950	36.476	114.426

(1) Il existe à Solingen une autre aciérie spéciale non soumise à notre contrôle.

## CHAPITRE IV

## L'Aciérie Krupp à Essen.

Il est évident que tous les appareils dont il sera question ci-dessous ne produisent pas de l'acier spécial; mais la distinction entre aciers ordinaires et spéciaux n'étant pas toujours aisée et comme certains appareils produisent suivant la demande, l'une ou l'autre qualité d'acier, la description qui suit porte sur l'ensemble de l'aciérie.

## I. — Répartition et Capacité des Appareils producteurs d'acier.

NATURE	Nombre	Capacité unitaire en tonnes	Emplacement
Convertisseurs acides . . . . .	1	1	Dans le Martinwerk 6
Id. . . . .	4	7,5	Dans la « Bessemeri »
Martin acide . . . . .	1	25	Dans le Martinwerk 1
Martin basique . . . . .	1	15	Id.
Id. . . . .	5	15	3 dans le Mw. 1 2 Id. 2
Id. . . . .	23	25	3 Id. 4 12 Id. 5 3 Id. 1 5 Id. 6
Id. . . . .	3	30	Dans le M. W. 1
Id. . . . .	4	35	2 dans le M. W. 4 2 Id. 1
Id. . . . .	1	50	3 Id. 3
Id. . . . .	4	60 à 80	4 Id. 7
Fours à creusets . . . . .	13	5,2 (2)	Aciérie au creuset
Fours électriques . . . . .	2	10	Dans le M. W. 3
Fours Martin . . . . .	2	10	pour l'alimentation des fours électriques.

(1) 116 creusets de 45 kilogrammes dans chaque four.

## II. — Aciérie au creuset.

Elle compte deux rangées de fours : une série de 13 fours à réchauffer et une rangée de 13 fours genre Martin.

La plus grande partie de la production est constituée par des lingots destinés à la fabrication de bandages pour locomotives.

Il faut noter qu'une moitié seulement de la production de bandages est en acier au creuset, le reste est fabriqué avec de l'acier Martin.

L'autre partie de la production de l'acier au creuset comprend des aciers spéciaux.

La production qui était de 48.687 tonnes en 1913, est tombée à 14.024 tonnes en 1922, en raison surtout de la suppression de la fabrication de canons.

La matière première est constituée par de petits lingots d'acier Martin ayant sensiblement la forme du creuset et provenant de l'aciérie n° 5, laquelle coule à cet effet des aciers spéciaux. Il ne reste plus qu'à faire dans les creusets quelques additions finales. L'usine dispose d'un stock de creusets qu'on maintient toujours aux environs de 160.000 pièces.

## III. — Aciérie électrique.

Les fours électriques seront sous peu alimentés en acier liquide par 2 fours Martin de 10 à 12 tonnes.

Un des fours électriques est du type Héroult-Lindenberg, basculant, à sole basique et à 3 électrodes verticales. Il est alimenté par du courant triphasé (8.000 à 10.000 ampères sous 60 à 80 volts).

Il sert presque uniquement à la fabrication des aciers spéciaux.

Les têtes des électrodes et leurs anneaux de passage dans le dôme du four sont refroidis par une circulation d'eau, à l'aide de tuyaux flexibles.

Trois servo-moteurs électriques réalisent la montée et la descente de chaque électrode : ils sont commandés par des régulateurs fonctionnant sur courant continu à 110 volts.

L'usure des électrodes est de 7 kilogrammes pour une charge de 1 tonne d'acier liquide et de 15 kilogrammes pour 1 tonne de riblons.

La dépense de courant varie avec la nature de la charge :

avec charges froides . . . . .	600 kwh.
avec acier liquide et un enlèvement de scories . . . . .	200 kwh.
avec acier liquide sans enlèvement de scories . . . . .	150 kwh.
avec fonte liquide . . . . .	400 kwh.

L'autre four électrique est à induction et n'est plus utilisé.

