

La soudure électrique et les conduites forcées

Electric welding and penstocks

PAR G. FERRAND

PRÉSIDENT-DIRECTEUR GÉNÉRAL DE LA SOCIÉTÉ DAUPHINOISE D'ÉTUDES ET DE MONTAGES

L'application industrielle du procédé de soudure à l'arc électrique a profondément modifié et perfectionné la technique de la chaudronnerie en général et celle des conduites forcées en particulier.

Elle a puissamment contribué à l'amélioration de la qualité, du fini et de la présentation des appareils.

La soudure électrique a permis la mise en œuvre des aciers à haute limite élastique que les procédés antérieurs ne permettaient pas de souder. Résumés d'essais sur aciers à moyenne teneur en carbone COF 3 (ou CONFOR E). Vérification de leur soudabilité et de leur sécurité d'utilisation.

Industrial use of the electric-arc welding process has greatly modified and improved the techniques of metal working in general and of penstocks in particular. It has contributed greatly to improvements in the quality, finish and presentation of the apparatus.

Electric welding has allowed the use of steels having high elastic limits which could not be welded by the methods used previously.

Summary of tests on steels having an average carbon content COF 3 (or CONFOR E). Checking their adaptability to welding and the reliability in use.

Les possibilités que la soudure électrique a permises dans la construction des conduites forcées de hautes chutes à grande puissance des usines hydro-électriques modernes sont considérables.

La soudure électrique a en effet remplacé en matière de construction de conduites forcées la soudure au gaz à l'eau utilisée à la fabrication de tuyaux de grands diamètres qui n'avait son emploi que sur des tôles en acier extra-doux à 40 kg/mm² de résistance maximum.

Avec la soudure électrique on soude maintenant sans difficulté en toute sécurité, avec une garantie de 100 % de la résistance de la soudure par rapport à celle du métal de base, des aciers demi-durs dont l'emploi a permis d'importants progrès dans la fabrication des tuyaux auto-frettés et de réaliser les tuyaux surpressés.

Les tuyaux « auto-frettés » ainsi que les tuyaux « surpressés » sont de plus en plus utilisés sur les conduites forcées alimentant les usines hydro-électriques modernes de grande puissance fonctionnant sous de hautes chutes, et lorsqu'il

s'agit de très hautes chutes, on utilise leurs dérivés : les « tuyaux surpressés auto-frettés » et les « tuyaux auto-frettés surpressés ».

La construction des « tuyaux surpressés » est basée sur le principe bien connu du relèvement de la limite élastique d'un acier par écrouissage sous traction à froid.

D'une manière générale, l'écrouissage se traduit par une augmentation de la charge de rupture et par une élévation plus grande encore de la limite élastique. Cette opération est particulièrement avantageuse, puisqu'elle permet d'élever la charge utile d'une pièce sans rendre pour cela son emploi dangereux; on sait en effet qu'un acier écroui par traction ne devient ni cassant, ni fragile, ni hétérogène. La longue expérience que l'on a maintenant de l'utilisation des aciers soudables étirés à froid suffit à démontrer que ce procédé améliore la qualité et la sécurité des ouvrages sur lesquels il est appliqué. Si l'on compare deux aciers du même type (au carbone par exemple) de même limite élastique, l'un normalisé de nuance plus dure que l'autre dont la li-

mite élastique a été relevée par écrouissage, on constate pour celui-ci une résilience et un allongement supérieurs à ceux du premier.

Loin de redouter l'écroutissage, on l'applique systématiquement, pour améliorer les propriétés mécaniques des métaux, aux ronds pour béton armé par exemple, que l'on tractionne bien au-dessus de leur limite élastique et parfois même jusqu'au moment où s'amorce la striction.

C'est l'utilisation de cette propriété et son application à la construction de tuyaux destinés à supporter des pressions intérieures élevées qui a donné naissance aux « tuyaux surpressés ».

Pour définir les tuyaux « surpressés auto-frettés » et les « tuyaux auto-frettés surpressés », il suffit de se rappeler ce que sont les « tuyaux auto-frettés » qui, depuis 1925, équipent toutes les hautes chutes françaises à grande puissance.

Les premiers ne sont autres que des tuyaux auto-frettés dont la paroi est préalablement surpressée, les seconds sont des tuyaux auto-frettés dont la paroi et les frettes sont simultanément soumises à l'opération de surpressage.

La nouveauté des tuyaux « auto-frettés surpressés » réside dans le fait que jusqu'alors on avait systématiquement évité d'atteindre la limite élastique des frettes au cours des opérations d'auto-frettage, alors que maintenant on procède systématiquement à l'écroutissage des frettes par traction à froid.

Nous ne reviendrons pas sur le mode de construction ni sur l'intérêt pratique et économique des tuyaux surpressés, en priant nos lecteurs de se reporter à la communication que nous avons faite à ce sujet au 4^e Congrès International des Fabrications Mécaniques à Stockholm en 1952; mais nous attirons leur attention sur la partie de cette communication où nous faisons ressortir un avantage très important du surpressage sous l'angle de la relaxation des tensions internes consécutives à l'exécution des soudures (*).

Il est bon de rappeler en passant que les tuyaux surpressés sont exempts de fragilité à toutes températures aussi bien pour la soudure elle-même que pour le métal de base, et que les marges d'allongement après écroutissage et vieillissement artificiel sont importantes.

Les critiques de gens mal informés ou de profanes en la matière n'ont pas été ménagées à la technique du surpressage qui ne s'applique, et nous insistons sur ce point, qu'à des conduites forcées fonctionnant sous températures humaines, et non à des appareils thermiques fonctionnant sous températures élevées.

D'ailleurs, les aciers utilisés à la fabrication

des tuyaux surpressés sont non seulement résilients, mais ils sont aussi non vieillissants.

Pour illustrer ces affirmations, nous pourrions présenter à nos lecteurs les résultats d'innombrables essais systématiques faits par de grandes aciéries françaises telles que « Usinor » et « Longwy », qui sont les principaux fournisseurs de l'acier « Confor E » que nous utilisons pour fabriquer nos conduites forcées, mais nous avons sous les yeux une communication présentée par M. l'Ingénieur Curio FORNACI, Chef métallurgiste aux Aciéries de la Société Terni à Terni (Italie), au 14^e Congrès International des Centres d'Information de l'Acier. Celle-ci se rapporte à des aciers dénommés COF. 3 en Italie, identiques aux aciers dénommés Confor E en France. Les essais faits en Italie sur le COF. 3 sont en tous points comparables à ceux faits en France sur le « Confor E ».

Cette nuance d'acier est principalement utilisée en Italie à la fabrication de tôles destinées à la construction de tuyaux soudés, auto-frettés et surpressés pour conduites forcées.

Avec l'autorisation de M. FORNACI, nous donnons ci-dessous un résumé des essais faits sur COF. 3 pour vérifier la soudabilité et le comportement, à des températures normales et au-dessous de zéro, de l'acier préalablement soumis à des opérations d'étirage à froid, pour montrer la parfaite sécurité dans son utilisation et l'adaptabilité aux différents besoins de cet acier à moyenne teneur en carbone.

