

REHABILITATION ET MAINTENANCE DES CONSTRUCTIONS METALLIQUES

DÉFAUTS ET CARACTÉRISATION DES MATÉRIAUX

1.3.1 DÉFAUTS RENCONTRÉS SUR MATÉRIAUX MÉTALLIQUES ANCIENS

Rappelons pour les fontes les faibles caractéristiques en traction et pour le fer puddlé, l'anisotropie des caractéristiques de ductilité et l'état inclusionnaire nocif vis-à-vis de procédés d'assemblage par soudage. Pour les aciers, d'une façon générale, les défauts cités ci-après peuvent se rencontrer sur des matériaux antérieurs aux années 1975 – 1980 et sont liés aux modes d'élaboration de l'époque.

- **La soudabilité** : la soudabilité des matériaux métalliques employés dans la construction des ouvrages d'art n'a fait l'objet de prescriptions qu'avec l'emploi de la soudure comme mode de réalisation des assemblages. En conséquence, tout ouvrage rivet, mais aussi soudé (antérieur à 1970 env.) doit faire l'objet d'une étude métallurgique de caractérisation de ce critère. La figure 21 présente la rupture d'une diagonale tendue de poutre triangulée sous l'effet d'une soudure de faible dimension destinée à solidariser un garde corps à la diagonale. Cette disposition a entraîné la rupture de la pièce par effet de trempe locale avec formation de structures métallographiques fragiles, la formation d'une fissure puis la rupture de la pièce.



Fig. 21 : Rupture d'une diagonale tendue sur un point de soudure

1.3.1 DÉFAUTS RENCONTRÉS SUR MATÉRIAUX MÉTALLIQUES ANCIENS

- La fragilité aux chocs : les aciers anciens généralement non soudables sont sensibles aux chocs et présentent des ruptures en pleine tôle par manque de déformation plastique.



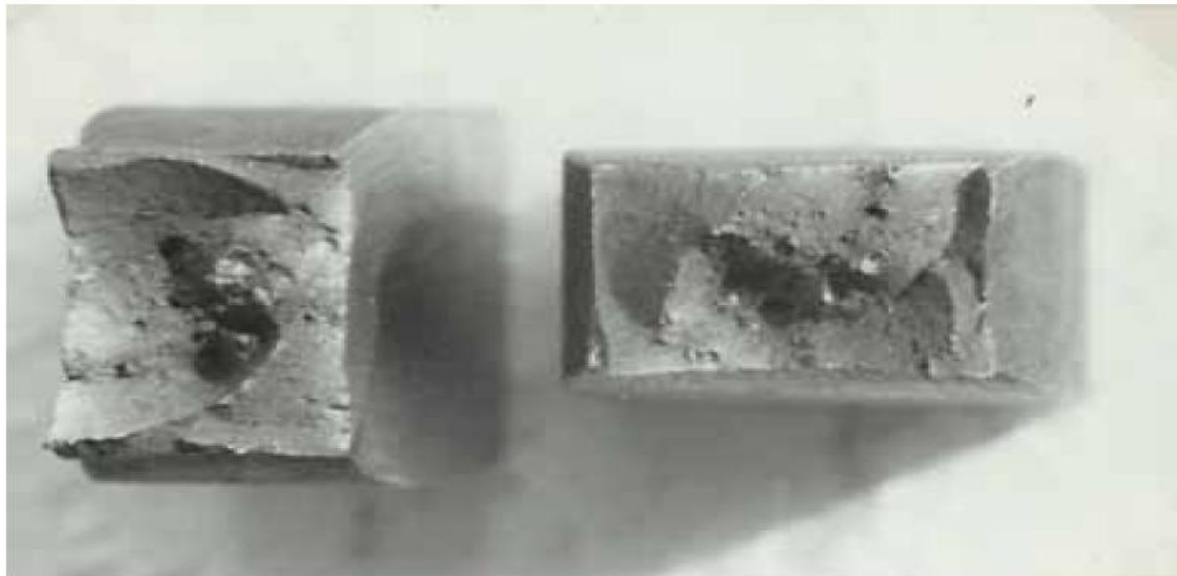
Fig. 22 : Fragilité au choc sur acier des années 1920 env.