## IV. — Aciéries Martin.

*Martinwerk I.* — Compte 13 fours Martin dont un petit de 5 tonnes basculant pour essais. Un seul four est à sole acide, afin de pourvoir terminer l'affinage de certains aciers conformément aux exigences de divers règlements et en particulier de règlements anglais. La production se compose de lingots pour pièces de forge et d'aciers spéciaux.

*Martinwerk II.* — C'est une vieille installation avec 2 fours de 15 tonnes dont la production sert à la fabrication de roues pour wagons.

*Martinwerk III.* — Elle compte 3 fours de 50 tonnes dont la production est destinée à la fabrication des bandages et à celle des tubes.

*Martinwerk IV.* — C'est l'ancienne aciérie à blindages qui coule actuellement des brames pour grosses tôles et des lingots d'aciers spéciaux très durs.

*Martinwerk V.* avec 12 fours de 25 tonnes. Elle coule des brames pour la fabrication des tôles moyennes et de petits lingots en aciers spéciaux pour l'aciérie au creuset.

*Martinwerk VI.* — 5 fours de 25 tonnes et une cornue Bessemer de 1 tonne fournissent l'acier nécessaire au moulage de pièces de très grosses dimensions (couramment de 30 à 70 tonnes, exceptionnellement au-dessus de 100 tonnes) ou de pièces très compliquées.

*Martinwerk VII.* — C'est une aciérie entièrement neuve installée près du Rhein-Herne-Kanal et qui alimentera un laminoir à billettes en construction à proximité. Elle comporte 4 fours basculants de 60 tonnes.

La production totale des fours Martin, qui était de 506.476 tonnes en 1913, est passée à 475.926 tonnes en 1922. L'ensemble de

l'installation comporte 44 fours Martin d'une capacité totale de 1.310 tonnes. En 1913, il y avait 43 fours d'une capacité de 1.000 tonnes.

#### V. — Aciérie Bessemer.

On y trouve 4 cornues acides de 7,5 tonnes. On y fabrique des aciers spécialement destinés aux coutelleries de Solingen et aux fabriques d'outils de Remscheid.

La production d'acier Bessemer, qui était de 64.822 tonnes en 1913, est tombée à 21.839 tonnes en 1922.

#### VI. — Les laboratoires.

##### A. — Laboratoire de chimie

*Dosage du carbone.* — Il se fait par combustion dans un four à moufle (à résistance électrique); on mesure alors le  $\text{CO}^2$  produit dans un appareil Strohleim.

*Dosage des autres éléments.* — On fait deux prises d'essais: sur l'une d'elles se fait la détermination du silicium, du manganèse et du phosphore; sur l'autre, celle du soufre, du chrome et du nickel.

##### B — Laboratoire d'essais mécaniques.

Il présente les machines ordinaires de ces genres de laboratoires: 2 machines Amsler pour l'extension, 1 machine Amsler pour la compression, 2 machines à bille « Alpha », 1 petit appareil d'essais à la dureté par rayage (un diamant fixe avec deux faces taillées à  $90^\circ$  repose, appuyé par un poids se déplaçant le long d'un levier, sur l'échantillon qu'on fait avancer sous le diamant. Celui-ci trace un trait dont on mesure la largeur au microscope).

A signaler également une machine d'essai au choc répété et un mouton Guillery pour les essais de résilience.

##### C. — Laboratoires d'essais métallurgiques et thermiques.

La fusion est réalisée dans des fours électriques à résistance. Au lieu de placer un creuset dans un tube réfractaire, on utilise le tube réfractaire lui-même comme creuset. De la magnésie impure contenant environ 4 % d'oxyde de fer est pilonnée dans un moule en carton; à l'intérieur, un rouleau de tôle maintient la magnésie. Le chauffage provoque l'agglomération de la magnésie grâce à la présence d'oxyde de fer.

Dans la même salle, sont établis de nombreux fours à bains de sel pour les essais de trempe. Une cave contient toute une série de fours à gaz pour le revenu et le recuit. Le métal y est chauffé dans des mouffles à l'abri des gaz.