Les résultats montrent à quel point il est possible de compter, pour les constructions soudées, sur une telle nuance d'acier, alors que quinze années se sont écoulées depuis qu'il fut utilisé pour la première fois dans une installation importante d'aménagement de conduites forcées.

Pour les usages spéciaux auxquels ils sont destinés, ces aciers doivent répondre à la nécessité d'atteindre des objectifs techniques et économiques que l'on ne peut atteindre avec des aciers ordinaires à haute teneur en carbone. La construction des conduites forcées avec ces types d'acier entraîne le problème de sécurité durant toute leur existence, malgré l'écroutissage systématique à froid du métal de base et des joints soudés. Ces exigences ont conduit à améliorer nécessairement la qualité, de manière telle que l'utilisation de ces aciers ne cessera de s'étendre.

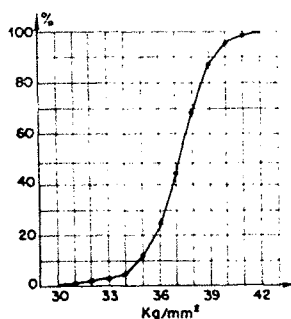
Les résultats des essais effectués ont toujours été supérieurs aux minima des spécifications.

Pour donner une idée du standard moyen de qualité de l'acier COF. 3, on a fait des diagrammes dans lesquels sont illustrés la répartition en pourcentage, la courbe en cloche des valeurs de E (limite élastique) et de R (limite de rupture) et les courbes de fréquence des propriétés mécaniques de tôles de 6 à 38 mm d'épaisseur appartenant à 118 coulées. La régularité de ces cour-

(*) Voir la reproduction intégrale qui a été faite de cette communication dans la revue *la Houille Blanche*, n° 2, mai 1953.

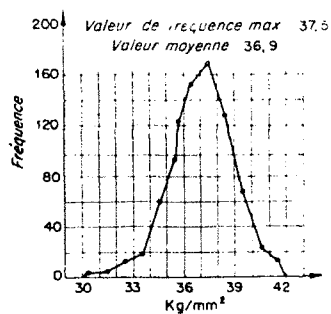
Caractéristiques mécaniques (sens transversal) des tôles COF 3 normalisées

Épaisseurs 6 à 38 mm (785 tôles de 118 coulées)

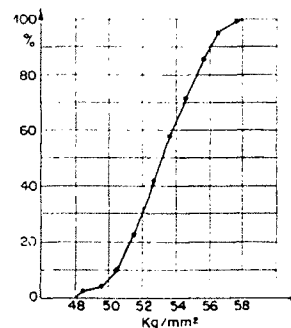


Courbe de distribution en % des valeurs de E

LIMITE ÉLASTIQUE APPARENTE

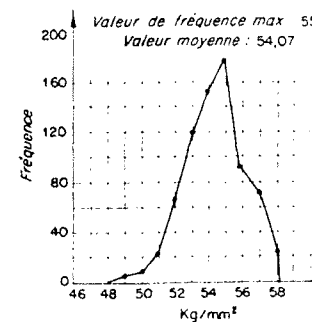


Courbe de fréquence des valeurs de E

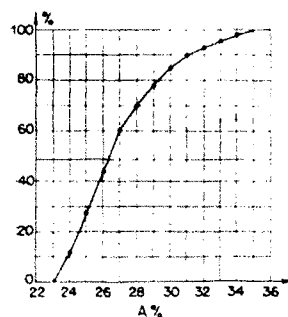


Courbe de distribution en % des valeurs de R

RÉSISTANCE À LA RUPTURE

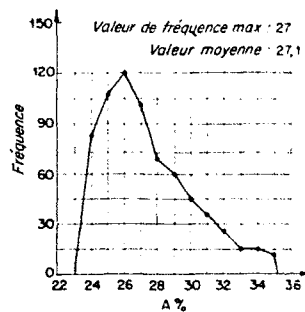


Courbe de fréquence des valeurs de R

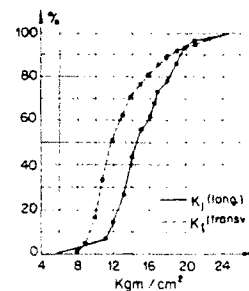


Courbe de distribution en % des valeurs de Ap 7.5

ALLONGEMENT

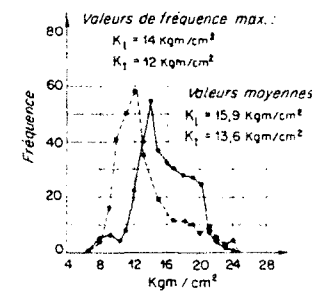


Courbe de fréquence des valeurs de Ap 7.5



Courbe de distribution en % des valeurs de K

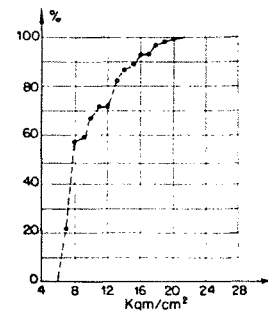
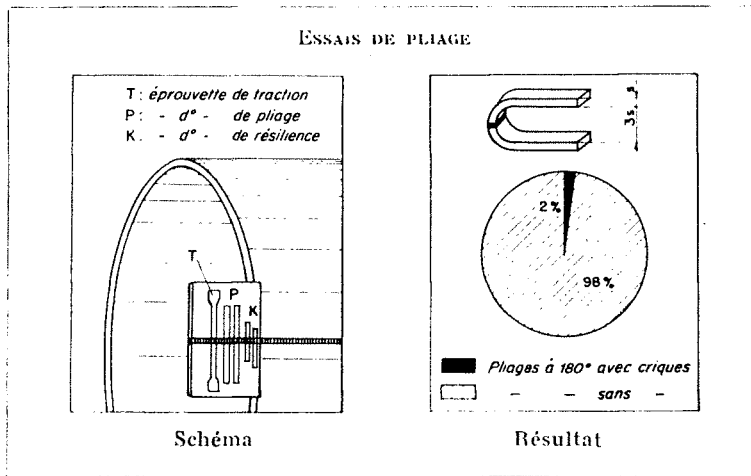
RÉSILIENCE



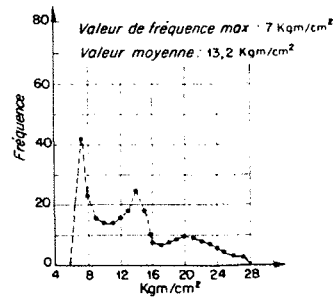
Courbe de fréquence des valeurs de K

Caractéristiques mécaniques des soudures.
Eprouvettes pour l'exécution de joints soudés de tuyaux de conduites forcées.

216 éprouvettes essayées. Sur chaque éprouvette :
 2 essais de pliage; 1 essai de traction;
 1 essai de résilience en pleine soudure;
 1 essai de résilience en zone de transition.