1.3.1 DÉFAUTS RENCONTRÉS SUR MATÉRIAUX MÉTALLIQUES ANCIENS

■ L'état inclusionnaire :

Les inclusions dans l'acier sont :

- les oxydes
- les aluminates
- les silicates
- les sulfures



Les deux premières de type globulaire sont peu nocifs au soudage, les deux autres de type allongé génèrent des concentrations de contraintes en extrémité d'inclusions et peuvent initier des fissures à froid qui, par la suite, peuvent se développer sous effet de fatigue.

1.3.1 DÉFAUTS RENCONTRÉS SUR MATÉRIAUX MÉTALLIQUES ANCIENS

- **Les soufflures profondes** : l'effervescence des aciers ou un calmage insuffisant entraîne la formation de porosités dont les surfaces oxydées ne sont pas refermées lors du laminage. Ce défaut affaiblit le matériau principalement dans le sens de l'épaisseur (travers court)



Fig. 24 : Porosité dans la masse d'un acier des années 1970 env.

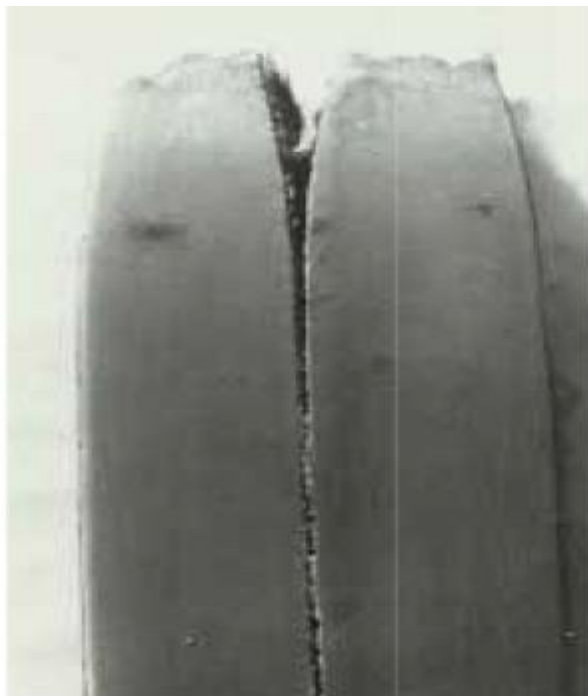
1.3.1 DÉFAUTS RENCONTRÉS SUR MATÉRIAUX MÉTALLIQUES ANCIENS

- **Dédoublures** : les dédoublures correspondent à la présence d'une retassure secondaire lors de la solidification du métal dans le lingot ou d'un chutage insuffisant en tête de lingot. Ce défaut a disparu avec le développement de la coulée continue (1975 - 80). La résistance au travers court est sensiblement nulle.

Les faces des dédoublures sont généralement oxydées et peuvent présenter des résidus de scories nocives vis-à-vis des opérations de soudage.

Corrosion foisonnante

au niveau d'une dédoublure de la tôle sur ouvrage en service.



Eprouvette de traction dédoublée



Dédoublure multiple sur un large plat



Fig. 25 : Dédoublures sur essais de laboratoire et sur ouvrage.

1.3.1 DÉFAUTS RENCONTRÉS SUR MATÉRIAUX MÉTALLIQUES ANCIENS

- **Les pailles** : ces défauts de surface correspondent à des repliures lors du laminage dont les faces oxydées forment une discontinuité du métal dans le sens de l'épaisseur.