##### D — Laboratoire de Métallographie.

Il comprend un microscope, modèle Le Châtelier, et un autre appareil pour photographier les macrographies et les attaques structurales.

#### Attaques employées dans les recherches macrographiques.

*Attaque au chlorure de cuivre ammoniacal (Heyn).*

L'action de la solution du chlorure de cuivre ammoniacal est une action électrolytique. Il se forme un couple entre le fer de l'échantillon et le cuivre de la solution, et le cuivre se dépose sur la surface polie de l'échantillon, tandis qu'une partie équivalente de fer passe dans la solution. Le dépôt de cuivre est ensuite enlevé par essuyage.

La durée de l'attaque est de 1 à 2 minutes.

La solution se compose de :

10 grammes de chlorure de cuivre ammoniacal (du commerce) et 120 centimètres cubes d'eau distillée.

L'échantillon est préalablement lavé avec un jet d'alcool pour enlever les traces d'huile ou de graisse, puis immergé dans un cristalliseur contenant la solution.

Si la concentration de la solution est bien de 1/12 et si la température du laboratoire n'est pas trop basse (16 à 18° est la température convenable), le dépôt de cuivre peut s'enlever en lavant l'échantillon par un courant d'eau. On sèche à l'alcool afin d'enlever les traces d'eau et d'éviter la rouille.

L'attaque au chlorure de cuivre ammoniacal est employée dans les recherches *macrographiques*. Elle se recommande pour apprécier la teneur plus ou moins élevée en phosphore du fer doux, des aciers doux, de la fonte blanche.

Les cristaux riches en phosphore prennent une teinte foncée et même bronzée pour les hautes teneurs, et les parties peu phosphorées restent claires.

L'attaque ne peut être employée avec les fontes très graphitiques car, en raison de l'effet galvanique du graphite, le cuivre

adhère fortement à la surface polie de l'échantillon. Il en est de même pour certains aciers spéciaux (aciers au nickel, chrome, tungstène) sur lesquels le dépôt de cuivre est très adhérent.

*Attaque d'Oberhoffer.*

Pour les recherches du phosphore dans les aciers demi-durs, les aciers durs, les fontes grises, l'attaque au chlorure de cuivre ammoniacal ne réussit pas, car la perlite prend également une teinte sombre, de sorte qu'il n'est pas possible de distinguer si la coloration foncée est due à une teneur élevée au phosphore ou à une teneur élevée en carbone. Pour ces aciers, l'attaque d'Oberhoffer donne de très bons résultats. La composition de la solution est la suivante :

500 cm<sup>3</sup> d'eau distillée,  
500 cm<sup>3</sup> d'alcool éthylique,  
0 g.,5 de chlorure de zinc,  
1 g. de chlorure de cuivre,  
30 g. de chlorure de fer,  
30 cm<sup>3</sup> d'acide chlorhydrique (concentré).

A l'encontre de la solution de chlorure de cuivre ammoniacal, la solution d'Oberhoffer agit en attaquant chimiquement l'échantillon. Les parties les plus pauvres en phosphore sont plus fortement attaquées que les autres. Ces dernières, par conséquent, restent claires et brillantes, tandis que les parties à faible teneur en phosphore apparaissent sombres.

L'attaque demande quelques minutes. On la prolonge jusqu'à ce que la surface polie de l'élément apparaisse distinctement attaquée et comme rugueuse.

On termine comme dans l'attaque précédente.

**Attaques employées dans les recherches micrographiques.**

*Attaque à l'acide chlorhydrique (Martens et Heyn).*

La composition de la solution est la suivante :

10 cm<sup>3</sup> d'acide chlorhydrique (densité 1,19),  
1.000 cm<sup>3</sup> d'alcool absolu.

L'attaque est assez lente : 3 à 25 minutes pour les aciers non trempés et davantage pour les aciers trempés.

Elle ne convient pas pour la recherche du phosphore.