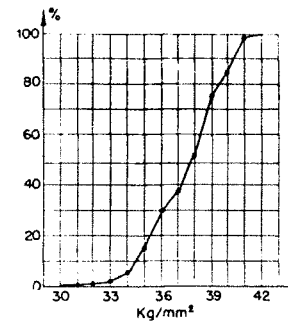


Courbe de distribution en % des valeurs de K

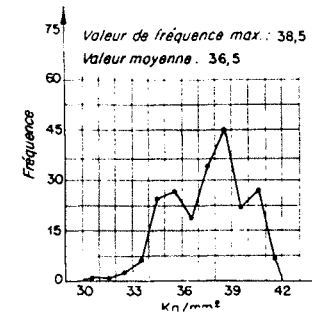


Courbe de fréquence des valeurs de K

ESSAIS DE RÉSILIENCE AVEC ENTAILLE EN PLEINE SOUDURE

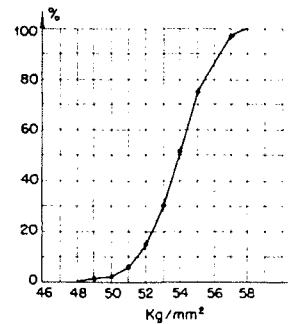


Courbe de distribution en % des valeurs de E

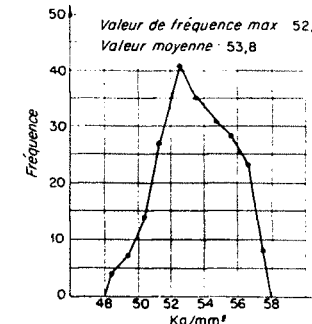


Courbe de fréquence des valeurs de E

LIMITE ÉLASTIQUE APPARENTE

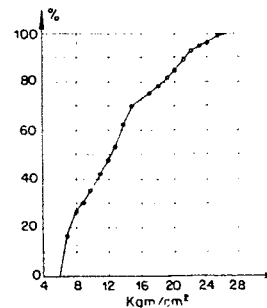


Courbe de distribution en % des valeurs de R

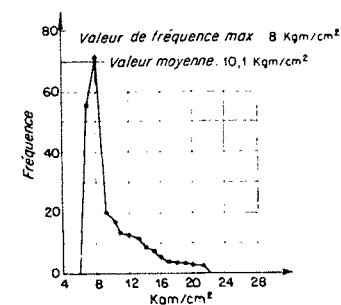


Courbe de fréquence des valeurs de R

RÉSISTANCE A LA RUPTURE



Courbe de distribution en % des valeurs de K



Courbe de fréquence des valeurs de K

ESSAIS DE RÉSILIENCE AVEC ENTAILLE DANS LA ZONE DE TRANSITION

bes est notable, en considérant le fait que quelques données furent recueillies au début de l'élaboration de cette nuance d'acier.

Les tôles examinées furent presque entièrement utilisées à la construction de tuyaux de conduites forcées. Après l'épreuve habituelle en laboratoires des propriétés mécaniques, composition et soudabilité, elles furent à nouveau contrôlées au hasard pour s'assurer de la perfection des joints soudés. Les éprouvettes d'essai étaient jointes aux tuyaux terminés. De cette façon, il a été possible de recueillir en un temps remarquablement court un nombre suffisant de données pour un examen statistique, dont l'intérêt réside dans le fait que les données relatées sont plus représentatives que celles obtenues avec des procédés de laboratoires. Les résultats obtenus sur des éprouvettes d'atelier représentent en fait le standard réel de qualité de la production industrielle où souvent le travail a lieu en trois équipes, et où l'opération de soudure est accomplie, selon les circonstances, à la main ou à la soudure automatique.

Les diagrammes représentatifs des résultats des essais de pliage dans la soudure ont permis de noter qu'ils sont pleinement satisfaisants.

Les diagrammes relatifs à la répartition pour cent et la fréquence de E et R sur éprouvettes soudées, bien que contenant plus d'irrégularités du fait de leur petit nombre, présentent une grande ressemblance avec les diagrammes relatifs au métal de base. Il est intéressant de noter qu'ils ont des degrés similaires de dispersion. Cela prouve que l'éprouvette cassait toujours en dehors de la soudure et ceci est indubitablement un point en faveur de l'uniformité des propriétés mécaniques et de la technique de soudure.

Un diagramme représente le pourcentage et la fréquence des résultats des essais de résilience; deux autres se rapportent à des éprouvettes de soudure. Les essais correspondants furent faits en vue de donner des renseignements sur le standard de perfection du métal de soudure et de l'exécution de la soudure.

Deux autres diagrammes encore se rapportent à des éprouvettes prises dans la zone de transition de la soudure, donnant ainsi une idée de l'aptitude de l'acier COF. 3 à supporter les efforts thermiques et mécaniques produits en cours de soudure. Le diagramme de fréquence de ces éprouvettes a un aspect semblable à celui qui serait obtenu en éprouvant au choc un métal de soudure. La similitude est remarquable, spécialement par rapport aux limites de dispersion inférieures. On peut noter enfin que les valeurs dans la zone de transition sont, en moyenne, très proches des valeurs trouvées sur la tôle elle-même.

On examina également le comportement de

l'acier COF. 3 dans la proximité immédiate des soudures. Plusieurs soudures sur des tôles de différentes épaisseurs faites avec le procédé d'arc submergé, ont été soumises à des examens micro et macrographiques. Aucun de ces examens n'a révélé de fissures, fêlures ou la présence de constituants fragiles. Des essais de fêlure furent aussi faits dans le but d'examiner les effets de la soudure à la main; ils ont permis de constater une excellente uniformité de la dureté.

Les aciers COF. 3 sont élaborés, ainsi que nous l'avons déjà dit, pour la mise en œuvre de tuyaux destinés à des conduites forcées qui ne subissent pas d'efforts alternés en service normal, mais seulement des efforts ondulés de très faible amplitude. Elles ne travaillent donc pas à la fatigue ou à l'endurance au sens où on le comprend généralement.

Malgré cela, des essais à la fatigue ou à l'endurance en nombre limité ont été effectués. Les valeurs des limites de fatigue se sont toutes révélées nettement supérieures aux valeurs des fatigues maxima envisagées comme pouvant accidentellement se produire en cours d'exploitation.

En service normal, la température minimum d'une conduite forcée ne peut descendre en dessous de 0° C, ni dépasser la température maxima de l'eau véhiculée. Malgré cela, les propriétés des aciers en question ont été vérifiées à basses et hautes températures. Les résultats obtenus sont tout à fait remarquables.

C'est ainsi que l'on a contrôlé soigneusement les propriétés du vieillissement du métal et ses effets à température normale et au-dessous de zéro. On a ainsi constaté que le standard moyen de qualité est remarquable. C'est bien ce qui ressort de l'examen de diagrammes à trois dimensions illustrant les résultats de plusieurs milliers d'essais.

Certains diagrammes interprètent les propriétés de choc et de traction transversale des tôles normalisées pour différents degrés d'étirage à froid (avec ou sans vieillissement artificiel) sous températures d'essai. L'étirage à froid fut obtenu par allongements jusqu'à 10 %. Les essais furent faits sous températures comprises entre $\pm 20^{\circ}$ et -40° C.