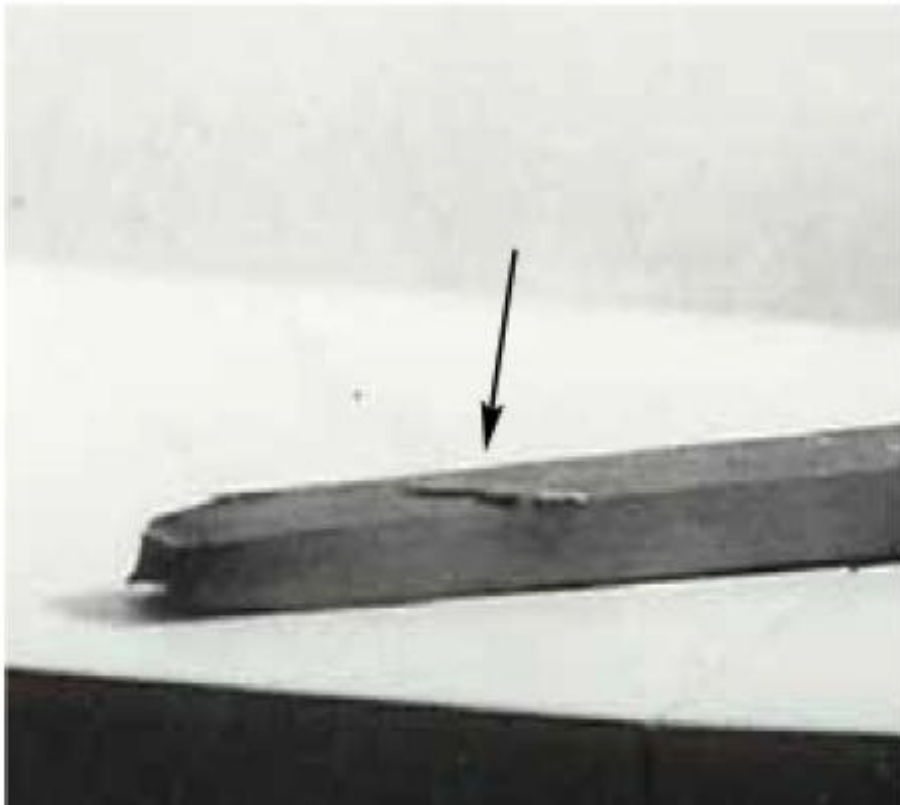


Fig. 26 : Pailles sur éprouvette d'essai et sur ouvrage

1.3.2 DATATION ET CARACTÉRISATION DES MATÉRIAUX

Pour assurer la surveillance, la maintenance et la réparation des ouvrages, le premier point à examiner est la date de construction et des éventuelles réparations réalisées. D'une façon générale ces éléments sont contenus dans le dossier d'ouvrage, mais souvent une reconnaissance et une vérification des caractéristiques mécaniques des matériaux employés s'avèrent nécessaire.

La caractérisation des aciers peut être réalisée par analyse chimique (teneur en carbone, manganèse, silicium, ... teneur en éléments fragilisants...), métallographie (structure, grosseur de grains, état inclusionnaire...), accompagnées, si la dimension des prélèvements le permet, d'essais mécaniques, essais de traction et de résilience.

L'analyse chimique est généralement réalisée au spectromètre à étincelles, ce qui permet une caractérisation rapide des principaux éléments à l'exclusion de l'azote. Ce procédé n'est pas adapté à l'analyse du fer puddlé, car la présence des inclusions peut fausser les résultats. Dans ce cas, une analyse chimique par dissolution sera préférable. L'interprétation des résultats permet de caractériser le matériau (fonte, fer, acier), le mode d'élaboration, la présence d'éléments fragilisants et, pour partie, d'apprécier la soudabilité.

L'examen métallographique complète l'analyse précédente en apportant des éléments sur la grosseur de grains et, par suite, la fragilité, ainsi que sur l'état inclusionnaire des fers puddlés et des aciers anciens. Accompagné d'une mesure de dureté, il permet d'apprécier les caractéristiques et le comportement vis-à-vis de l'assemblage par soudage.

