



LA SOLUTION FERRITIQUE

PROPRIÉTÉS | AVANTAGES | APPLICATIONS

ISSF
INTERNATIONAL
STAINLESS STEEL





International Stainless Steel Forum (ISSF)

Fondé en 1996, l'International Stainless Steel Forum (ISSF), organisation de recherche à but non lucratif, est le forum international traitant des différents aspects de l'industrie de l'acier inoxydable dans le monde. Bien qu'il ait son propre conseil d'administration, son budget et son Secrétaire Général, l'ISSF est membre de l'International Iron and Steel Institute (IISI). Aujourd'hui l'ISSF comprend 67 sociétés et membres affiliés de 24 pays. Ensemble, ils produisent environ 85% de la production mondiale d'acier inoxydable. La liste complète des membres est disponible sur le site de l'ISSF : www.worldstainless.org.

Table des matières

SOMMAIRE: « LA SOLUTION FERRITIQUE » PAR JEAN-YVES GILET	5
AVANT-PROPOS: « UN ACIER DONT L'HEURE EST VENUE » PAR ICDA	6
CE QU'ILS DISENT SUR LES FERRITIQUES	9
LES « FABULEUX FERRITIQUES »	13
RÉSISTANCE À LA CORROSION	21
PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES ET PHYSIQUES	27
MISE EN OEUVRE DES NUANCES FERRITIQUES	31
ASSEMBLAGE DES NUANCES FERRITIQUES	37
PRODUITS ET APPLICATIONS	45
ANNEXES:	
LA COMPOSITION CHIMIQUE DES ACIERS INOXYDABLES FERRITIQUES	59
FINITIONS DE SURFACES	63
RÉFÉRENCES	64
MEMBRES DE L'ISSF	66
REMERCIEMENTS	67



CONSTRUCTION METALLIQUE EN
ACIER INOXYDABLE FERRITIQUE
PEINT POUR UN PONT
D'AUTOROUTE A DURBAN EN
AFRIQUE DU SUD.

Sommaire

« LA SOLUTION FERRITIQUE »

PAR JEAN-YVES GILET, PRÉSIDENT DU COMITÉ DE DÉVELOPPEMENT DES MARCHÉS DE L'ISSF

L'ISSF fut l'instigateur d'un projet de promotion des nuances ferritiques en février 2004, plusieurs membres ayant souligné qu'aucun effort industriel commun n'avait été fait dans cette voie.

Sous la direction du Comité du Développement des Marchés, un groupe d'experts internationaux, dirigé par Philippe Richard, a commencé à collecter des statistiques sur les nuances ferritiques et leurs applications. Des contributions sont arrivées du monde entier – en particulier du Japon, où le marché ferritique est le plus développé.

L'ICDA a aussitôt proposé de rejoindre cette initiative et de la co-financer. Nous avons accepté avec grand plaisir cet exemple concret de coopération entre organisations internationales.

Au début du projet, le cours du nickel s'est envolé, amplifiant fortement l'intérêt pour des nuances au prix plus stable. L'ISSF a donc donné la priorité absolue à ce projet ! Aujourd'hui, je suis fier de vous présenter les résultats, qui vont influencer le marché au bon moment.

Je suis convaincu que les aciers inoxydables ferritiques peuvent, et doivent, être utilisés de manière plus étendue. Le but de cette publication est de promouvoir une plus large utilisation de ces nuances.

Les aciers inoxydables sont « inoxydables » par leur teneur en chrome, qui leur fournit une remarquable résistance à la corrosion. Les nuances ferritiques, qui ne contiennent que du chrome et éventuellement d'autres éléments (Mo, Ti, Nb, etc.), ne font pas exception. Les nuances ferritiques populaires comme le 409, 410 et 430 sont largement disponibles dans le monde entier. Utilisées avec grand succès dans d'importantes applications telles que les tambours de machines à laver et les systèmes d'échappement, ces nuances ont un potentiel beaucoup plus important dans de nombreux domaines.

Des nuances ferritiques créées plus récemment, telles que les 439 et 441, répondent à un éventail de besoins encore plus large. On peut les utiliser pour créer des formes plus complexes et la plupart des méthodes usuelles d'assemblage (soudage compris) sont utilisables. Grâce à l'ajout de molybdène, la nuance ferritique 444 a une résistance à la corrosion localisée au moins égale à celle de la nuance austénitique 316.

Comme les nuances ferritiques ne comportent pas de nickel, leur coût matière est plus bas et plus stable que celui des nuances austénitiques. Elles peuvent ainsi :

- servir de complément à la nuance 304 dans la famille des aciers inoxydables (bien que la 304 reste une nuance polyvalente et souvent utilisée) ;
- être une alternative à la série 200 (en offrant des propriétés d'utilisation souvent meilleures) ;
- se substituer à d'autres matériaux dans de nombreux domaines (par exemple, l'acier au carbone, le Cu, le Zn, l'Al, le plastique, etc.), grâce à leurs propriétés techniques particulières – les motivations de cette substitution étant souvent les gains techniques et financiers en fin de vie.

Le magnétisme des aciers inoxydables ferritiques n'est pas une « mauvaise » propriété les assimilant aux aciers au carbone. Au contraire, c'est un atout particulier de ces excellentes nuances qui les démarque des autres nuances d'aciers inoxydables.

Pour obtenir les meilleurs résultats des ferritiques, il est essentiel :

- que les nouveaux utilisateurs soient formés sur les techniques de formage et d'assemblage ;
- que l'utilisateur consulte son fabricant d'acier pour choisir la nuance adaptée ;
- que l'utilisateur obtienne son matériau d'une source fiable, capable de donner des garanties concernant la nuance, la qualité et l'origine du matériau fourni.

Le haut niveau de compétence de l'équipe et le sérieux soutien de l'ICDA nous permettent aujourd'hui de vous présenter un document de référence pour notre industrie de l'acier inoxydable. Vous y trouverez des témoignages intéressants de clients qui prouvent le grand intérêt de ces développements. L'ISSF les remercie pour leurs contributions.



Jean-Yves Gilet, Président
Comité de Développement des Marchés
ISSF



Avant-propos

« UN ACIER DONT L'HEURE EST VENUE »

PAR FRIEDRICH TEROERDE DE L'INTERNATIONAL CHROMIUM DEVELOPMENT ASSOCIATION

Tout d'abord, je remercie l'ISSF pour avoir invité l'ICDA à écrire l'avant-propos de La Solution Ferritique, une publication qui est forcément éloquent pour le chrome.

L'ICDA a été créée à Paris en 1990 et comprend quelques 96 membres de 26 pays sur 5 continents. Notre mission est de promouvoir l'utilisation du chrome.

Le chrome est utilisé avec du fer et de l'acier pour produire de l'acier inoxydable et d'autres alliages. C'est un ingrédient particulier dans la fabrication de l'acier inoxydable où, élément d'alliage, c'est lui qui rend l'acier inoxydable en lui conférant une remarquable résistance à la corrosion et l'oxydation. Le chrome est disponible et facilement recyclable de par sa forme (liaison) dans l'acier inoxydable, et ne présente aucune menace pour l'environnement.

En tant qu'organisation représentant les producteurs de chrome, nous parrainons ce guide car nous sommes convaincus qu'il favorisera le développement de l'industrie du chrome. Le chrome n'est jamais utilisé seul. Le Comité du Développement des Marchés de l'ICDA a par conséquent depuis longtemps initié des projets communs avec des organisations sœurs telles que l'ISSF. Le chrome est l'élément de base de toutes les familles d'aciers inoxydables, avec une teneur moyenne de 18%. La consommation annuelle d'acier inoxydable a un taux de croissance de 5%. C'est un matériau de plus en plus utilisé dans de nombreuses applications industrielles (alimentaire, boissons, industrie minière, industrie automobile, architecture...).

Vous savez déjà que le nickel utilisé dans les aciers inoxydables « austénitiques » est sujet à des fluctuations de prix considérables en bourse (dus aux facteurs boursiers). En fait, ces dernières années, le prix du nickel a atteint de nouveaux records, impactant ainsi le coût des nuances austénitiques.

Les ferritiques, deuxième grande famille d'aciers inoxydables, sont sans nickel et ne contiennent pratiquement que du chrome. Dans le contexte de notre propre développement et compte tenu de la croissance exceptionnelle du marché de l'acier inoxydable, nous pensons aujourd'hui que nous devons encourager une utilisation plus large des nuances ferritiques.

Nous avons par conséquent été ravis par l'invitation de l'ISSF à soutenir son projet d'identification et de développement de nouvelles applications ferritiques. L'objectif louable de ce projet est d'aboutir à une croissance durable du marché de l'acier et de construire un brillant avenir pour ces excellentes nuances.

En étudiant les informations déjà disponibles sur les nuances ferritiques, nous trouvons beaucoup de références pour l'acier inoxydable en général, mais peu pour les ferritiques, bien que de telles nuances existent depuis près de 100 ans ! Ce manque d'informations a justifié le désir de l'ISSF de créer cette brochure qui fournit des données essentielles sur les propriétés techniques, les avantages et les applications potentielles des nuances ferritiques ainsi que des recommandations de fabrication. La brochure tente également de corriger certains malentendus concernant l'utilisation et les caractéristiques des aciers ferritiques.

En conclusion, l'ICDA reconnaît que l'instabilité du cours du nickel constitue un problème majeur pour les utilisateurs d'acier. Nous voulons soutenir l'industrie et ses clients en participant à la recherche de solutions. Il est clair pour nous que l'acier inoxydable ferritique, grâce à ses qualités techniques et son avantage de coût, est l'acier dont l'heure est venue !

En matière d'aciers inoxydables, les pages suivantes aideront les utilisateurs existants ou futurs à étendre l'utilisation des nuances ferritiques à de nouvelles et étonnantes applications.



Friedrich Teroerde

Président

*Comité de Développement des Marchés
ICDA*





L'ACIER INOXYDABLE FERRITIQUE
EST IDEAL POUR LES SURFACES
EXTERNES DES EQUIPEMENTS
DE CUISINE PROFESSIONNELLE.



L'ASPECT BRILLANT
DU FERRITIQUE EST UN GAGE
DE PROPRETE ET D'HYGIENE
POUR LES APPLICATIONS
ALIMENTAIRES.

Ce qu'ils disent sur les ferritiques

Depuis quelques années, les avantages économiques et la valeur technique des nuances ferritiques ont été reconnus par certains secteurs du marché. Les témoignages ci-dessous, allant des marchés existants aux nouvelles applications, prouvent que ces avantages sont de mieux en mieux assimilés.

STEFAN RAAB

**DIRECTION GENERALE DES ACHATS MATIERES,
BSH BOSCH UND SIEMENS HAUSGERATE GMBH, MUNICH, ALLEMAGNE**

« Nous utilisons les aciers inoxydables dans environ un tiers de nos produits, pour leur côté fonctionnel, leur résistance à la corrosion et leur côté esthétique. La part d'acier inoxydable ferritique est d'environ 50% aujourd'hui. Notre objectif est de l'augmenter, car, principalement, cet acier offre au client des avantages en termes de qualités fonctionnelles et esthétiques à moindre coût dans de nombreux domaines. Nous utiliserons les nuances ferritiques chaque fois que la résistance à la corrosion et la formabilité le permettront. »



ROBERTA BERNASCONI

**MANAGER, TECHNOLOGIE GENERALE - MATERIAUX,
WHIRLPOOL CORPORATION, CASSINETTA DI BIANDRONNO, ITALIE**

« En tant que fabricant d'appareils ménagers, nous utilisons les ferritiques pour nos réfrigérateurs et machines à laver et sommes en train d'étudier une conversion aux ferritiques pour les appareils de cuisson et les lave-vaisselle. L'avantage économique est tel qu'il est clair pour nos clients et nous-mêmes que nous devons utiliser beaucoup plus ces nuances.

Nous concevons en conséquence nos produits en tenant compte des contraintes de production et d'utilisation. Si besoin est nous utilisons une nuance revêtue, ou même une nuance protégée anti-traces de doigt, pour augmenter



la durée de vie en service. Parfois nous passons même à une nuance plus chargée. L'important reste de bénéficier des avantages économiques des ferritiques.

Ils sont excellents pour nos applications et, vu le prix élevé du nickel, le futur repose définitivement, pour nous, sur ces excellents aciers. »

JEAN-LOUIS LALBA

**ACHETEUR MARCHÉ POUR LE GROUPE SEB, (TEFAL, ROWENTA, KRUPS,
MOULINEX, ARNO, ALL CLAD, PANEX, ETC.), RUMILLY, FRANCE**

« Nous utilisons environ 15 000 tonnes d'acier par an, dont 40% de ferritiques. A l'origine, notre groupe utilisait les ferritiques pour les couvercles de casseroles [ce qui marchait à merveille], pour les fonds estampés ou brasés des ustensiles de cuisson par induction, et aussi pour les caissons de fours. Aujourd'hui, nous nous en servons aussi pour les poêles, si le résultat satisfait le client.



Souvent, pour ces applications, les caractéristiques des ferritiques comme la résistance à la corrosion, l'emboutissabilité et l'aptitude au polissage sont suffisantes pour nos clients et nous. Dans certains cas les ferritiques peuvent apparaître limite en termes de mise en œuvre. De même, dans certains pays, il existe des idées reçues concernant leurs propriétés ! Mais ces nuances sont parfaites pour nous dans bien des situations. Leur nature magnétique est par ailleurs essentielle pour les ustensiles de cuisson par induction. D'autre part, le prix des ferritiques est stable et fiable.

Compte tenu de notre bonne expérience avec les ferritiques, nous comptons étendre leur utilisation à d'autres applications. »



DANS L'INDUSTRIE
DU SUCRE, L'ACIER
INOXYDABLE FERRITIQUE
S'EST REVELE SUPERIEUR
A L'ACIER AU CARBONE
A TOUS POINTS DE VUE.

GAETANO RONCHI

MANAGER SENIOR, METALS PROCUREMENT, IKEA

« Nous utilisons de l'acier inoxydable pour les casseroles, les poêles, la coutellerie et les accessoires de salles de bains et de cuisines. Notre consommation annuelle de 60 000 tonnes, dont une large part est ferritique, augmente d'environ 15% tous les ans.



Mi-2003, IKEA a décidé d'adopter les nuances ferritiques comme acier inoxydable d'utilisation générale, principalement pour la stabilité du matériau et le prix prévisible. Les essais ont démontré que, pour une résistance à la corrosion optimale, les articles avec des cordons de soudure requièrent une nuance avec une teneur en chrome plus importante que le 430 standard et que, pour les éléments soudés, des opérations complémentaires sont nécessaires pour répondre aux exigences. Toutefois, cette décision a constitué une avancée dans notre développement d'articles en acier inoxydable. Notre croissance et l'utilisation de l'acier dans de nouveaux produits auraient été sérieusement compromises si nous nous étions limités aux nuances austénitiques.

De nombreux articles d'IKEA en acier inoxydable sont fabriqués par un OEM asiatique et le succès de notre migration vers les ferritiques est dû à la formation des équipes d'achat du groupe en Asie et de nos sous-traitants OEM. Notre objectif est de complètement abandonner les nuances austénitiques pour des ferritiques aux propriétés améliorées. Nous testons actuellement de nouvelles nuances ferritiques avec des propriétés améliorées d'emboutissage profond ou de résistance à la corrosion. »

MICHAEL LEUNG

MANAGER ASSISTANT, YIU HENG INTERNATIONAL COMPANY LIMITED, MACAO

« Les principaux produits de notre filiale Xinhui RiXing Stainless Steel Products, basée dans la province de Guangdong en Chine, sont les batteries et ustensiles de cuisine. Aujourd'hui, l'entreprise consomme environ 800 tonnes d'acier inoxydable par mois, dont 66% à 70% de ferritiques. Au démarrage de l'usine en 1999, nous n'utilisions les nuances de la série 400 que pour le fond des casseroles et des poêles. Nous les avons introduites dans la fabrication des corps eux-mêmes en 2002.



Les nuances ferritiques sont magnétiques et assurent une bonne conductivité thermique. Le prix n'est donc pas la seule raison de cette préférence. Elles sont facilement recyclables, donc écologiques. Lorsqu'un fabricant choisit du ferritique plutôt que du 304, il devient plus compétitif et le client achète un produit sûr à un prix moindre. Il nous faut abandonner l'idée reçue que les ferritiques, étant magnétiques, sont inférieurs en qualité et de faible résistance à la corrosion.

Dans les usines qui utilisent surtout du 304, passer aux nuances ferritiques nécessite une adaptation des procédés de fabrication et des matrices qui peut paraître chère. Toutefois, notre expérience démontre que le coût de production global peut baisser grâce aux ferritiques.

Nous sommes globalement satisfaits de l'utilisation des ferritiques. Une gamme adéquate de nuances ferritiques a été conçue afin de répondre à une grande variété d'exigences. Nous espérons que l'acier inoxydable ferritique sera davantage disponible dans les centres de distribution d'acier et utilisé de manière plus répandue. »

ATUSHI OKAMOTO

MANAGER DU SERVICE DE PRODUCTION N° 1, OSAKA WORKS, TAKARA STANDARD CORP., JAPON

« Takara Standard est un fabricant majeur de produits pour cuisines et salles de bains au Japon. Nous employons de l'acier inoxydable pour les éviers et les panneaux supérieurs de cuisines intégrées, pour les baignoires et les pièces d'assemblage de baignoires encastrées. Notre société emploie des nuances ferritiques depuis environ 40 ans, simplement parce que leurs propriétés sont suffisantes pour ces applications.



Notre réussite avec les ferritiques est due à la conception de nos produits, qui tient compte des propriétés mécaniques spécifiques de ces nuances, et nous disposons d'une technologie bien adaptée pour le formage à la presse et pour les matrices. Nous n'avons eu aucun problème majeur avec les nuances ferritiques. Lorsqu'une forme complexe est à réaliser, nous effectuons des essais pour déterminer les meilleurs paramètres.

Enfin, nous sommes très satisfaits des aciers inoxydables ferritiques. Nous tenons beaucoup à voir apparaître des informations qui peuvent aider les compagnies à sélectionner la bonne nuance ferritique pour leurs applications. »



LES TUBES SOUDÉS EN ACIER
INOXYDABLE FERRITIQUE ONT UN
BEL AVENIR DANS LE MARCHÉ
DES TUBES GRACE AUX QUALITÉS
TECHNIQUES ET ÉCONOMIQUES
DE CES NUANCES.

CLOVIS TRAMONTINA

PRESIDENT, TRAMONTINA, SAO PAULO, BRESIL.

« En tant que principal fabricant d'appareils ménagers et d'outillage au Brésil, ayant une part importante à l'exportation, Tramontina utilise aujourd'hui environ 850 tonnes d'acier inoxydable par mois, dont presque 30% de ferritique. Les produits pour lesquels le ferritique est le plus employé sont les plateaux bon marché, la coutellerie, les évier et les fonds de casseroles.



Nous utilisons les ferritiques depuis 1974, où nous avons commencé à fabriquer des ustensiles et batteries de cuisine dans notre usine de Farroupilha. La raison principale est le coût plus faible de cette matière première, ainsi que les caractéristiques et propriétés, qui sont très satisfaisantes pour ces applications.