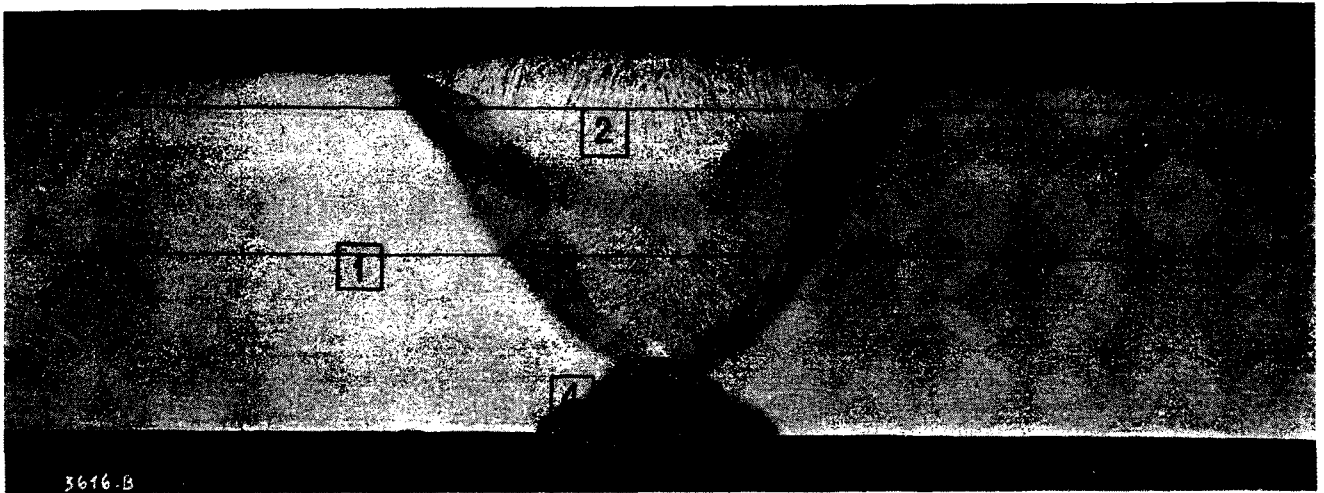
L'observation de ces diagrammes montre que la valeur de E augmente en même temps que l'étirage à froid et les températures décroissantes. L'influence du vieillissement devient presque constante pour une déformation de 2 % avec une diminution légère lorsque la température s'abaisse.

Les diagrammes d'allongement ont évidemment une direction opposée à ceux de traction. On peut noter cependant que même dans les conditions les plus défavorables d'érouissage et de température, les valeurs d'allongement restent

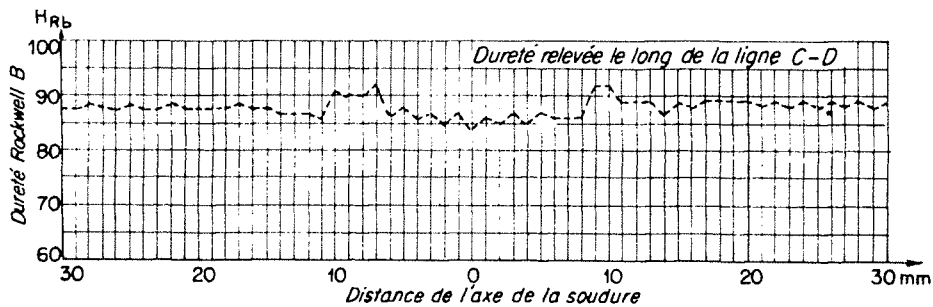
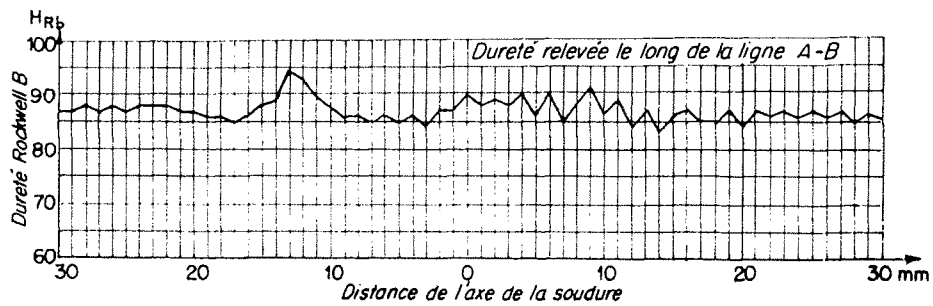
TABLEAU III

Tôle d'acier COF.3 normalisée de 30 mm d'épaisseur soudée par le procédé de l'arc submergé.

Chanfrein à 40°;
Soudure secondaire à la main;
Soudure principale à la machine automatique « Unionmelt »;
Pas de traitement thermique après soudure.



EXAMEN MACROGRAPHIQUE

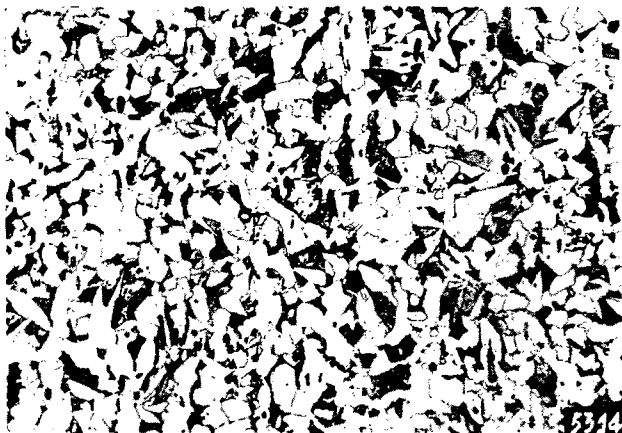


ESSAIS DE DURETÉ

TABLEAU IV

Tôle d'acier COF.3 normalisée de 30 mm d'épaisseur soudée par le procédé de l'arc submergé.

(Cf. Tableau III)