Certains aciers spéciaux (aciers au nickel, chrome, tungstène) sont très lentement attaqués. L'action de la solution alcoolique d'acide chlorhydrique est rendue plus intense par l'addition de quelques centimètres cubes de solution alcoolique d'acide picrique.

*Attaque à l'acide azotique (Martens).*

La composition de la solution est la suivante :

4 cm<sup>3</sup> d'acide azotique (densité 1,14),  
100 cm<sup>3</sup> d'alcool absolu.

L'attaque est plus rapide qu'à l'acide chlorhydrique.

Le procédé se recommande pour les fontes et pour les aciers spéciaux (nickel, chrome, tungstène) qui sont plus rapidement attaqués qu'avec la solution alcoolique d'acide chlorhydrique.

**Recherches du soufre et du phosphore au moyen de révélateurs.**

*Recherche du soufre par révélation sur une soie imprégnée (Heyn).*

Le principe du procédé est que le soufre de l'échantillon (combiné au fer ou au manganèse) est transformé en hydrogène sulfuré par l'action de l'acide chlorhydrique étendu.

On opère de la façon suivante :

On applique sur la surface de l'échantillon un morceau de soie qu'on imbibe avec la solution suivante :

Chlorure de mercure . . . . . 10 gr.  
Acide chlorhydrique (densité 1,124) . . . . . 20 cm<sup>3</sup>  
Eau distillée . . . . . 100 cm<sup>3</sup>

L'hydrogène sulfuré qui se dégage où il y a des traces de soufre, forme, avec la solution, du sulfure de mercure qui colore en noir la soie. La soie est ensuite lavée pour éliminer les traces d'acide.

*Recherche du soufre et du phosphore par révélation au moyen de papier au bromure d'argent (Baumann).*

Le procédé permet de déceler les traces du soufre ou du phosphore. Il consiste à appliquer sur la surface de l'échantillon, pendant une dizaine de secondes, un papier au bromure d'argent,

préalablement trempé pendant environ une minute dans la solution suivante :

Acide sulfurique (densité 1,84).	1 cm <sup>3</sup>
Eau distillée . . . . .	60 à 100 cm <sup>3</sup>

Des traces noires de sulfure d'argent ou de phosphore d'argent apparaissent sur le papier.

La distinction entre le soufre et le phosphore est faite en ayant recours au procédé de révélation de Heyn et Bauer décrit plus haut.

#### E. — Laboratoire de Recherches.

1. *Recherche des points critiques.* — L'usine dispose de deux appareils Saladin et deux dilatomètres Chevenard.

2. *Recherches physiques et électriques.* — On y fait les mesures de résistances spécifiques, de résistivité, de perméabilité magnétique.

On commence à se servir des rayons X pour les recherches de structure.

#### VII. — Note sur quelques produits spéciaux.

A côté des aciers signalés précédemment, l'usine d'Essen produit quelques autres spécialités intéressantes. C'est ainsi qu'elle fabrique quelques aciers à l'aluminium. Un de ces aciers contient 15 % d'aluminium et 0,2 % de carbone. L'aluminium est introduit sous forme de ferro-aluminium et se mélange assez bien. Il s'oxyde un peu durant la coulée et l'usinage des pièces est difficile : le copeau est court et cassant et les outils s'usent sur les parcelles d'aluminium qu'ils rencontrent dans le métal.

Par contre, ce métal se moule très bien et est avantageusement utilisé pour la réalisation de grilles et de pièces moulées allant au feu. Ces pièces se recouvrent d'une couche d'alumine qui les empêche de se ronger plus avant.

Des aciers à 4 à 6 % d'aluminium sont assez fragiles, mais ils se moulent très bien. En les cémentant à l'azote, on obtient, par pénétration de l'azote dans le métal, une dureté superficielle tout à fait remarquable. L'action de l'azote sur les aciers semble avoir été très bien étudiée par l'usine pour ses anciennes fabrications d'artillerie.