1.3.2 DATATION ET CARACTÉRISATION DES MATÉRIAUX

Des prélèvements plus importants permettent de réaliser des essais de traction et/ou de résilience pour une approche précise de ces caractéristiques et l'attribution à une nuance et qualité. Dans le cas de l'étude d'un phénomène particulier, ces prélèvements permettent la réalisation des investigations adaptées.

Les prélèvements sur ouvrage doivent être représentatifs des différentes pièces et la réalisation des prélèvements est une opération délicate qui doit être effectuée en connaissance des efforts auxquels sont soumis les pièces sans prendre le risque d'affaiblissement de la structure. Le prélèvement de certaines pièces constitue une véritable opération de travaux avec un projet de bureau d'étude. Le nombre de pièces prélevé est toujours limité. Ainsi, il est judicieux de multiplier les petits prélèvements en extrémité de pièce pour analyse chimique et examen métallographique. Les structures rivées se prêtent bien à ce type d'analyse. Le prélèvement sur une structure soudée fera toujours l'objet d'une réflexion afin de ne pas générer d'effet d'entaille sur les pièces qui pourrait se développer en fissuration sous effet de fatigue de la structure.



Fig. 27 : Prélèvement en extrémité de pièce pour analyse chimique et examen métallographique.

1.3.2 DATATION ET CARACTÉRISATION DES MATÉRIAUX

Ces prélèvements en extrémité de pièce par coupe sans échauffement, ou par réalisation de copeaux par perçage permettent les analyses suivantes :

- Analyse chimique des éléments principaux C, Mn, Si, et des impuretés S, P, N. Pour les aciers plus récents, l'analyse des éléments dispersoïdes Nb, V peuvent présenter des compléments d'information. Cette analyse doit permettre d'apprécier le mode d'élaboration et les risques liés à la présence d'impuretés. Pour les fers puddlés, l'analyse par spectromètre à étincelles est déconseillée car la matrice est trop hétérogène, l'analyse par dissolution sera préférée.
- L'examen métallographique permet d'apprécier l'état inclusionnaire du matériau et l'incidence sur la soudabilité.
- La mesure de dureté permet d'apprécier les caractéristiques de résistance du matériau en référence à la norme NF EN ISO 14577 – indice de classement A 03155.

Dans le cas de la possibilité de prélèvements plus importants, il est possible de réaliser des essais mécaniques, essais de traction, de résilience par exemple. Il est souvent difficile de respecter les emplacements de prélèvement d'éprouvettes définis par les normes produits. La présence de ségrégation, d'effet de bord ...doivent être pris en compte dans l'interprétation des résultats par rapport aux normes. Pour un essai de traction, un prélèvement de 150 mm semble un minimum en respectant le sens de prélèvement : sens travers pour les tôles et sens long pour les profilés. Pour les essais de résilience, le prélèvement en sens long est systématique ; les dimensions des éprouvettes normalisées sont la règle.

Ainsi, en fonction du but à atteindre, il apparaît nécessaire de pousser la détermination de la composition chimique au-delà des éléments de base que constituent les éléments C, Mn, Si, S et P.

1.3.2 DATATION ET CARACTÉRISATION DES MATÉRIAUX

La caractérisation selon les normes de produits et les besoins d'expertises amène à proposer des analyses avec au minimum les éléments suivants :

Éléments à doser																		
	C	Mn	Si	S	P	Ni	Cu	Cr	Mo	V	Nb	Sn	Al	As	Ti	Zr	Co	N
Fonte - fer puddlé	x	x	x	x	x													
Aciers anciens et soudabilité	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x				x
Aciers autopatinables	x	x	x	x	x	x	x	x	x				x			x		x
Aciers modernes	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x		x			x

Tableau VIII : Éléments à doser

C et Mn interviennent sur les caractéristiques de traction et la soudabilité

N, Cu, Cr, Ni caractérisent les élaborations Martin, Thomas, Oxygène

Si et Al différencient les nuances effervescentes et calmées

Mo, V, Nb caractérisent les aciers à dispersoïdes des années 1970 environ

As caractérise les aciers élaborés à partir de minerai lorrain