MÉTAL DE BASE



SOUDURE



ZONE DE TRANSITION



ZONE DE TRANSITION

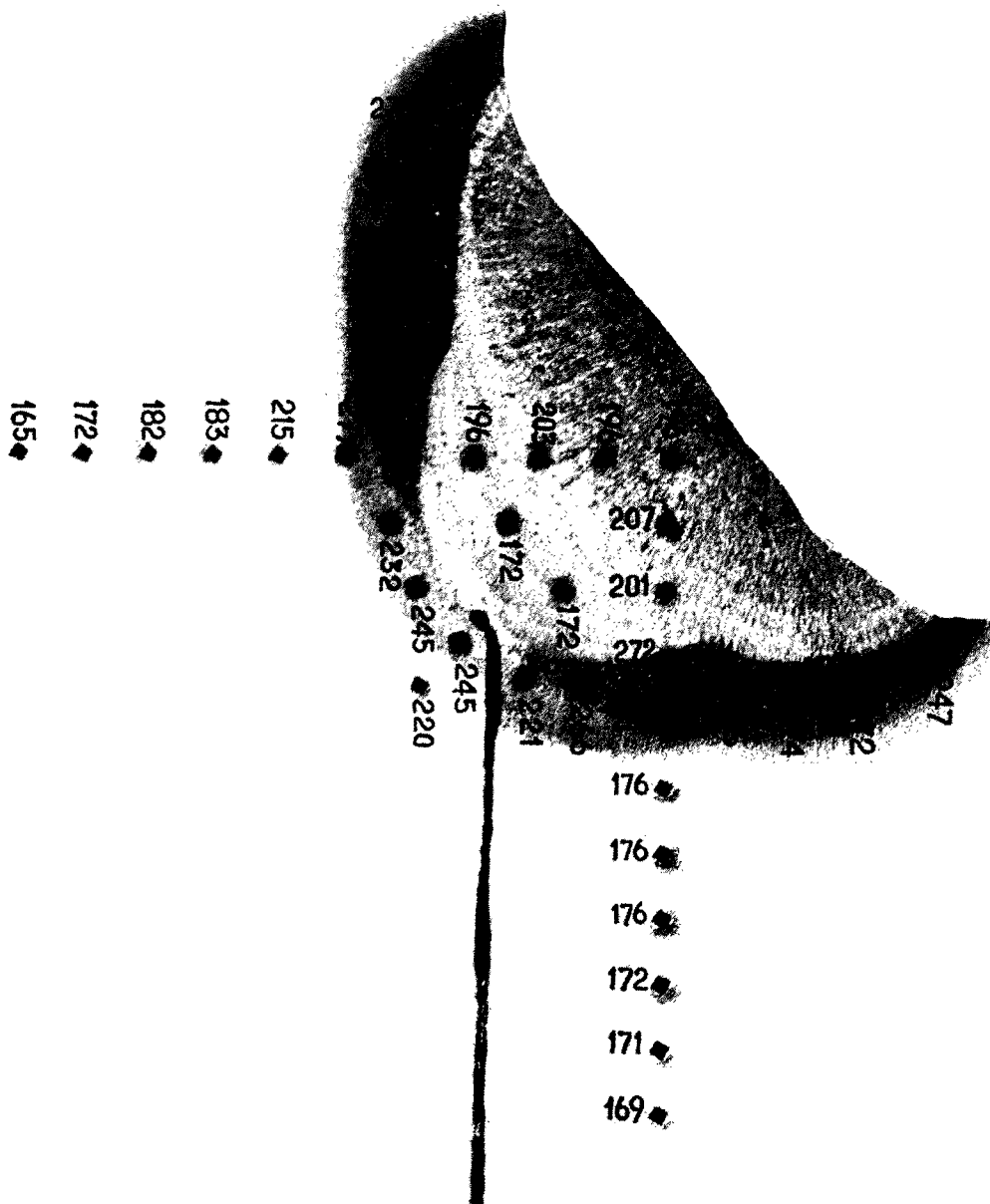
EXAMENS MICROGRAPHIQUES

bonnes pour les besoins d'une construction normale. D'autre part, l'allongement augmente lorsque la température d'épreuve s'abaisse. Quant aux effets de vieillissement, ceux-ci augmentent jusqu'à un écrouissage de 3-4 %; ils deviennent ensuite constants et sont légèrement réduits pendant que la température d'essai est abaissée.

Les diagrammes relatifs à la résilience ont des aspects semblables à ceux de l'allongement avec des décroissances plus accentuées en fonction du degré d'écrouissage et des températures décroissantes. L'influence du vieillissement jusqu'aux déformations de l'ordre de 3 % et jusqu'aux températures de l'ordre de -10°C est très faible; elle ne devient apparente qu'aux faibles de-

grés d'écrouissage et aux très basses températures (-30°C). En dépit des conditions d'essai défavorables, les résiliences considérées restent pleinement satisfaisantes. A de très basses températures d'épreuve, les résiliences, après écrouissage de 10 % et vieillissement artificiel, sont réduites de moins de 50 % et cela apporte une conclusion favorable quant au non-vieillissement de l'acier COF.3. Par ailleurs, on a remarqué un accroissement inattendu de l'indice de qualité lorsque la température d'essai diminue et que dans les conditions les moins favorables l'indice de qualité est très satisfaisant. Les diagrammes sus-mentionnés sont reproduits ci-contre en des tableaux numérotés de I à IX.

TABLEAU V



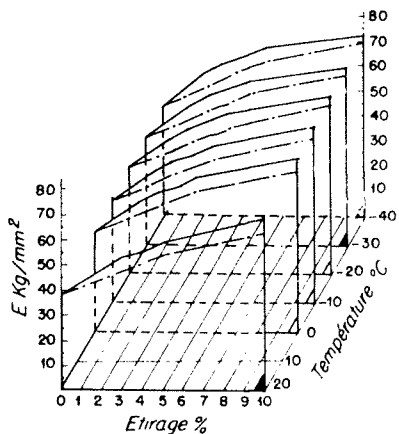
Essai de féture fait sur une tôle COF.3 normalisée. Epaisseur 12 mm. Soudures à la main.

NOMBRES DE DURETÉ WICKERS OBTENUS PAR LE PROCÉDÉ TURON

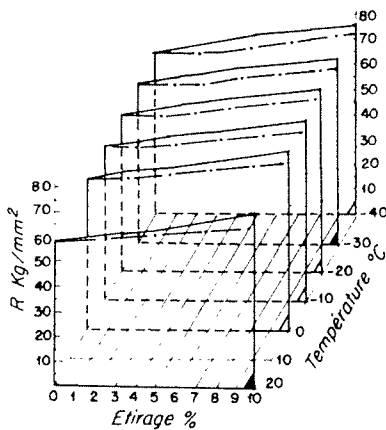
TABLEAU VI

Influence de la température d'essai et de l'écroutissage sur les caractéristiques de l'acier COF.3.

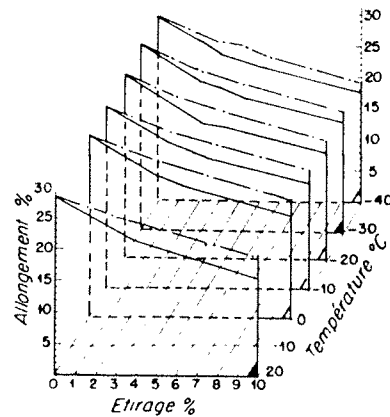
Eprouvettes prises sur tôles normalisées de 19 à 26 mm d'épaisseur



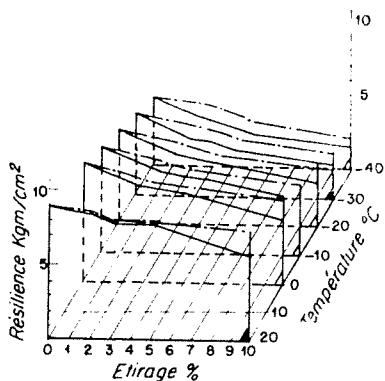
LIMITE ÉLASTIQUE



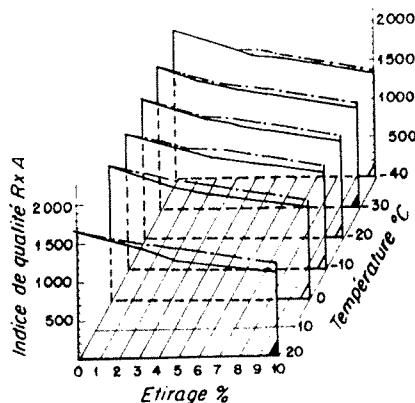
RÉSISTANCE A LA RUPTURE



ALLONGEMENT Ap 5 %



RÉSILIENCE

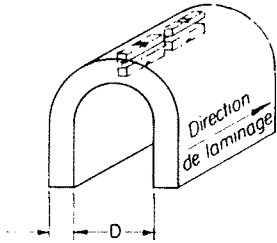


INDICE DE QUALITÉ R x A

- Après étirage à froid
- Après étirage à froid et vieillissement artificiel (250°C pour 1 h)
- ▲ Courbes moyennes des valeurs de 10 coulées
- △ Courbes des valeurs d'une coulée