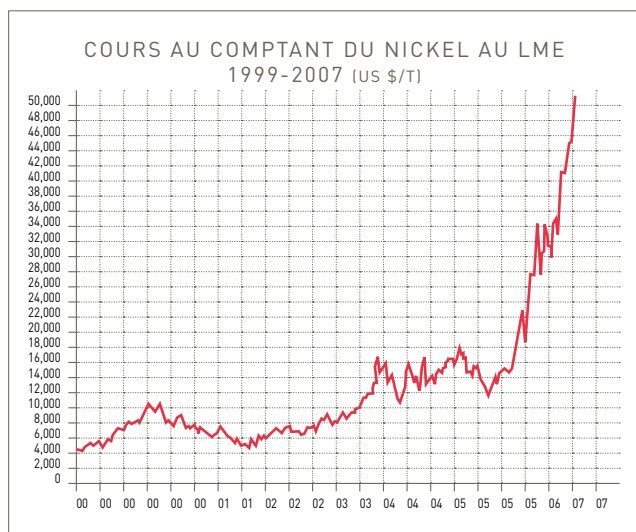
Concernant la fabrication de pièces plus profondes, telles que les éviers, les ferritiques ne se travaillent pas aussi facilement que les austénitiques et nécessitent un laminage intermédiaire. Cependant, je considère que c'est un bon choix, compte tenu du rapport coût / bénéfice. Facile à nettoyer et à entretenir, ce matériau est hygiénique. Il présente également toutes les qualités des aciers inoxydables et il est disponible dans diverses finitions de surface.

Pour conclure, nous sommes satisfaits des ferritiques que nous employons maintenant depuis longtemps. En fait, nous recherchons en permanence de nouvelles applications pour bénéficier du coût avantageux. »

Les « fabuleux ferritiques »

Face à l'explosion des coûts de matières premières, les aciers inoxydables ferritiques deviennent une solution avantageuse pour de nombreuses applications où la substitution par des matériaux économiques est essentielle.

Récemment, le prix des matières premières, telles que l'aluminium, le cuivre, le zinc et le nickel, s'est envolé. Les fabricants et utilisateurs d'acier inoxydable, en particulier, ont été affectés par le prix élevé et instable du nickel, qui fluctue tous les jours. Le nickel est le composant des nuances d'acier inoxydable « austénitique » (série 300) les plus populaires.



Les fabricants d'acier inoxydable n'ont aucun contrôle sur ces phénomènes, dont l'effet inévitable est d'augmenter et de déstabiliser le coût des nuances contenant du nickel. Cette situation force certains utilisateurs de ces nuances à chercher des matériaux à des prix inférieurs aux austénitiques, offrant des caractéristiques de fabrication et d'utilisation identiques à leurs produits ou applications.

Cette situation peut aussi rebuter certains utilisateurs potentiels d'aciers inoxydables, qui pourraient penser que les aciers inoxydables aux qualités qu'ils recherchent sont économiquement hors de leur portée.

MOINDRE COUT, PRIX STABLE

La bonne nouvelle est que les nuances d'aciers ferritiques (série 400) – dont le prix est plus bas et plus stable affichant cependant des caractéristiques techniques étonnantes – sont là, en attente, prêtes à prouver qu'elles sont une excellente alternative aux applications supposées « réservées aux austénitiques ».



Sans nickel, les nuances ferritiques contiennent du fer et du chrome (min. 10,5%). Le prix du chrome – l'élément qui fait que l'acier inoxydable est particulièrement résistant à la corrosion – est historiquement plutôt stable. Dans certaines nuances, l'ajout d'autres éléments d'alliages, tels le molybdène, renforce des propriétés spécifiques.

Les aciers ferritiques partagent la plupart des propriétés mécaniques et anti-corrosion de leurs cousins plus chers, les austénitiques, et sont même parfois meilleurs que ceux-ci pour certaines caractéristiques. Pourquoi payer inutilement du nickel ?

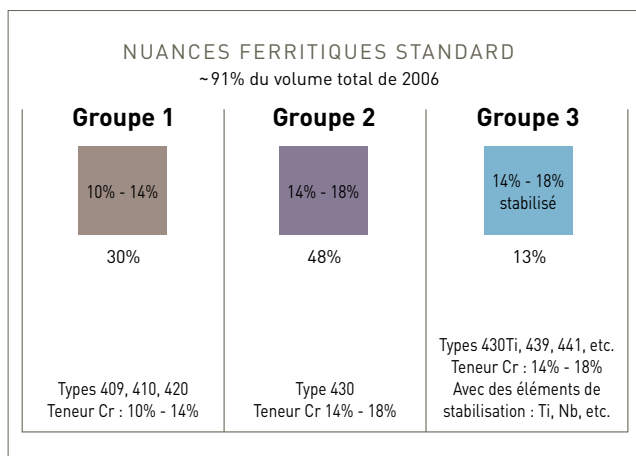
Les utilisateurs de cuivre, d'aluminium ou d'aciers inoxydables austénitiques qui cherchent une alternative peuvent être confiants. Les ferritiques sont souvent un moyen abordable et techniquement idéal de profiter pleinement des qualités uniques de l'acier inoxydable.



« Pourquoi payer inutilement du nickel ? »

LES CINQ FAMILLES « FERRITIQUES »

Les nuances ferritiques sont divisées en cinq groupes – trois familles de nuances standard et deux « particulières ». Actuellement, la plus grande utilisation des ferritiques, en termes de volumes et de nombre d'applications, concerne largement les nuances standard. Les aciers inoxydables ferritiques standard sont donc totalement satisfaisants et entièrement appropriés à bon nombre d'applications exigeantes.



Le groupe 1 (type 409/410L) a la plus faible teneur en chrome de tous les aciers inoxydables et il est également le moins cher. Ce groupe peut être idéal pour des environnements sans (ou à faible) corrosion ou pour des applications où de légères modifications d'aspect sont acceptables. Le 409 a été conçu pour les silencieux d'échappements (parties externes soumises à des milieux corrosifs peu sévères). Le 410L est souvent utilisé pour des containers, des autobus, des autocars et, récemment, pour les cadres de moniteurs LCD.

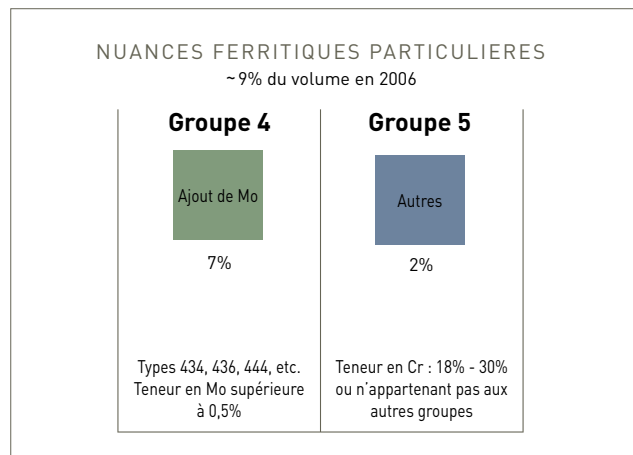
« Les aciers inoxydables ferritiques standard sont donc totalement satisfaisants et entièrement appropriés à bon nombre d'applications exigeantes. »



Containers, en nuances 409L et 410L.

Le groupe 2 (type 430) est le plus utilisé des alliages ferritiques. Avec une teneur en chrome plus importante, habituellement suffisante pour les applications intérieures où elles sont souvent utilisées (tambours de machines à laver, panneaux intérieurs, etc.), les nuances du groupe 2 offrent une plus grande résistance à la corrosion et se comportent comme l'austénitique 304 qu'elles remplacent pour certaines applications. Le 430 se substitue souvent au 304 pour les appareils ménagers, lave-vaisselle et casseroles. Pour plus d'informations sur ses caractéristiques de soudabilité, voir p. 37 et suivantes.

Le groupe 3 comprend les types 430Ti, 439, 441, etc. En comparaison avec le groupe 2, ces nuances sont plus aptes à la soudure et la formabilité et se comportent souvent mieux que les nuances austénitiques 304. Les applications habituelles comprennent les évier, les tubes d'échangeur (industrie du sucre, énergie, etc.), les systèmes d'échappement (offrant une durée de vie plus longue qu'avec le 409) et les parties soudées de machines à laver. Les nuances du groupe 3 peuvent même remplacer le 304 pour des applications où cette nuance serait sur-spécifiée.



■ Le groupe 4 comprend les types 434, 436, 444, etc. Ces nuances ont des ajouts de molybdène pour une résistance accrue à la corrosion. Les applications typiques sont les chauffe-eau (y compris solaires), les parties externes des systèmes d'échappement, les bouilloires électriques, les éléments de micro-ondes, la décoration automobile, les panneaux extérieurs, etc. Le niveau de la résistance à la corrosion du 444 peut être assimilé à celui du 316.

■ Le groupe 5 (types 446, 445/447, etc.) a plus de chrome et contient du molybdène pour améliorer la résistance à la corrosion et à l'écaillage (oxydation). Ces nuances sont supérieures au 316 en ce qui concerne ces propriétés. Typiquement, elles sont utilisées pour les applications côtières et d'autres environnements hautement corrosifs. La résistance à la corrosion du JIS 447 est équivalente à celle du titane métal.

DES REFERENCES DE MARQUE

Parmi les succès des aciers inoxydables ferritiques, deux applications largement développées et extrêmement exigeantes ressortent depuis des années : les systèmes d'échappement d'automobiles et les tambours de lave-linge.



L'emploi d'acier inoxydable (ferritique) permet de prolonger la période de garantie des systèmes d'échappement, soumis à de hautes températures et à des milieux corrosifs importants.

Les tambours de lave-linge doivent résister aux détergents et à une ambiance presque constamment humide et, dans ce domaine, toute corrosion localisée est évidemment inadmissible.

Les automobilistes sont extrêmement satisfaits par la longévité de leurs systèmes d'échappement et les propriétaires de lave-linge par celle de leurs tambours. Pour les fabricants de ces produits, la facilité de fabrication et les avantages économiques majeurs sont des atouts qui font de l'acier ferritique un choix évident.

D'autres utilisations habituelles des nuances ferritiques vont des ustensiles de cuisine courants et du matériel de professionnels aux

« ...bien souvent, les ferritiques apparaissent comme un meilleur choix que des matériaux plus coûteux. »

meubles et objets de décoration, baguettes de décoration automobiles, tubes d'échangeurs et de réchauffeurs, brûleurs, conduits de fumée, grilles de barbecue, etc. De nombreuses applications nouvelles sont en développement.



Chauffe-eau solaire, Taiwan, Chine.

LES EXCELLENTS FERRITIQUES ACTUELS

Les aciers inoxydables ferritiques existent depuis quelques années et beaucoup de recherches et de développements intensifs ont permis la mise au point des remarquables nuances disponibles aujourd'hui.

Ce ne sont des produits nouveaux ni pour le marché ni pour leurs fabricants. Curieusement, en grande partie pour des raisons historiques, ignorance et fausses idées semblent porter préjudice à ce type d'acier. La nuance 430 était la seule disponible à une époque et les premiers utilisateurs n'ont peut-être pas eu le soutien technique suffisant quant à son utilisation, principalement pour les structures soudées ou dans le cas d'emploi dans des conditions plus corrosives : la fausse idée que les ferritiques sont « inférieurs » et que seuls les austénitiques conviennent, s'est alors répandue.

Mais les ferritiques ont évolué depuis très longtemps ! De nos jours, un soutien technique complet est disponible et la gamme des nuances s'est largement accrue et diversifiée pour répondre aux besoins des utilisateurs en termes

de propriétés. Celles-ci, comparables à celles des austénitiques, font que les ferritiques ne doivent être considérés ni inférieurs ni supérieurs, mais simplement différents et aussi utiles.



Plaque anti-bruit de pont aérien, Japon.

Dans beaucoup de cas, les ferritiques s'avèrent être un meilleur choix que des matériaux plus coûteux. Ils peuvent mieux répondre aux caractéristiques d'une application spécifique en offrant juste les qualités requises, ni plus, ni moins, ce qui est également important.



Citerne à lait, enveloppe en nuance 430, Afrique du Sud.

PARFAITS POUR LE FORMAGE

Toutes aussi malléables que l'acier au carbone, les nuances ferritiques s'adaptent à la plupart des procédés de formage. Elles sont moins malléables que les aciers inoxydables austénitiques, qui sont excellents en déformation mais dans de nombreux cas sont « sur-spécifiés ».

Les aciers au carbone et ferritiques ont un comportement de formage équivalent. Pensez à toutes les formes complexes que l'acier au carbone permet d'atteindre (par exemple, les carrosseries) et imaginez ce dont est donc capable l'acier ferritique. Avec une adaptation adéquate des outils et des nuances, de nombreuses formes peuvent être créées avec des nuances ferritiques.

FIERS D'ÊTRE MAGNÉTIQUES

Une des fausses idées les plus répandues est que vu qu'ils sont magnétiques, les ferritiques ne sont pas considérés comme de véritables aciers inoxydables et on pense qu'ils rouilleront comme de l'acier au carbone non revêtu. Faux ! Tout simplement pour des raisons d'arrangement atomique différent, certains aciers sont

« Une des plus grandes fausses idées est que le magnétisme des ferritiques fait qu'ils ne sont pas de véritables aciers inoxydables et qu'ils rouilleront comme de l'acier au carbone. Faux ! »

magnétiques et d'autres ne le sont pas. La résistance à la corrosion n'est qu'une question de composition chimique (la teneur en chrome). Le magnétisme n'y est pour rien.

En fait, le magnétisme des nuances ferritiques est un de ses atouts majeurs, trouvant bon nombre d'applications et offrant un potentiel tels que adhésion de messages sur les portes de frigo, boîtes à couteaux magnétiques et autres outils métalliques... Également, il est essentiel que les casseroles pour plaques à induction soient magnétiques, puisque la chaleur est générée par transfert d'énergie magnétique.



Réfrigérateur, habillage en nuance 430.

ATOUTS TECHNIQUES SPECIFIQUES

L'acier inoxydable est un matériau particulièrement durable, de faible entretien, avec de considérables avantages de coût en fin de vie comparé à l'acier au carbone. Il est également recyclable à 100% : plus de 60% d'acier inoxydable est fabriqué à partir de fonte de déchets.

Les principales propriétés de l'acier inoxydable sont :

- sa résistance à la corrosion
- son esthétique
- sa résistance à la chaleur
- son plus faible coût de cycle de vie
- sa capacité d'être recyclé à 100%
- sa neutralité biologique (conforme aux exigences CE RoHS)
- sa facilité de fabrication

Les aciers inoxydables ferritiques ont tous les avantages des aciers inoxydables comparés aux aciers au carbone en termes de résistance à la corrosion, de coût et de longévité. En outre, comparés à leurs proches cousins les austénitiques, leurs atouts ne s'arrêtent pas au coût plus faible. En fait, les ferritiques ont d'autres caractéristiques qui peuvent faire de l'ombre aux austénitiques.

ATOUTS DES FERRITIQUES

- Les ferritiques sont **magnétiques**.
- Les ferritiques bénéficient d'une **faible dilatation thermique** (ils se dilatent moins que les austénitiques sous la chaleur).
- Les ferritiques ont une **excellente résistance à l'oxydation à haute température** (ils ont tendance à moins s'écailler que les austénitiques).
- Les ferritiques ont une **bonne conductivité thermique** (ils conduisent la chaleur de manière plus continue que les austénitiques).
- Les ferritiques stabilisés par niobium ont une **excellente résistance au fluage** (soumis à des contraintes ils se déforment moins dans le temps que les austénitiques).
- Les ferritiques sont **plus faciles à couper et à travailler** que les austénitiques (qui requièrent des outils spécifiques, des machines puissantes, et usent davantage l'outillage).
- Les ferritiques ont **moins de retour élastique** que les austénitiques après formage à froid.
- Les ferritiques ont une **limite d'élasticité plus importante** que celle des austénitiques de type 304 (elle est similaire à celle des aciers au carbone).
- Contrairement aux austénitiques, **ils sont insensibles à la fissuration par corrosion sous contrainte**.



LA CLE EST DANS LE CHOIX DE LA NUANCE

Dans le marché actuel, les utilisateurs existants et futurs ne peuvent en aucun cas dépasser des spécifications nécessaires et suffisantes lors de la sélection d'un acier pour une application donnée.

Traditionnellement, grâce aux nombreuses applications qu'elle satisfait, l'austénitique 304 est la nuance d'acier inoxydable la plus fabriquée et la plus disponible. Aujourd'hui, les nuances d'aciers inoxydables ferritiques, convenablement spécifiées, peuvent se substituer au 304 avec d'excellents résultats.

Une étude détaillée et réaliste des qualités requises en fabrication et en service révèle souvent qu'une nuance ferritique à plus faible coût peut parfaitement répondre aux besoins du fabricant et de l'utilisateur final.



« Aujourd'hui, les nuances d'aciers inoxydables ferritiques, convenablement spécifiées, peuvent se substituer au 304 avec d'excellents résultats. »



Cuisine en nuance 430, Afrique du Sud.

Parfois, en service, un compromis raisonnable (par exemple, demander aux utilisateurs de nettoyer régulièrement la surface du produit) suffit pour maintenir les qualités anti-corrosives d'une nuance ferritique moins coûteuse pendant la vie du produit.



Panneaux de revêtement (placage) en nuance 430 peinte, Italie.

« UN ACIER DONT L'HEURE EST VENUE »

Vu la qualité des nuances ferritiques actuelles, leurs avantages en termes de coût et de propriétés exceptionnelles qui peuvent être obtenues par l'addition d'éléments d'alliages, le futur des aciers inoxydables ferritiques semble ne pas connaître de limite.

Cette brochure tente de présenter les qualités des ferritiques de manière compréhensible en les décrivant en termes simples. Son objectif est d'encourager une utilisation plus importante des aciers inoxydables en général, en présentant les qualités des nuances à plus faible coût. C'est une des initiatives de l'industrie de l'acier inoxydable pour aider les utilisateurs à choisir la nuance adaptée à leur application.

Les pages qui suivent étudient les propriétés des ferritiques d'aujourd'hui, le rôle des différents éléments d'alliage et les nombreuses applications existantes et potentielles pour ces aciers.



DANS CERTAINS
ENVIRONNEMENTS,
LES ACIERS INOXYDABLES
FERRITIQUES SONT UNE SOLUTION
ESTHETIQUE, DURABLE ET
ECONOMIQUE POUR
LE MOBILIER URBAIN.



DOMINIQUE MARET

DIRECTEUR MARKETING, FAURECIA EXHAUST SYSTEMS, FRANCE

« Fournisseur international en équipement d'automobile, Faurecia utilise principalement les aciers inoxydables pour les systèmes d'échappement. Nous consommons environ 200 000 tonnes d'acier par an pour ces systèmes, dont 90% de ferritiques, que nous utilisons, en fait, depuis le milieu des années 70, période de lancement de notre production de pots catalytiques conformément aux normes US sur les émissions de gaz. Les ferritiques disposent de caractéristiques de dilatation thermique bien inférieures aux austénitiques, un facteur essentiel pour la durabilité de tels catalyseurs.