Il faut signaler également la fabrication d'une fonte spéciale : la Thermosilid, résistant aux acides. Elle contient de 13 à 18 % de silicium et seulement 0,6 % de carbone. Cette fonte est évidemment très fragile. La teneur en silicium augmente avec la concentration des acides auxquelles les pièces doivent résister. Cette fonte est obtenue en partant de boccages de fonte provenant de pièces en thermosilid usagées, d'acier Martin ordinaire et de ferro-silicium. La charge moyenne comprend par exemple 75 % de déchets de fonte, 15 % d'acier doux et 10 % de ferro-silicium.

Etant donnée la forte teneur en silicium, la température de fusion est très élevée et le carbone se sépare sous forme de graphite. La fabrication de cette fonte au cubilot donne naissance à la formation de nids de graphite qui sont nuisibles au point de vue homogénéité. C'est la raison pour laquelle on emploie des fours plats à flamme, chauffés aux huiles de goudron.

# TABLE DES MATIÈRES

## CHAPITRE I<sup>er</sup>. — GENERALITES

I. Classification . . . . .	557
II. Production . . . . .	559
A. Fours électriques . . . . .	559
B. Aciers au creuset . . . . .	563
C. Acier Martin. . . . .	566
D. Acier puddlé . . . . .	568
III. Traitement physique des aciers . . . . .	568
A. Coulée . . . . .	568
B. Forgeage et laminage . . . . .	571
C. Travail à froid . . . . .	573
IV. Traitement thermique. . . . .	574
A. Recuit. . . . .	574
B. Trempe . . . . .	576
C. Revenu . . . . .	584
D. Cémentation. . . . .	585

## CHAPITRE II. — ETUDE SPECIALE DES ACIERS

I. Aciers de construction . . . . .	985
A. Aciers pour la construction mécanique . . . . .	985
B. Aciers pour la construction métallique . . . . .	996
C. Aciers pour les constructions spéciales . . . . .	997
1) Aciers utilisés pour leurs propriétés élec- triques ou magnétiques . . . . .	997
a) Aciers pour aimants . . . . .	997
b) Aciers pour tôles de transformation et dynamos . . . . .	999
c) Aciers non magnétiques . . . . .	1001
d) Aciers pour résistances électriques et filaments de lampe. . . . .	1003
2) Aciers pour ressorts . . . . .	1003
3) Aciers à grande résistance aux agents d'oxydation et aux acides. . . . .	1005
4) Aciers à faible coefficient de dilatation . . . . .	1008
5) Aciers présentant à la fois une grande résistance à l'usure et une grande téna- cité . . . . .	1008
6) Aciers pour cylindres de laminoirs . . . . .	1010
7) Aciers pour billes et roulements à billes . . . . .	1011

## NOTES DIVERSES

1347

II. Aciers pour outils . . . . .	1301
1) Aciers pour outils de coupe . . . . .	1301
A. Aciers pour travail à faible ou moyenne vitesse . . . . .	1301
B. Aciers rapides . . . . .	1314
C. Aciers pour coutellerie et taillanderie. . . . .	1322
D. Aciers qui ne doivent pas subir de retrait à la trempe . . . . .	1322
2) Aciers pour outils soumis aux chocs . . . . .	1324
3) Aciers pour filières et matrices à étirage à froid. . . . .	1330
4) Aciers pour matrices, étampes, mandrins . . . . .	1332
a) Matrices à chaud . . . . .	1332
b) Mandrins . . . . .	1334
c) Matrices à froid. . . . .	1334
5) Aciers pour limes . . . . .	1335
III. Aciers pour artillerie. . . . .	1336
A. Aciers pour canons . . . . .	1336
B. Aciers pour projectiles de rupture . . . . .	1337

## CHAPITRE III. — LES ACIERIES SPECIALES DU SECTEUR DE DUSSELDORF

Région de Crefeld. . . . .	1338
Région de Dusseldorf . . . . .	1339
Région de Remscheid-Solingen . . . . .	1342

## CHAPITRE IV. — L'ACIERIE KRUPP, A ESSEN.