TABLEAU VII

Essais de pliage à froid sur tôles COF.3 de 28 à 30 mm d'épaisseur de 150×400 de tôles de différentes coulées pliées à branches parallèles sur 3 e



VALEURS MOYENNES DES RÉSILIENCES SUR ÉPROUVETTES LONGITUDINALES PRÉLEVÉES DANS LE PLAN AXIAL DU PLIAGE, A CONTACT AVEC L'EXTRADOS ET L'INTRADOS DU MÊME

Réf.	Position des essais	Etat du métal	Valeurs moyennes de κ kg/cm ²	Diminutions %	
				Totales	par rapport à l'état précédent
1	Avant le pliage	Normalisé	9,13	---	---
2	Dans l'extrados	Normalisé et étiré à froid	6,33	30 %	---
3	Dans l'extrados	Normalisé et étiré à froid	4,50	51 %	30 %
4	Dans l'intrados	Normalisé et refoulé à froid	8,60	6 %	---
5	Dans l'intrados	Normalisé, refoulé à froid et vieilli artificiellement	5,16	43 %	40 %

TABLEAU VIII

TABLEAU IX

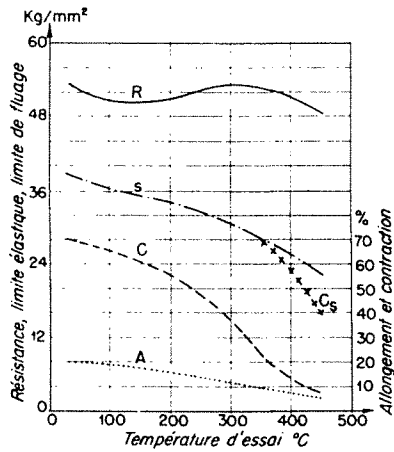
Caractéristiques mécaniques à températures élevées des tôles d'acier COF.3 normalisées et adoucies.

(Valeurs moyennes sur 10 coulées)

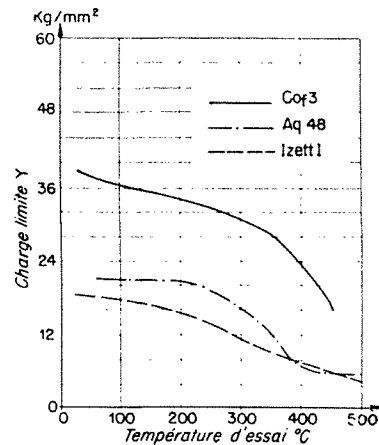
ESSAIS DE TRACTION DE COURTE DURÉE selon les spécifications D.I.N.1602. Essais de viscosité selon les spécifications DIN-A-117.

Valeurs de la limite de sécurité Y de différents aciers.

Comme spécifié par l'ASSOCIATION NATIONALE DE CONTROLE DE COMBUSTION, Rome.



- R Résistance à la rupture
- - - s Limite élastique
- +++++ Cs Limite de fluage
- - - C Contraction
- A Allongement



Le tableau A ci-dessous donne quelques-unes des valeurs utilisées pour l'établissement des diagrammes mentionnés. Ces valeurs représentent

la moyenne de dix coulées. Elles sont donc particulièrement significatives.

TABLEAU A

INFLUENCE DE L'ÉCROUISSAGE ET DU VIEILLISSEMENT ARTIFICIEL SUBSÉQUENT SUR LES PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES DE L'ACIER COF. 3.

Caractéristiques mécaniques moyennes de tôles normalisées de 9 à 26 mm d'épaisseur provenant de 10 coulées.

Essais à température ambiante

ETAT	E kg/mm ²	R kg/mm ²	A %	K (ISA) kgm/cm ²
Normalisées	37,8	58,	28,4	11,4
Déformées à froid par allongement de 3 %	47,5	59,8	25,2	9,5
Déformées à froid par allongement de 3 % et vieilles (250° C pendant 1 h)	52,7	61,7	23,	9,3
Déformées à froid par allongement de 5 %	53,9	61,	23,8	9,5
Déformées à froid par allongement de 5 % et vieilles (250° C pendant 1 h)	58,8	63,	20,1	9,3
Déformées à froid par allongement de 10 %	62,2	64,7	19,	8,9
Déformées à froid par allongement de 10 % et vieilles (250° C pendant 1 h)	68,7	69,8	15,8	6,9

Essais à température de 30° C au-dessous de zéro

ETAT	E kg/mm ²	R kg/mm ²	A %	K (ISA) kgm/cm ²
Normalisées	42,7	63,1	29,4	6,3
Déformées à froid par allongement de 3 %	53,6	63,6	25,4	5,6
Déformées à froid par allongement de 3 % et vieilles (250° C pendant 1 h)	59,2	67,9	23,6	4,4
Déformées à froid par allongement de 5 %	60,1	66,4	23,6	4,6
Déformées à froid par allongement de 5 % et vieilles (250° C pendant 1 h)	65,5	70,5	21,3	3,7
Déformées à froid par allongement de 10 %	68,2	70,9	19,2	3,5
Déformées à froid par allongement de 10 % et vieilles (250° C pendant 1 h)	71,6	74,5	17,4	2,5

Dans les constructions soudées, non seulement le métal de base, mais également les joints soudés peuvent être soumis à l'action de l'écroissage à froid, du fait des déformations à froid qui sont la conséquence des procédés de fabrication spéciaux en matière de construction de conduites forcées, des effets de retrait dus à la soudure et des adaptations sous charge.

Dans le but de contrôler cet aspect de la question, des échantillons furent préparés avec des tôles de 26 mm d'épaisseur appartenant à 5 coulées différentes. Les échantillons furent soudés par rapprochement à la main en utilisant des électrodes enrobées basiques. De ces échantillons des éprouvettes furent prises à travers la sou-

dure pour être soumises à un écroissage et à un vieillissement artificiel. Ces éprouvettes furent déformées à froid par allongement jusqu'à 5 % — ainsi que cela se produit dans la fabrication des tuyaux surpressés — et utilisées pour la préparation d'éprouvettes de traction et de choc. Les résultats moyens sous diverses conditions d'essai sont indiqués dans le tableau B ci-après en comparaison avec les résultats de la même sorte d'épreuves faites sur le métal de base des tôles des cinq mêmes coulées. Dans ce tableau on peut noter dans les deux cas une grande similitude de l'écroissage à froid et du vieillissement artificiel sur E et R. Plus prononcée est cependant l'influence des facteurs ci-dessus sur

les allongements des éprouvettes soudées. Comme pour le choc, les éprouvettes soudées semblent être moins affectées que les tôles. En tout cas, les propriétés de choc et de traction sont tout

à fait suffisantes pour assurer de larges marges de sécurité, et le tableau complet apparaît satisfaisant quand on l'examine de ce point de vue particulier.

TABLEAU B

ESSAIS DE VIEILLISSEMENT ARTIFICIEL ET D'ÉCROUISSAGE EN PLEINE SOUDURE
D'ÉPROUVETTES SOUDÉES BOUT A BOUT, ÉPAISSEUR 26 MM, PROVENANT DE CINQ COULÉES
Valeurs moyennes de caractéristiques mécaniques d'éprouvettes recuites à 650° C.

PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES TRANSVERSALES
DE QUELQUES TOLES NORMALISÉES
DE 26 MM D'ÉPAISSEUR (*Valeurs moyennes*)

Essais à température ambiante
éprouvettes de choc prises dans le milieu de la soudure

Essais à température ambiante

ETAT	E kg/mm ²	R kg/mm ²	A %	K (ISA) kgm/cm ²
Normalisées	39,1	56,6	21,4	15,
Déformées à froid par allongement de 3 %	49,7	59,5	18,9	14,8
Déformées à froid par allongement de 3 % et traitement thermique de vieillissement artificiel (250° C pendant 1 h)	55,8	62,5	18,	14,4
Déformées à froid par allongement de 5 %	53,0	61,4	15,3	12,7
Déformées à froid par allongement de 5 % et vieilles (250° C pendant 1 h)	57,2	64,3	13,4	12,3

ETAT	E kg/mm ²	R kg/mm ²	A %	K (ISA) kgm/cm ²
Normalisées	37,7	55,5	29,6	11,6
Déformées à froid par allongement de 3 %	44,5	57,1	26,3	10,1
Déformées à froid par allongement de 3 % et vieilles (250° C pendant 1 h)	50,3	59,	23,7	9,7
Déformées à froid par allongement de 5 %	51,5	58,5	24,8	10,1
Déformées à froid par allongement de 5 % et vieillissement artificiel (250° C pendant 1 h)	56,8	61,3	20,9	8,5

Les résultats obtenus lors de l'utilisation de l'acier COF. 3 ont conduit leurs auteurs à en envisager l'usage à d'autres emplois.

Il leur paraissait intéressant pour cela de vérifier l'aptitude de cet acier aux constructions d'appareils thermiques et chimiques en vue de profiter de ses hautes qualités de traction associées à celles de leur non-vieillessement.

On a donc fait des essais pour déterminer les propriétés mécaniques de cet acier à des températures élevées sous traction de courte durée et des essais de viscosité. Ces essais, trop peu nombreux pour conduire à des conclusions statistiques définitives, sont cependant suffisants dans un cadre d'orientation et de comparaison approximative avec d'autres aciers habituellement utilisés pour cet objet.

Les résultats de tels essais sont rapportés en des tableaux où l'on examine les valeurs de li-

mite de sécurité spécifiées par l'A.N.C.C. Celles-ci sont comparées avec celles spécifiées par la même organisation pour un acier de chaudière du type Aq 48 UNI 815 avec R 48 à 55 kg/mm² ainsi qu'avec l'acier IZETT I sans vieillissement de KRUPP. Ces comparaisons mettent en évidence les excellentes qualités de l'acier COF. 3.

Nous avons nous-mêmes complété les essais de M. FURNACI par des essais effectués d'après les principes de M. SCHNADT sur l'acier type « CONFOR E » que nous utilisons habituellement en France sur les conduites forcées, notamment pour la fabrication des tuyaux surpressés.

Une tôle d'acier nuance « CONFOR E », au chrome-cuivre manganèse, de 12 mm d'épaisseur, élaborée suivant les spécifications techniques du Marché et Cahier des Charges de la Société Hydrotechnique de France pour la Fourniture et le

Montage des Conduites forcées en métal et de leurs accessoires, — a été recuite à 850° C puis découpée à froid en :

8 éprouvettes de traction de section 50 × 12 mm, repérées A1, A2, -- B1, B2, -- C1, C2, -- D1, D2, et :

5 plaques de 200 × 160 repérées deux fois : E1, E2, E3, E4 et une fois G1, G2 (voir fig. 1 ci-dessous).

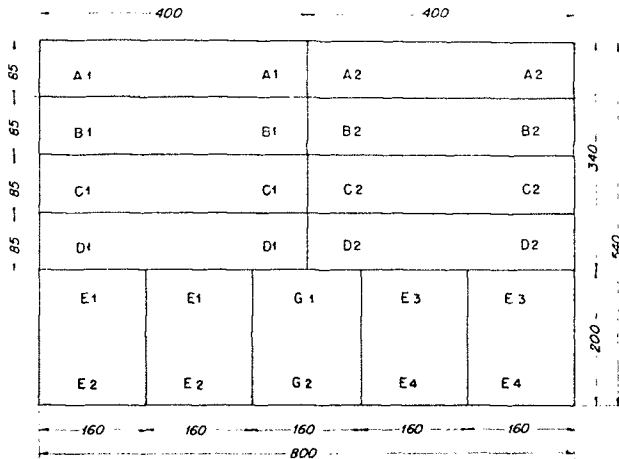


FIG. 1.

Echantillon tôle CONFOR E, épaisseur 12 mm. Sens du laminage →

Les éprouvettes de traction ont subi les allongements permanents suivants, mesurés sur une base de 100 mm (voir fig. 2 ci-dessous) :

- A1, A2..... 1 %
- B1, B2..... 2 %
- C1, C2..... 3 %
- D1, D2..... 5 %

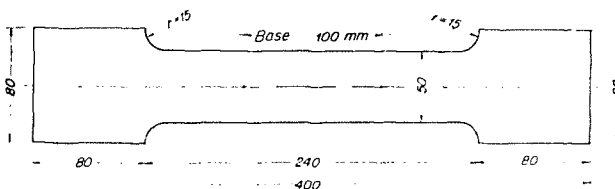


FIG. 2.

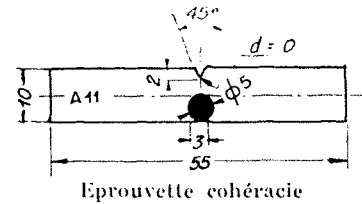
Eprouvettes de traction A, B, C, D.

Les plaques de 200 × 160 ont été soudées deux par deux :

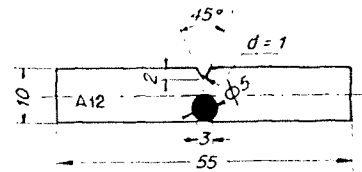
- E1, E2 : soudure main, électrode Marine 55.
- E3, E4 : soudure main, électrode Marine 45.

Ces soudures n'ont subi aucun traitement thermique après leur exécution. La plaque G1, G2 reste représentative de l'acier normalisé.

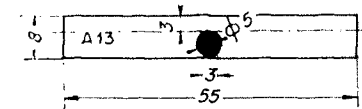
Trois éprouvettes dénommées, par M. SCHNADT,



Eprouvette cohérente



Eprouvette résilicée



Eprouvette dynacitée

FIG. 3.

ÉPROUVETTES SCHNADT

de cohérente (Ko), résilicée (K1), dynacitée (Ki), (voir fig. 3 ci-dessus) ont été prélevées dans chacun des échantillons ci-dessus définis (voir fig. 4, 5, 6 ci-après) et ont permis de tracer les diagrammes de choc de l'acier « CONFOR E » (voir fig. 7).

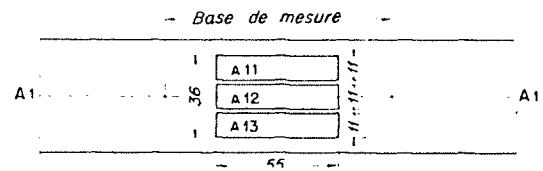
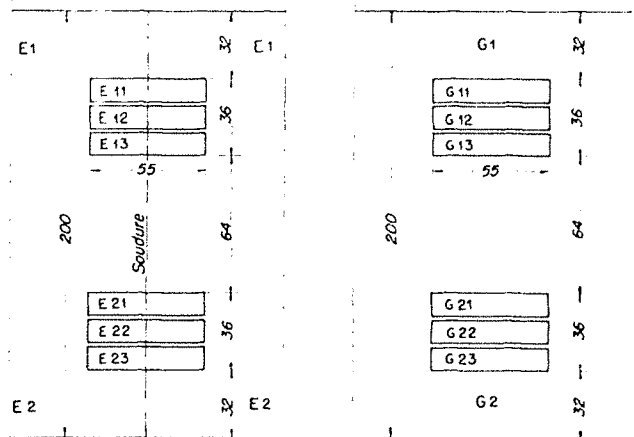


FIG. 4.

Position des éprouvettes de cohérente, résilicée, dynacitée dans les éprouvettes de traction A, B, C, D.



Position des éprouvettes de cohérente, résilicée, dynacitée, dans :

FIG. 5.

Les plaques soudées E.

FIG. 6.

La tôle normalisée G.

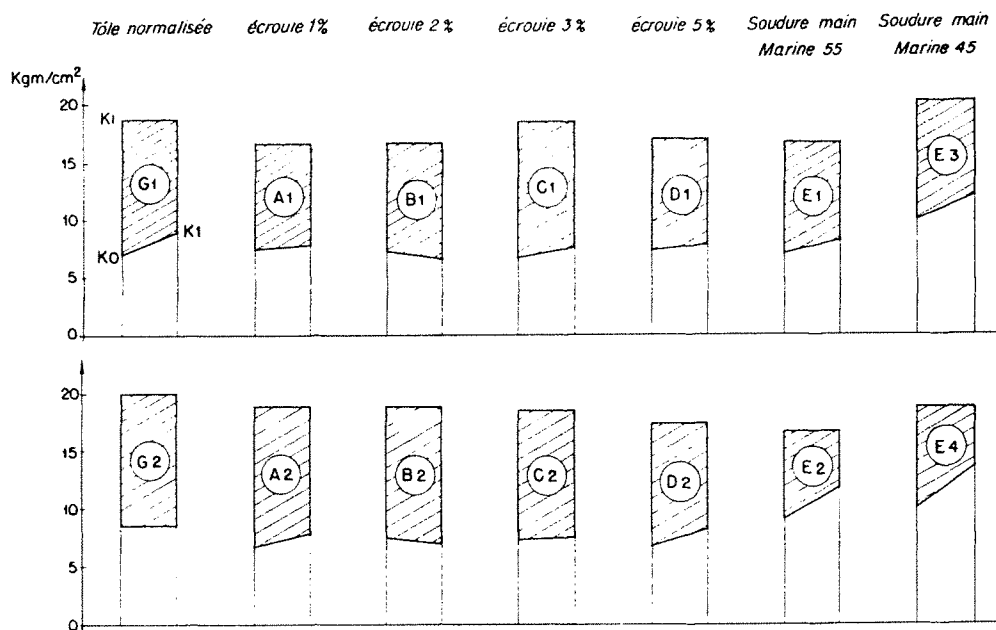


FIG. 7.

DIAGRAMMES DE CHOC SCHNADT. — ACIER CONFOR E

L'examen de ces diagrammes montre :

- Qu'un écrouissage de l'acier « CONFOR E » de 1, 2, 3 % n'entraîne pas d'augmentation de la fragilité de l'acier;
- Que l'augmentation de fragilité apportée par un écrouissage de 5 % est très faible;
- Que la soudure exécutée avec l'électrode Marine 45 est plus résiliente que celle faite avec l'électrode Marine 55, cependant plus résistante.

Il n'est pas douteux que de tels aciers utilisés à la fabrication des tuyaux équipant les plus importantes conduites forcées modernes alimentant sous hautes chutes les plus puissantes usines hydro-électriques d'Italie et de France sont tout à fait remarquables. Les opérations d'auto-frettage et de surpressage ne les rendent pas fragiles et ils donnent une sécurité exceptionnelle aux ouvrages soudés sur lesquels ils sont utilisés.

Mais ce qui compte avant tout et plus que tout, ce sont les essais systématiques sous pression hydraulique auxquels sont soumis les tuyaux surpressés au dernier stade de leur fabrication.

C'est pourquoi nous prions nos lecteurs de bien vouloir se reporter à ce que nous avons écrit à cette occasion dans un article intitulé : « A propos d'un accident survenu à une conduite après quarante ans d'exploitation » (*).

Et pour terminer nous n'hésitons pas à repro-

duire *in extenso* certaines des importantes conclusions que nous avons tirées :

« On peut tout d'abord affirmer que l'emploi des tuyaux surpressés et des tuyaux auto-frettés surpressés donne à l'exploitant la sécurité la plus complète qu'il soit possible d'obtenir en matière de conduites forcées. Le coefficient de sécurité est vérifié expérimentalement par rapport à la limite élastique réelle du métal utilisé, qui, on le sait, est toujours supérieure au minimum théorique, c'est-à-dire que le coefficient de sécurité réel est toujours supérieur au coefficient de sécurité théorique.

« On peut également affirmer que pour les tuyaux surpressés et les tuyaux auto-frettés surpressés, il n'y a aucun inconvénient à réduire le coefficient de sécurité théorique admis jusqu'à maintenant jusqu'au minimum compatible avec l'épreuve au double, c'est-à-dire : 2.

« Pour les tuyaux simplement soudés, une sécurité du même genre ne peut être obtenue qu'autant que l'épreuve hydraulique est poussée jusqu'à atteindre une déformation plastique de 0,5 à 1 % en construisant, ainsi que nous avons déjà eu l'occasion de le faire pour une importante conduite forcée en Italie, des tuyaux à « limite élastique et coefficient de sécurité contrôlés ».

« Cela permet d'envisager pour les tuyaux soudés la réduction jusqu'à 2 du coefficient de sécurité, comme pour les tuyaux précédents, et de réaliser ainsi de nouvelles et importantes économies de métal. »

(*) Cf. *la Houille Blanche*, n° 1, janv.-févr. 1953.