Les ferritiques sont un succès pour nous qui avons une bonne compréhension du comportement spécifique de ces nuances dans les différents environnements d'échappement: nous pouvons choisir la nuance la plus adaptée à l'application. Bien sûr, les limitations en termes de formabilité et le besoin d'éviter la corrosion intergranulaire doivent être pris en compte dans la conception et la fabrication. Nous avons de plus en plus besoin de faire progresser les ferritiques pour ce qui est des performances à haute température (plus de 900°C.) et de la résistance à la corrosion. Nous pensons que ces améliorations les rendront comparables aux austénitiques en assurant un coût plus faible et plus stable. Ceci dit, nous en sommes déjà très satisfaits. »

Résistance à la corrosion

Les aciers inoxydables sont « inoxydables » car leur teneur en chrome leur attribue une exceptionnelle résistance à la corrosion.

Tous les aciers sont enclins à la corrosion mais à des degrés divers. Les aciers inoxydables, cependant, sont beaucoup plus résistants que les aciers au carbone, grâce à leur teneur en chrome. Le chrome (et non pas le nickel dans l'imagination de certains) est l'élément clé dans la résistance à la corrosion des aciers inoxydables.

RESISTANCE A LA CORROSION LOCALISEE

Les applications en acier inoxydable requièrent rarement de la maintenance, à l'exception d'un léger entretien (nettoyage de dépôts, par exemple) qui peut être nécessaire pour assurer en service un résultat exempt de corrosion.

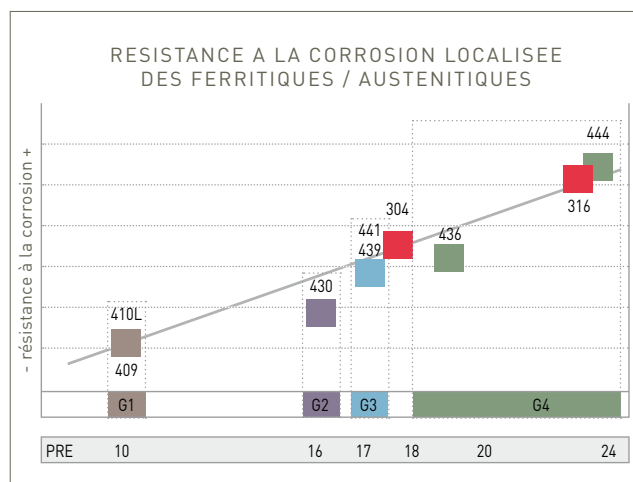
La résistance à la corrosion des aciers inoxydables se définit plus par la composition chimique que par la structure atomique (austénite ou ferrite). En termes de résistance à la corrosion, les ferritiques et les austénitiques peuvent être effectivement considérés comme interchangeables.



Tubes de condenseur-réchauffeur en nuance 439, Europe.

« ...les ferritiques et les austénitiques sont deux familles d'aciers inoxydables interchangeables. »

Une comparaison des propriétés de résistance à la corrosion des cinq « groupes » ferritiques avec celles de l'austénitique type 304 indique clairement que le chrome joue un rôle clé et que la résistance à la corrosion des nuances contenant du nickel (austénitiques) peut être concurrencée par certaines nuances ferritiques.



Le tableau ci-dessus montre que seules les nuances ferritiques ayant du molybdène ont une résistance à la corrosion localisée (« piqûres ») supérieure au 304. Cependant, les nuances ferritiques stabilisées standard, bien que légèrement inférieures au 304, offrent encore une très bonne résistance aux piqûres.



Calandre et baguètes décoration en nuance 436.



Panneaux de façade (partiel) en 444, Brésil.

Les ferritiques du **groupe 1** sont les mieux adaptés aux conditions non sévères telles qu'à l'intérieur d'une maison (où le matériau n'est pas exposé à l'eau ou est souvent essuyé) ou à l'extérieur dans les situations où une certaine corrosion superficielle est acceptable. Dans de telles situations, les ferritiques ont une durée de vie supérieure à celle de l'acier au carbone.

Les nuances du **groupe 2** sont adaptées aux contextes où le contact avec de l'eau n'a lieu que par intermittence, dans des conditions non sévères.

Les nuances du **groupe 3** sont adaptées à des contextes similaires à ceux du groupe 2, mais sont plus faciles à souder.

Les ferritiques du **groupe 4** sont plus résistants à la corrosion que le 304 et sont adaptés à une grande variété d'utilisations.

Le **groupe 5** comporte, par exemple, des nuances avec une forte teneur en chrome d'environ 29% Cr, plus 4% de Mo, ce qui les rend aussi résistantes à la corrosion dans l'eau de mer que le titane métal.

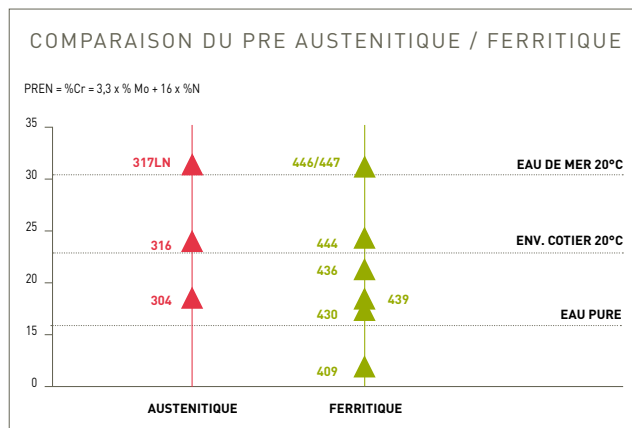


Cuve de stockage en nuance 444, Brésil.

« Le nickel ne joue aucun rôle quand il y a un risque de corrosion localisée... »

LE POTENTIEL DE PIQÛRE

Le potentiel de piqûre (noté ici facteur PRE) donne la mesure relative de la résistance aux piqûres de corrosion d'une nuance d'acier inoxydable placée dans un environnement chloré. A la plus haute valeur du PRE correspond la nuance la plus résistante.



Le tableau de comparaison des PRE montre d'un seul coup d'œil que pour toute nuance austénitique, il existe une nuance ferritique avec une résistance comparable.

Dans la formule réduite habituelle du PRE ($PRE = \%Cr + 3,3\%Mo$), le molybdène (Mo) est présenté comme étant 3,3 fois plus efficace que le chrome contre la corrosion par piqûre. Cependant, le chrome demeure essentiel pour assurer la première résistance à la corrosion. Le molybdène ne peut pas remplacer la teneur en chrome de base dans les aciers inoxydables, mais peut servir à augmenter la résistance à la corrosion.

Absent de la formule, le nickel ne joue aucun rôle quand il y a un risque de corrosion localisée, c.à.d. dans une grande majorité des applications inox.

PREVENTION DE LA CORROSION

La couche « passive » de l'acier inoxydable (voir p. 59) demande de l'oxygène pour rester intacte. Une accumulation de dépôts peut priver l'acier d'oxygène dans des zones critiques et initier une corrosion. La propagation de cette corrosion peut être à l'origine d'une éventuelle rupture.



Barbecue sur roulettes en nuance 430, Italie.

CORROSION : FACTEURS DE RISQUE

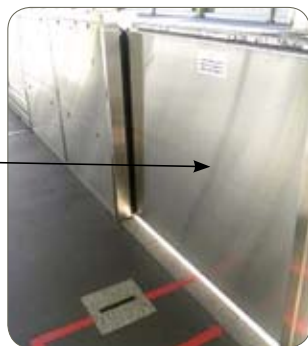
- particules incrustées
- dépôts superficiels
- défauts de surface
- discontinuités structurelles
- salinité (zones salées, eau de mer, etc.)
- augmentation de température
- conditions d'acidité très élevée (acides forts)
- atmosphère fortement « réduite »

CORROSION : FACTEURS DE PREVENTION

- surface propre
- surface lisse
- surface pré-passivée
- vieillissement de la surface
- influence du nettoyage (la pluie, par exemple)
- teneur élevée en chrome
- conditions d'oxydation (O_2 – pas trop fort)
- ajout de molybdène



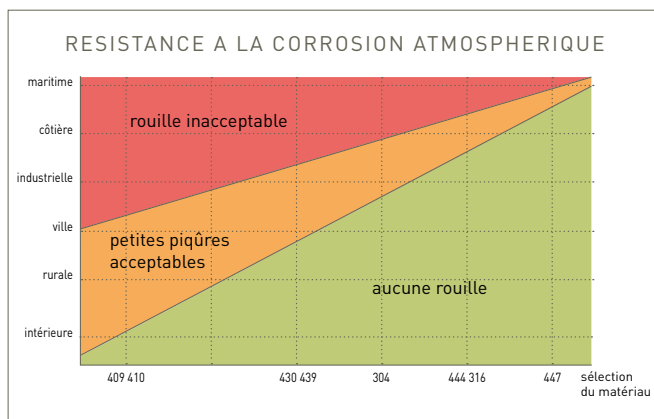
Il y a corrosion lorsque le « pH » atteint une valeur trop basse (pH bas = forte acidité). Le niveau de « pH » est une unité de mesure qui décrit le degré d'acidité ou d'alcalinité d'une solution. Sa valeur varie de 0 à 14.



Barrière de sécurité - quai de gare en SUS430/JL - Japon.

CORROSION ATMOSPHERIQUE

Ce type de corrosion apparaît à la surface de l'acier suite à un dépôt mince formé par l'humidité de l'air et des impuretés. La présence de chlorures ou de composants soufrés en est souvent la cause en milieu industriel. Des conditions typiques peuvent être, par exemple, des dépôts de chlorure dans une atmosphère maritime humide.



Différents environnements impliquent le choix d'une nuance ferritique [série 400] ou austénitique [série 300] pour résister à la corrosion atmosphérique. Des piqûres localisées peuvent être tolérées pour certaines applications en environnements industriels, côtiers et maritimes.

« Les nuances ferritiques peuvent être employées dans des environnements atmosphériques de sévérité corrosive très variés. »

CHOIX DE LA NUANCE

Les nuances ferritiques peuvent être employées dans des environnements atmosphériques de sévérité corrosive très variés. Tous les paramètres concernant les conditions d'utilisation doivent être pris en considération pour les choix de nuances.

Si, par exemple, quelques taches en surface sont sans importance pour une application ou un environnement donnés, une nuance plus économique peut constituer le bon choix de matériau.

REGLES GENERALES

- Dans un environnement agressif, choisir une nuance avec une teneur plus élevée en chrome et / ou en molybdène.
- Eviter les finitions de surface rugueuses – favoriser une surface bien polie avec une faible valeur de Ra.
- Optimiser la « nettoyabilité » lors de la conception (ex. : pente de 15° pour les surfaces inclinées).
- Eviter les géométries présentant des « cavités ».
- Assurer la propreté de la surface en la nettoyant régulièrement pour éviter les taches et l'accumulation de poussière.



Boîtier électrique extérieur en nuance 410 peinte, Afrique du Sud.

RESISTANCE A L'OXYDATION

Contrairement aux deux types de corrosion cités ci-dessus, l'oxydation cyclique à haute température est une « corrosion sèche » qui apparaît à haute température (>500°C) dans des atmosphères oxydantes avec ou sans cycle thermique.

Lorsque les aciers inoxydables sont chauffés, leur teneur en chrome forme en surface une « calamine » protectrice d'oxyde de chrome qui empêche toute oxydation. Cette calamine et le substrat métallique ont un comportement de dilatation thermique distinct qui peut affecter la stabilité de la calamine, surtout dans des conditions de service ayant un cycle thermique fréquent. La calamine a un coefficient de dilatation très bas et si celui du métal est trop élevé un excès se formera, et elle se décollera ou criquera lorsque le métal se refroidira et se contractera.

Grâce à leur plus faible coefficient de dilatation thermique, les nuances ferritiques sont moins sensibles à l'écaillage lors de l'oxydation cyclique à haute température que les alliages austénitiques. Lorsqu'il n'y a pas d'écaillage ni de criques, il n'y a pas d'oxydation nouvelle, ce qui est un avantage certain pour des applications telles que les systèmes de chauffage, les brûleurs, les systèmes d'échappement, y compris les collecteurs.

UN VASTE POTENTIEL D'APPLICATIONS

Ces propriétés avantageuses de résistance à la corrosion ne sont pas les seuls atouts des aciers inoxydables ferritiques mais elles sont déjà bien suffisantes pour attirer les utilisateurs compte tenu de la situation actuelle des coûts élevés des matières premières.

Une étude approfondie des propriétés des ferritiques a de grandes chances d'être payante. Certains utilisateurs actuels d'austénitiques pourraient trouver, en étudiant leurs spécifications,



Toit de gymnase en nuance 445, Corée du Sud.

« ...les nuances ferritiques craignent beaucoup moins l'écaillage lors de l'oxydation cyclique à haute température que les alliages austénitiques... »



Brûleur en nuance 430.



Collecteur en nuance 441.

qu'une nuance ferritique est en fait très bien adaptée à leur application.

Les utilisateurs potentiels d'acier inoxydable pourraient être surpris par les qualités exceptionnelles des ferritiques et découvrir qu'après tout, l'acier inoxydable est une option viable !

CALCUL DU COUT TOTAL D'UN ELEMENT : UN GUIDE ESSENTIEL

Une étude sur le calcul du coût « en fin de vie » dans le cas d'une utilisation potentielle est extrêmement utile et pourrait souvent révéler que l'acier inoxydable, généralement considéré comme une solution coûteuse, est en fait une option à moindre coût sur le long terme.

La résistance à la corrosion de l'acier inoxydable signifie une vie plus longue, moins de maintenance, une valeur plus importante à la revente, une meilleure apparence esthétique, etc. La peinture et la galvanisation ne sont pas nécessaires. De plus, le moindre coût d'investissement des nuances ferritiques est un argument phare en faveur de l'acier inoxydable comme choix de matériau.

Les nuances ferritiques, bien qu'utilisées déjà massivement et respectées, restent encore « à découvrir ». Les nombreuses applications existantes et réussies ouvrent justement la voie vers de nouvelles opportunités pour ces aciers de qualité.

« ...le moindre coût d'investissement des nuances ferritiques est un argument phare en faveur de l'acier inoxydable... »



LA CUISSON A INDUCTION
NECESSITE LES PROPRIETES
MAGNETIQUES DES NUANCES
FERRITIQUES.

CE QU'ILS DISENT SUR LES FERRITIQUES

SEUNG TAE BAEK

RESPONSABLE DES ACHATS POUR LES MACHINES A LAVER,
LG ELECTRONICS, COREE.

« Nous utilisons surtout les aciers inoxydables ferritiques pour les tambours de lave-linge depuis le début de notre développement de lave-linge automatiques. En 2006, nous avons utilisé 15 500 tonnes de ferritiques, comparées à 2 500 tonnes d'austénitiques. Les ferritiques représentent ainsi 86% de notre consommation.



L'avantage pour nous est tout simplement que les nuances ferritiques ont des qualités mécaniques satisfaisantes mais, surtout, coûtent moins cher que les austénitiques. Les progrès des technologies d'emboutissage et le développement de nuances ferritiques de haute qualité nous permettent d'utiliser très souvent les ferritiques aujourd'hui. Les criques et les plis dûs aux presses restent la source de défauts et nous devons améliorer certains aspects pour l'emboutissage profond. Cependant, les résultats nous conviennent en termes de prix et de qualité. »

Propriétés mécaniques et physiques

Les nuances d'acier inoxydable ferritique sont faciles à fabriquer et sont adaptées à une gamme très étendue d'applications.

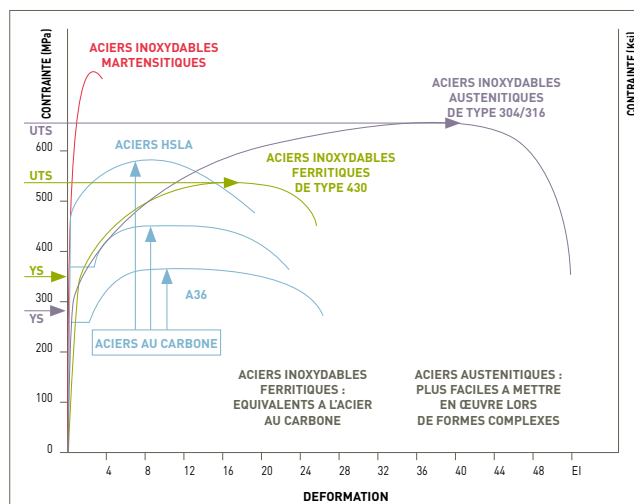
Les ferritiques disposent de bonnes propriétés mécaniques et ont à cet égard une position intermédiaire en comparaison à d'autres familles d'acier. Leur limite d'élasticité est plus importante que celle des austénitiques, et les propriétés d'allongement et de formage sont égales à celles des aciers au carbone. Leurs propriétés physiques ont deux caractéristiques dépassant celles des nuances austénitiques : la dilatation thermique et la conductivité thermique.

PROPRIETES MECANQUES

En général, les propriétés mécaniques d'un alliage métallique sont celles qui décrivent son comportement à la compression, à l'allongement, au pliage, aux rayures, à l'entaille ou encore à la rupture. Les critères les plus utilisés pour évaluer ces caractéristiques mécaniques sont :

- **Résistance** : le degré de résistance d'un matériau à la déformation. Deux valeurs critiques sont généralement prises en considération :
 - La limite d'élasticité ou la contrainte que peut subir le matériau avant une déformation plastique permanente ;
 - La résistance à la traction ou la contrainte qu'il peut subir avant une rupture / défaillance.
- **Dureté** : le degré de résistance à une pénétration lors de l'application d'une charge.
- **Résistance** : la capacité d'absorber l'énergie de déformation avant la rupture.
- **Ténacité (ou plasticité)** : la capacité de se déformer plastiquement sans rupture.

Certaines de ces propriétés peuvent être mesurées par un essai de traction. Les courbes de traction obtenues permettent de déterminer la limite d'élasticité (notée ici YS), la résistance à la traction (notée ici UTS) et l'allongement total au moment de la rupture (noté ici E). Ces tests permettent de définir une courbe de traction montrant le comportement du métal en fonction de charges diverses.



L'UTS se mesure en MPa ($1\text{MPa} = 1\text{N/mm}^2 = 145\text{PSI} = 0,1\text{kg/mm}^2$) et représente la résistance maximale à la rupture. YS représente le début de la phase « plastique » où l'allongement persiste alors que la contrainte est retirée.

Les courbes de traction démontrent que, bien que la nuance ferritique 430 ait ses limites, sa performance reste exceptionnelle dans cet intervalle.



Ossature de bus en nuance 410, Afrique du Sud.



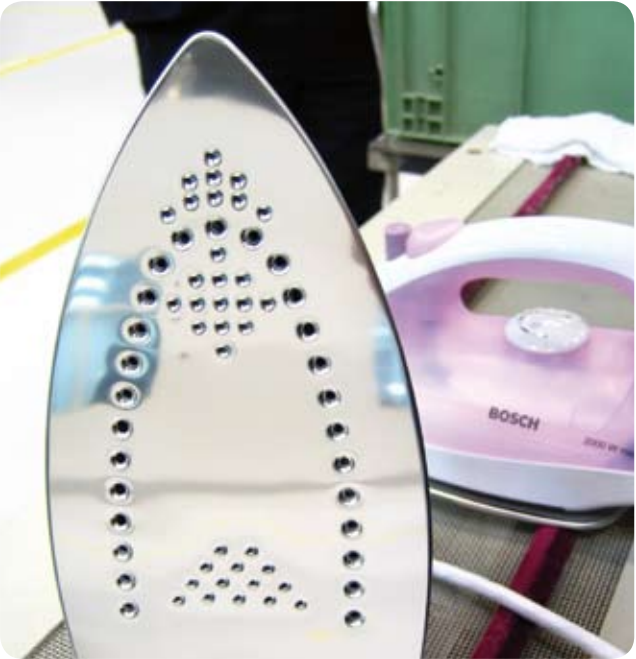
Marches d'escalator en nuance SUS430, Japon.

« ...les propriétés d'allongement et de formage sont égales à celles des aciers au carbone. »

Les aciers inoxydables ferritiques ont des courbes de traction très similaires à celles des aciers au carbone. Avec une limite d'élasticité assez élevée (en général plus haute que celle des austénitiques), une résistance à la traction assez élevée également et une bonne performance en termes d'allongement, leur ductilité est intéressante.

PROPRIETES MECANQUES (LAMINES A FROID)												
ASTM A 240				JIS G 4305				EN 10088-2				
	R _m min	R _{p0.2} min	A ₅ min		R _m min	R _{p0.2} min	A ₅ min			R _m	R _{p0.2} min	A ₅₀ min
409	380	170	20	--	--	--	--	X2CrTi12	1.4512	380-560	220	25
410S	415	205	22	SUS 410	440	205	20	X2CrNi12	1.4003	450-650	320	20
430	450	205	22	SUS 430	420	205	22	X6Cr17	1.4016	450-600	280	18
434	450	240	22	SUS 434	450	205	22	X6CrMo17-1	1.4113	450-630	280	18
436	450	240	22	SUS 436	410	245	20	X6CrMoNb17-1	1.4526	480-560	300	25
439	415	205	22	--	--	--	--	X2CrTi17	1.4520	380-530	200	24
439	415	205	22	--	--	--	--	X2CrTi17	1.4510	420-600	240	23
441	415	205	22	--	--	--	--	X2CrMoNb18	1.4509	430-630	250	18
S44400 (444)	415	275	20	SUS 444	410	245	20	X2CrMoTi18-2	1.4521	420-640	320	20
304	515	205	40	SUS 304	520	205	40	X5CrNi1-80	1.4301	540-750	230	45

La tableau ci-dessus exprime les propriétés selon les normes américaines, japonaises et européennes et compare les nuances ferritiques avec la nuance austénitique 304 standard. Rm = résistance maximale à la traction, Rp0.2 = limite d'élasticité et A5/A80 = allongement à la rupture.



Semelle de fer à repasser électrique en nuance 430 avivée.



Tube intérieur de chauffe-eau en nuance 444, Corée du Sud.

PROPRIETES PHYSIQUES

Les propriétés physiques d'un alliage métallique concernent la capacité du matériau à conduire de la chaleur et de l'électricité, à s'allonger et se contracter, etc.

Les ferritiques sont magnétiques. Ils ont d'autres avantages par rapport aux nuances austénitiques comme, par exemple, leur très forte conductivité. Cela implique qu'ils diffusent relativement bien la chaleur et qu'ils sont donc très adaptés à des applications telles que les fers à repasser électriques ou les échangeurs thermiques (tubes ou plaques).

Le coefficient de dilatation thermique des aciers inoxydables ferritiques est similaire à celui des aciers au carbone et bien inférieur à celui des austénitiques. Par conséquent, les ferritiques se déforment moins sous la chaleur.

PROPRIETES PHYSIQUES							
Type d'acier inoxydable	Densité g/cm³	Résistance électrique Ω mm²/m	Chaleur spécifique 0 - 100°C J/kg • °C	Conductivité thermique 100°C W/m • °C	Coefficient de dilatation thermique		Module d'Young x10³ N/mm²
					0-200°C 10⁻⁴/°C	0-600°C 10⁻⁴/°C	
409/410 10%-14% Cr	7.7	0.58	460	28	11	12	220
430 14%-17% Cr	7.7	0.60	460	26	10.5	11.5	220
Stabilisé 430Ti, 439, 441	7.7	0.60	460	26	10.5	11.5	220
Mo > 0,5% 434, 436, 444	7.7	0.60	460	26	10.5	11.5	220
Autres 17%-30% Cr	7.7	0.62	460	25	10.0	11.0	220
304	7.9	0.72	500	15	16	18	200
Acier carbone	7.7	0.22	460	50	12	14	215

Le module d'élasticité des nuances ferritiques (à 20°C) est supérieur à celui de l'austénitique 304. Unités IS : g/cm³ = kg/dm³ - J/kg • °C = J/kg • °K - W/m • C = W/m • K -10-6/°C = 10-6/°K - N/mm² = MPa.



AUSSI ROBUSTE QUE L'ACIER
AU CARBONE, LES NUANCES
FERRITIQUES A BASSE TENEUR
EN CHROME RESISTENT AUSSI
A LA CORROSION. LES WAGONS
FERROVIAIRES EN FERRITIQUE
POUR LE MINERAI PRESENTENT
UN PLUS FAIBLE COUT GLOBAL
EN FIN DE VIE.



LEURS ASPECTS ESTHETIQUES
ET HYGIENIQUES FONT DES
FERRITIQUES UN MATERIAU
IDEAL POUR LES PLAQUES DE
CUISSON DES GAZINIÈRES.

ZHANG SEN

DIRECTEUR DES ACHATS D'ACIERS INOXYDABLES, QINGDAO HAIER
INTERNATIONAL TRADING CO. LTD., REPUBLIQUE POPULAIRE DE CHINE

« En tant qu'un des fabricants leaders de produits ménagers, le Groupe Haier emploie des ferritiques pour de nombreux produits: les machines à laver le linge et la vaisselle, les cuisinières à gaz, les hottes d'extraction et les fours à micro-ondes, et ceci depuis 2000. Aujourd'hui, nous utilisons environ 14 500 tonnes de ferritiques par an, soit environ 85% de notre consommation globale en acier inoxydable. Les nuances ferritiques sont moins chères que les austénitiques et parfaitement adaptées à ces applications.



Comparés à la nuance austénitique 304, les ferritiques standard ne remplissent pas toutes les exigences d'emboutissage profond de chaque pièce et n'ont ni la même résistance à la corrosion dans des environnements chlorés ni les mêmes caractéristiques de soudage. Toutefois, ce sont d'excellents matériaux pour les produits ménagers et en termes de fabrication nous adaptons la nuance pour avoir les bonnes propriétés d'emboutissage. Aussi sommes-nous très satisfaits des ferritiques.

Avec l'envol du prix du nickel, nos coûts d'achat d'acier inoxydable ont augmenté de manière significative. En remplaçant les austénitiques par des ferritiques, nous baissions nos coûts de matières premières et économisons des ressources, tout en protégeant l'environnement.

Je dirais même que, bien que les austénitiques dominent aujourd'hui sur le marché des aciers inoxydables, la consommation future des aciers inoxydables évoluera vers les ferritiques. »

Mise en oeuvre des nuances ferritiques

Grâce à leurs qualités en termes d'emboutissage, les aciers inoxydables ferritiques sont adaptés à des géométries de pièces complexes en trois dimensions.

Puisque leur utilisation pour des formes complexes ne diminue en rien leurs remarquables capacités de résistance à la corrosion et à la chaleur ni leur qualité esthétique, les nuances ferritiques sont souvent la solution adaptée pour les produits industriels ainsi que pour les produits de grande consommation.



Desues et froids de chauffe-eau emboutis en nuance 441, Afrique du Sud.

La déformation à froid transforme les produits livrés en bobine ou en feuille en les soumettant à une contrainte plastique. Le formage implique des combinaisons à la fois de traction et de compression, faisant appel aux déformations en expansion et en rétreint.

Bien que la capacité générale d'emboutissage des nuances austénitiques soit supérieure à celle des ferritiques, certaines nuances ferritiques (notamment les nuances stabilisées au titane avec 17% de chrome) offrent une excellente performance en emboutissage.

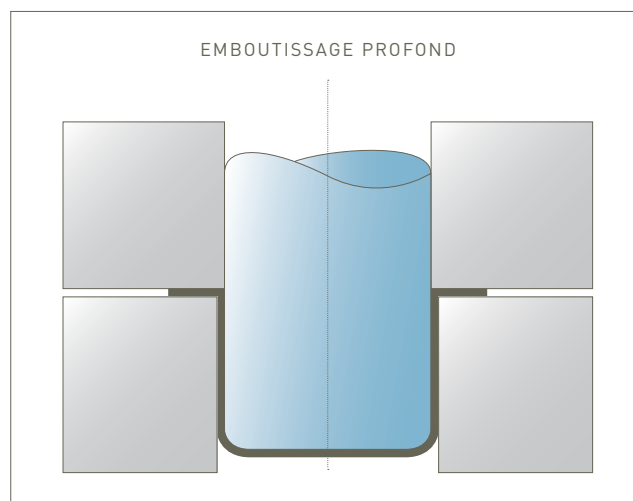
EMBOUTISSAGE DES NUANCES FERRITIQUES

L'emboutissage est le procédé utilisé le plus souvent pour former des objets creux à partir d'une tôle ou « flan ». Le bon comportement des aciers inoxydables ferritiques lors de leur emboutissage, ainsi que leur coût intéressant, peuvent faire des ferritiques un choix optimal.

« ...certaines nuances ferritiques offrent une excellente performance en emboutissage. »

L'EMBOUTISSAGE

Dans le procédé d'emboutissage, la formation de l'élément se fait en pressant le flan dans une cavité avec un poinçon. Le métal est tiré vers l'intérieur et s'écoule entre l'outil et le serre-flan pour former les parois ou la « jupe » de l'élément.



L'écoulement libre du métal différencie « l'emboutissage en rétreint » du formage par « expansion » où le métal est bloqué par le serre-flan.



Évier en nuance 430, Japon.



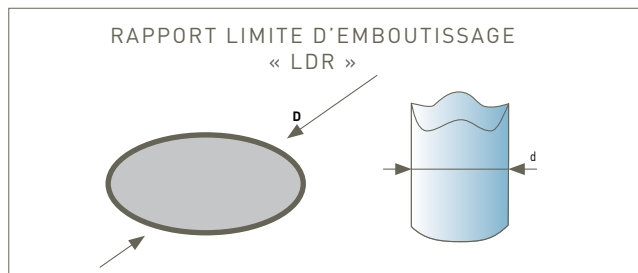
Four à micro-ondes, 430, finition BA, Corée du Sud.

FACTEURS DE SUCCES DE L'EMBOUTISSAGE

- Absence de rupture
- Aspect de surface optimal
- Consommation minimale de matière
- Grande productivité en fabrication
- Moindre usure d'outillage

LE RAPPORT LIMITE D'EMBOUTISSAGE « LDR »

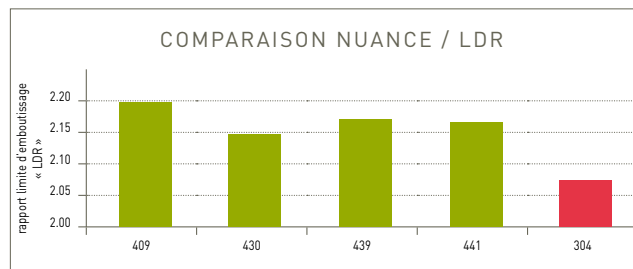
Le rapport limite d'emboutissage « LDR » est un paramètre important pour l'emboutissage profond.



Le rapport limite d'emboutissage « LDR » représente le quotient du diamètre maximal « D » du flan qui peut être embouti en une seule passe à l'intérieur d'un cylindre de diamètre « d ». $LDR = D/d$.

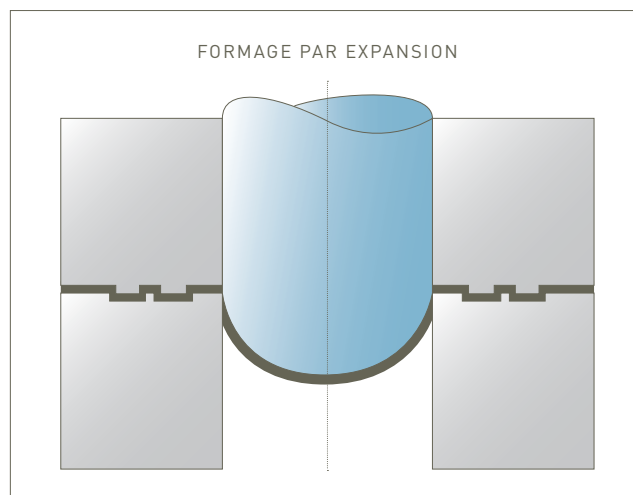
“« ... Les ferritiques ont des valeurs de LDR plus élevées que les austénitiques, ce qui rend particulièrement aisé leur emboutissage en rétreint. »”

Les ferritiques ont des valeurs de LDR plus élevées que les austénitiques, ce qui rend particulièrement aisé leur emboutissage.



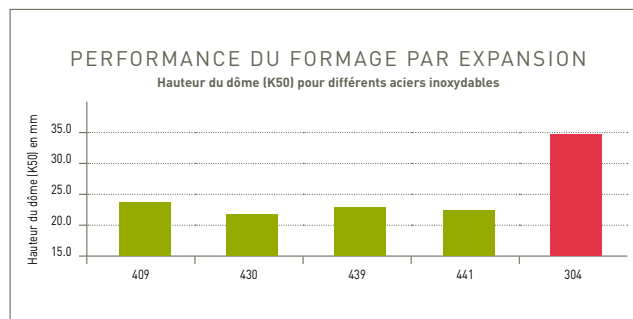
FORMAGE PAR EXPANSION DES NUANCES FERRITIQUES

En formage par pure expansion, les nuances ferritiques sont inférieures aux austénitiques.



En formage par expansion, la partie emboutie devient plus mince.

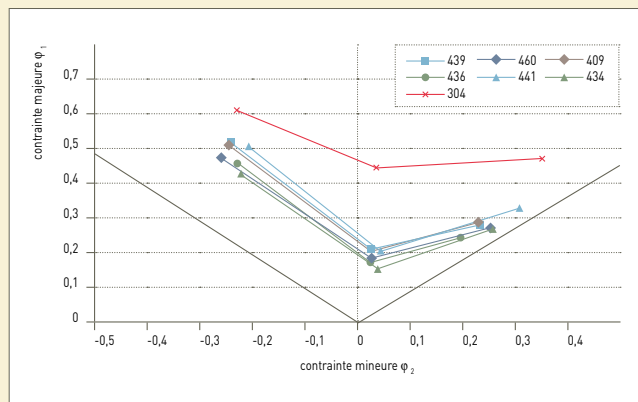
Le tableau ci-dessous compare la performance d'expansion des diverses nuances. La « hauteur du dôme » est le degré maximal de déformation avant la striction (la phase qui précède la rupture) d'un flan en expansion.



COURBES DES LIMITES DE FORMAGE

En pratique, les procédés de formage industriel combinent à la fois les déformations en rétreint et en expansion pendant une série de « passes ».

Les courbes des limites de formage sont un guide utile pour les déformations maximales avant rupture pour l'emboutissage profond et les procédés par expansion. Conçues pour les principales nuances d'aciers inoxydables, elles peuvent être utilisées pour définir un mode opératoire de formage.



Ces courbes définissent les déformations locales pendant et après le formage selon deux « vraies contraintes » principales : longitudinale (« contrainte majeure ») et transversale (« contrainte mineure »). Les courbes repèrent les effets des diverses combinaisons de ces deux contraintes jusqu'au point de rupture. Plus haute est la position de cette courbe et meilleure est l'aptitude de la nuance au formage.

COMMENT LES FERRITIQUES SE COMPORTENT

Généralement, avec les aciers inoxydables ferritiques, les caractéristiques d'écroutissage et d'allongement sont comparables à celles des aciers au carbone à haute résistance. Elles ne sont pas les mêmes que celles des nuances austénitiques.

Les paramètres de conception, fabrication et construction et les propriétés physiques de la nuance ferritique concernée doivent être considérés conjointement de façon à obtenir le meilleur résultat de l'emboutissage.



Carter de catalyseur embouti en nuance 441.

« La nuance 430Ti au titane stabilisé est souvent choisie pour remplacer un austénitique dans les cas d'emboutissage profond. »

« CHIFFONNAGE »

A l'issue de certaines opérations de formage, les nuances ferritiques font quelquefois l'objet de phénomènes de surface comme le « chiffonnage » et le « cordage ».



Avec et sans défaut de surface.

Ces phénomènes prennent la forme d'une série de lignes ou plis parallèles à la direction de laminage des tôles. Le chiffonnage exprime les déformations de surface par une mesure globale de l'ensemble des altérations micro-géométriques et des ondulations (« cordage ») provoquées.



Tambour de sèche linge : tôle en 409 soudée, formée par expansion.

L'ajout d'un élément stabilisateur, tel que le titane, apporte ici une amélioration. La nuance 430Ti au titane stabilisé fournit des résultats remarquables à ce point de vue et est ainsi souvent choisie pour remplacer un austénitique dans les cas d'emboutissage profond.



Collecteur embouti en nuance 441.

LUBRIFICATION

Une bonne lubrification de la tôle et de l'outillage est essentielle à la réussite de l'emboutissage, de façon à éviter d'altérer l'aspect de surface et à prévenir le grippage nocif à la durée de vie de l'outillage.

Si les aciers inoxydables ferritiques sont fournis avec une surface lisse et brillante, un lubrifiant d'emboutissage à haute viscosité peut être utilisé. Les lubrifiants utilisés pour ces aciers sont des huiles spéciales à haute résistance à la pression et contenant peu ou pas de chlore. Appliquées uniformément sur les tôles, ces huiles peuvent être facilement éliminées après emboutissage.

OUTILLAGE

Il est primordial d'utiliser l'outillage adéquat qui a une influence décisive sur les conditions de frottement et ainsi sur l'écoulement du métal pendant l'opération de formage. Dans certains cas, l'outillage (poinçon et matrice) peut être fabriqué en cuivre, en fer ou en bronze-aluminium.



Les traitements de surface, tels qu'un revêtement en TiCN, peuvent être appliqués afin d'accroître la vie de l'outillage. Le serre-flan et les matrices doivent être soigneusement polis. Le poinçon, quant à lui, peut rester brut.

« Les lubrifiants utilisés pour les aciers inoxydables peuvent être facilement éliminés après emboutissage. »

LES PROPRIETES DE FORMAGE
DES PRINCIPAUX GROUPES D'ACIERS

Le tableau ci-dessous compare les propriétés de formage des aciers inoxydables ferritiques (qui ont une structure métallurgique spécifique et donc un comportement spécifique) à celles des aciers au carbone et des nuances austénitiques inoxydables. Il tient compte des critères standard appliqués dans



Collecteur tubulaire cintré-soudé, en nuance 441.

la définition des caractéristiques de déformation. La structure atomique particulière de chaque type d'acier est référencée par « cc » (cubique centré) et « fcc » (face cubique centrée).

	Acier au carbone	Acier inoxydable ferritique	Acier inoxydable austénitique
structure	cc	cc	fcc
ecrouissage	faible	faible	élevé
retour élastique	faible	faible	élevé
emboutissage profond	excellent	bon	bon
expansion (formage par allongement)	bon	bon	excellent
chiffonnage	non	possible	non



Cintrage d'un tube soudé en 430Ti.



Tubes soudés corrugués et à ailettes pour échangeur thermique, en nuance 439.



Tube soudé hydroformé en 1.4003.



Déformation de la soudure (1.4003)



VIVE LES FERRITIQUES

Bien que les tableaux et courbes démontrent la supériorité générale des austénitiques en termes de formabilité, l'avantage économique est tel que l'utilisation d'un ferritique est souvent préconisée. En particulier, favoriser plutôt l'emboutissage en rétreint permet d'utiliser une large gamme de nuances ferritiques. Et dans certains cas spécifiques, comme l'emboutissage profond en rétreint ou la sensibilité au retour élastique, le comportement des ferritiques est supérieur.

Pour toutes questions relevant des propriétés techniques des nuances ferritiques à employer, les utilisateurs doivent se renseigner auprès d'un fournisseur de référence. Le producteur d'inox,

de par son expérience, est toujours prête à assister les utilisateurs à employer les nuances ferritiques et à s'assurer que la nuance la plus adaptée soit choisie pour une application donnée.

« ...favoriser plutôt l'emboutissage en rétreint permet d'utiliser une large gamme de nuances ferritiques. »



DES REGLEMENTATIONS ANTI-POLLUTION STRICTES ET LES EXIGENCES TECHNIQUES ET ECONOMIQUES FONT QUE LES FERRITIQUES SONT LE MATERIAU DE CHOIX POUR LES SYSTEMES D'ECHAPPEMENT.

BERNHARD BLAESER

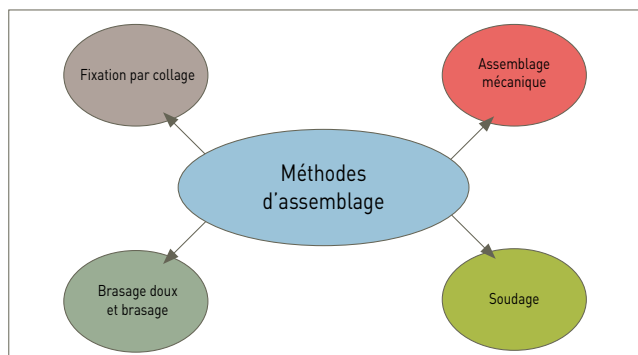
DIRECTEUR, MACADAMS BAKING SYSTEMS (PTY) LTD, AFRIQUE DU SUD

« Ma société fabrique des fours à pain et des étuves de fermentation. Vu la forte hausse récente des prix des austénitiques, beaucoup d'industriels ont ou sont en train d'abandonner l'acier inoxydable, surtout pour des applications non soumises à la chaleur, telles que les parois de four et d'autres équipements de boulangerie qui ne sont pas en contact avec l'aliment. Comme les ferritiques ne subissent pas de telles variations de prix, une alternative est de les utiliser. En somme, les fabricants devraient penser à remplacer des austénitiques par des ferritiques plutôt que de quitter le domaine des aciers inoxydables. »



Assemblage des nuances ferritiques

Les nuances ferritiques sont bien adaptées à toutes les méthodes d'assemblage des aciers inoxydables.



- **Soudage** : soudure de deux matériaux en les faisant fondre et re-solidifier, avec ou sans métal d'apport.
- **Brasage doux** : assembler les matériaux en les chauffant à une température de soudage (inférieure au solidus du métal de base) en présence de métaux d'apport ayant un liquidus de $< 450^{\circ}\text{C}$.
- **Brasage** : la même chose que le brasage doux, mais la coalescence a lieu à $> 450^{\circ}\text{C}$.
- **Assemblage mécanique** : clinchage, sertissage, rivetage et verrouillages mécaniques.
- **Fixation par collage** : en pressant ensemble des surfaces propres et activées après avoir appliqué une colle agissant à l'air, à l'eau ou à une réaction chimique.

“Pour le soudage, les nuances ferritiques présentent de gros avantages comparés aux austénitiques...”

SOUDEAGE

Seuls quelques procédés de soudage parmi les nombreux développés pour les aciers au carbone sont vraiment appropriés pour les aciers inoxydables et sont devenus standard : arc, résistance, électronique, rayons laser et soudage par frottement.

Le soudage est le moyen le plus efficace et le moins cher pour assembler les métaux. Le procédé permet de fabriquer des structures plus légères (grâce à une utilisation optimale des matériaux) et d'assembler tous les métaux disponibles, offrant une flexibilité en conception.

Les caractéristiques de soudage des aciers inoxydables sont affectées par la composition chimique, la structure métallurgique et les propriétés physiques. Pour le soudage, les nuances ferritiques présentent de gros avantages comparés aux austénitiques, compte tenu de leur dilatation thermique inférieure, d'une résistivité électrique supérieure et d'une conductivité thermique supérieure.

NUANCES FERRITIQUES STABILISEES ET NON STABILISEES

En général, les aciers ferritiques inoxydables sont moins sujets que les austénitiques à la corrosion intergranulaire propre au soudage.



Ceci est particulièrement vrai pour les nuances ferritiques « stabilisées » qui contiennent des « formeurs » de carbures tels que le titane (Ti) et le niobium (Nb). Ceux-ci fixent le carbone dans l'acier pendant le soudage pour l'empêcher de se combiner avec du chrome et donc de former du carbure de chrome. En prévenant ainsi tout appauvrissement de chrome en périphérie des grains, les nuances ferritiques stabilisées sont quasiment insensibles à la corrosion intergranulaire.

Afin d'assurer une stabilisation totale, la teneur en Ti doit être cinq fois plus élevée que celle en carbone, ou le Nb + Ti doit être trois fois plus élevé que la teneur en carbone. Parfois, l'introduction d'azote à cette formule peut être conseillée pour affiner le grain dans la zone fondue.

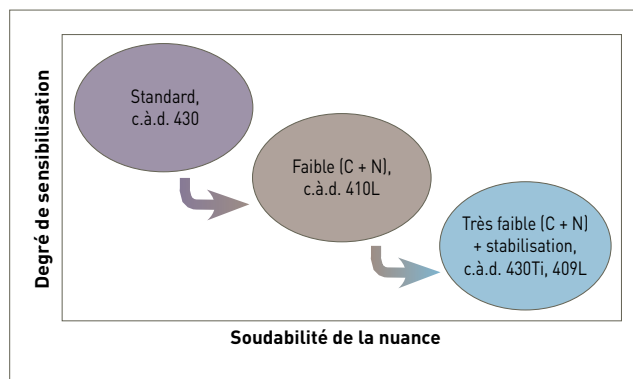
Les nuances ferritiques non stabilisées ne contiennent ni Ti ni Nb et peuvent donc être sujettes à de la corrosion intergranulaire, due à la formation de carbure de chrome dans la zone affectée par la chaleur. Cet effet s'appelle la « sensibilisation » et son impact dépend surtout du niveau de carbone.

La résistance à la corrosion des aciers sensibilisés peut cependant être restaurée par un traitement de recuit à une température de 600 à 800°C.



Soudage de système d'échappement en nuance 439, Corée du Sud.

**« ... les nuances ferritiques stabilisées
sont quasiment insensibles
à la corrosion intergranulaire. »**



SUR-COMPOSITION DES METAUX D'APPORT

Afin d'assurer la résistance d'une soudure à la corrosion, tout métal d'apport ferritique doit avoir une légère sur-composition par rapport à la composition du métal de base en éléments d'alliage Cr, Mo, Ti et / ou Nb, car la forte élévation de température causera une perte de chrome dans la zone de soudage. Une alternative peut consister à utiliser du métal d'apport austénitique avec une composition augmentée en Cr et Mo comme éléments d'alliage.



Réservoir soudé en nuance 444, Europe.

GAZ PROTECTEURS

Avec leur haute teneur en chrome, les aciers inoxydables sont très oxydables dans leur état fondu. S'ils ne sont pas protégés de l'air pendant le soudage, du chrome est perdu et des oxydes se forment, le résultat étant, pour la soudure, un manque de fiabilité et une résistance à la corrosion diminuée. Un écran gazeux inerte assure en général la protection de la surface de la soudure et son environnement. Ce gaz protecteur peut être un gaz d'argon pur (Ar) ou d'hélium (He) ou un mélange des deux.

Pour le soudage des ferritiques, ces gaz protecteurs doivent être du pur argon ou des mélanges d'argon et d'hélium. Les mélanges argon-hydrogène, souvent utilisés pour les nuances austénitiques, courent un risque de fragilisation par l'hydrogène dans le joint soudé pour les nuances ferritiques. L'argon est le gaz inerte le plus utilisé (protégeant l'arrière de la pièce). L'azote ne doit pas être utilisé avec les nuances ferritiques.

SOLUTIONS AUX PROBLEMES DE SOUDURE DES FERRITIQUES

En plus des risques mentionnés ci-dessus, il existe un risque de fragilisation par «précipitation de phase » et «grossissement de grain » à haute température. Les remèdes pour éviter ces problèmes sont listés dans le tableau suivant :

LE SOUDAGE DES FERRITIQUES : PRECAUTIONS

Groupe d'acier inoxydable	Caractéristique spéciale	Phénomène	Cause	Comment éviter
Nuances non stabilisées	Sensibilisation	Faible résistance à la corrosion dans la partie soudée	Précipitation de Cr-carbure à la frontière du grain	Recuit à une température de 600 à 800°C
Nuances stabilisées	Grossissement de grain	Faible endurance de la partie soudée	Croissance excessive du grain due à une forte température	Minimisation de l'apport de chaleur par soudage
Nuances à fortes teneurs en Cr-Mo	Fragilisation à 475°C	La fragilisation a lieu à 400-500°C	Formation phase sigma (σ) due à la décomposition de la phase σ	Réchauffement à 600°C et refroidissement rapide
Nuances à fortes teneurs en Cr-Mo	Fragilisation de la phase sigma (σ)	La fragilisation a lieu à 550-800°C	Phase de formation sigma (σ)	Réchauffement supérieur à 800°C et refroidissement rapide
Nuances non stabilisées	Fragilisation de la phase martensitique	La fragilisation a lieu pour les types basse teneur en Cr et forte teneur en C	Formation de la phase martensitique due au refroidissement plus rapide	Élimination de la phase martensitique par un traitement thermique long de 600 à 700°C

SOUDAGE A L'ARC

Le soudage à l'arc est la forme de soudage la plus souvent utilisée avec les nuances ferritiques.

SOUDAGE A L'ARC EN ATMOSPHERE INERTE AVEC ELECTRODE EN TUNGSTENE TIG/WIG (GTAW)

Avec ce procédé (souvent désigné comme procédé TIG – Tungsten Inert Gas or Wolfram Inert Gas), l'énergie requise pour fondre le métal est fournie par un arc électrique entre l'électrode en tungstène et la pièce.



Réservoir soudé en nuance 441, Atrique du Sud.

Les aciers inoxydables sont toujours soudés dans un mode polarité DC (l'électrode étant le pôle négatif) sous atmosphère inerte. Si un métal d'apport est employé, ce sera en forme de barre non revêtue (soudage manuel) ou un fil en bobine (soudage automatique).



Production de tubes soudés ferritiques, Brésil.

SOUDAGE A L'ARC SOUS PROTECTION DE GAZ INERTE AVEC FIL ELECTRODE FUSIBLE (GMAW OU MIG)

Contrairement au procédé GTAW, en GMAW (souvent désigné comme procédé MIG – Metal Inert Gas), l'électrode est consommable. L'arc est créé entre le fil d'apport fondu et la pièce. Le gaz protecteur injecté par une torche autour du fil est souvent en argon avec 2% à 3% d'oxygène. D'autres mélanges peuvent aussi être utilisés dans certains modes de soudage.

Puisque la soudure est essentiellement composée de métal d'apport, il est vital que la composition du métal d'apport favorise la pénétration et le mouillage du métal de base.

Ce procédé de haute productivité est plus difficile à réaliser que le soudage GTAW, mais les résultats peuvent être excellents lorsque le procédé est bien contrôlé.

SOUDAGE PAR RESISTANCE

En ce qui concerne le soudage par résistance, un courant électrique passe par les parties à assembler et le soudage se fait par un chauffage par résistance.



Ossature de bus soudée en nuance 1.4003.

De nombreuses techniques de soudage par résistance existent, dont les plus communes sont le soudage par points et le soudage par résistance à la molette. Les avantages majeurs pour les deux sont :

- une modification limitée de la microstructure des zones thermiquement affectées (désignées ici HAZ) ;
- l'absence presque totale d'oxydation de surface si les tôles sont bien refroidies ;
- un très faible niveau de distorsion des tôles après le soudage ;
- une déformation par « forgeage » lors du soudage, qui est particulièrement utile pour assembler les aciers ferritiques.

Comparées aux exigences de l'acier doux en termes de paramètres liés aux procédés de soudage, les différences principales pour l'acier inoxydable sont les puissances de soudage plus faibles et aisées à ajuster (compte tenu des faibles conductivités électriques et thermiques) et les efforts aux électrodes plus importants.

AUTRES PROCEDES

Les autres procédés de soudage applicables aux aciers inoxydables ferritiques sont le soudage par électron, par faisceau laser et le soudage par friction.

BRASAGE DOUX ET BRASAGE

Le brasage doux et le brasage sont des procédés pour assembler des composants métalliques solides à l'aide d'un métal d'apport fusible ayant un point de fusion bien inférieur au leur. Le brasage doux utilise des alliages d'apport malléables avec des points de fusion inférieurs à 450°C, alors que les alliages de brasage sont plus durs et fondent à de plus fortes températures.



Soudage d'une gouttière en nuance 430Ti revêtue d'étain.

Les avantages de ces techniques d'assemblage offrent les caractéristiques suivantes :

- Elles ne nécessitent qu'une source de chaleur à basse température.
- Les assemblages peuvent être permanents ou temporaires.
- Des matériaux distincts peuvent être assemblés.
- Les temps de chauffage et de refroidissement sont courts.
- Des éléments d'épaisseurs différentes peuvent être assemblés.
- Le réalignement est facile.
- Elles nécessitent moins de chaleur que le soudage.

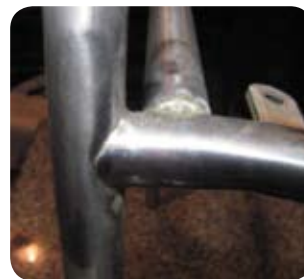
Il s'agit d'évaluer attentivement la forme ou la performance requise de l'assemblage avant de décider du type de brasage d'un assemblage structurel spécifique.

Lors des procédés d'assemblage, il faut toujours assurer le bon mouillage des deux parties solides avec du matériau d'apport fondu.

La sensibilisation sera plus facile pour les nuances non stabilisées.



Avant et après le décapage.



Tubes en nuance 441 soudés par brasage.

DECAPAGE, PASSIVATION ET DECONTAMINATION

La légère décoloration qui résulte du soudage doit être éliminée soit par un décalaminage mécanique, soit par un traitement chimique, le décapage.

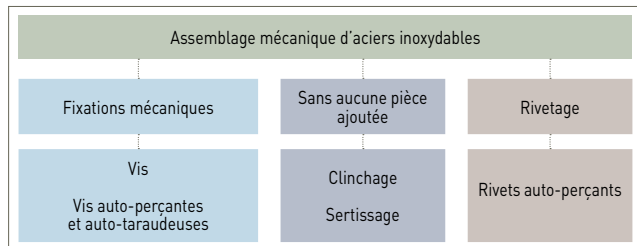
Le décapage se fait dans une solution fluonitrique (10% HNO₃ + 2% HF) ou utilise des pâtes de décapage spécifiques au soudage.

Une passivation et un traitement de décontamination peuvent suivre afin d'aider la couche passive (voir p. 59) à se reformer rapidement et à ôter les résidus métalliques organiques (particules riches en fer). Le procédé demande une immersion dans un bain froid d'acide nitrique de 20% à 25%.

La passivation locale des zones de soudage peut être faite avec des pâtes de passivation spécifiques.

ASSEMBLAGE MECANIQUE

Les techniques d'assemblage mécanique pour les aciers au carbone sont également bien adaptées aux aciers inoxydables.



L'assemblage mécanique présente certains avantages :

- Des matériaux distincts peuvent facilement être assemblés.
- Il n'y a aucune zone thermiquement affectée (désignée ici HAZ).
- Des parties d'épaisseurs distinctes peuvent être assemblées.
- Il n'y a pas de dilatation thermique

Il faut tout de même considérer le fait que les propriétés mécaniques d'assemblages mécaniques peuvent présenter certains inconvénients puisqu'il n'y a pas de coalescence complète entre les éléments à assembler. La méthode d'assemblage peut aussi nécessiter un accès sur les deux côtés.

Il est essentiel d'assurer qu'aucune des surfaces en contact n'entraîne de corrosion due à un couplage galvanique. Pour éviter ce risque, les parties à assembler doivent être composées du même acier inoxydable ou d'un acier d'une nuance équivalente. Tous les écrous, vis, attaches ou rivets doivent être fabriqués en acier inoxydable.

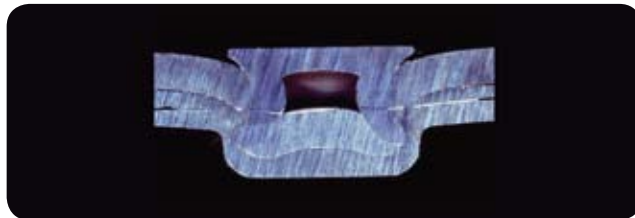
VIS ET ECROUS

Les vis et écrous en acier inoxydable sont disponibles dans toutes les nuances. Alors que les nuances ferritiques à 17% de Cr sont mieux adaptées pour une utilisation dans des environnements à faible agressivité seulement, leur résistance à la corrosion dans les médias contenant des chlorures est améliorée avec 1% à 1,5% de molybdène.



RIVETAGE

Cette technique s'opère toujours en température ambiante avec des rivets d'un diamètre maximal d'environ 5 mm. Nous recommandons fortement que les assemblages soient conçus avec des rivets travaillant plutôt en cisaillement qu'en traction.



Auto-rivetage sur du 430, 1,5 mm.

CLINCHAGE

Cette technique, relativement récente, peut s'appliquer facilement aux aciers inoxydables grâce à leur forte ductilité. Ce formage à froid est un procédé qui n'engendre aucun changement structural ou oxydation en surface.

Puisque les tôles à assembler doivent se chevaucher, le clinchage est souvent accompagné d'un joint adhésif pour fournir un assemblage étanche afin d'empêcher les fissures de corrosion et d'amortir les vibrations.

SERTISSAGE

Avec cette technique mécanique pour assembler des tôles, les bords d'une ou plusieurs tôles sont pliés à un angle de 180° pour avoir un sertissage sans jeu. Comme pour le clinchage, différents matériaux peuvent être assemblés – par exemple, une nuance austénitique et une ferritique.

Des joints parfaitement étanches peuvent être réalisés grâce à cette technique très répandue dans la fabrication d'appareils ménagers.



Vue écartée de l'intérieur d'une machine à laver.

FIXATION PAR COLLAGE

La fixation par collage peut être employée pour renforcer des assemblages mécaniques ou, simplement, pour assembler des tôles minces en acier inoxydable.



Fixation de gouttière en 430Ti revêtu d'étain.

Ses avantages sont :

- Il n'y a aucun changement de l'apparence de la surface, de la géométrie ou de la microstructure des parties assemblées.
- Des matériaux distincts peuvent être facilement et esthétiquement assemblés.
- Des assemblages bien conçus ont une excellente résistance à la fatigue.
- La méthode peut offrir une isolation thermique, électrique ou acoustique.
- Des parties d'épaisseur distinctes peuvent être assemblées.

Cependant, il faut considérer que ces assemblages pourront avoir une température limite de 200°C et une certaine sensibilité à l'humidité. Les assemblages adhésifs ne sont pas aussi résistants que les assemblages issus du soudage ou du brasage. Aussi sont-ils surtout employés pour les assemblages de recouvrement avec une répartition des charges suffisante pour limiter les contraintes locales.

Il est également possible qu'un acier inoxydable à la surface régulière (surtout recuit brillant) n'ait pas de bonnes propriétés adhésives.

Une fois rendue rugueuse, la surface doit être très propre, sèche et bien préparée. La condition essentielle pour un bon collage est le mouillage adapté du substrat avec l'adhésif.

Les fabricants d'autobus et d'autocars, par exemple, utilisent aujourd'hui souvent une ossature tubulaire en acier inoxydable, généralement en nuance ferritique 1.4003/410. La peau (tôle et / ou verre) est assemblée par collage à cette ossature. Cette approche augmente la vie du véhicule et réduit son poids.



Fenêtres collées à un châssis tubulaire en 1.4003.







NICK MCDONALD

**DIRECTEUR MARKETING, LINCAT LIMITED,
LINCOLN, ROYAUME-UNI**

« Fondé en 1971, Lincat est un leader dans la fabrication d'appareils de cuisine professionnels depuis 36 ans. L'acier inoxydable ferritique 430, que nous utilisons depuis l'origine, est le pilier de notre gamme de produits.

Cette nuance est conforme à notre cahier des charges pour ces applications et nous offre à un coût raisonnable les avantages de l'acier inoxydable, ce qui est important pour la préparation et la présentation des aliments. De plus, la dilatation thermique relativement faible du 430 est un important « plus » technique pour les applications à forte température.



Nous fabriquons presque tout en 430, à l'exception de quelques éléments tels que les réservoirs internes de bain-marie pour lesquels nous utilisons toujours du 304. Côté fabrication, nos produits sont conçus pour être facilement nettoyés et le 430 est alors un matériau très adapté.

En étudiant de près les besoins de nos clients, nos produits sont réputés pour leur fiabilité exceptionnelle et leur fabrication solide et durable. Le ferritique 430 est un élément essentiel de cette équation. Nos clients sont très satisfaits, et nous aussi. »

Produits et applications

Les ferritiques sont souvent associés aux éléments décoratifs, les éviers et les échappements d'automobile. Leur possibilité d'utilisation actuelle et potentielle va bien au-delà de ces simples applications.

Les aciers inoxydables ferritiques sont des aciers au chrome sans nickel qui résistent à la corrosion et à l'oxydation. Ils sont très résistants à la corrosion sous contrainte, sont avantageusement magnétiques et offrent de nombreux autres « plus » techniques, esthétiques et pratiques. Leur valeur est souvent meilleure à long terme que l'acier au carbone et ils sont bien moins chers que leurs cousins austénitiques, qui contiennent du nickel.

Leurs utilisations potentielles sont mal explorées et les pages suivantes illustrent certaines utilisations pour ces matériaux. Ce chapitre couvre des applications de nombreux secteurs du marché à travers le monde.

L'objectif de cette publication est d'inspirer, par des illustrations d'applications réussies, les utilisateurs actuels et futurs d'aciers inoxydables ferritiques et d'encourager également le choix du bon matériau – l'association optimale d'un matériau avec son application n'ayant jamais été aussi importante.

AUTOMOBILES

COMPOSANTS DE SYSTEME D'ECHAPPEMENT



Nuance 1.4509/441, filtre à particules pour moteur diesel, Peugeot 607, Faurecia

COMPOSANTS DE SYSTEME D'ECHAPPEMENT



Nuance 1.4509/441, collecteur, Faurecia

COMPOSANTS DE SYSTEME D'ECHAPPEMENT



Nuance 1.4512/409, silencieux, Corée du Sud

COMPOSANTS DE SYSTEME D'ECHAPPEMENT



Nuances 304 & 441, filtre à particules pour moteur diesel, Mercedes Class E, Faurecia

COMPOSANTS DE SYSTEME D'ECHAPPEMENT



Nuance SUS430J1L, coquille de catalyseur, nid d'abeille en 20% Cr-5% Al

COMPOSANTS DE SYSTEME D'ECHAPPEMENT



Nuance 1.4509/441, catalyseur, Faurecia

ELEMENTS DECORATIFS



Nuance SUS430, Corée du Sud

ELEMENTS DECORATIFS



Nuance SUS430J1L, Japon

ELEMENTS DECORATIFS



Nuance SUS430, Corée du Sud

ELEMENTS DECORATIFS



Nuance 1.4016/430,
finition revêtue en noir, USA

ELEMENTS DECORATIFS



Nuance 1.4113/434, USA

PARE-CHOC DE SUV



Nuance 1.4513,
Plastic Omnium, France

SEUIL DE COFFRE



Nuance 1.4510/430Ti,
Peugeot 307, France

PHARES



Nuance 1.4513,
finition de phares, Italie

CAMION



Nuance 1.4113, finition
décorative de camion, USA

COLLIERS DE SERRAGE



Nuances 1.4509/441 et 1.4016/430

FILTRES



Nuance 1.4512/409L,
Taiwan, Chine

DISQUES DE FREIN



Nuance 1.4028/420

THERMOSTAT



Nuance 1.4512/409, France

ROUE RADIALE



Nuance 1.4512/409,
1,5 mm d'épaisseur, France

BATIMENT ET TRAVAUX PUBLICS

ACCESSOIRES

QUINCAILLERIE DE BATIMENT - CHARNIERES ET FIXATIONS



Nuance 1.4016/430, Europe

GOUTTIERES



Nuance 1.4510/430Ti
revêtue d'étain, Europe

GOUTTIERES



Nuance 1.4521/444, Europe

CONDUIT DE CHEMINEE



Nuance 1.4521/444,
Cheminées Poujolat, France

CONSTRUCTION

ISOLATION EXTERIEURE EN TUBE CARREE



Nuance SUH409L
[1.4512/409], JSSA, Japon

HEBERGEMENT D'URGENCE



Nuance 1.4016/430 peinte,
VERNEST® et Centro Inox, Italie

ABRI POUR SYSTEME DE COMMUNICATION



Nuance SUS436L
[1.4526/436], JSSA, Japon

BATIMENT INDUSTRIEL



Nuance 1.4003,
nouveau parachèvement,
Columbus, Afrique du Sud

STRUCTURE DE TOIT



Charpente : une application
potentielle pour les ferritiques

BATIMENT



Nuance SUS445J1 & SUS445J2,
Nakano Sakaue Bldg., 1996, Japon

BATIMENT



SUS445J2 enduit en résine,
Phoenix Resort, 1994, Japon

BATIMENT



Eléments extérieurs SUS445J1,
intérieur SUS304, Nihonbashi
Mitsui Bldg., 2005, Japon

CONSTRUCTIONS CIVILES

PLAQUE ANTI-BRUIT
DE PASSAGE AERIEN

Nuance SUS436 (1.4526/436),
JSSA, Japon

CHARPENTE METALLIQUE
POUR PONTS

Nuance 1.4003/410 peinte,
SASSDA, Afrique du Sud (pont
en service depuis plus de huit ans).

PAROI INTERIEURE DE TUNNEL



Nuance SUS430J1L (1.4016/430),
JSSA, Japon

PAROI INTERIEURE DE TUNNEL



Nuance 1.4016/430 peinte,
Tunnel Monte Mario, Centro Inox,
Italie

BARRIERE COUPE-VENT



Nuance SUS445J2, JSSA, Japon

PORTE PALIERE SUR QUAI



Nuance 1.4510/439,
 finition hair-line,
KOSA, Corée du Sud

MAT D'ELECTRIFICATION



Nuance 1.4003 (première
 application majeure en 1982
 sur la côte à 10 m des vagues :
 aucune corrosion), Afrique du Sud

PRODUCTION D'ENERGIE



Nuance 1.4003/410,
 grille-enveloppe en X
 pour tour de refroidissement,
 Afrique du Sud

REVETEMENT DE FACADE

PANNEAUX DE FACADES
DE BATIMENTS

Nuance SUS445M2,
 finition mate à faible réflectivité,
ASSDA, Australie

PANNEAUX DE FACADES
DE BATIMENTS

Nuance 1.4521/444 n° 4 brossée
 (plaques horizontales), Vivo
 Building, Rio De Janeiro, Nucleo
 Inox, Brésil (environnement côtier)

PANNEAUX DE FACADES
DE BATIMENTS

Nuance SUS445J2, Future
 Science Museum, JSSA, Japon

PANNEAUX DE FACADES
DE BATIMENTS

Nuance 1.4526/436,
 Ugine & Alz Steel Service
 Centre, Arcelor Mittal
 Stainless, Katowice, Pologne

ASCENSEURS

MARCHES D'ESCALATOR



Nuance SUS430LX (1.4016/430),
Japon

PAROIS D'ASCENSEUR



Nuance 1.4510/439

TOITURES

TOIT DU MEDIADOME



Nuance SUS445J2,
Kitakyushu Mediadome
(Fukuoka Pref.) 1998, Japon

TOIT D'ECOLE



Nuance 430Ti
(technique du joint debout),
Ugine & Alz, Autriche

TOIT DE GYMNASE



Nuance 445, KOSA, Corée du Sud

AUVENT



Nuance 446,
KOSA, Séoul, Corée du Sud

TOIT DE CHALET



Nuance 1.4510/430Ti
(technique du joint debout),
Ugine & Alz, Allemagne

TOIT D'AEROPORT



Nuance SUS447J1,
terminal de l'aéroport
de Kansai (architecte :
Renzo Piano), JSSA, Osaka, Japon

MOBILIER URBAIN

LAMPADAIRE



Nuance 1.4510/439,
tube soudé et électro-poli,
KOSA, Séoul, Corée du Sud

BOITES AUX LETTRES



Nuance 1.4003/410 peinte, SASSDA,
Afrique du Sud. Les ferritiques
à basses teneurs en chrome
sont souvent peints lorsque
l'esthétique est essentielle.

DISTRIBUTEUR DE TICKETS
SUR QUAI DE GARE

Nuance 1.4003/410 peinte (en
service depuis 15 ans), SASSDA,
R.-U.

BOITIERS ELECTRIQUES



Nuance 1.4003/410 peinte (en
service depuis 15 ans), SASSDA,
Afrique du Sud

EQUIPEMENT ALIMENTAIRE COMMERCIAL

FOUR DE BOULANGERIE



Nuance 430, Macadams Baking Systems (PTY) Ltd, Afrique du Sud

EQUIPEMENT DE CUISINE A GAZ



Nuance 430, Lincat, R.-U.

DISTRIBUTEUR DE CAFE



Nuance SUS430J1, JSSA, Japon

PRESENTOIR CHAUFFE



Nuance 430, Lincat, R.-U.

GRILLE-PAIN CONVOYEUR



Nuance 430, Lincat, R.-U.

FOUR A MICRO-ONDES



Nuance 430 (intérieur et extérieur), JSSA, Japon

CUISINIERE A GAZ



Nuance 430 (plaque chauffante à gaz), POSCO, Corée du Sud

REFRIGERATEUR



Plaque SUS430J1L
enduite de résine, JSSA, Japon

MACHINE A CAFE



Nuance 430, Lincat, R.-U.

CHARIOT DE RESTAURANT



Nuance 430

PRESENTOIR



Nuance 430, Lincat, R.-U.

CABINET MURAL



Nuance 430, Lincat, R.-U.

MAISON & BUREAU

Pour les applications suivantes, les nuances ferritiques (série 400) sont actuellement bien acceptées comme idéales grâce à leur qualité esthétique, leur résistance au nettoyage et aux désinfectants, leur faible coefficient de dilatation et leur magnétisme (pour la cuisson à induction). Elles ont aussi des avantages économiques considérables comparées à d'autres matériaux.

EQUIPEMENT DE CUISINE DOMESTIQUE

FOUR A GAZ



KOSA, Corée du Sud

AUTRES



TKN, Allemagne

FOUR A MICRO-ONDES



Nuance SUS430J1, JSSA, Japon

SURFACE DE CUISSON A GAZ



TSSDA, Thaïlande

BARBECUE



Nuance 1.4016/430,
coupe-vent et brasier,
Ompagrill et Centro Inox, Italie

BARBECUE



Nuance 1.4016/430,
barbecue, USA

BATTERIES DE CUISINE

WOK



CASSEROLES A INDUCTION



Groupe SEB (Tefal)

LAVE-VAISSELLE

AUTOCUISEUR



Nuance 430, Groupe SEB

CASSEROLES



Nuance 430, POSCO, Corée du Sud

LAVE-VAISSELLE



Nuance 430, paroi intérieure

LAVE-VAISSELLE



SUS430J1L paroi extérieure
enduite de résine, JSSA, Japon

APPAREILS ELECTRIQUES

LAVE-VAISSELLE



Nuance 430 (panneaux extérieurs et intérieurs), Haier, RPC

MIXEUR



Nuance 1.4513, TKN, Italie

MIXEUR



Nuance 430

AUTOCUISEUR A RIZ ELECTRIQUE



SUS430 enduit de résine, JSSA, Japon

MEUBLES

BOUILLLOIRE ELECTRIQUE



SUS430 enduit de résine, JSSA, Japon

ETAGERES



Nuance 1.4016/430, étagères horizontales, Graepel et Centro Inox, Italie

POUBELLES



Nuance 1.4016/430, Graepel et Centro Inox, Italie

CLOISON



Nuance 430, POSCO, Corée du Sud

HOTTES

RAMPE



Tube soudé, nuance 430

CADRE POUR ECRAN LCD



Nuance 410, POSCO, Corée du Sud

HOTTE DE CUISINE



Nuance 430, Blanco, TKN, Allemagne

HOTTE DE CUISINE



Nuance 430, Falmec, Nucleo Inox, Brésil

OBJETS DE CUISINE

DISTRIBUTEUR DE LIQUIDE



Nuance 430

BOUILLLOIRE ELECTRIQUE



Nuance 430, Groupe SEB

MACHINE A CUIRE LES PATES



Inox massif SUS430J1L
(chauffage par induction),
JSSA, Japon

REFRIGERATEURS

REFRIGERATEUR & CONGELATEUR



Nuance 430, paroi

EVIER

EVIER DE CUISINE



Nuance 430, Tramontina, Brésil

LAVE-LINGE

TAMBOUR



Nuance 430 (tambour et paroi
extérieure), TKN, Allemagne

TAMBOUR



Nuance 430, tambour,
LG Electronics, Corée du Sud

REFRIGERATEUR & CONGELATEUR



Nuance 430,
paroi de porte, TKN, Allemagne

SECHE-LINGE

TAMBOUR



Nuance SUS430, JSSA, Japon

TAMBOUR



Nuance 409, Whirlpool, Europe

USTENSILES DE TABLE

CUILLERE ASIATIQUE



Nuance 430

COUTELLERIE



Nuances de série 400, IKEA

INDUSTRIE

Les ferritiques sont très utilisés lorsque la maintenance de l'acier au carbone est quasiment impossible.

CONDUITE CENTRALE DE DRAINAGE



Nuance 1.4003/410 peinte,
Columbus, Afrique du Sud

BARRIERES ANTI-INONDATION



Nuance 1.4003/410 peinte,
Columbus, Afrique du Sud

RESERVOIRS



Nuance SUS430J1L revêtue
de résine de couleur
(extérieur), JSSA, Japon

TOUR DE FRACTIONNEMENT



Nuance 410S, Europe

BRULEURS

TAPIS ROULANT



Nuance 410S, Europe

BRÛLEURS



Nuance 1.4509/441
(forte résistance à l'oxydation)

BRÛLEUR



Nuance SUS430, brûleur de gaz
pour chaudière, JSSA, Japon

CHAUDIERES

TUBE INTERIEUR DE CHAUDIERE



Nuance 1.4521/444,
KOSA, Corée du Sud

CHAUFFE-EAU INSTANTANE « HYDROBOIL »



Nuance 1.4521/444,
ZIP industries et ASSDA, Australie

CHAUDIERE



Nuance 444, Europe

RESERVOIR A EAU CHAUDE



Nuance 1.4521/444, Europe

RESERVOIR A EAU CHAUDE



Nuance SUS444, JSSA, Japon

TRANSFORMATION DES ALIMENTS

MURS & PLAFONDS



Nuance 445M2,
Melbourne, Australie

ECHANGEURS THERMIQUES

TUBES SOUDES DE RECHAUFFEUR ET CONDENSEUR



Nuance 1.4510/439,
VALTIMET, Europe

TUBES SOUDES DE SECHEUR



Nuance 1.4510/439,
VALTIMET, Europe

TUBES SOUDES DE CONDENSEUR



Nuance 1.4510/439,
VALTIMET, Europe

CHAUFFE-EAU SOLAIRES

CHAUFFE-EAU SOLAIRE



Nuance SUS444,
Suncue Company Ltd. et
YUSCO, Taiwan, Chine

CHAUFFE-EAU SOLAIRE



Nuance 1.4509/441 (cylindre),
Sun Tank et SASSDA,
Afrique du Sud

CHAUFFE-EAU SOLAIRE



Panneaux solaires :
cadre et collecteur, application
potentielle pour les ferritiques
de nuances 441/444

INDUSTRIE SUCRIERE

TRANSPORTEUR A VIS



Nuance 1.4003/410, Columbus,
Afrique du Sud. Ici, le ferritique
résiste depuis plus de 18 ans.

BANDE TRANSPORTEUSE



Nuance 1.4003/410, Columbus,
Afrique du Sud. Cette machine est
en service depuis 22 ans.

COUVERCLE DE MARMITE POUR JUS



Nuance 1.4003/410, Columbus,
Afrique du Sud. L'acier au carbone
(en haut) comparé au ferritique
(en bas) après 6 ans de service.

TUBES D'ECHANGEUR THERMIQUE



Nuance 1.4521/444,
Nucleo Inox, Brésil

CRISTALLISEUR & DIFFUSEUR



Nuance 1.4003/410,
Columbus, Afrique du Sud

RESERVOIRS

RESERVOIRS D'EAU ET CONDUITES



Nuance 444, Brésil

RESERVOIR D'EAU



Nuance 444, KOSA, Corée du Sud

RESERVOIR D'EAU



Partiellement en nuance SUS444, finition n° 4, JSSA, Japon

RESERVOIR D'EAU



Partiellement en nuance SUS444, finition n° 4, JSSA, Japon

MOTOCYLETTE

RESERVOIR DE FERMENTATION ET DE STOCKAGE



Nuance 444,
Nucleo Inox, Brésil,
Sander Inox produit ces réservoirs
avec succès depuis sept ans.

RESERVOIR DE FERMENTATION ET DE STOCKAGE



Nuance 444, Nucleo Inox, Brésil

ECHAPPEMENT DE MOTOCYLETTE

Nuance 1.4512/409L,
YUSCO, Taiwan, Chine

ECHAPPEMENT DE MOTOCYLETTE



Nuance 1.4509/441,
Centro Inox, Italie.
La nouvelle Vespa ET2
est équipée d'un silencieux
catalytique ferritique.

ECHAPPEMENT DE MOTOCYLETTE



Nuance 409L

ECHAPPEMENT DE MOTOCYLETTE



Nuance 409L, Acesita, Brésil

TAMBOUR DE DISQUE DE FREINS



Nuance SUS410SM1, JSSA, Japon

AUTRES

Nuance 420, disques de frein,
finition en 1.4113, Italie

TRANSPORT

OSSATURE
DE CARROSSERIE D'AUTOBUS



Nuance 1.4003/410,
Columbus, Afrique du Sud

OSSATURE
DE CARROSSERIE D'AUTOBUS



Nuance 1.4003/410
(partie inférieure peinte),
Columbus, Afrique du Sud

OSSATURE
DE CARROSSERIE D'AUTOBUS



Nuance 1.4003,
tubes soudés et panneau,
Solaris Bus & Coach Co., Pologne

CONTENEUR



Nuance 1.4003/410
(structure et panneaux),
POSCO, Corée du Sud

CONTENEUR



Nuance 1.4003/410 peinte
(châssis et panneaux de portes)

WAGON A CHARBON



Nuance 1.4003/410 (panneaux),
Columbus, Afrique du Sud.
En service depuis plus de 20 ans.

WAGON A CHARBON



Nuance 1.4003/410 (panneaux),
Columbus, Afrique du Sud.
En service depuis plus de 15 ans.

WAGON A CHARBON



Nuance 1.4003
(intérieur du précédent),
SASSDA, Afrique du Sud

WAGON A CHARBON



Nuance 1.4003/410 peinte,
Europe

WAGON A CHARBON



Nuance 409/410 peinte,
TISCO, RPC

WAGON A CHARBON



Nuance 1.4003,
SASSDA, Afrique du Sud

TRAMWAY



Nuance 1.4003/410
(ossature de carrosserie
et panneaux peints), Europe



ANNEXES

La composition chimique des aciers inoxydables ferritiques

Les aciers inoxydables ferritiques disposent de propriétés similaires à celles de l'acier doux, mais offrent une meilleure résistance à la corrosion. Leur élaboration date de plus d'un siècle.

LES PREMIERS FERRITIQUES

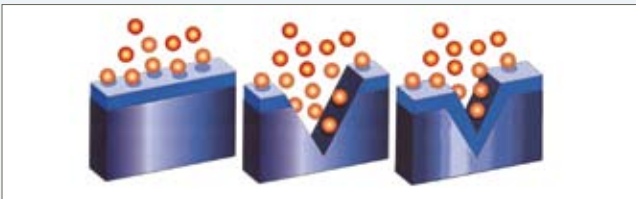
L'acier inoxydable a été « découvert » entre 1900 et 1915. Comme beaucoup d'innovations, ce fut le résultat d'efforts de plusieurs scientifiques. La recherche concernant des alliages avec des compositions connues aujourd'hui comme les nuances 410, 420, 430, 442, 446 et 440C a été publiée en Angleterre, en France et en Allemagne.

Le niveau de la teneur en carbone des aciers inoxydables doit être très faible. Il a longtemps été difficile d'obtenir ce niveau, ce qui explique l'arrivée tardive de nuances ferritiques efficaces (les années 80).

LES NUANCES ET LEUR CHIMIE

Le chrome (Cr) est certainement l'élément d'alliage le plus important dans la production d'aciers inoxydables ; il est à l'origine du film de surface « passif » qui donne la résistance à la corrosion à l'acier et augmente sa résistance à l'écaillage et à l'usure, ainsi que sa résistance à la traction.

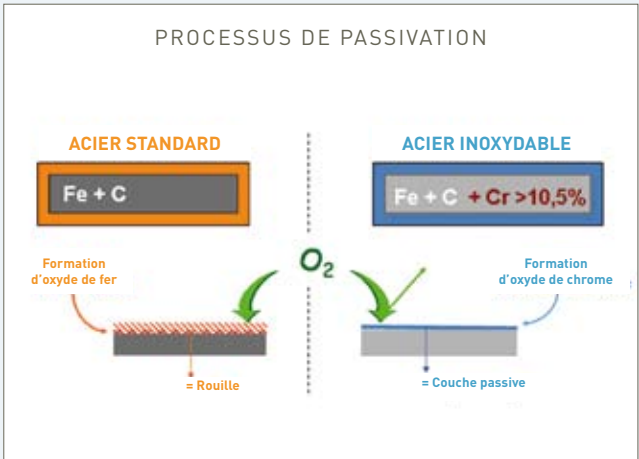
Un minimum de 10,5% de teneur en chrome (en poids) est nécessaire pour fiabiliser la formation de la couche superficielle d'oxyde de chrome de protection et d'auto-réparation. Plus la teneur en chrome est importante, plus la couche passive résiste.



Si la surface de l'acier inoxydable est travaillée mécaniquement ou endommagée par accident, la couche passive se reforme automatiquement en présence d'air ou d'eau.

COMPOSITION CHIMIQUE ET NORMES INTERNATIONALES

Les tableaux suivants illustrent l'analyse chimique des cinq groupes d'aciers inoxydables ferritiques.



LES CINQ GROUPES DE NUANCES FERRITIQUES				
Groupe 1	Groupe 2	Groupe 3	Groupe 4	Groupe 5
10% - 14%	14% - 18%	14% - 18% stabilisé	Mo ajouté	Autres
Types 409, 410, 420 Teneur en Cr : 10% - 14%	Type 430 Teneur en Cr : 14% - 18%	Types 430Ti, 439, 441, etc. Teneur en Cr : 14% - 18%. Contient des éléments de stabilisation comme le Ti, Nb, etc.	Types 434, 436, 444, etc. Teneur en Mo supérieure à 0,5%	Teneur en Cr de 18% - 30% ou n'appartenant pas aux autres groupes

NORMES : - ASTM A 240 - 06C, novembre 2006
- EN 10088-2, septembre 2005
- JIS G 4305, 1991

GROUPE 1

10%-14%Cr	AISI, ASTM	Composant chimique (poids maximum en %)														Norme	Réf.
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ti	Nb	Cu	Al	N	Ni			
	403(M)	0.15 0.12-0.17	0.5 1.0	1.0 1.0	0.04 0.04	0.03 0.015	11.5-13.0 12.0-14.0								JIS EN	SUS403 1.4024	
405	0.08	1.0	1.0	0.04	0.03	11.5-14.5					0.1-0.3		0.6	UNS	S40500		
	0.08 0.08 0.08	1.0 1.0 1.0	1.0 1.0 1.0	0.04 0.04 0.04	0.015 0.015 0.03	12.0-14.0 12.0-14.0 11.5-14.5					0.1-0.3 0.1-0.3			EN EN JIS	1.4000 1.4002 SUS405		
409L	0.03	1.0	1.0	0.04	0.02	10.5-11.7		6x(C+N)-0.5	0.17			0.03	0.5	UNS	S40910		
	0.03	1.0	1.0	0.04	0.02	10.5-11.7		8x(C+N)-0.5	0.1			0.03	0.5	UNS	S40920		
	0.03	1.0	1.0	0.04	0.02	10.5-11.7		[0.08+8x(C+N)]-0.75				0.03	0.5	UNS	S40930		
	0.03	1.0	1.0	0.04	0.02	10.5-11.7		0.05-0.2	0.18-0.4			0.03	0.5	UNS	S40945		
	0.03	1.0	1.0	0.04	0.02	10.5-11.7		6x(C+N)-0.75				0.03	0.5-1.0	UNS	S40975		
	0.03	1.0	1.5	0.04	0.015	10.5-12.5						0.03	0.3-1.0	UNS	S40977		
	0.03	1.0	1.0	0.04	0.015	10.5-12.5		6x(C+N)-0.65					0.5	EN	1.4512		
	0.08	0.7	1.5	0.04	0.015	10.5-12.5		0.05-0.35					0.5-1.5	EN	1.4516		
	0.03	1.0	1.0	0.04	0.03	10.5-11.75		6xC-0.75					0.6	JIS	SUH409L		
	410(M)	0.08-0.15	1.0	1.0	0.04	0.03	11.5-13.5								UNS	S41000	
0.08-0.15		1.0	1.5	0.04	0.015	11.5-13.5							0.75	EN	1.4006		
0.15		1.0	1.0	0.04	0.03	11.5-13.5							0.75	JIS	SUS410		
410L	0.03	1.0	1.5	0.04	0.03	10.5-12.5								UNS	S41003		
	0.03	1.0	1.0	0.04	0.03	12.0-13.0						0.03	0.5	UNS	S41045		
	0.04	1.0	1.0	0.045	0.03	10.5-12.5						0.1	0.6-1.10	UNS	S41050		
	0.03	1.0	1.0	0.04	0.03	11.0-13.5								JIS	SUS410L		
	0.03	1.0	1.5	0.04	0.015	10.5-12.5								EN	1.4003		
410S(M)	0.08	1.0	1.0	0.04	0.03	11.5-13.5								UNS	S41008		
	0.08	1.0	1.0	0.04	0.03	11.5-13.5							0.6	JIS	SUS410S		
420J1(M)	0.16-0.25	1.0	1.0	0.04	0.03	12.0-14.0								JIS	SUS420J1		
	0.16-0.25	1.0	1.5	0.04	0.015	12.0-14.0								EN	1.4021		
420J2(M)	0.26-0.40	1.0	1.0	0.04	0.03	12.0-14.0								JIS	SUS420J2		
	0.26-0.35	1.0	1.5	0.04	0.015	12.0-14.0								EN	1.4028		
	0.36-0.42	1.0	1.0	0.04	0.015	12.5-14.5								EN	1.4031		
	0.43-0.50	1.0	1.0	0.04	0.015	12.5-14.5								EN	1.4034		

GROUPE 2

14%-18%Cr	AISI, ASTM	Composant chimique (poids maximum en %)														Norme	Réf.
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ti	Nb	Cu	Al	N	Ni			
	420	0.08	1.0	1.0	0.045	0.03	13.5-15.5	0.2-1.2	0.3-0.5					1.0-2.5	UNS	S42035	
		0.08	1.0	1.0	0.04	0.015	13.5-15.5	0.2-1.2	0.3-0.5					1.0-2.5	EN	1.4589	
	429	0.12	1.0	1.0	0.04	0.03	14.0-16.0								UNS	S42900	
		0.12	1.0	1.0	0.04	0.03	14.0-16.0								JIS	SUS429	
	429J1(M)	0.25-0.4.0	1.0	1.0	0.04	0.03	15.0-17.0								JIS	SUS429J1	
	430	0.12	1.0	1.0	0.04	0.03	16.0-18.0							0.75	UNS	S43000	
		0.08	1.0	1.0	0.04	0.015	16.0-18.0								EN	1.4016	
		0.12	0.75	1.0	0.04	0.03	16.0-18.0								JIS	SUS430	
1.4017	0.08	1.0	1.0	0.04	0.015	16.0-18.0							1.2-1.6	EN	1.4017		
440(M)	0.6-0.75	1.0	1.0	0.04	0.03	16.0-18.0								JIS	SUS440A		

GROUPE 3

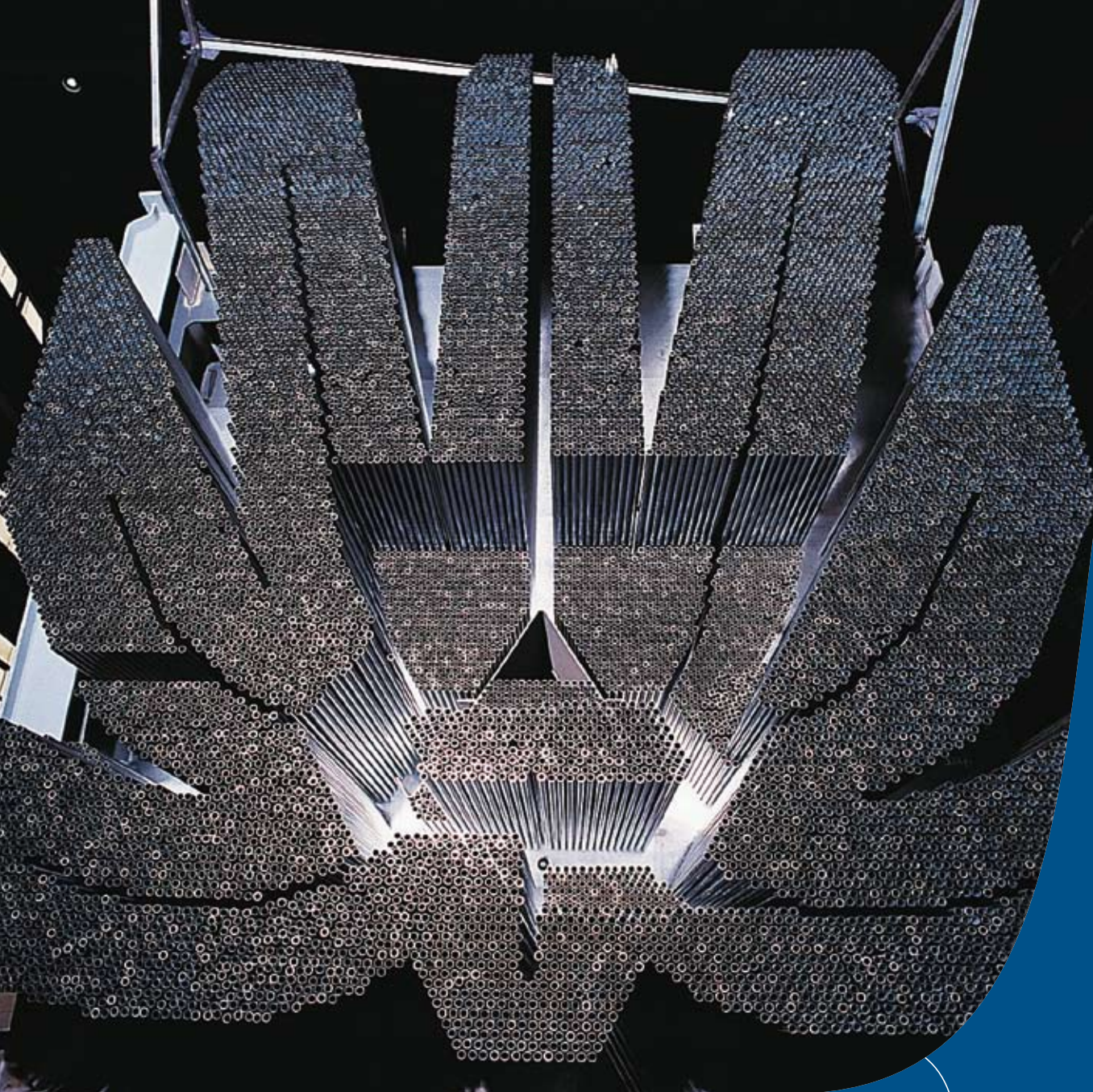
	AISI, ASTM	Composant chimique (poids maximum en %)													Norme	Réf.
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ti	Nb	Cu	Al	N	Ni		
14%-18%Cr stabilisé	430J1L	0.025	1.0	1.0	0.04	0.03	16.0-20.0			8x[C+N]-0.8	0.3-0.8		0.025		JIS	SUS430J1L
	430LX	0.03	0.75	1.0	0.04	0.03	16.0-19.0		0.1-1.0					0.6	JIS	SUS430LX
	439	0.03	1.0	1.0	0.04	0.03	17.0-19.0		[0.2+4x(C+N)]-1.10			0.15	0.03	0.5	UNS	S43035
		0.05	1.0	1.0	0.04	0.015	16.0-18.0		[0.15+4x(C+N)]-0.8						EN	1.4510
		0.03	1.0	1.0	0.04	0.03	17.0-19.0		[0.2+4x(C+N)]-0.75			0.15	0.03	0.5	UNS	S43932
		0.03	1.0	1.0	0.04	0.015	17.5-18.5		0.1-0.6	[0.3+{3xC}]					UNS	S43940
		0.03	1.0	1.0	0.04	0.015	16.0-17.5			0.35-0.55					EN	1.4590
		0.025	0.5	0.5	0.04	0.015	16.0-18.0		0.3-0.6						EN	1.4520
		0.02	1.0	1.0	0.04	0.015	13.0-15.0			0.2-0.6					EN	1.4595
	430Ti	0.05	1.0	1.0	0.4	0.015	16.0-18.0		0.6						EN	1.4511
	441	0.03	1.0	1.0	0.04	0.03	17.5-18.5		0.1-0.6	9xC+0.3-1				1.0	UNS	S44100
		0.03	1.0	1.0	0.04	0.015	17.5-18.5		0.1-0.6	3xC+0.3-1					EN	1.4509

GROUPE 4

	AISI, ASTM	Composant chimique (poids maximum en %)														Norme	Réf.
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ti	Nb	Cu	Al	N	Ni	Other		
Mo ajouté	415	0.05	0.6	0.5-1.0	0.03	0.03	11.5-14.0	0.5-1.0						3.5-5.5		UNS	S41500
	434	0.12	1.0	1.0	0.04	0.03	16.0-18.0	0.75-1.25								UNS	S43400
		0.08	0.75	0.8	0.04	0.015	16.0-18.0	0.9-1.4								EN	1.4113
		0.08	1.0	1.0	0.04	0.015	16.0-18.0	0.8-1.4					0.04			EN	1.4526
		0.12	1.0	1.0	0.04	0.03	16.0-18.0	0.75-1.25		[7x(C+N)+0.1]-1.0						JIS	SUS434
	436	0.12	1.0	1.0	0.04	0.03	16.0-18.0	0.75-1.25		8x(C+N)-0.8			0.025			UNS	S43600
		0.025	1.0	1.0	0.04	0.015	16.0-18.0	0.9-1.4	0.3-0.6							EN	1.4513
		0.025	1.0	1.0	0.04	0.03	16.0-19.0	0.75-1.25		8x(C+N)-0.8			0.025			JIS	SUS436L
	1.4419[M]	0.36-0.42	1.0	1.0	0.04	0.015	13.0-14.5	0.6-1.0								EN	1.4419
	1.4110[M]	0.48-0.60	1.0	1.0	0.04	0.015	13.0-15.0	0.5-0.8							V≤0.15	EN	1.4110
	1.4116[M]	0.45-0.55	1.0	1.0	0.04	0.015	14.0-15.0	0.5-0.8							0.1≤V≤0.2	EN	1.4116
	1.4122[M]	0.33-0.45	1.0	1.5	0.04	0.015	15.5-17.5	0.8-1.3						≤1.0		EN	1.4122
	1.4313[M]	≤0.05	0.7	1.5	0.04	0.015	12.0-14.0	0.3-0.7					≥0.02	3.5-4.5		EN	1.4313
	1.4418[M]	≤0.06	0.7	1.5	0.04	0.015	15.0-17.0	0.8-1.5					≥0.02	4.0-6.0		EN	1.4418
	436J1L	0.025	1.0	1.0	0.04	0.03	17.0-20.0	0.4-0.8		8x(C+N)-0.8			0.025			JIS	SUS436J1L
	444	0.025	1.0	0.7-1.5	0.04	0.03	17.5-19.5	1.75-2.5		0.2+4(C+N)-0.8				1.0		UNS	S44400
		0.025	1.0	1.0	0.04	0.015	17.0-20.0	1.8-2.5		4x(C+N)+0.15-0.8			0.03			EN	1.4521
		0.025	1.0	1.0	0.04	0.03	17.0-20.0	1.75-2.5		8x(C+N)-0.8			0.025			JIS	SUS444

GROUPE 5

	AISI, ASTM	Composant chimique (poids maximum en %)													Norme	Réf.	
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ti	Nb	Cu	Al	N	Ni			
Autres	445	0.02	1.0	1.0	0.04	0.012	19.0-21.0			10x[C+N]-0.8	0.3-0.6		0.03	0.6		UNS	S44500
	445J1	0.025	1.0	1.0	0.04	0.03	21.0-24.0			0.7-1.5			0.025			JIS	SUS445J1
	445J2	0.025	1.0	1.0	0.04	0.03	21.0-24.0	1.5-2.5					0.025			JIS	SUS445J2
	446	0.06	0.75	0.75	0.04	0.02	25.0-27.0	0.75-1.5	0.2-1.0		0.2		0.04			UNS	S44626
		0.01	0.4	0.4	0.02	0.02	25.0-27.5	0.75-1.5		0.05-0.2	0.2		0.015	0.5		UNS	S44627
		0.025	0.75	1.0	0.04	0.03	24.5-26.0	3.5-4.5		[0.2+4(C+N)]-0.80			0.035	3.5-4.5		UNS	S44635
		0.03	1.0	1.0	0.04	0.03	25.0-28.0	3.0-4.0		6x[C+N]-1.0			0.04	1.0-3.5		UNS	S44660
		0.01	0.4	0.4	0.03	0.02	25.0-27.5	0.75-1.5					0.015	0.5		JIS	SUSXM27
	447	0.01	0.2	0.3	0.025	0.02	28.0-30.0	3.5-4.2			0.15		0.02	0.15	[C+N] 0.025	UNS	S44700
		0.03	1.0	1.0	0.04	0.03	28.0-30.0	3.6-4.2		6x[C+N]-1.0			0.045	1.0		UNS	S44735
		0.025	1.0	1.0	0.03	0.01	28.0-30.0	3.5-4.5		[4x(C+N)+0.15]-0.8			0.045			EN	1.4592
		0.01	0.4	0.4	0.03	0.02	28.5-32.0	1.5-2.5					0.015			JIS	SUS447J1
	448	0.01	0.2	0.3	0.025	0.02	28.0-30.0	3.5-4.2			0.15		0.02	2-2.5	[C+N] 0.025	UNS	S44800



UTILISATION EXCEPTIONNELLE
DE TUBES FERRITIQUES SOUDES
DANS UN CONDENSATEUR
DE CENTRALE ELECTRIQUE.

ANNEXES

Finitions de surfaces

Les traitements de finition de surfaces appliqués aux aciers inoxydables peuvent être de plusieurs types. Les finitions majeures sont décrites ci-dessous. Les finitions de surface ferritique sont les mêmes que celles de l'austénitique et des autres nuances.

Description	ASTM	EN 10088-2	Notes
Laminé à chaud	1	1E/1D	Surface légèrement rugueuse à l'aspect mat pour une épaisseur spécifiée obtenue par laminage à chaud suivi d'un recuit et d'un décapage.
Laminé à froid	2D	2D	Finition mate pour une épaisseur spécifiée obtenue par laminage à froid, suivi d'un recuit et d'un décapage. Finition qui peut également être obtenue par un léger passage en laminage mat.
Laminé à froid	2B	2B	Finition brillante par laminage à froid généralement obtenue de la même manière que la 2D, sauf au stade final où le laminé recuit et décapé reçoit un nouveau laminage à froid à l'aide de cylindres finement polis. C'est une finition en laminé froid d'usage général dont le poli est plus facile à obtenir qu'en finition 1 ou 2D.
Recuit blanc	BA	2R	Finition BA obtenue par recuit blanc dans une atmosphère inerte après laminage à froid. Plus lisse et brillant que la 2B.
Brossé ou poli-mat	N° 4	1J/2J	D'usage général, cette finition polie et brillante est obtenue par polissage avec un abrasif à grain 120-150 à la suite d'un meulage initial avec des abrasifs plus grossiers.
Poli satiné (mat)	N° 6	1K/2K	Une finition satinée douce reflétant moins que le brossé (ou poli-mat) , obtenue avec une brosse tampico.
Poli brillant (miroir)	N° 8	1P/2P	Couramment produite, c'est la finition à la plus grande réflectivité. Elle est obtenue par polissages successifs avec des abrasifs de plus en plus fins, puis suivi d'un bufflage très fin. La surface est ainsi débarrassée de toutes les rayures causées par les opérations initiales de meulage.
Surface polie électriquement	-	-	Cette surface est obtenue par une attaque électrolytique. Ce procédé électrochimique améliore la finition en supprimant les aspérités des irrégularités de surface.

(NB : le tableau ci-dessus n'est pas officiel et n'est qu'un guide.)



2D



2B



BA



no. 4



no.6

ANNEXES

Références

Bucher, L., P.-O. Santacreu, et al. « Elasto-Viscoplastic behaviour of ferritic Stainless Steel AISI 441-EN 1.4509 from room temperature to 850°C. » *Journal of ASTM International (JAI)* Vol. 3, Numéro 7 (2006).
Egalement : *Fatigue and Fracture Mechanics* (symposium), Vol. 35.

Cunat, Pierre-Jean. « Working with Stainless Steels » Paris : SIRPE, 1998.

Fedosseev, A, et D. Raabe. « Application of the method of superposition of harmonic currents for the simulation of inhomogeneous deformation during hot rolling of FeCr. » *Scripta Metall. Mater* Vol. 30 (1994) : 1-6.

Gümpel, P., N. Arlt, et al. « Simulation des korrosionsverhaltens von nichtrostenden Stählen in PKW-Abgasanlagen. » *Automobiltechnische Zeitschrift (ATZ)* n° 4 (2004) : 350-356.

Huh, M.-Y., J.-H. Lee, et al. « Effect of Through-Thickness Macro and Micro-texture gradients on ridging of 17%Cr Ferritic Stainless Steel Sheet. » *Steel Research* Vol. 76, n° 11 (2005) : 797-806.

Kim, D. S., J. H. Park, et al. « Improvement of Cleanliness of 16%Cr-containing Ferritic Stainless Steel in AOD Processes », *La Revue de Metallurgie* n° 4, Paris (2004) : 291-299.

Kim, K. Y. Kim, et al. « POSCO's development of Ferritic Stainless Steel. » *The Second Baosteel Biennial Academic Conference* Vol. 3, Shanghai, Chine (2006).

Lee, S.-B., M.-C. Jung, et al. « Effect of Niobium on Nitrogen Solubility in High Chromium Steel. » *ISIJ International* Vol. 42 (2002) : 603-608.

Lee, S.-B., J.-H. Choi, et al. « Aluminum Deoxidation Equilibrium in Liquid Fe-16 Pct Cr Alloy. » *Metallurgical and Materials Transactions B*, Vol. 36b (2005) : 414-416.

Miyazaki, A., J. Hirasawa, et al. « Development of high heat-resistant ferritic Stainless Steel with high formability, RMH-1, for Automotive Exhaust Manifolds. » *Kawasaki Steel Technical Report* n° 48 (2003) : 328.

Miyazaki, A., Takao, et al. « Effect of Nb on the Proof Strength of Ferritic Stainless Steels at Elevated Temperatures. » *ISIJ International* Vol. 42, n° 8 (2002) : 916-920.

Murayama, M, N. Makiishi, et al. « Nano-scale chemical analysis of passivated surface layer on stainless steels. » *Corrosion Science* Vol. 48 (2006) : 1307-1308.

Park, J. H., D. S. Kim, et al. « Inclusion Control of Fe-16%Cr Stainless Steel Melts by Aluminum Deoxidation and Calcium Treatment. » *AIST Transactions in Iron & Steel Technology Magazine* Vol. 4, No. 1 (2007) : 137-144.

Park, S. H., K.Y. Kim, et al. « Evolution of Microstructure and Texture Associated with Ridging in Ferritic Stainless Steels. » *ICOTOM 13, Séoul, Corée du Sud* (2002) : 1335.

Park, S. H., K. Y. Kim, et al. « Investigation of Microstructure and Texture Evolution in Ferritic Stainless Steels », *ISIJ International* Vol. 42, n° 1 (2002) : 100.

Park, S. H., K. Y. Kim, et al. « Effect of Annealing Process on the Microstructure and Texture Evolution in Type 430 Stainless Steel. » *Journal of the Korean Institute of Metals & Materials* Vol. 39, n° 8 (2001) : 883.

Park, S. H., K. Y. Kim, et al. « Effect of annealing process on the microstructure and texture evolution in Fe-16%Cr ferritic stainless steel. » *Rex & GG Aachen, Allemagne* (2001) : 1203.

Park, S. H., K. Y. Kim, et al. « Effect of initial orientation and austenitic phase on the formation of deformation band and recrystallization behavior in hot rolled ferritic stainless steels. » *THERMEC 2000*, Las Vegas, USA (2000) : 163.

Raabe, D. « Experimental investigation and simulation of crystallographic rolling textures of Fe-11wt.% Cr. » *Materials Science and Technology* n° 11 (1995) : 985-993.

Raabe, D. « On the influence of the Chromium content on the evolution of rolling textures in ferritic stainless steels. » *Journal of Materials Science* n° 31 (1996) : 3839-3845.

Raabe, D. « Metallurgical reasons and mechanical consequences of incomplete recrystallization. » *Stahl und Eisen* n° 120 (2000) : 73-78.

Raabe, D, and K. Lücke. « Influence of particles on recrystallization textures of ferritic stainless steels. » *Steel Research* n° 63 (1992) : 457-464.

Raabe, D, and K. Lücke. « Textures of ferritic stainless steels. » *Materials Science and Technology* n° 9 (1993) : 302-312.

Santacreu, P.-O., L. Bucher, *et al.* « Thermomechanical fatigue of stainless steels for automotive exhaust systems. » *La Revue de Métallurgie* n° 1, Paris (jan. 2006) : 37-42.

Santacreu, P.-O., O. Cleizergues, *et al.* « Design of stainless steel automotive exhaust manifolds. » *La Revue de Métallurgie* n°. 7-8, Paris (jul.-août. 2004) : 615-620. *Egalement : JSAE document n° 20037127 (2003).*

Schmitt, J.-H., F. Chassagne, *et al.* « Some Recent Trends in Niobium Ferritic Stainless Steels ». *Proceedings of the symposium Recent Advances of Niobium Containing Materials in Europe*, Düsseldorf (20 mai 2005) : 137.

Sinclair, C. W. et J.-D. Mithieux, « Coupling recrystallization and texture to the mechanical properties of ferritic stainless steel sheet. » *Proceedings of 2nd International Conference on Recrystallization & Grain Growth*, Annecy, France (30 août-3 sep. 2004) : 317.

Sinclair, C.W., J.-D. Mithieux, *et al.* « Recrystallization of Stabilized Ferritic Stainless Steel Sheet », *Metallurgical and Materials Transactions A*, Vol. 36a (nov. 2005) : 3205.

Van Hecke, B. « The Forming Potential of Stainless Steel » *Materials and Applications Series* Vol. 8, Euro Inox (2006).

Toscan, F., Galerie, *et al.* « Relations between Oxidation Kinetics and Chromium Diffusion in Stainless Steels. » *Materials Science Forum* Vols. 461-464 (2004) : 45-52. En ligne : www.scientific.net.

Yazawa, Y., Y. Kato, *et al.* « Development of Ferritic Stainless Steel with Excellent Deep Drawability for Automotive Fuel Tanks. » *Review of Automotive Engineering* Vol. 26 (2005) : 59.

Yazawa, Y., M. Muraki, *et al.* « Effect of Chromium Content on Relationship Between r-value and {111} Recrystallization Texture in Ferritic Steel. » *ISIJ International* Vol. 43, n° 10 (2003) : 1647-1651.

Yazawa, Y., Y. Ozaki, *et al.* « Development of ferritic stainless steel sheets with excellent deep drawability by {111} recrystallization texture control. » *JSAE Review* JSAE Review n° 24 (2003) : 483.



ANNEXES

Membres de l'ISSF

SOCIETES

Acciaierie Valbruna
Acerinox S.A.
Acesita S.A.
Aichi Steel Corporation
Arcelor Mittal
Baoshan Iron and Steel Co. (Stainless Steel Branch)
Cogne Acciai Speciali S.p.A.
Columbus Stainless (Pty) Ltd
Daido Steel Co. Ltd.
Deutsche Edelstahlwerke GmbH
Hyundai Steel Company
Industeel
JFE Steel Corporation
Jindal Stainless Ltd.
JSC Dneprospetsstal
Ningbo Baoxin Stainless Steel Co., Ltd.
Nippon Kinzoku Co., Ltd.
Nippon Metal Industry Co. Ltd.
Nippon Steel and Sumikin Stainless
Nippon Yakin Kogyo Co., Ltd.
Nisshin Steel Co., Ltd.
North American Stainless
Outokumpu Oyj
Panchmahal Steel Limited (PSL)
POSCO
POSCO Specialty Steel Co., Ltd.
Shanghai Krupp Stainless (SKS)
SIJ - Slovenska industrija jekla d.d./Slovenian Steel Group
Steel Authority of India Ltd. (SAIL)
Sumitomo Metal Industries, Ltd.
Taiyuan Iron and Steel (Group) Co. Ltd. (TISCO)
Takasago Tekko K.K.
Tang Eng Iron Works Co. Ltd.
Thainox Stainless Public Company Limited
ThyssenKrupp Acciai Speciali Terni S.p.A.
ThyssenKrupp Mexinox S.A. de C.V.
ThyssenKrupp Nirosta GmbH

Ugine & ALZ
Ugitech S.A.
Viraj Group
Walsin Lihwa Corporation
Yieh United Steel Corporation (YUSCO)
Zhangjiagang Pohang Stainless Steel Co. Ltd. (ZPSS)

MEMBRES AFFILIÉS

Australian Stainless Steel Development Association (ASSDA)
British Stainless Steel Association (BSSA)
Cedinox
CENDI
Centro Inox
Edelstahl-Vereinigung e.V.
Euro Inox
EUROFER
Institut de Développement de l'Inox (ID Inox)
Informationsstelle Edelstahl Rostfrei (ISER)
Indian Stainless Steel Development Association (ISSDA)
Japan Stainless Steel Association (JSSA)
Jernkontoret
Korea Iron and Steel Association (KOSA)
New Zealand Stainless Steels Development Association (NZSSDA)
Nucleo Inox
Southern Africa Stainless Steel Development Association (SASSDA)
Special Steel and Alloys Consumers and Suppliers Association (USSA)
Specialty Steel Industry of North America (SSINA)
Stainless Steel Council of China Specialist Steel Enterprises Association (CSSC)
Swiss Inox
Taiwan Steel and Iron Industries Association (TSIIA)
Thai Stainless Steel Development Association (TSSDA)
Union de Empresas Siderúrgicas (UNESID)

ANNEXES

Remerciements

L'ISSF remercie Friedriche Teroerde (ICDA) pour l'avant-propos de cette brochure et Philippe Richard (Arcelor Mittal Stainless, France) qui a dirigé le groupe de travail, dont les membres sont Jacques Charles (Ugine & Alz, France), Peir-Teh Huang (Yusco, Taiwan, Chine), Kwangyuk Kim (Posco, Corée du Sud), Jochen Krautschick (ThyssenKrupp Nirosta, Allemagne), Juan Antonio Simon (Acerinox, Espagne) et Hideaki Yamashita (JFE, Japon). Nous remercions également Benoît Van Hecke (Euro Inox, Belgique) pour sa relecture et Paul Snelgrove, consultant indépendant et rédacteur en langue anglaise (Paris, France), pour son précieux soutien dans l'élaboration de cette brochure.

Merci aussi à De Blauwe Peer (Gand, Belgique) pour la conception et la production, MBCOM (Paris, France) pour la conception de la couverture et Stevens Creative Printing (Merelbeke, Belgique) pour l'impression. ISSF tient à remercier Arcelor Mittal Stainless Europe (www.arcelormittal.com) pour avoir réalisé la brochure en français.

REFERENCES PHOTOGRAPHIQUES

L'ISSF souhaite remercier les sociétés et les personnes pour leur contribution à cette publication par leurs photographies. Lorsque la source d'origine d'une photographie n'est pas connue, l'ISSF présente ses excuses auprès du titulaire des droits d'auteur.

Page de couverture : MBCOM, Paris, France ; **p. 2-3** : Ugine & Alz (Arcelor Mittal Group), France ; **p. 4** : Columbus Stainless [Pty] Ltd, Afrique du Sud ; **p. 5** : Acesita (Arcelor Mittal Group), Brésil ; **p. 7** : Lincat Limited, Lincoln, R.-U. ; **p. 8** : ISSF Chine, RPC ; **p. 9 (hg)** : BSH Bosch und Siemens Hausgerate GmbH, Munich, Allemagne ; **p. 9 (bg)** : Whirlpool Corporation, Cassinetta di Biandronno, Italie ; **p. 9 (d)** : Groupe SEB, Rumilly, France ; **p. 10** : Acesita (Arcelor Mittal Group), Brésil ; **p. 11 (hg)** : IKEA, Aelmhult, Suède ; **p. 11 (bg)** : Yiu Heng International Company Limited, Macao ; **p. 11 (d)** : Takara Standard Corporation, Japon ; **p. 12 (h)** : Acesita (Arcelor Mittal Group), Brésil ; **p. 12 (b)** : Tramontina, São Paulo, Brésil ; **p. 13 (g)** : Lincat Limited, Lincoln, R.-U. ; **p. 13 (d)** : Korea Iron & Steel Association (KOSA), Séoul, Corée du Sud ; **p. 14** : POSCO, Pohang, Corée du Sud ; **p. 15 (g & c)** : Ugine & Alz (Arcelor Mittal Group), France ; **p. 15 (hd)** : Suncue Company Ltd. et Yieh United Steel Corp. (YUSCO), Taiwan, Chine ; **p. 15 (bd)** : Japan Stainless Steel Association (JSSA), Tokyo, Japon ; **p. 16 (g)** :

Southern Africa Stainless Steel Development Association (SASSDA), Rivonia, