

5/88

وزارة التعليم العالي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEURE

2EX

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT : MINES ET METALLURGIE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

ORIGINES DES DEFAUTS
APRES TRAITEMENT
THERMOCHIMIQUE
DES ACIERS 20 mc5 & 16 mc5

Proposé par :

C.P.V. Berrouaghia

Etudié par :

KOULI Abdelbaki
MOUAFKI Reda

Dirigé par :

M. SEPEGA

PROMOTION : JANVIER 1988

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT : MINES ET METALLURGIE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

ORIGINES DES DEFAUTS
APRES TRAITEMENT
THERMOCHIMIQUE
DES ACIERS 20mc5 & 16mc5

Proposé par :

C.P.V. Berrouaghia

Etudié par :

KOULI Abdelbaki

MOUAFKI Réda

Dirigé par :

M. SHEPECA

PROMOTION : JANVIER 1988

REMERCIEMENTS

- Au terme de ce travail, nous tenons à remercier vivement notre promoteur Monsieur G6EPIGA ainsi que Monsieur SALHI, Monsieur CHITROUB, pour leurs précieux conseils qui nous ont aidé dans l'élaboration de ce projet.
- Nous tenons à remercier tous ceux qui nous ont facilité la tâche au C P V de Berrouaghia, et d'une façon particulière monsieur MADANI au laboratoire.
- Nous exprimons notre profonde reconnaissance à Madame Mansouri pour sa précieuse aide qui a permis à la mise en forme de ce travail, sans oublier monsieur Mansouri..
- Nos remerciements vont également à tous ceux qui ont contribué de loin ou de près à l'accomplissement de notre travail.

Merci.

DEDICACES

- Je dédie ce modeste travail à mon père, en signe de reconnaissance pour son soutien moral et matériel durant mes études.
- A ma Mère.
- A mes Frères et Soeurs et à toute ma famille.
- A mes Amis.
- A tous ceux qui me sont chers.

MOUAFKI REDA

- A la mémoire de mon Père
- A ma Mère
- A mes frères et Soeurs
- A mes Amis.

KOUILI ABDELBAKI

S O M M A I R E

0 :	Introduction	page	01
I/	- <u>PARTIE THEORIQUE</u>		
	I - 1 . La cémentation	page	02
	1 - 2 . Influence de divers facteurs.	page	02
	1 - 2 . 1. Influence de la température et du temps de maintien sur l'acier	page	03
	1 - 2 . 2. Paramètres physico-chimique de la cémentation	page	03
	1 - 2 . 3. Acier de cémentation	page	04
	à/ choix	page	04
	b/ Eléments nuisibles dans les aciers de cémentation..	page	04
	c/ Dimension des grains	page	04
	d/ Nuance d'acier	page	04
	e/ Rôle particulier du carbone	page	05
	1 - 3 . Principaux insuccès de la cémentation	page	06

II /	- <u>PARTIE EXPERIMENTALE</u>		
	- Le ciment	page	08
	- Les fours	page	09
	- Les caisses	page	09
	- L'huile	page	09
	- Les aciers	page	10
	- Régime de cémentation utilisé au CPV pour les aciers 20MC5 et 16 MC5	page	11
	- Anomalies constatées après ce régime	page	12
	1/ Pellicules	page	12
	2/ insuffisance de dureté	page	12
	3/ Points doux	page	13
	4/ Cémentation incomplète	page	13
	5/ Déformation des pièces	page	13
	- Régime de cémentation.....	page	18
	- Mise en oeuvre pratique	page	19
	a/ Mise en caisse	page	19
	b/ Enfournement	page	19
	c/ Défournement	page	20

III /	- <u>CINETIQUE</u>	
	1/ Résultats des mesures d'épaisseurs de cémentation.	page 21
	2/ Interprétation	page 30
	3/ Microdureté	
	3/ conclusion	page 31
	4/ Calcul du coefficient de diffusion	page 32
	Interprétation	page 47
IV /	- A / <u>STRUCTURES</u>	page 48
	1/ Traitement thermique après sementation	
	2/ Structure après trempe revenu .	page 49
	B/ PRECAUTION A PRENDRE POUR EVITER LES DEFAUTS	
V/	- ESSAIS MECANQUES	
	- ESSAIS DE TRACTION	page 59
	- ESSAIS DE RESILIENCE	page 60
	- DURETE	page 61
	- CONCLUSION	page 70
VI/	CONCLUSION GENERALE	page 71

I N T R O D U C T I O N

L'atelier central de maintenance du Complexe Pompe Vanne de Berrouaghia, utilise des pièces cémentées (pignons, engrenages....) par le procédé de cémentation solide.

Ces pièces présentent de nombreux défauts après le traitement.

Pour cela, l'A C M désire connaître les origines de ces défauts, afin de pouvoir les limiter, par un traitement thermo-chimique qui leur permettra d'utiliser ces pièces avec des propriétés mécaniques convenables.

Une étude stricte des différentes étapes de la cémentation, à savoir l'épaisseur cémentée, la structure, les propriétés mécaniques est nécessaire, pour aboutir aux origines de ces défauts.

C H A P I T R E I

PARTIE THEORIQUE

I - 1 - La cémentation

La cémentation est une opération qui consiste à chauffer l'acier doux à température élevée, dans un milieu carburant appelé ciment, de façon à augmenter la teneur en carbone dans la partie superficielle de la pièce, et sur une certaine épaisseur.

La température de chauffage est supérieure au point de transformation $A\zeta_3$, de telle sorte que le fer étant à l'état gamma (γ) a la propriété de dissoudre le carbone.

Le but principal de la cémentation est l'obtention d'une surface dure et résistante à l'usure.

Les pièces à cémenter sont fournies après usinage, qui doit prévoir une épaisseur de rectification. La diffusion du carbone dans l'acier n'est possible que lorsque le carbone se trouve à l'état atomique. La concentration du carbone suivant la profondeur de cémentation, varie en diminuant depuis la surface dans le sens du cœur de la pièce.

La cémentation proprement dite, est toujours suivie d'une trempe, puis d'un revenu de détente. Ainsi, en cimentant et en trempant des pièces en acier doux, on obtient des pièces dont la surface est dure et résistante à l'usure et dont l'intérieur (cœur) est tendre et non fragile.

La grande dureté de la surface implique une forte teneur en carbone superficielle et une trempe énergique.

I - 2 - Influence de divers facteurs

En dehors de la nature du ciment ^{et de} l'état des appareils utilisés, d'autres facteurs agissent sur la cémentation.

1 - La température et la durée de chauffage

2 - La nature de l'acier soumis à la cémentation.

I. 2.1 : Influence de la température et du temps de maintien sur l'acier.

Les grains d'austénite apparaissent à la température Ac_1 . Au moment de la naissance, le grain d'austénite est très petit, et croit rapidement avec le prolongement de son séjour à la température de sa naissance, et surtout lorsque la température s'élève.

La température à laquelle le carbone diffuse dans le réseau du fer γ est $\theta > Ac_3$, celle-ci étant limitée par la grosseur du grain austénitique, la durée de cémentation est aussi limitée par le fait que l'acier, en présence d'une atmosphère même très cémentante, présente une limite d'absorption du carbone (saturation) et en aucun cas la couche superficielle ne pourra dépasser une teneur supérieure à 1,3 - 1,4 % de carbone.

I 2 - 2

Paramètres physico-chimique de la cémentation

a / Rôle de la diffusion dans la cémentation

La migration du carbone dans l'acier pendant la cémentation est un processus de diffusion solide normal, mais la complexité des conditions techniques de l'opération de cémentation rend difficile l'analyse mathématique du processus, sauf dans des cas simples auxquels les équations de la diffusion peuvent être appliquées.

L'étude de la cémentation a permis de montrer que la surface du métal agit de façon catalytique sur le gaz ou le solide (cément). Ce dernier lui abandonne du carbone atomique pouvant être absorbée par l'acier par phénomène de différence de concentration.

La vitesse de cémentation sera aussi fonction d'une part du potentiel ou de l'activité du carbone à la surface (qui dépend

du milieu cémentant et de l'action qu'exerce sur lui la surface), et d'autre part du coefficient de diffusion du carbone dans le métal. Ce coefficient lui-même est fonction en première approximation de la température.

L'absorption du carbone à la surface de l'acier fait apparaître une différence de concentration de cet élément entre la surface et le coeur.

Comme le carbone est en solution dans le fer γ il diffuse à l'intérieur vers les zones de concentrations plus faible et continue tant que la composition n'est pas uniformisée.

Le degré d'approche de cette uniformité est fonction non seulement de la vitesse de diffusion du carbone dans le fer et du temps de séjour en température, mais aussi de la vitesse d'absorption du carbone par la surface de l'acier.

b / Rôle particulier du carbone :

L'élément d'apport destiné à diffuser dans les couches superficielles de l'acier pour en modifier convenablement les propriétés d'usage, doit satisfaire un certain nombre de conditions auxquelles le carbone répond.

- l'élément doit donner avec le fer une solution étendue de cristaux mixte susceptibles par trempe de donner de la martensite.

- cette martensite étant de structure très fragile, un revenu à température modérée $200^{\circ}\text{C} - 250^{\circ}\text{C}$ doit ramener le fer à l'état cubique avec précipitation ultrafine d'une combinaison dure de fer et de l'élément d'addition.

- l'élément doit avoir une grande vitesse de diffusion dans la phase γ , d'ou élément léger, s'insérant dans le réseau C.F.C. et à bonne solubilité dans les cristaux mixtes.

- cet élément doit pouvoir être apporté dans les couches superficielles par réaction de composés gazeux pour assurer une action régulière sur la totalité de la surface.

I / 2 - 3 - Aciers de cémentation

a/ * Choix

Ce choix est réglementé par l'usage auquel on destine la pièce traitée. Cette règle logique n'implique pas qu'il soit nécessaire d'encombrer le standard d'une usine des nombreuses qualités d'acier de cémentation.

b/ * Éléments nuisibles dans les aciers de cémentation

Lors de l'élaboration du métal, le soufre qui subsiste durcit l'acier et provoque des points doux sur les surfaces cémentées et donne naissance à des criques.

L'arsenic et le phosphore rendent l'acier fragile et favorisent la cristallisation grossière du grain, ils provoquent aussi des tapures à la trempe et de l'écaillage sur la couche cémentée.

c/ * Dimension du grain de l'acier

Il faut éviter tout grossissement des grains aussi bien à coeur que dans la couche cémentée. Pour y arriver, plusieurs moyens sont impliqués conjointement :

- on peut recourir à un acier spécial, tel est le cas des aciers contenant du nickel (1,5 % par exemple)

- il convient de recourir à des aciers élaborés à grains fins. On arrive à ce résultat au cours de l'élaboration de l'acier liquide après desoxydation finale, par l'addition d'aluminium en lingotière d'environ 0,03 %.

Notons aussi, qu'un acier trop fin, nuit à la trempabilité de la couche cémentée.

d/ * Nuance d'acier

La teneur initiale en carbone est à considérer. Le fer se cimente plus vite que l'acier en raison de sa porosité naturelle qui favorise la pénétration du carbone issu du milieu cémentant (solide - gazeux - liquide).

De plus, la cémentite libre aura plus tendance à se développer dans un acier déjà chargé en carbone

Pour les raisons métallurgiques, un acier de cémentation sera toujours de nuance douce par le carbone (0,08 - 0,20 %).

On évitera les aciers trop chargés en chrome et surtout en manganèse, qui favorisent l'apparition de la cémentite en réseau (éléments carburigènes). Ils seront limités à 1,3 % environ.

Le choix de l'acier nous laisse dans l'obligation d'utiliser des éléments d'alliages, ceci pour avoir un bon compromis entre la cémentation et l'opération en aval, dont l'importance est capitale et qui est la trempe. L'apport du manganèse est complété par le chrome. On est ainsi conduit à un acier chrome-manganèse.

Principaux insuccès de la cémentation :

Les principaux insuccès sont :

1/ Insuffisance de dureté superficielle.

Elle peut provenir de :

a/ de la mauvaise qualité de l'épuisement du ciment ou de l'emploi de ciment en poussière.

b/ d'une température de cémentation insuffisante.

2/ Insuffisance de profondeur

Elle peut provenir de :

a/ l'emploi d'un ciment trop brusque qui s'épuise dès le début.

b/ Du manque d'étanchéité des caisses de cémentation, ce qui provoque la perte des gaz actifs.

3/ Fragilité de la couche cimentée :

Elle résulte d'un trop fort pourcentage de carbone ou d'une mauvaise liaison du noyau à la couche cimentée. La cause en est dans :

a/ L'emploi d'un ciment brusque

a/ La trop haute température de cémentation.

4 / Irrégularité de cémentation :

Les différentes parties d'une caisse peuvent présenter des points doux ; la dureté d'une pièce peut être moins grande que celle des autres pièces de la même caisse.

Ces défauts peuvent avoir pour origine :

a) Les impuretés du métal (oxydes, sulfures), ou les plaques de calamine ou de rouille.

b) Le contact des pièces avec des impuretés contenues dans le ciment (terre, oxydes).

c) La circulation insuffisante des gaz, lorsqu'il existe des substances pulvérisées parmi les grains de ciment

5/ - Pellicule détachable :

Ce défaut arrive lorsque le temps entre la cémentation et la trempe est lent.

CHAPITRE II

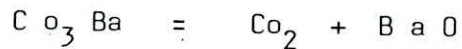
PARTIE EXPERIMENTALE

Le ciment

Le ciment solide est un produit importé de la R.D.A... Il contient essentiellement du charbon de bois et du carbonate de baryum. Il se présente sous forme de grains de 6 à 9 mm de diamètre.

Le charbon de bois porté à la température de cémentation donne de l'oxyde de carbone en se combinant à l'oxygène de l'air qui se trouve à l'intérieur de la caisse entre les grains de ciment.

Le carbonate de baryum porté à la température de cémentation, se décompose sous l'action de la chaleur en donnant de l'oxyde de baryum et du gaz carbonique.

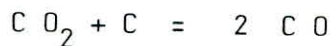


Le gaz carbonique se trouve à son tour réduit par le charbon porté à la température de cémentation et est transformé en oxyde de carbone.

L'oxyde de carbone au contact du fer du métal pénètre dans celui-ci produisant le carbure de fer, constituant caractéristique des aciers.



Le gaz carbonique qui prend naissance en même temps que le carbure de fer est à nouveau transformé en oxyde de carbone par le carbone.



et la cémentation peut continuer. Elle se ralentirait d'elle même si la circulation des gaz ne s'établissait pas facilement autour de la pièce et à travers le ciment.

- LES FOURS

Les fours utilisés à l'usine sont des fours électriques caractérisés par :

- le temps de montée qui est d'environ 1 h de 10°C jusqu'à 600°C , c'est-à-dire une vitesse de $10^{\circ}\text{C}/\text{mn}$. Après cela la vitesse de montée diminue de plus en plus, et le four n'atteint 900°C qu'après 3 heures, ce qui nous donne un temps de montée global de 4 heures. On remarque que le temps de montée est très lent entre 800°C et 900°C , ce qui favorise l'austénisation complète.

- LES CAISSES

Les caisses utilisées sont en tôles d'acier soudées et ont pour dimensions : 50 cm de longueur - 20 cm de largeur et 20 cm de hauteur, et une épaisseur de 6 mm.

Ces caisses s'oxydent rapidement et se déforment beaucoup, leur épaisseur diminue, leur durée est par la suite assez limitée.

- L'HUILE

L'huile utilisée est connue sous le nom de STORADA 22. Produite par la Sonatach, conçue spécialement pour être utilisée comme un lubrifiant et pour la trempe. Sa température d'ébullition est de 200°C .

- LES ACIERS

Il faut considérer avant tout l'influence de la composition chimique et de l'homogénéité du métal, ce facteur agit sur la vitesse de pénétration du carbone. Les surfaces doivent être exemptes de calamine, d'oxydes, de sulfures. Le choix du métal est de nature à exercer une influence prépondérante sur trois facteurs importants.

a/ Vitesse de pénétration du carbone.

b/ Dûreté de la surface carburée.

c/ résistance interne du métal non cémenté.

Certains éléments d'alliage agissent d'une façon sensible sur la vitesse de pénétration du carbone au cours de la cémentation.

Il est donc de première importance de connaître la nature exacte de l'acier employé et cela, non seulement en fonction de l'épaisseur carburée à atteindre, mais aussi suivant l'usage des pièces.

Le nickel diminue la vitesse de pénétration tandis que le chrome et le manganèse l'augmente.

C'est pour les raisons indiquées ci-dessus que les aciers 20 MC 5 et 16 MC 5 ont été choisis pour la cémentation.

Les pièces d'essai utilisées ont de petites dimensions, toutes égales approximativement.

Les compositions chimiques sont les suivantes :

	C(%)	Mn(%)	Cr(%)	Si(%)	Ni(%)	Mo(%)	P(%)	S(%)
20 MC 5	0,21	1,148	0,94	0,26	0,162	0,06	0,007	0,02
16 MC 5	0,17	1,1	0,85	0,24	0,165	0,04	0,006	0,03

REGIME DE CEMENTATION UTILISE AU C P V POUR LES ACIERS
20 M C 5 et 16 M C 5

- Les pièces soumises à ce traitement sont des pignons droits et des engrenages d'une façon générale.
(VOIR schémas 1, 2)

La technologie exige une dureté à la surface de 60 HRC pour le 16 M C 5 et 58 HRC pour le 20 M C 5, et recommande ainsi une cémentation dont l'épaisseur est respectivement pour les deux nuances de 4/10 mm et 5/10 mm.

REGIME UTILISE : La température de cémentation est de 920 °C pour les deux aciers. Le temps de maintien est programmé selon les heures de travail et varie entre 3 heures et 4 heures.

Il faut noter que la matière n'est pas contrôlée, car cette dernière est un produit importé de RDA et chaque nuance semble être identifiée par une marque de peinture.

Etant donné que le CPV n'est pas équipé d'un spectromètre qui permettrait une analyse rapide pour ne pas entraver le cours de la production.

La matière carburante (cément) contient des particules stériles tels que : débris d'argiles, graviers et contient aussi de la poudre de ciment..

Ce ciment est réutilisé plusieurs fois (deux à trois fois) sans être régénéré.

La trempe est faite, soit à l'huile, soit à l'eau pour les aciers de cémentation ou de trempe, pourvue que la dureté soit acceptable.

L'emplacement des pièces dans les caisses n'est pas respecté, ces pièces sont directement enfoncées dans le ciment.

ANOMALIES CONSTATEES APRES CE REGIME :

Après examen de plusieurs pièces qui ont été traitées à l'usine, on a remarqué qu'elles présentent des défauts. Parmi ceux-ci, on a trouvé :

1/ Pellicules : Ce défaut se présente sous la forme d'une couche très fine de l'ordre de 1 à 5 d'épaisseur, très peu adhérente à la surface de la pièce.

Ce défaut provient généralement de la présence d'oxyde superficiel avant traitement, ou formé accidentellement au cours de celui-ci.

Ce défaut a été constaté car le temps entre la cémentation et la trempe est long. (photos : partie structure)

2/ INSUFFISANCE DE DURETE

On a constaté que la dureté des pièces traitées varie entre 50 - 53 HRC.

Les causes de ce défaut sont :

- Après le défournement des caisses, les pièces sont sorties à haute température et n'ont pas été trempées immédiatement, elles sont restées un certain temps à l'air libre, ce qui a provoqué la décarburation des pièces sur une certaine épaisseur et la présence d'austénite résiduelle.
- Comme à l'usine il est utilisé de grandes caisses pour de grandes pièces, on remarque que celles placées au centre des caisses ont une faible dureté. Ceci est dû à la non homogénéisation de la température aux différents endroits à l'intérieur de la caisse.

Points doux :

Dans ce cas les pièces présentent des plages dans lesquelles la diffusion est faible et parfois nulle.

Ce défaut est dû essentiellement au fait :

- que le ciment utilisé directement sans être débarassé des impuretés tels que (gravier, morceaux d'argile, particules non actives). empêche l'opération de cémentation aux endroits des plages.

- que la température dans la caisse n'est pas homogène, et les pièces les plus éloignées de la paroi des caisses ont une température relativement basse, par rapport à celles à proximité de la paroi.

4 - Cémentation incomplète :

- Certaines pièces ont une profondeur insuffisante qui a été causée par :

- . un ciment pauvre en carbone, dû à son utilisation répété sans être régénéré ni débarassé des poussières.

- . la porte du four est trop souvent ouverte, car il est traité également des aciers de trempe (35 CD4, XC48) dans le même four, ce qui provoque une baisse de la température dans les caisses.

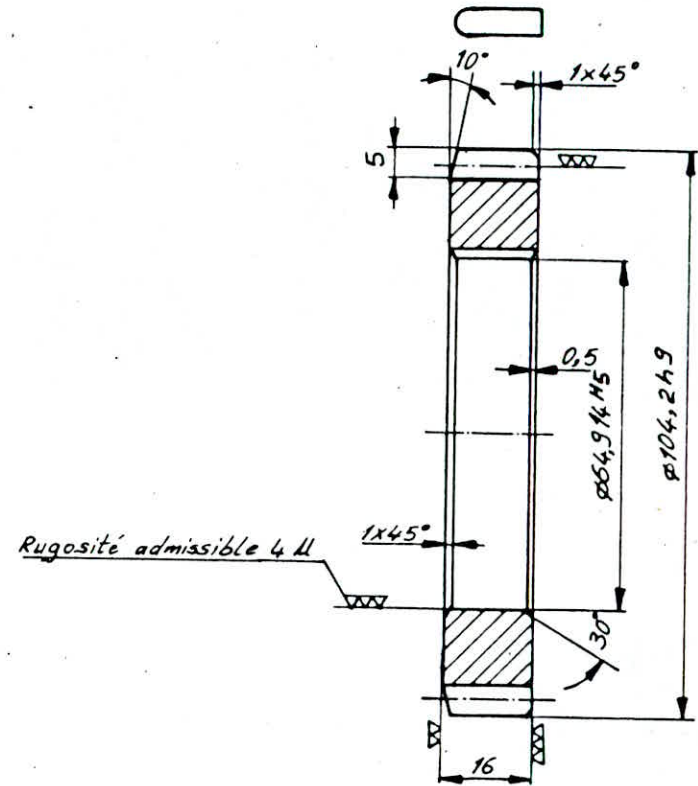
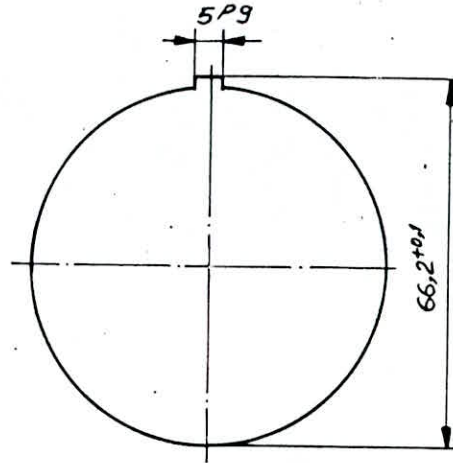
5 - Déformation des pièces :

Parfois, les pièces traitées ont une longueur importante, et leur mauvaise disposition provoque des déformations. Ce défaut est aussi remarqué quand la trempe est trop énergique (à l'eau). Ce genre de trempe est souvent appliquée pour avoir une grande dûteté.

La matière est généralement mal contrôlée, du fait que l'usine ne dispose pas d'un appareil d'analyse (spectromètre). Parfois, c'est la matière qui n'est pas convenue au traitement.

TABLEAU RECAPITULATIF
DES PRINCIPAUX DEFAUTS ET LEURS CAUSES

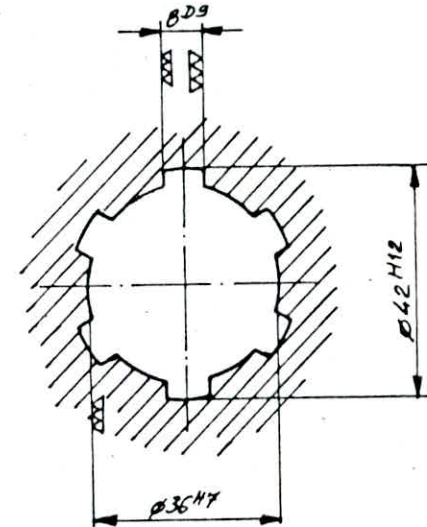
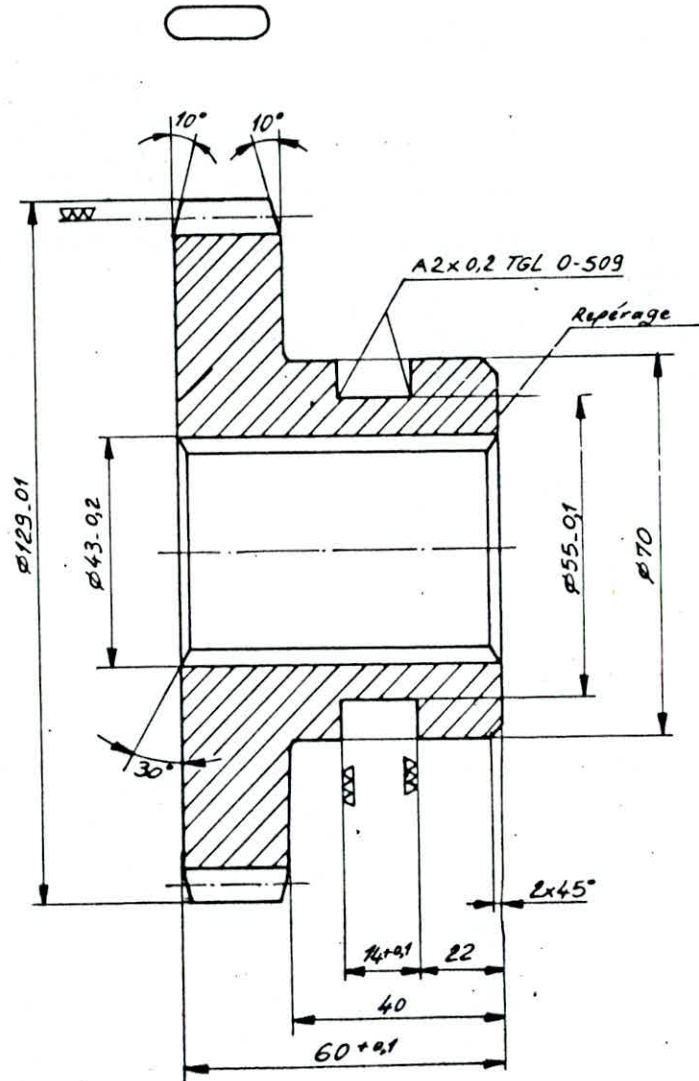
ORIGINE	CAUSE	CONSEQUENCES
PREPARATION	<ul style="list-style-type: none"> - oxydation superficielle - mauvais dégraissage 	<ul style="list-style-type: none"> - pellicule détachable - point doux
ACIER	<ul style="list-style-type: none"> - trempabilité insuffisante 	<ul style="list-style-type: none"> - dureté superficielle faible. - points doux.
FOUR	<ul style="list-style-type: none"> - étanchéité - pannes - four rapide 	<ul style="list-style-type: none"> - oxydation interne - pellicules - carbures - insuffisance de dureté.
CEMENTATION	<ul style="list-style-type: none"> - Cément pauvre en carbone - mauvaise disposition des pièces. 	<ul style="list-style-type: none"> - cémentation incomplète. - points doux
TREMPE	<ul style="list-style-type: none"> - Agitation - directe 	<ul style="list-style-type: none"> - dureté faible - troostite ou bainite en surface



Tailler les dents sur ZWFE 500 X Ø I

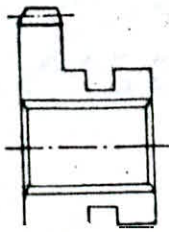
Traitement Thermique
 trempé superficielle
 Profondeur de Trampe = 0,4 mm
 HRC = 60 ± 2

Pignon droit
 Matière: 16 MnCr



Profil des cannelures
 $6 \times 36.47 \times 42.412 \times 8.09$
 TGL 0-5472

partie à tremper



Surface trempée
 profondeur de trempage $\approx 0.5 \text{ mm}$
 HRC = 58 ± 3
 HV = $670 \pm 63 \text{ Kg/mm}^2$

Pignon droit
 Matière: 20 Mn Cr

REGIME DE CEMENTATION

A/ 20 MC5

Comme la température de cémentation de cet acier varie entre 860°C et 950°C , on a choisi trois températures avec un pas de 30°C , soit 870°C , 900°C et 920°C . On a choisi ces températures afin de voir l'influence de la température sur l'épaisseur de cémentation ainsi que sur la structure de la pièce.

Le temps de maintien lui aussi varie. On a choisi trois temps différents pour chaque température, afin de constater aussi l'influence du temps de maintien

16 MC 5

Cet acier aussi a une température de cémentation qui varie entre 880°C et 950°C . On a choisi aussi trois températures qui sont :

890°C , 920°C , 950°C .

Le pas est toujours le même, il est de 30°C , afin de voir aussi l'influence de la température. Le temps de maintien lui aussi varie. Trois temps de maintien pour chaque température : 2 H, 5 H et 8 H. ce qui fait 9 manipulations pour chaque acier. Soit au total 18 manipulations.

MISE EN VALEUR DU CEMENT

I / MISE EN OEUVRE PRATIQUE

a) Mise en caisse des pièces :

On dispose de boîtes métalliques (tôle d'acier) de forme rectangulaire. Lors de la pose des pièces on couvre le fond de la caisse d'une couche de ciment damée de 30 mm, sur laquelle on place la première couche des pièces en maintenant une distance de 20 mm entre les pièces et les parois latérales. Cette première couche est à son tour couverte d'une couche de ciment damée de 20 mm. Cette opération est répétée jusqu'à la dernière couche de pièces qui est recouverte d'une couche de ciment analogue à la première couche.

On recouvre la caisse d'un couvercle en acier dont les bords sont mastiqués avec de l'argile pour garantir l'étanchéité. On évite ainsi toute entrée d'air qui aurait pour effet de s'opposer à la formation d'oxyde de carbone et de diminuer ainsi l'importance de la cémentation.

b) Enfournement

Ces caisses sont ensuite disposées dans le four et portées à la température de cémentation. Pour que la chauffe soit uniforme, elles ne sont pas placées directement sur la sole mais sur des butées et au milieu du four, afin que les gaz puissent lécher toutes les faces.

Le temps de chauffe comprend la mise en température et la sémentation proprement dite. La durée de la mise en température est fonction de la grosseur des boîtes et peut atteindre 8 à 9 heures.

c) Défournement

Après cémentation, les caisses sont retirées, ouvertes, renversées. On retire les pièces pour les tremper directement à l'huile, ce qu'on appelle trempe directe qui a pour avantage de diminuer les risques de défauts tel que décarburation, présence de pellicules et assurer de bons résultats concernant la dureté.

CHAPITRE III

CINETIQUE

Cinétique :Résultats des mesures d'épaisseur de cémentation :

L'épaisseur de cémentation est prise conventionnellement comme étant la distance entre la surface et la couche dont la dureté est de 550 points vickers correspondant à celle de l'acier contenant 0,4 % de carbone pour lequel les teneurs en ferrite et en perlite sont égales à l'état cémenté.

Tableaux des résultats de l'épaisseur de cémentation en fonction du temps de maintien et de la température.

1 G M C 5

890° C

E (H)	2	5	8
$X (10^{-1} \text{ mm})$	3	6	7

920° C

t (H)	2	5	8
$X (10^{-1} \text{ mm})$	4	7	9

950° C

t (H)	2	5	8
$X (10 \text{ mm})$	5	9	8

20 M C 5

870°C

t (H)	2	5	8
X (10^{-1} mm)	2	4	5

900°C

t (H)	2	5	8
X (10^{-1} mm)	3	6	7

930°C

t (H)	2	5	8
X (15^{-1} mm)	4	8	10

MICRODURETE

Pour le contrôle final des charges de cémentation, l'échantillon est positionné sur la plaque du microduromètre.

Le principe de mesure de cet appareil est basé sur la méthode Vickers, mais avec une faible charge (500g).

Le pénétrateur est un diamant pyramidal à base carrée dont l'angle de deux faces opposées vaut 136° , l'empreinte a la forme d'un carré

$$H Y = \frac{P}{S} = 2 \frac{P}{D^2} \cdot \frac{136}{2} = 1,8544 \cdot P/d^2$$

P : charge d'essai : 100, 200. 500 gr.

Pour notre cas P = 500 gr (car les pièces sont dures)
d : moyenne arithmétique des deux diagonales de l'empreinte mesurées après suppression de la charge.

Etant donné que le ciment donne une couche cimentée irrégulière, on a eu des difficultés pour faire la microdureté et pour déterminer les épaisseurs de cémentation. On a fait plusieurs mesures pour chaque échantillon, puis on a fait la moyenne pour pouvoir faire le calcul de $H Y$ et D. Ce sont des valeurs approchées.

TEMPERATURE : 870 C

X (1/10 mm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
H _μ (HV)	740	656	526	-	-	-	-	-	-	-	-

2 heures

X (1/10 mm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
H _μ (HV)	802	757	708	656	536	-	-	-	-	-	-

5 heures

X (1/10 mm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
H _μ (HV)	812	757	692	635	585	526	-	-	-	-	-

8 heures

20MC5

TEMPERATURE : 900 C

X (1/10mm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
H (HV)	841	732	603	458	-	-	-	-	-	-	-	-	-

2 heures

X (1/10mm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
H (HV)	802	740	692	649	580	552	516	-	-	-	-	-	-

5 heures

X (1/10mm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
H (HV)	965	851	757	715	642	580	552	470	-	-	-	-	-

8 heures

20 MC 5

TEMPERATURE : 930 C

X (1/10 mm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
H _μ (HV)	851	802	757	610	458	-	-	-	-	-	-

2 heures

X (1/10 mm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
H _μ (HV)	905	841	757	802	677	663	597	568	479	-	-

5 heures

X (1/10 mm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
H _μ (HV)	905	841	802	802	793	793	715	635	580	552	526

8 heures

20MC5

TEMPERATURE : 890 C

X (1/10 mm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
H _μ (HV)	905	715	552	492	-	-	-	-	-	-	-

2 Heures

X (1/10 mm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
H _μ (HV)	940	851	757	700	663	591	526	-	-	-	-

5 heures

X (1/10 mm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
H _μ (HV)	831	802	774	748	708	635	597	536	-	-	-

8 heures

16 MC5

TEMPERATURE : 920 C

X (1/10 mm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
H _μ (HV)	802	740	723	642	526	-	-	-	-	-	-

2 heures

X (1/10 mm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
H _μ (HV)	802	831	802	715	757	715	580	438	-	-	-

5 heures

X (1/10 mm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
H _μ (HV)	905	841	802	677	793	715	642	610	568	479	-

8 heures

1 6 M C 5

TEMPERATURE : 950 C

X (1/10 mm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
H _μ (HV)	831	740	692	616	568	526	-	-	-	-	-

2 heures

X (1/10 mm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
H _μ (HV)	905	883	779	862	831	715	642	580	552	511	-

5 heures

X (1/10 mm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
H _μ (HV)	894	802	905	872	715	642	610	568	458	-	-

8 heures

1 6 M C 5

INTERPRETATION

Microdûreté

- Températures : 870 C, 890 C

La dûreté diminue brusquement pour les deux aciers, ce qui implique une cémentation brusque.

- Température : 900 C et 920 C

Pour le premier temps de maintien et pour les deux aciers, la dûreté HV diminue brusquement, ce qui veut dire une cémentation brusque. Mais lorsque le temps de maintien augmente, on remarque que la dûreté HV diminue petit à petit, sauf en quelques points, là où il y a présence d'austénite résiduelle.

- Température 930 C et 950 C

Avec l'augmentation de la température, l'épaisseur augmente pour les deux aciers et on remarque que la dûreté HV diminue puis augmente en quelques endroits. Ce qui veut dire présence d'austénite résiduelle qui s'explique par la mauvaise répartition du carbone.

C O N C L U S I O N

Suite aux défauts causés par le mauvais traitement appliqué à l'usine, s'ajoute la mauvaise qualité du ciment et la conception des caisses qui ne sont pas conformes aux pièces à traiter et qui donnent une couche cimentée irrégulière.

Dans ce cas, il n'est pas possible d'avoir des épaisseurs de 0,4 mm et 0,5 mm pour les aciers 20 MC5 et 16 MC5, lorsqu'on utilise ces caisses et ce ciment.

III - 4 / CALCUL DU COEFFICIENT DE DIFFUSION

De la théorie de diffusion, on prendra la distance de diffusion par la relation :

$$X = 2 \sqrt{D.t}$$

X : Distance de diffusion.

D : Coefficient de diffusion.

t : Temps de diffusion

Relation trouvée par analogie à la 1ère loi de FICK et à la loi de transmission de la chaleur de Fourier.

Expression démontrée par : EINSTEIN en 1905

(BENARD page 102)

Comme $D = D_0 e^{-Q/RT}$

Q : Energie d'activation de l'élément diffusant. (carbone)

T : température à laquelle se produit la diffusion.

En première approximation D dépend de la nature du solvant, de la concentration de l'élément qui diffuse ainsi que des autres éléments présents.

$$X = 2 \sqrt{D t}$$

$$D = D_0 e^{-Q/RT}$$

(log : désigne le
logarithme décimal)

$$X^2 = 4 \cdot D \cdot t$$

$$\frac{X^2}{t} = 4 D_0 e^{-Q/RT}$$

$$\log \frac{X^2}{t} = \log (4 D_0 e^{-Q/RT})$$

$$\text{Log} \frac{X^2}{t} = \log 4 D_0 - \frac{Q}{2,3 R} \cdot \frac{1}{T}$$

Notre équation est de la forme

$$Y = A x + b$$

avec

$$Y = \log \frac{X^2}{t}$$

$$A = - \frac{Q}{2,3 \cdot R}$$

$$b = \log 4 D_0$$

$$x = \frac{1}{T}$$

$$T_1 = 890^\circ\text{C} = 1163^\circ\text{K} \longrightarrow \frac{1}{T_1} = 0,86 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$$

$$T_2 = 920^\circ\text{C} = 1193 \text{ K} \longrightarrow \frac{1}{T_2} = 0,84 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$$

$$T_3 = 950^\circ\text{C} = 1223 \text{ K} \longrightarrow \frac{1}{T_3} = 0,82 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$$

POUR LE 16 MC 5

	1163 K	1193 K	1223 K	
$\log \frac{x_2}{t}$	- 6,9	- 6,65	- 6,46	2 h.
	- 6,7	- 6,56	- 6,35	5 h.
	- 6,77	- 6,55	- 6,65	8 h.

On trace le graphe $\log \left(\frac{x_2}{t} \right) = f \left(\frac{1}{T} \right)$

qui a pour pente $\frac{-Q}{2,3 \cdot R}$

Du graphe on choisi 2 points et on tire la valeur de la pente ($tg \alpha$)

$$tg \alpha = \frac{0,2}{0,0210^{-3}} \quad \text{donc}$$

$$\frac{-Q}{2,3 R} = \frac{-0,2}{0,02 \cdot 10^{-3}} \quad Q = \frac{R \cdot 10^4}{0,44}$$

avec $R = 1,987 \text{ cal/ k}$ on déduit

$$Q = \frac{1,987 \cdot 10^4}{0,434} = 45,78 \cdot 10^3 \text{ cal/mole}$$

$$= 45,78 \text{ Kcal/mole}$$

Donc : $Q = 45,78 \text{ Kcal/mole}$

Cherchons maintenant

pour déterminer D_0 on prend un point de la droite

$$\frac{x^2}{t} = 1,585 \cdot 10^{-7}$$

Comme : $\frac{x^2}{t} = 4D_0 e^{-Q/RT}$

$$D_0 = 15,9 \text{ cm}^2/\text{s}$$

et $D = D_0 e^{-Q/RT}$

pour $T = 920 \text{ C}$

$$= D = 6,52 \cdot 10^{-8} \text{ cm}^2/\text{s}$$

POUR LE 20 M C 5

	870 °C	900 °C	920 °C	
Log. $\frac{x_2}{t}$	- 7,25	- 6,9	- 6,65	2 heures
	- 7,05	- 6,7	- 6,45	5 heures
	- 7,06	- 6,77	- 6,4-	8 heures

$$T_1 = 870 \text{ °C} = 1143 \text{ K} \quad \frac{1}{T_1} = 0,87 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$$

$$T_2 = 900 \text{ °C} = 1173 \text{ K} \quad \frac{1}{T_2} = 0,85 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$$

$$T_3 = 930 \text{ °C} = 1203 \text{ K} \quad \frac{1}{T_3} = 0,83 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$$

On trace le graphe $\log(x_2) = g(1/T)$

qui a pour pente $-\frac{Q}{R} \cdot 0,434$

$$\text{donc : } -\frac{Q}{R} \cdot 0,434 = \frac{0,22}{0,02 \cdot 10^{-3}}$$

$$Q = \frac{11 \cdot 10^3 \cdot 1,987}{0,434} = 50,36 \text{ K cal / mole}$$

Cherchons maintenant D_0 et D

On prend un point de la droite pour déterminer D_0

$$\frac{x_2}{t} = 7,94 \cdot 10^{-8}$$

$$\text{Comme } \frac{x_2}{t} = 4 D_0 e^{-Q/RT}$$

$$+ D_0 = \frac{x_2}{4t} e^{Q/RT}$$

$$D_0 = \frac{7,94 \cdot 10^{-8}}{4} \frac{50,36 \cdot 10^3}{1,487 \cdot 1143}$$

$$= 84,67 \text{ cm}^2/\text{S}$$

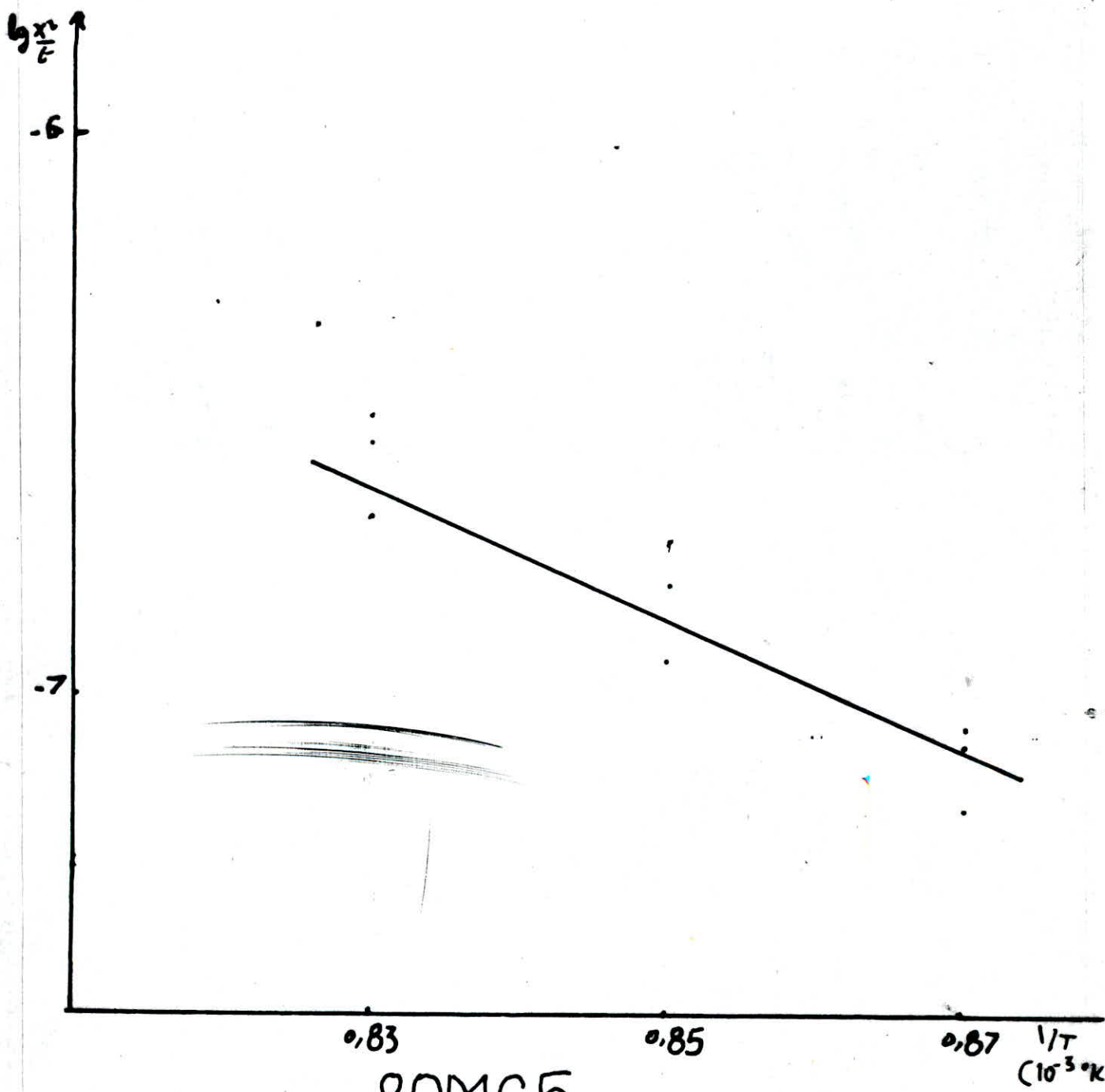
$$\text{et } D = D_0 e^{-Q/RT}$$

pour $T = 900 \text{ }^\circ\text{C}$

$$D = 3,52 \cdot 10^{-8} \text{ cm}^2/\text{S}$$

DONC :

Q	=	50,36 Kcal/mole
D_0	=	84,67 cm^2/S
D	=	$3,52 \cdot 10^{-8} \text{ cm}^2/\text{S}$



ZOMC5

$\lg \frac{r}{r_0}$

-6-

-7-

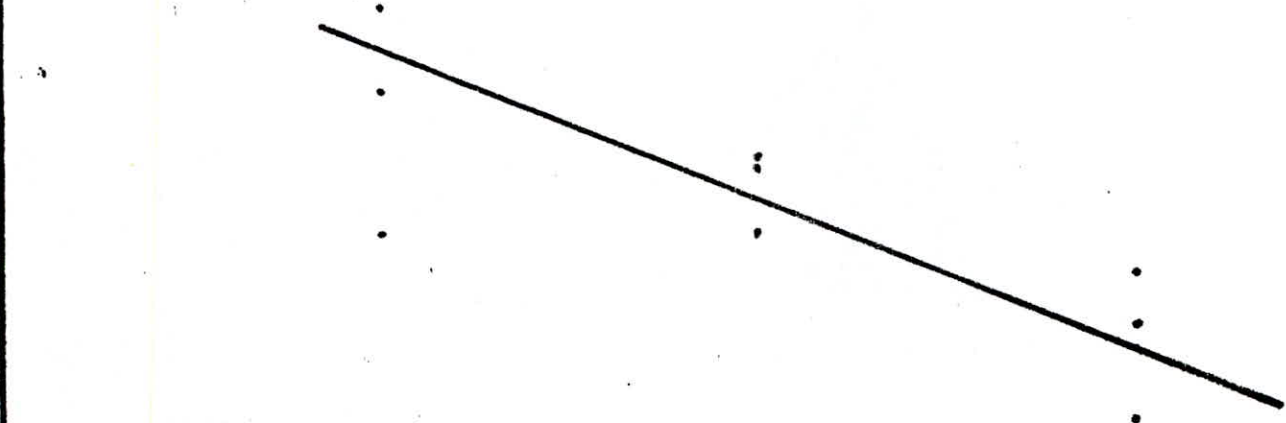
0,82

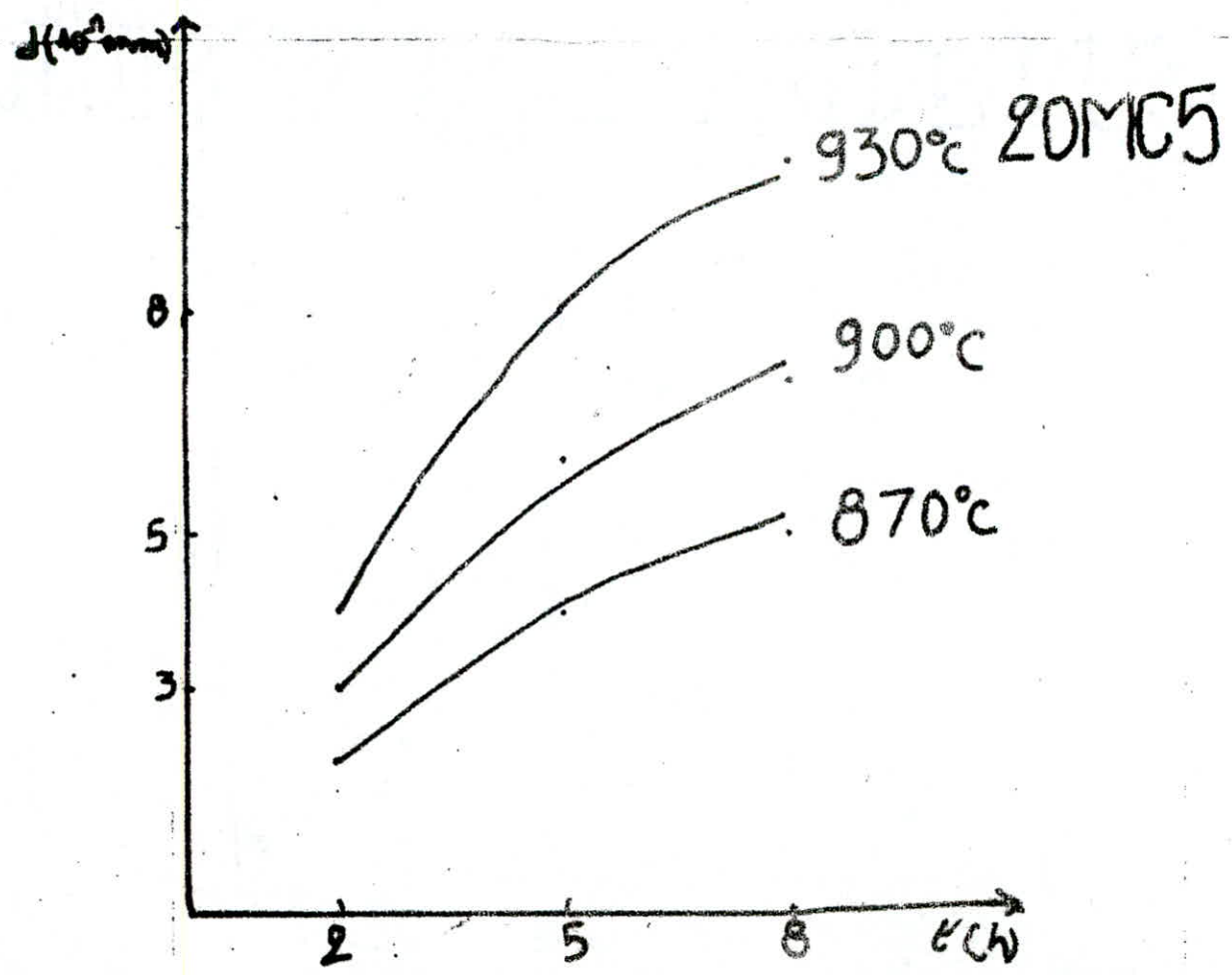
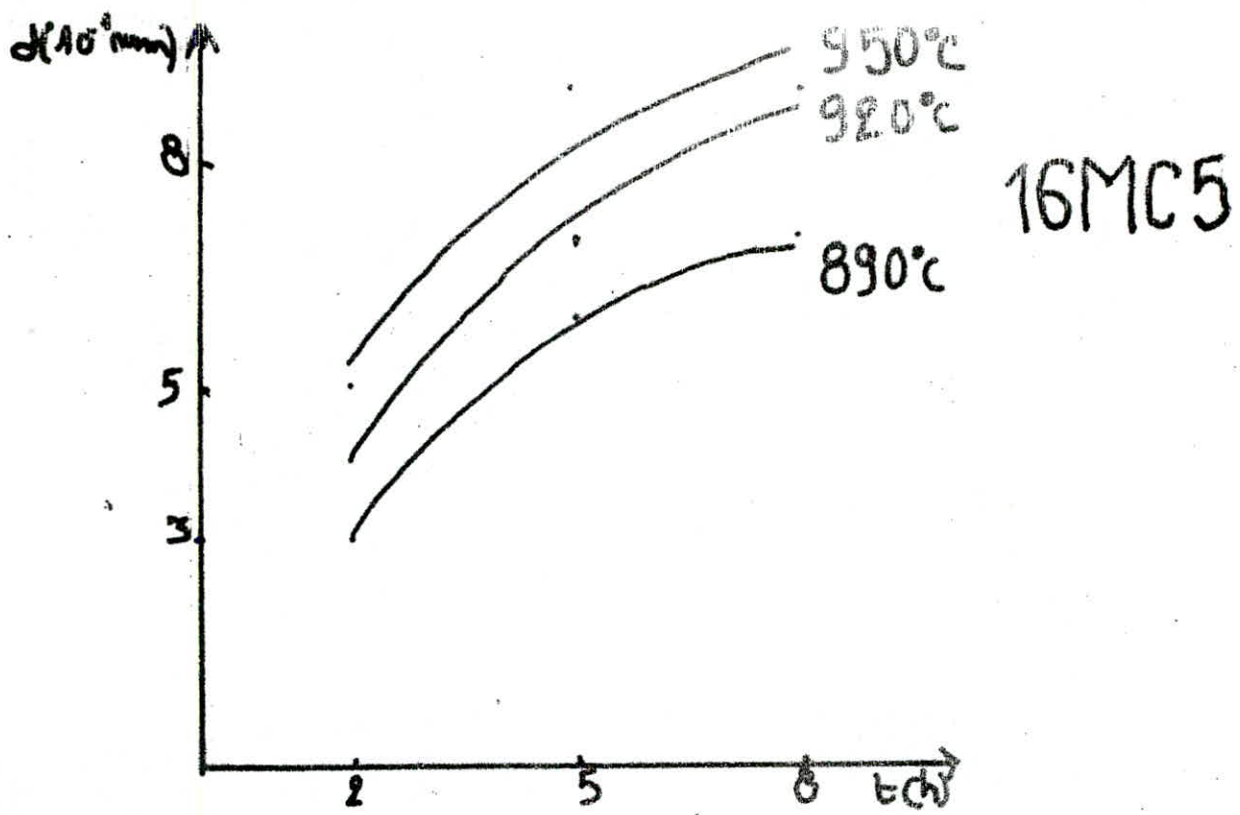
0,84

0,86

$\frac{1}{T}$
($10^3 \cdot K^{-1}$)

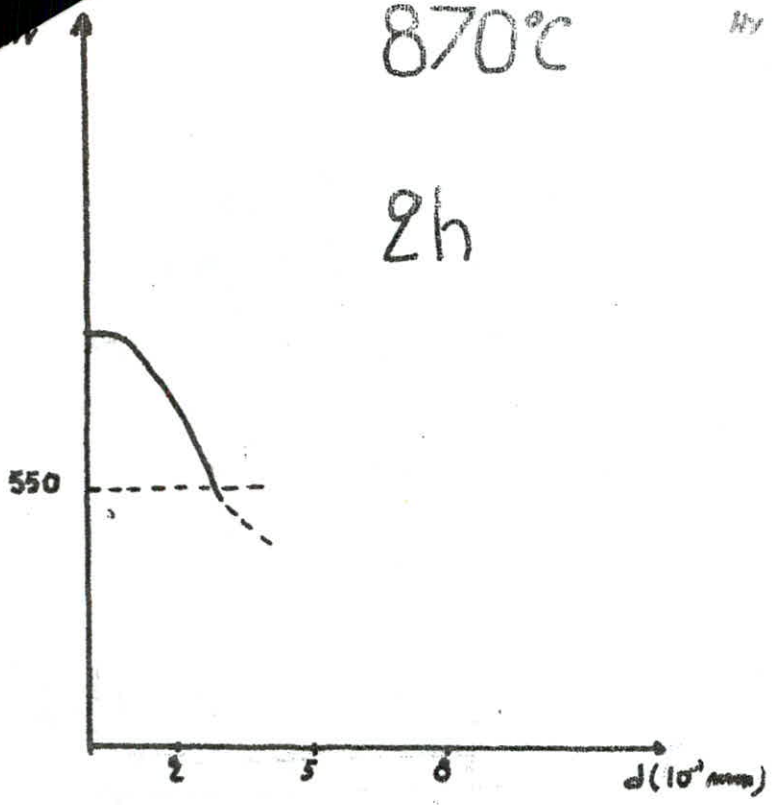
16MC5





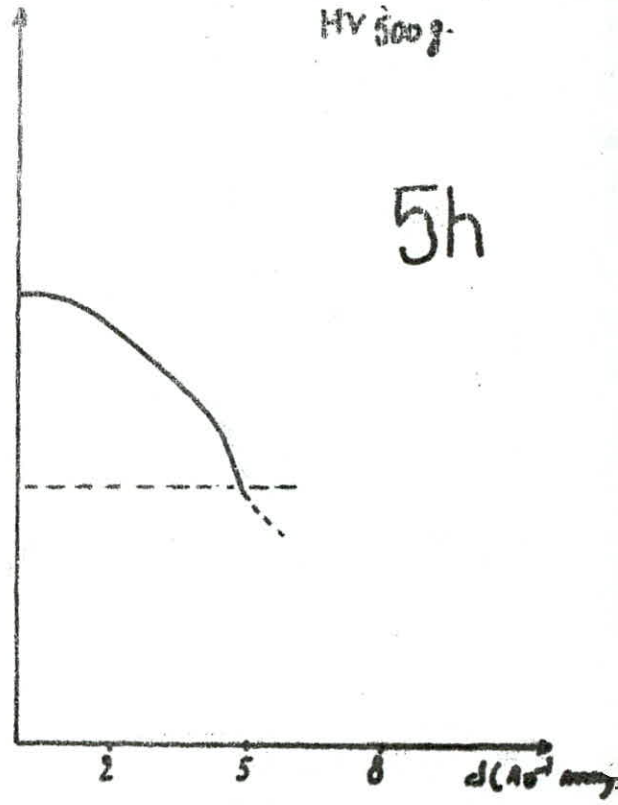
870°C

2h



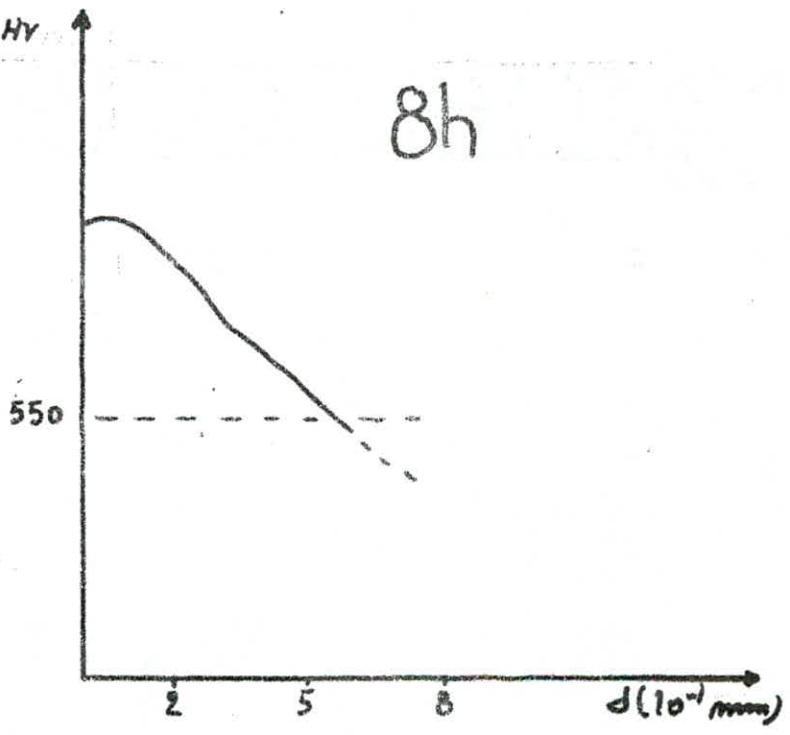
HV 500g

5h

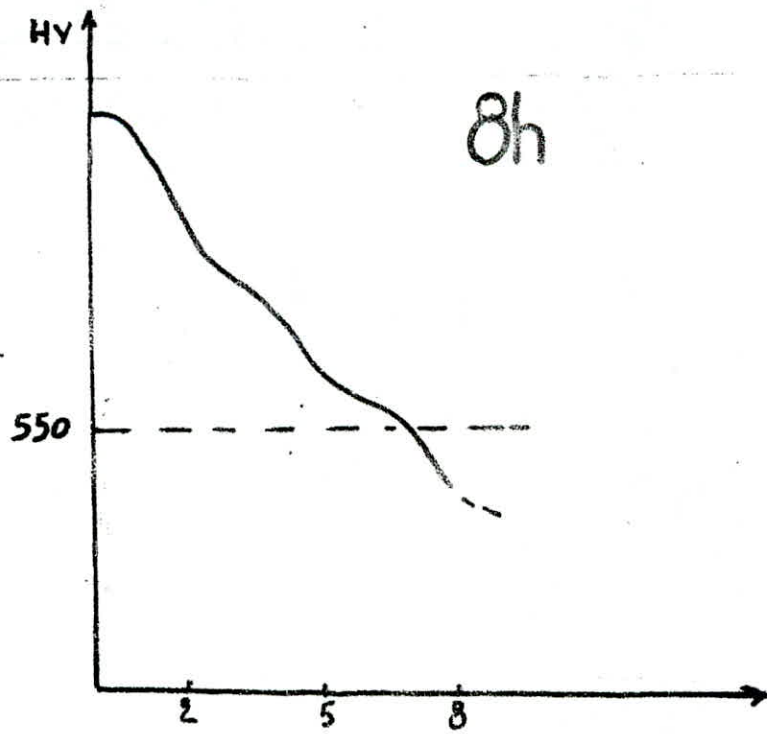
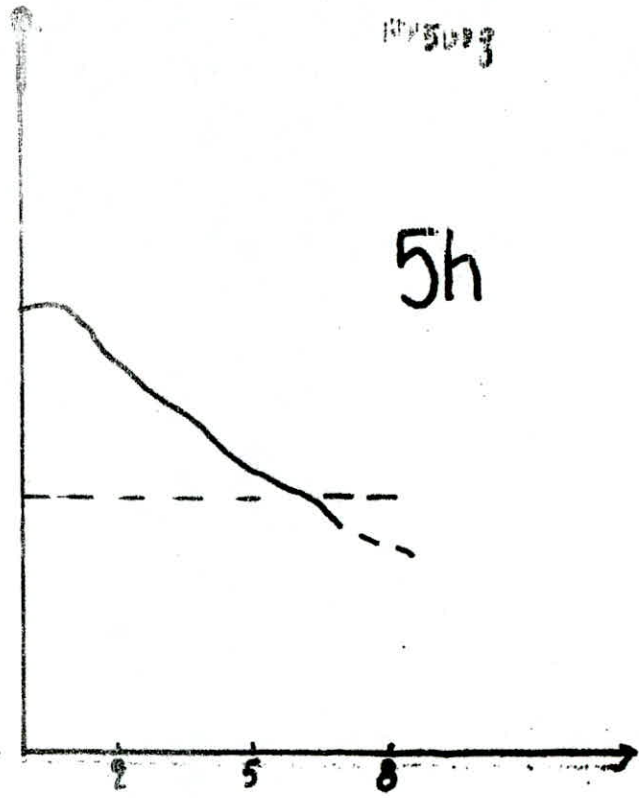
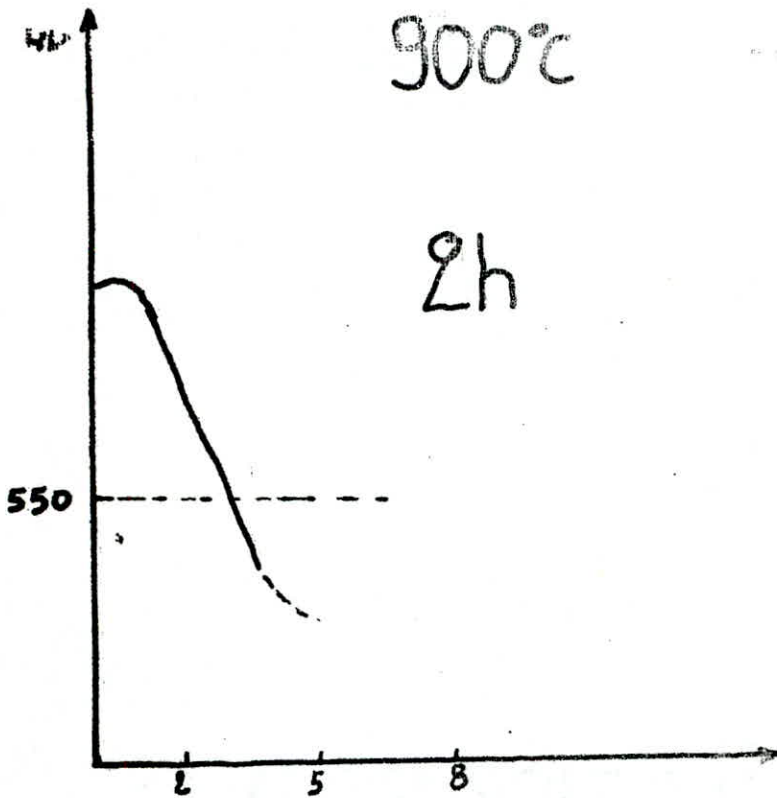


HV

8h



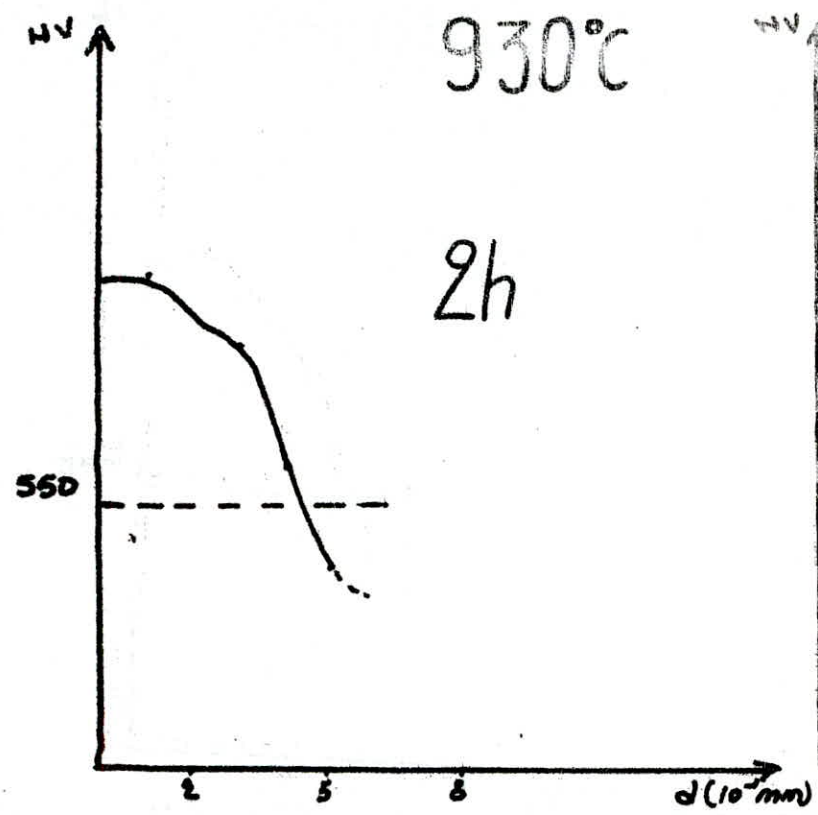
20MC5



20MC5

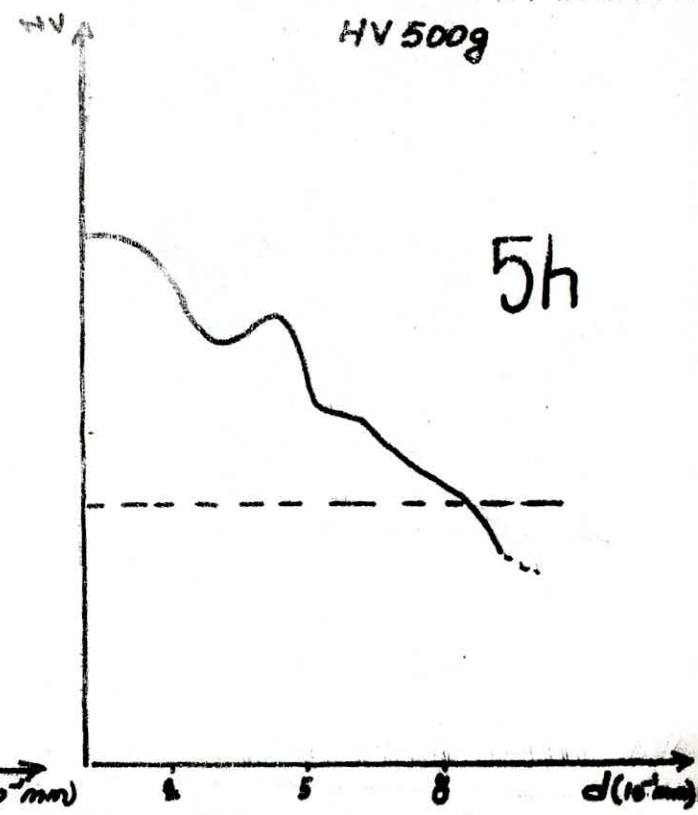
930°C

2h



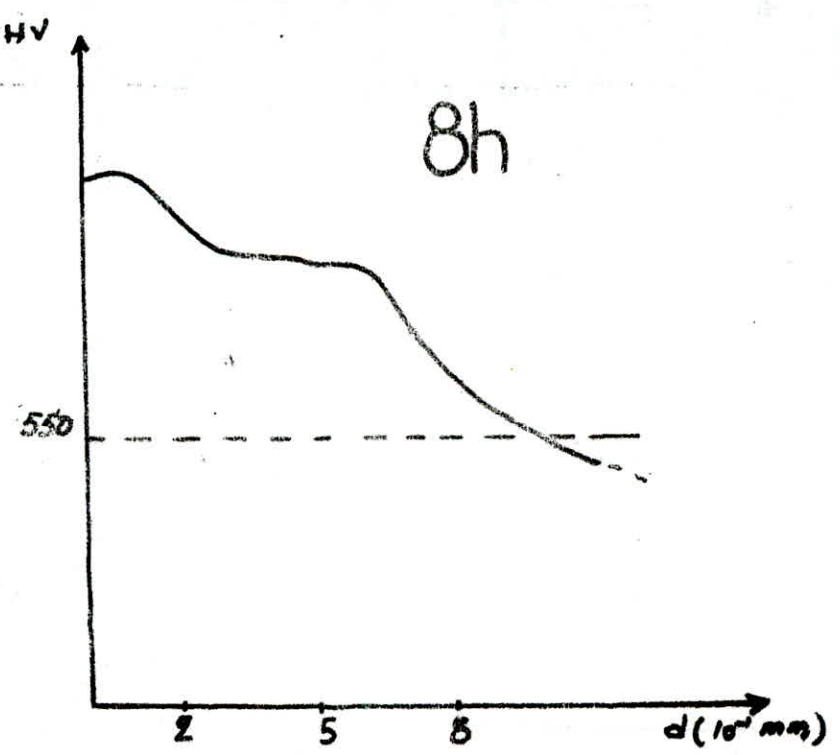
HV 500g

5h



HV

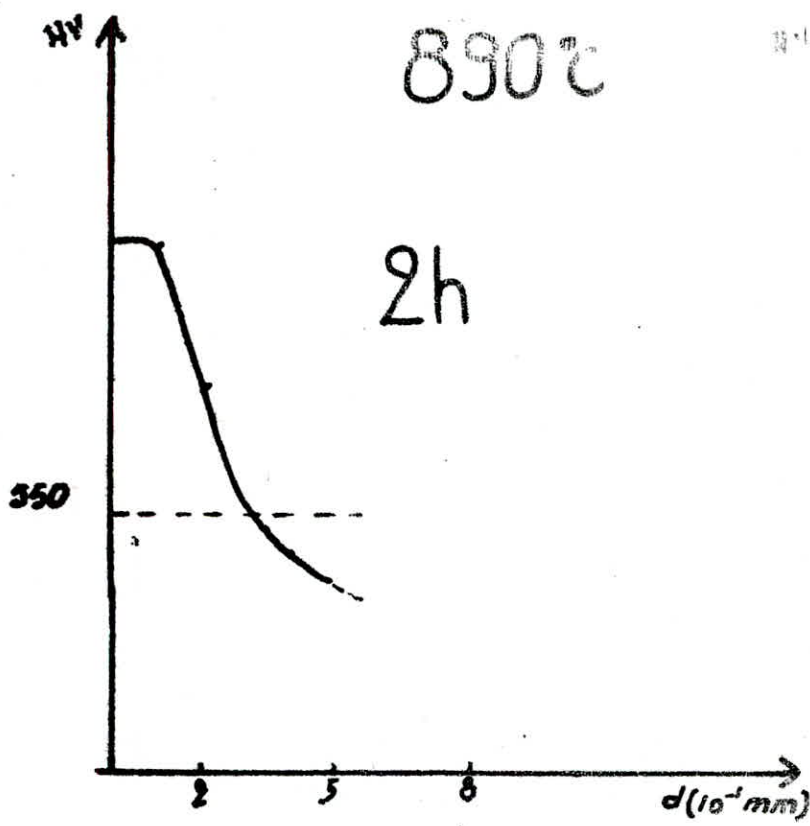
8h



20MC5

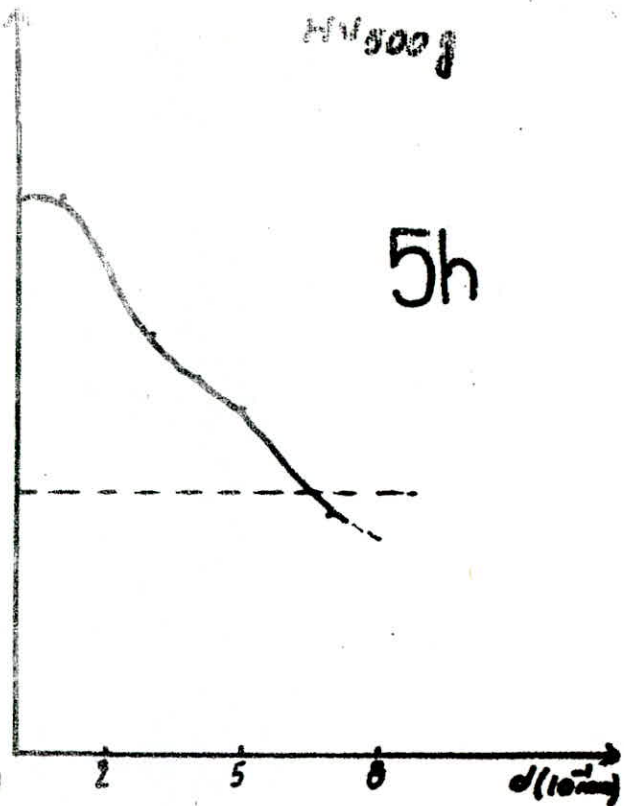
890°C

2h



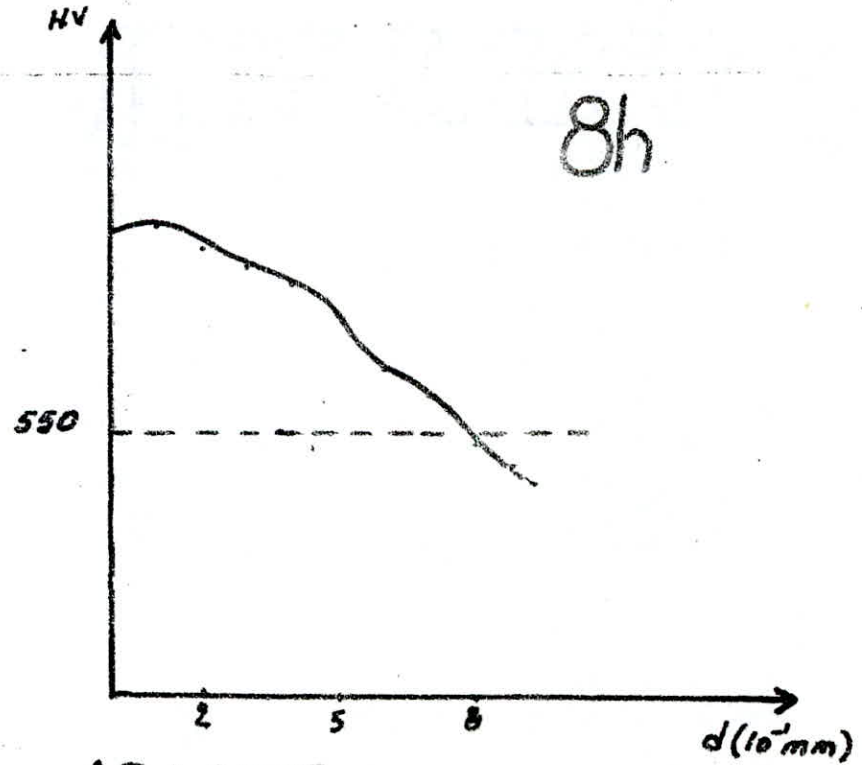
HV 500g

5h

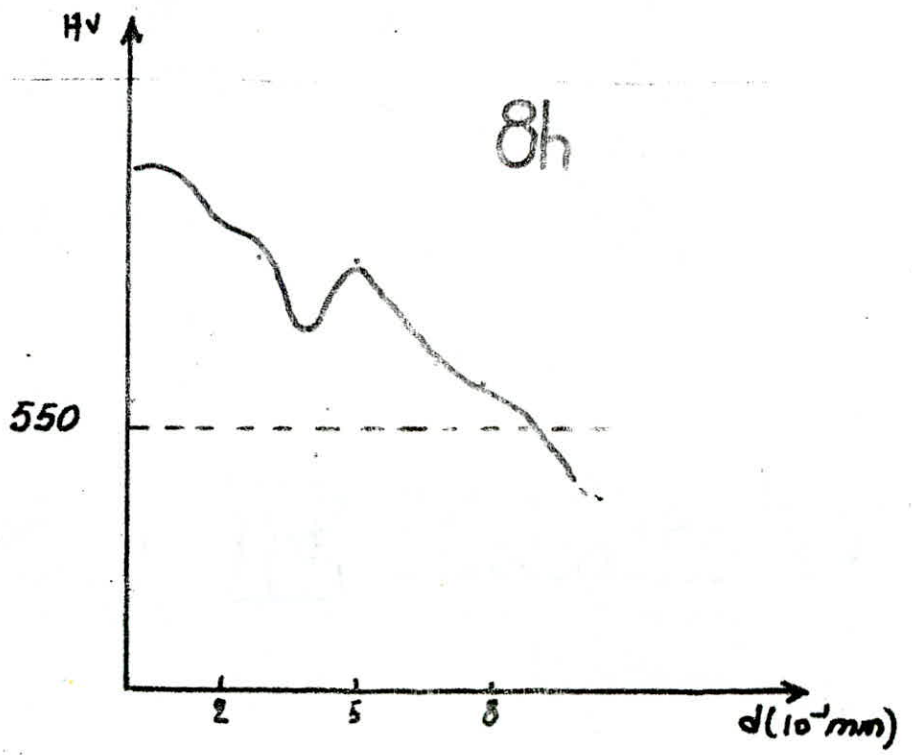
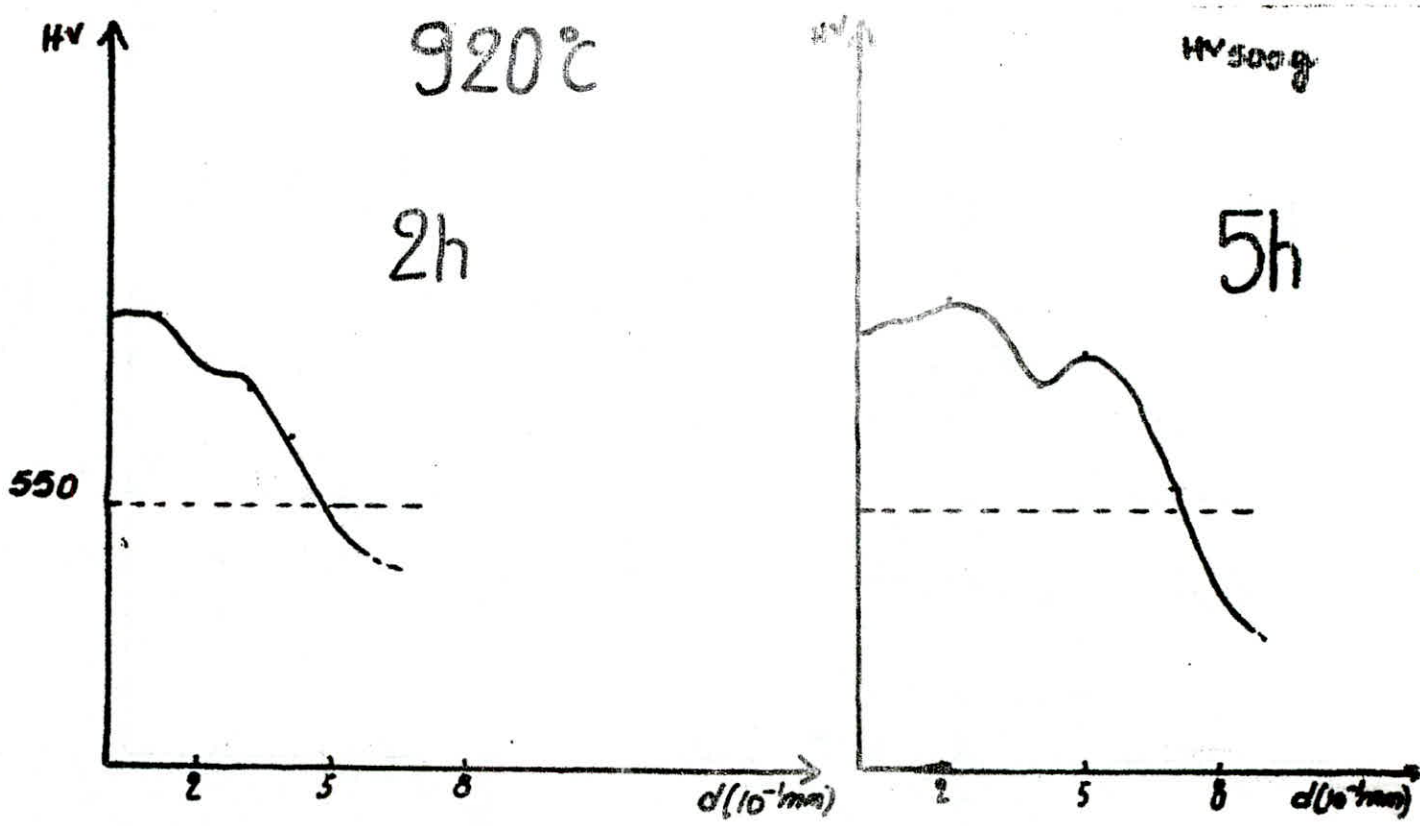


HV

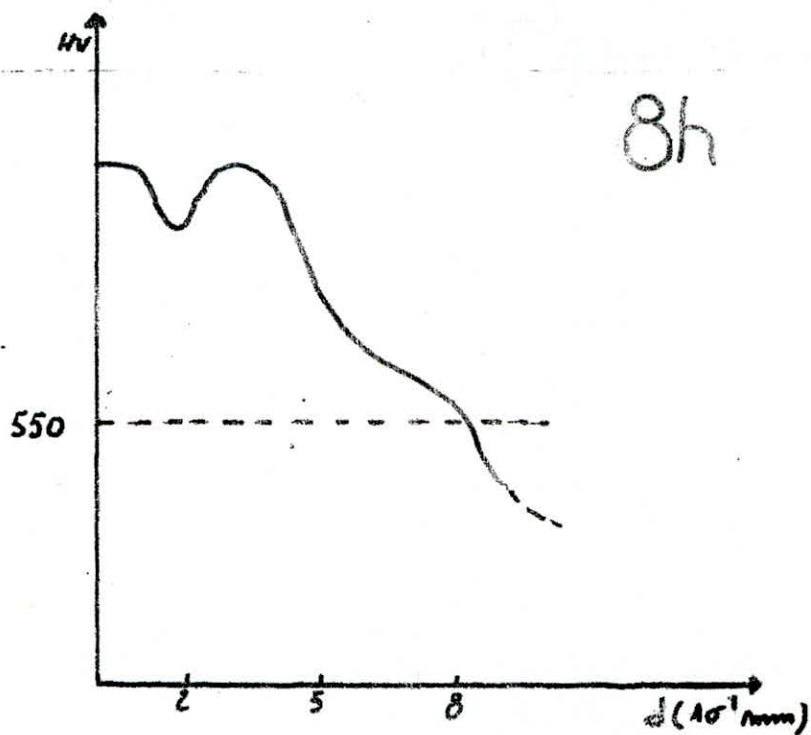
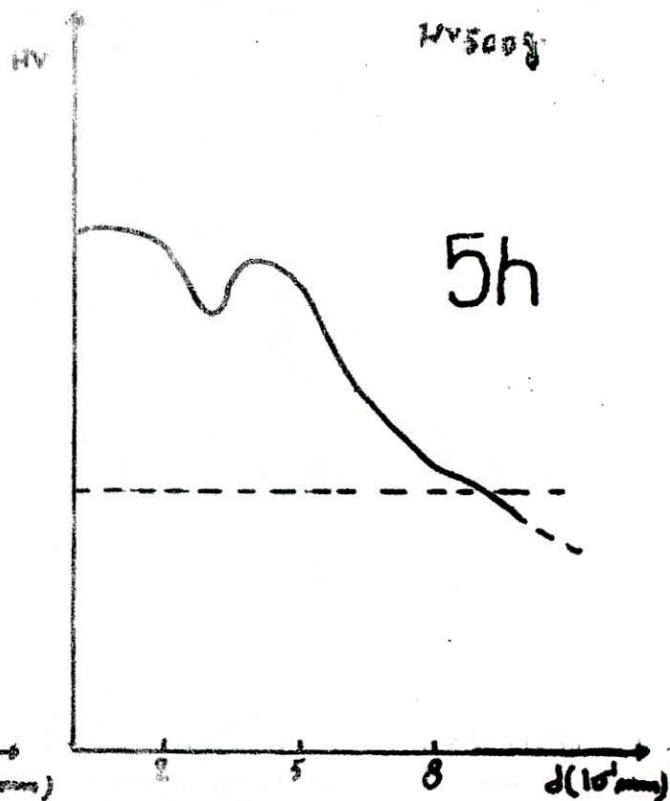
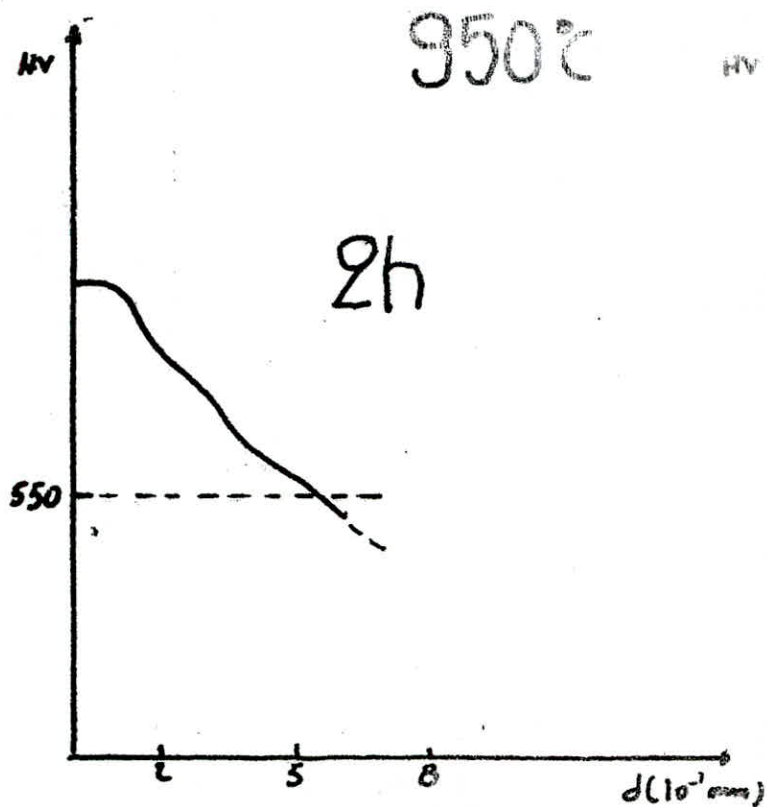
8h



16MC5



16MC5



16MC5

INTERPRETATION DES RESULTATS

I / Influence de la température et du temps de maintien :

L'épaisseur de cémentation augmente avec l'augmentation de la température et du temps de maintien, surtout pour des durées ne dépassant pas 5 heures ou 6 heures, car pour une durée plus longue on remarque une diminution de vitesse, surtout pour les hautes températures, car on a une saturation de la couche superficielle. En effet, le ciment cède du carbone aux couches superficielles. Celles-ci, en cédant par diffusion aux couches sous-adjacentes.

C'est pour cela qu'il existe une teneur d'environ 1,4 % C au maximum de ce que l'on peut atteindre pratiquement avec des aciers alliés.

A cause du risque de grossissement du grain susceptible de fragiliser la pièce, ni la température, ni la durée de maintien ne doivent être élevées.

CHAPITRE IV

STRUCTURES

STRUCTURE :

La structure finale de la pièce cémentée dépend essentiellement de la composition chimique de cette dernière, ainsi que des traitements thermiques appliqués à celle-ci, à savoir : la trempe à l'huile et le revenu.

1 - Traitement thermique après cémentation :

La trempe est un traitement thermique qui consiste à refroidir brusquement un produit métallurgique porté à une température élevée bien définie, afin d'en modifier les propriétés mécaniques.

- Cette trempe est effectuée directement à la sortie des pièces de la caisse, afin d'obtenir une dureté élevée de la couche cémentée et d'éviter la décarburation des pièces. Par contre, si les pièces avaient subi un refroidissement lent dans la caisse, puis réchauffées pour subir une trempe, dans ce cas là, il y a décarburation des pièces (FIG 5).

. REVENU :

Les pièces ainsi trempées sont toujours suivies d'un revenu de détente qui ne change rien à la structure finale obtenue après trempe et qui transforme la martensite en martensite de revenu. Cela permet d'atténuer les contraintes internes.

Ce revenu est effectué à 200°C pendant une durée de 2 H..

L'examen micrographique des échantillons représentatifs des pièces cémentées (sans la trempe), après un enrobage à froid, un polissage et une attaque au nikel (4%) montre trois zones bien distinctes de la surface au coeur, une couche de cémentite (hypercuté toide) à la surface puis une zone de transition intermédiaire (hypocutectoide) composé de ferrite et de perlite, en fin de coeur une zone pauvre en perlite constituée essentiellement de ferrite au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la périphérie.

STRUCTURE APRÈS TREMPE ET REVENU :

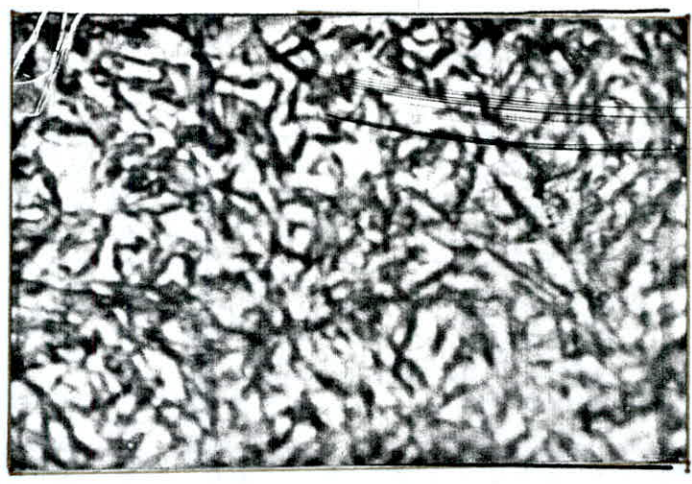
Deux zones sont bien distinctes, une nette différence sépare la couche cémentée à l'autre couche, la zone intermédiaire n'est pas bien visible pour les deux aciers.

La couche cémentée est constituée de martensite et une certaine quantité d'austénite résiduelle.

Le coeur est constitué de ferrite et de bainite ou de martensite à bas carbone.

On constate une diminution progressive de la concentration du carbone de la surface au coeur de la pièce.

16MC5

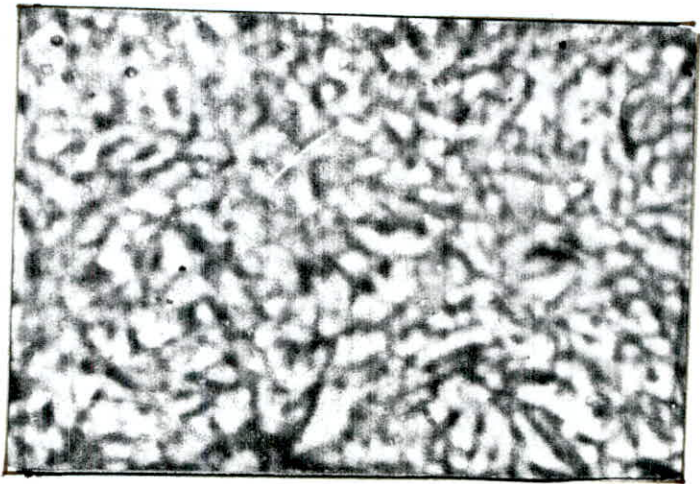


5h
920°C

- Martensite + Austenite résiduelle -

Gx500

20MC5



5h
900°C

- Martensite + Austenite résiduelle -

Gx500

- 16MC5 -



Decarburation en fin de cementation
 due a une oxydation en fin de
 traitement.

G x 500

Document " Physico-chimie des fontes et des aciers "
 page 253.

Fig:5.

16MC5

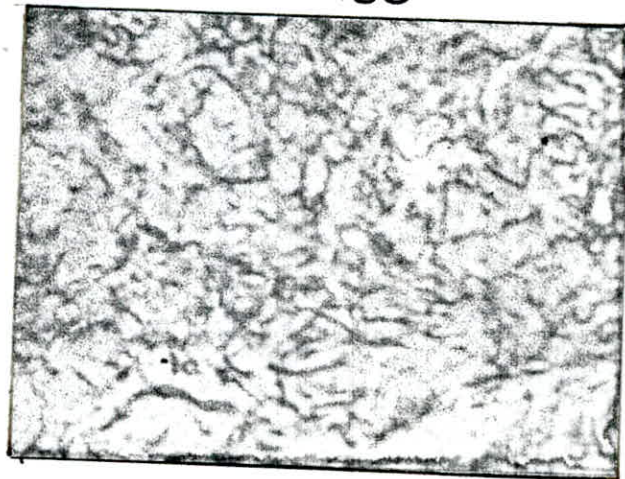


5h
920°C

Cœur : Bainite + ferrite

Gx500

20MC5

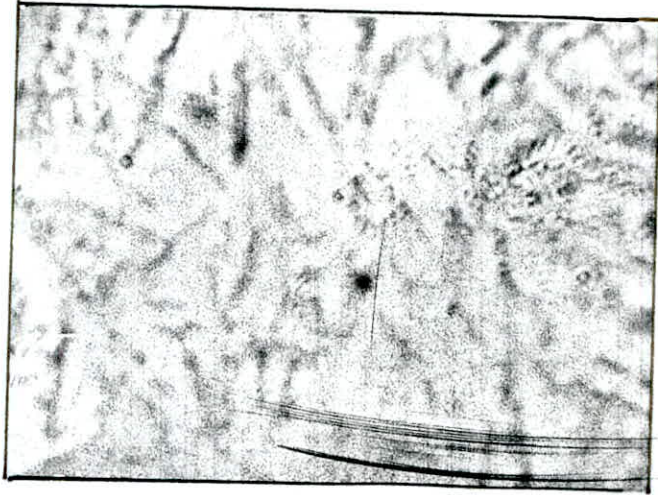


5h
900°C

Cœur : bainite + ferrite

Gx500

16MC5

8h
950 °C

- Martensite + Austenite résiduelle -

G. 15x50

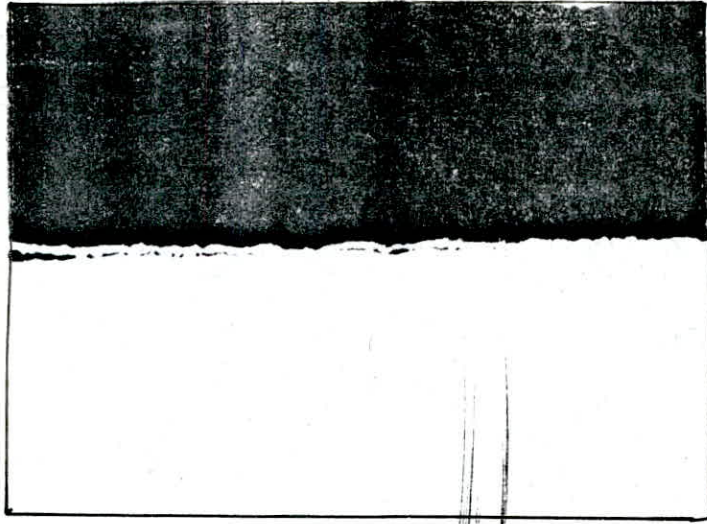
20MC5

8h
930°C

Martensite + Austenite résiduelle.

G. 15x50.

16MC5

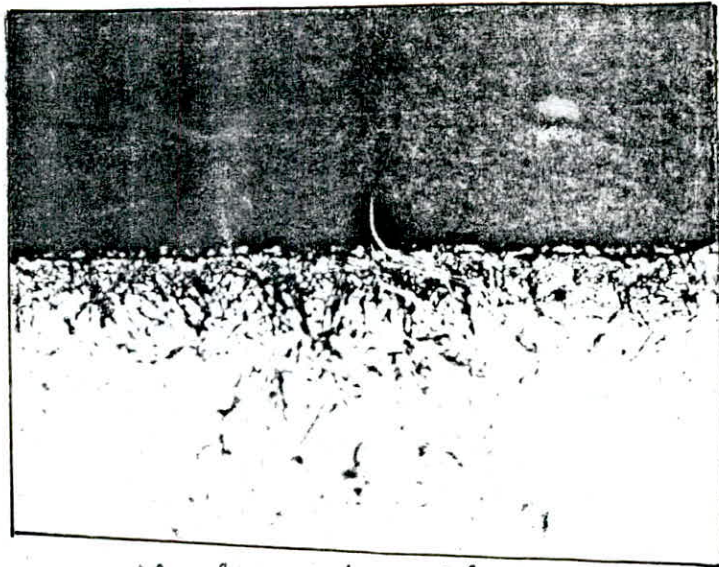


pellicule detachable.

- sans attaque

G x 500

20MC5



pellicule detachable

après attaque Nitral 4%

G x 500

Précautions à prendre pour éviter les défauts éventuels

- Pellicules :

Pour éviter ce type d'incident, une surveillance accrue de l'état de surface de la pièce avant enfournement est nécessaire. (éviter toute présence d'oxydation superficielle et mauvais dégraissage).

Si le four tombe en panne, on doit procéder à un grenailage avant reprise de traitement.

- Point doux :

Comme on a déjà noté, les points doux sont des plages où la diffusion est presque nulle. Ce défaut apparaît à l'oeil nu. Pour lutter contre ce défaut, on doit éviter toute présence de corps étrangers qui provoquent des réserves locales tels que :

- . particules inactives (calamine) présentes dans le ciment.
- . résidus de liquide de coupe.

On doit également tenir compte de la disposition des pièces dans la caisse avec un respect du rapport ciment-pièce.

$$\frac{\text{Poids ciment}}{\text{poids pièces}} = 0,24 \quad (1)$$

et la disposition des caisses dans le four, afin d'assurer l'homogénéisation de la température dans toute la caisse.

- Insuffisance de dûreté

On doit pour lutter contre cet inconvénient, contrôler la montée du four et assurer une vitesse de 4 C/min environ, veiller à la bonne disposition des pièces dans la caisse.

Ce défaut peut être causé par la matière carburante. Donc le ciment peut être remis en cause, et on doit soit le régénérer soit le remplacer.

1/ Document : renault véhicules industriels
3ème partie métallurgie.

- Déformation des pièces

Ces déformations peuvent être atténuées par mise en place de support ou par un positionnement adéquat des pièces. (ceci pour lutter contre le fluage).

Elle peut provenir d'une trempe dans un milieu trop énergétique ou mal adapté. Donc on doit changer le milieu de trempe.

La matière peut être la cause également de déformation des pièces. On doit donc faire un choix rationnel de l'acier en fonction des caractéristiques mécaniques souhaitées, et aussi pour éviter toute confusion de matière, on doit contrôler les réceptions, organiser le stockage et les manitentions. On doit pour finir procéder à des vérifications par analyses chimiques ou spectrométriques.

-- Insuffisance de cémentation

On doit avant tout pour parvenir à avoir une cémentation convenable, vérifier le ciment, car il peut-être pauvre en carbone et par la suite inactif.

La montée du four doit être étudiée et il faut éviter pour ce genre de traitement l'utilisation des fours rapides.

CHAPITRE V

ESSAIS MECANIQUES

OXYDATION INTERNE

Les solutions sont recherchées dans les voies suivantes:

- faire des reprises d'usinage des couches.
- surveiller l'étanchéité.

Nous notons la présence d'inclusions dans le métal de base, qu'on peut expliquer par des sulfures de manganèse. Ces inclusions ne peuvent être éliminées par traitement, et donc c'est au fournisseur (RDA) que le problème doit être adressé.

ESSAI DE TRACTION

C'est le plus important des essais mécaniques pour l'ensemble des caractéristiques qu'il fournit.

Cet essai consiste à exercer un effort de traction sur une éprouvette portant deux repères, à étudier la déformation de cette éprouvette en fonction de l'effort jusqu'à sa rupture.

FORME ET DIMENSION DES EPROUVETTES

D'après les normes on a usiné avec les nuances d'acier proposées des éprouvettes qui présentent une certaine proportionnalité entre la section initiale et la longueur (voir fig.1 page 61)

MACHINE D'ESSAI DE TRACTION

La machine d'essai de traction comprend essentiellement :

- Organes de fixation de l'éprouvette, tête d'amarrage et mors de serrage.
- Un mécanisme de production de l'effort de traction.
- Un dispositif de mesure de l'effort.
- Un dispositif de mesure de l'allongement.

ESSAI DE RESILIENCE :

Cet essai a pour but de caractériser les risques de rupture fragiles.

Il consiste à rompre d'un seul coup, dans des conditions bien définies, une éprouvette normalisée et probablement entaillée en son milieu, la résilience K étant le quotient du travail absorbé en daj par la section en cm^2 .

FORME ET DIMENSION DES EPROUVETTES :

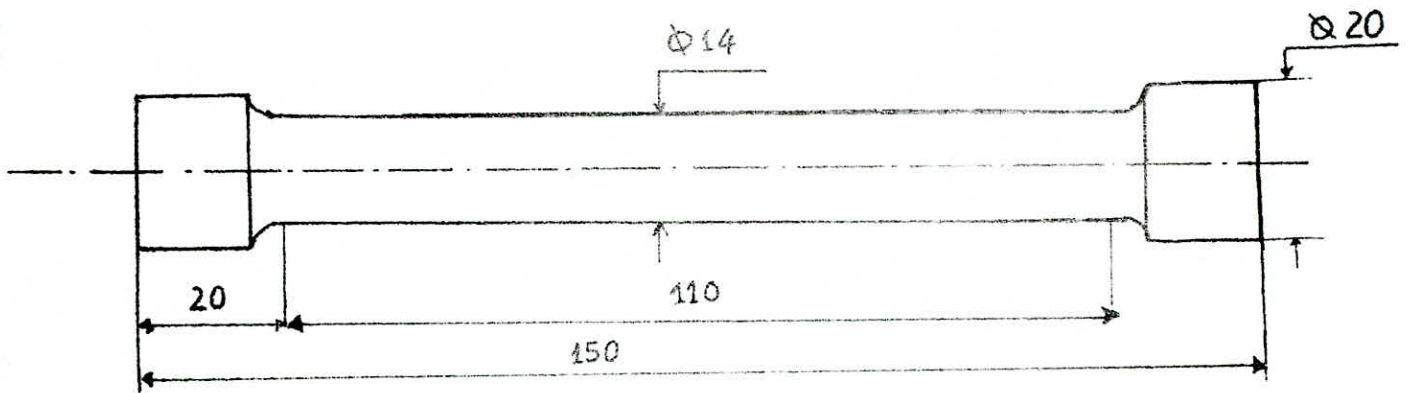
On a utilisé des éprouvettes dont l'entaille est en U, bien qu'il existe l'autre forme d'entaille qui est en V (voir fig. 2 page 61).

APPAREIL : MOUTON DE CHARPY :

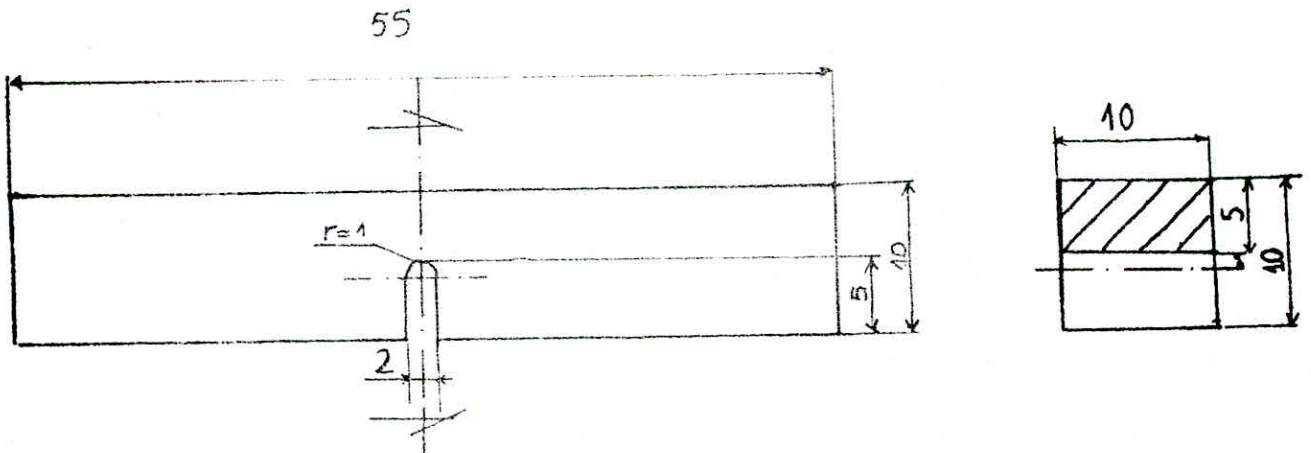
La masse M présentant un couteau C , est fixée à l'extrémité d'un bras pouvant osciller dans un plan vertical autour d'un axe horizontal.

Pour réaliser l'essai, on écarte le bras du pendule d'un angle par rapport à sa position d'équilibre, puis on le lâche après avoir rompu l'éprouvette. Le pendule remonte.

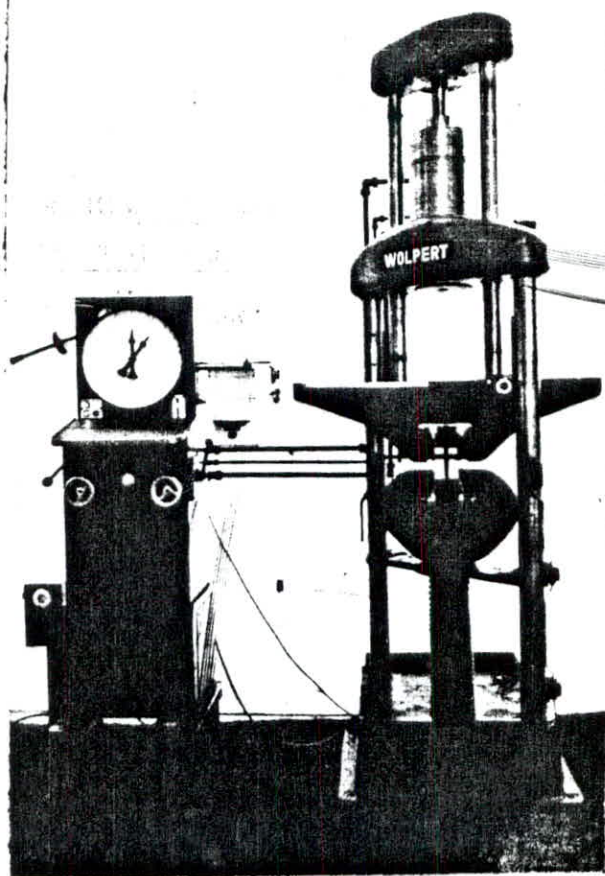
On lit directement sur l'appareil la valeur du travail absorbé pour rompre l'éprouvette, et on en déduit la valeur de résilience K (AN/cm^2)



EPROUVETTE DE TRACTION

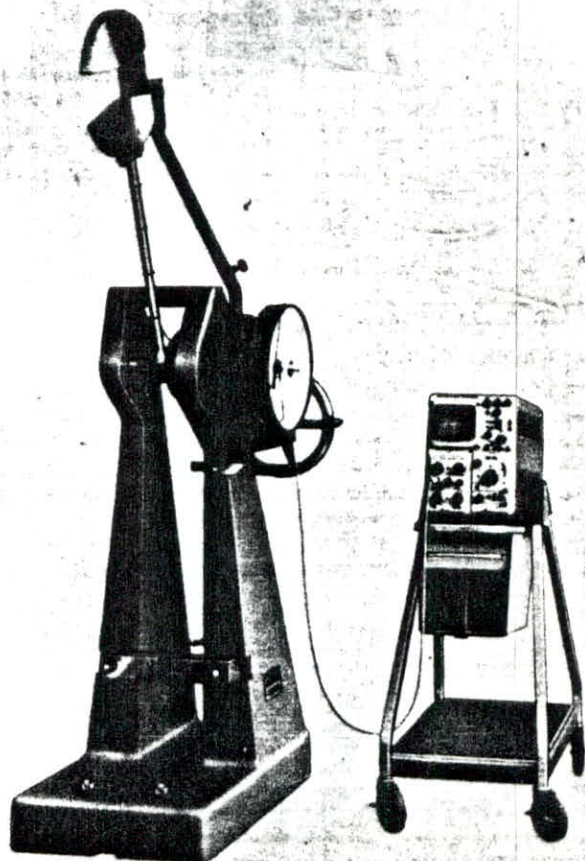


EPROUVETTE DE RESILIENCE



MACHINE D'ESSAI
DE TRACTION

MACHINE D'ESSAI
DE RESILIENCE
(MOUTON CHARPY)



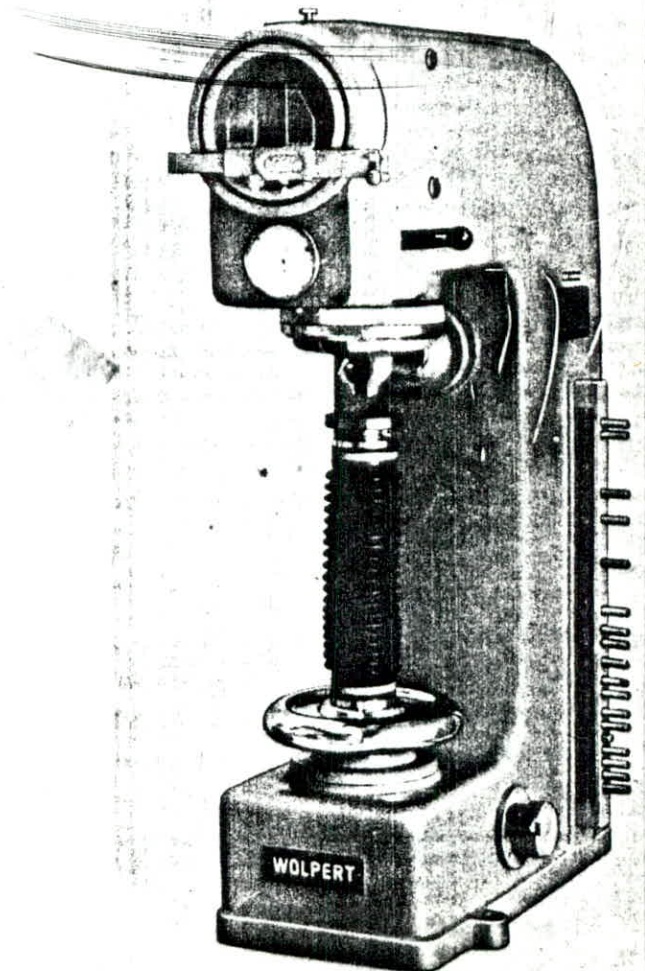
ESSAI DE DURETE

L'essai de dûreté est un moyen de controle non destructif qui est très utilisé dans le contrôle final des pièces.

La dûreté est la résistance qu'un matériau oppose à la pénétration d'un corps dur qui est un diamant de forme d'un pyramide.

Tous nos résultats de dûreté sont donn en H R C.
Ce choix a été pris en vue que nos pièces cémentées présentent une dûreté élevée.

MACHINE D'ESSAI
DE DURETE



RESULTAT DES ESSAIS
DE TRACTION ET DE RESILIENCE

1 6 M C 5

	Avant traitement	Après cémentation, trempe, revenu.
R_m (dAN/mm ²)	56	84
R_e (dAN/mm ²)	50	58
A %	38	4
K (DAj/cm ²)	14	4,8

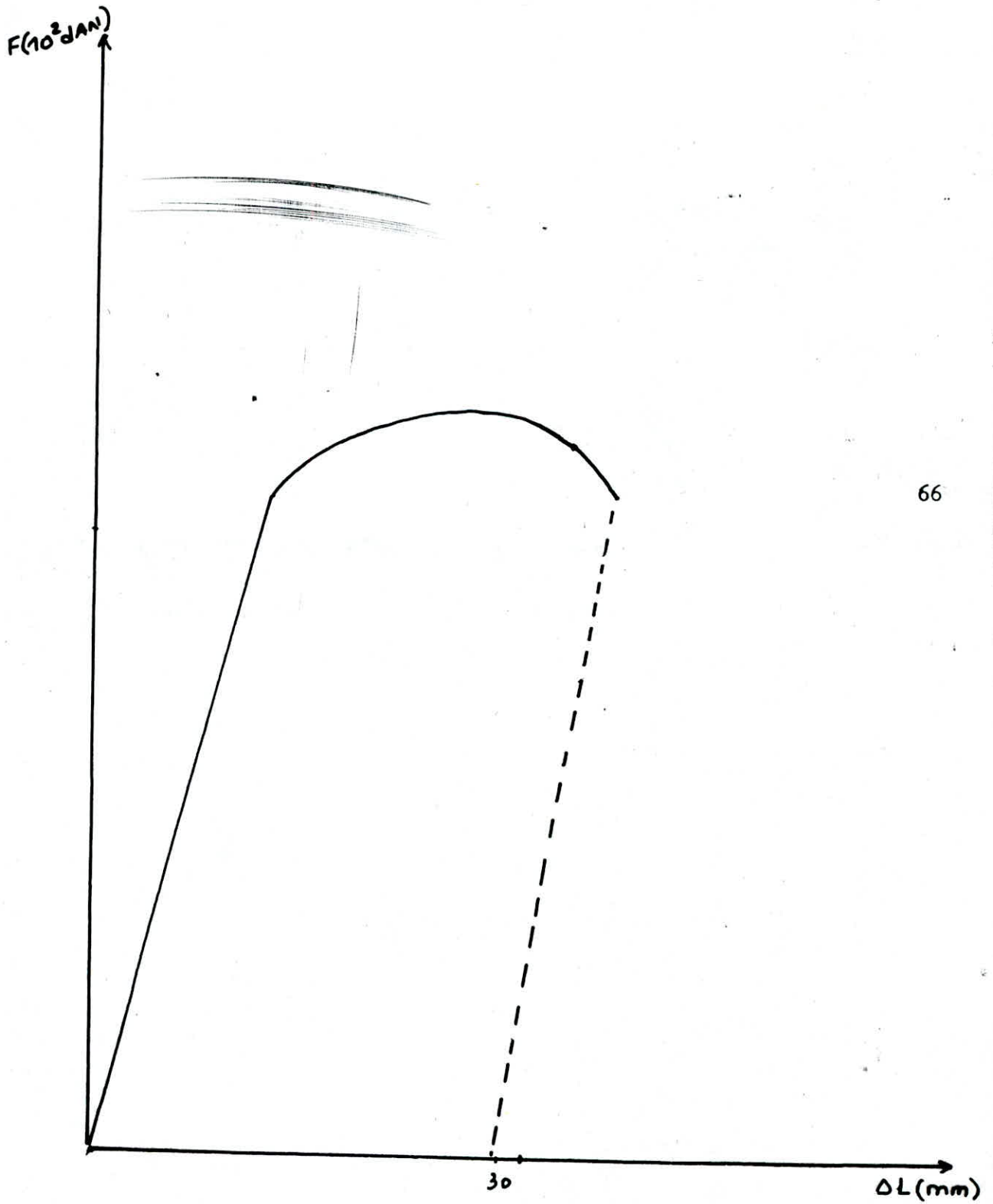
2 0 M C 5

	Avant traitement	Après cémentation, trempe, revenu.
R_m (dAN/mm ²)	59	86
R_e (dAN/mm ²)	55	60
A %	30	3,9
K (DAj/cm ²)	14,5	5

RESULTATS DES ESSAIS DE DURETE

La dôtreté mesurée pour nos essais, avant et après traitement.

	Avant traitement	Après traitement avant revenu	Après revenu
20 M C 5	25	62	59
16 M C 5	23	64	61

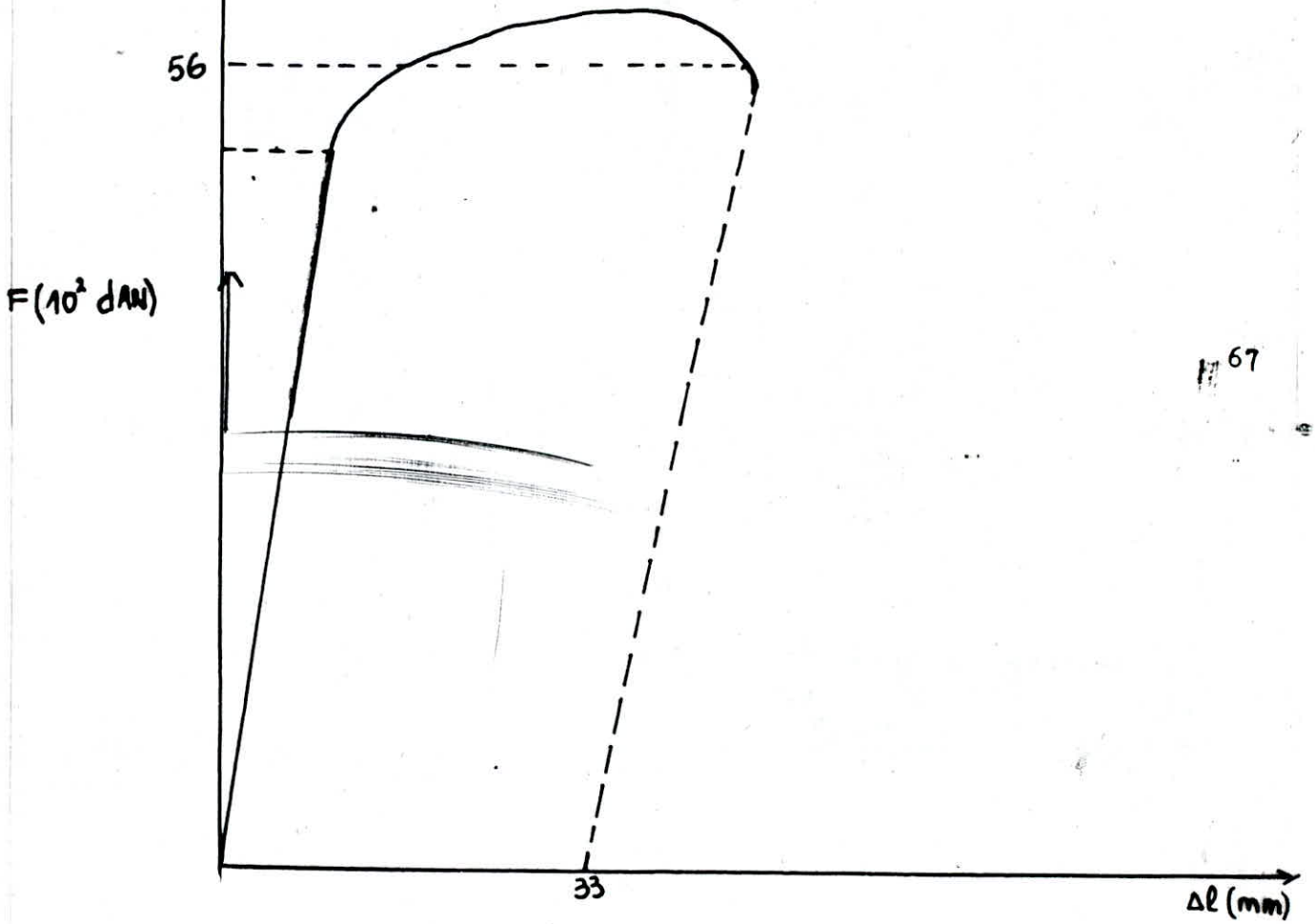


ig 1.

Courbe d'essai de traction
Avant Cementation

16MC5

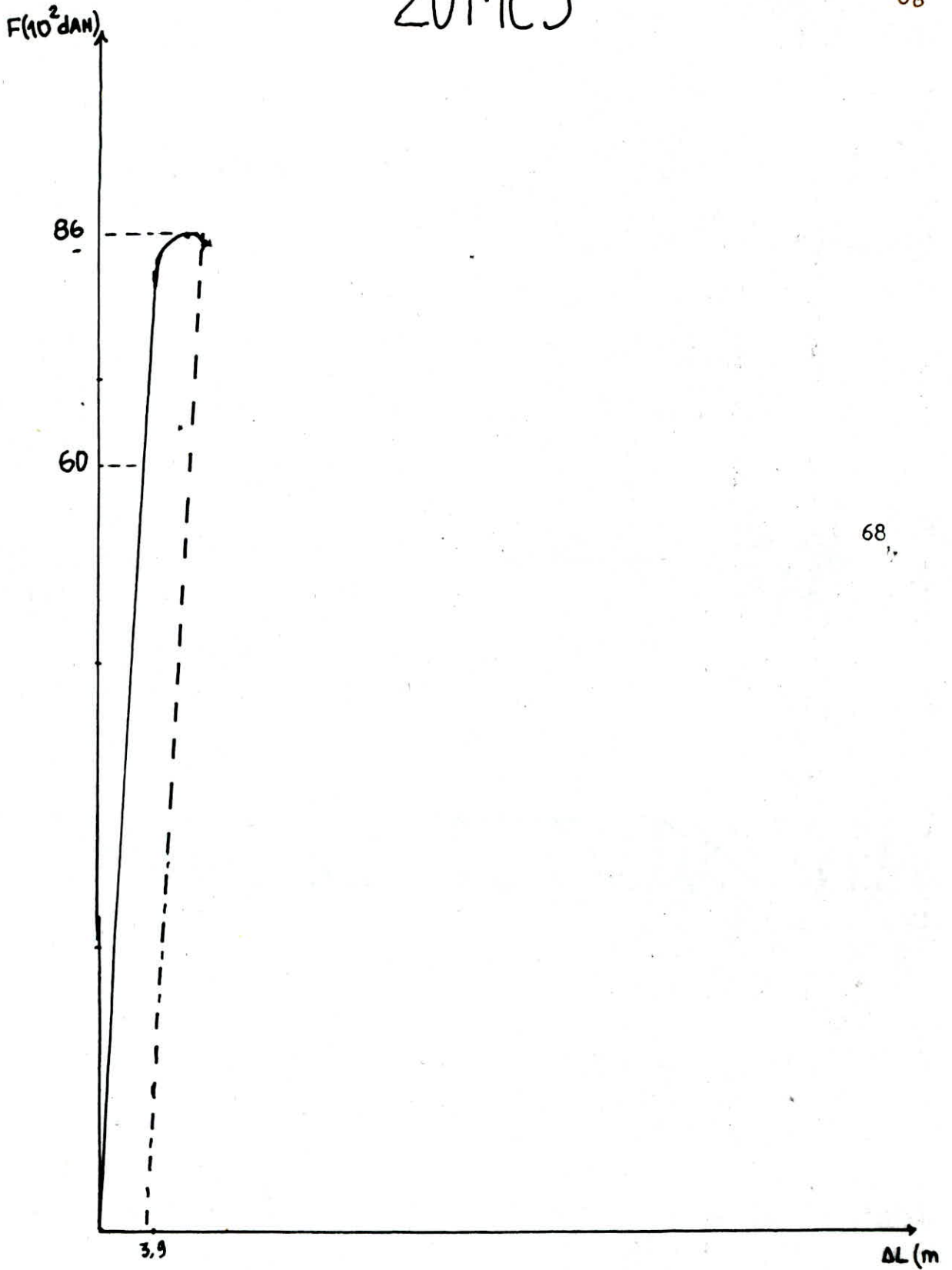
67



Courbe d'essai de traction
(Avant Cementation) . fig 2 .

20MC5

68



Courbe d'essai de traction
après Cementation

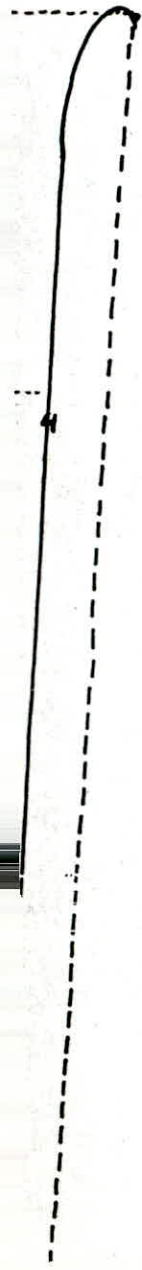
Fig 3.

Courbe d'essai de traction
après Cimentation

16MC5

. Fig 4.

$F(10^2 \text{ DAN})$



CONCLUSION

Les résultats obtenus au cours des essais mécaniques ont montré :

- une élévation de la dureté de la limite élastique et de la résistance à la rupture.
- une baisse de la résilience, de l'allongement et de la striction (améliorées après revenu).

Le traitement cémentation - trempe - revenu, permet donc de réaliser un meilleur compromis, entre toutes les propriétés, ce qui confère à la pièce une bonne résistance à l'usure et aux chocs.

CONCLUSION GENERALE

Cette étude nous a permis de déterminer les origines des défauts des aciers 20 MC5 et 16 MC5 constatés après traitement thermochimique.

Ces défauts se divisent en deux catégories.

- Ceux causés par le mauvais traitement appliqué aux pièces et ~~ceux causés par le ciment qui est de mauvaise qualité, ainsi qu'à la conception des caisses non conforme.~~ L'étanchéité des fours est aussi mise en cause.

Etant donné que le but principal des traitements thermochimiques est d'avoir une couche régulière et dure, et comme le procédé solide ne répond pas au premier point (régularité de la couche) il est donc préférable de traiter les pièces par le procédé de cémentation gazeuse ou liquide, qui donnent de meilleurs résultats.

Puisque la cémentation solide est le procédé le plus ancien des traitements thermochimiques et comme ses inconvénients sont nombreux, l'industrie moderne n'utilise plus ce procédé.

Les autres procédés liquides et gazeux présentent grâce à la technologie moderne des moyens de manutention plus aisés qui permettent de diminuer les risques qui peuvent entraver la bonne marche de l'opération.

BIBLIOGRAPHIE

- 1/ - Technique de l'ingénieur
 - . M1180 : Précontraintes et durcissements superficiels.
 - . M1182 : Cémentation gazeuse par le carbone et l'azote.

- 2/ - J.BENARD :
 - . Métallurgie générale. Edition Masson

- 3/ - Précis de métallurgie : J. Barralis
G. Maeder.

- 4/ - LAKHTINE :
 - . Métallographie et traitements thermiques des métaux - Edition Mir.

- 5/ - Métaux et alliages : H. de Leirs - tome II
(ENS de techniques avancées)

- 6/ - La physico-chimie des fontes et des aciers
H. Laplange
L. Rougeot

- 7/ - C Chaussin et G Hylly
 - . Alliages métalliques.

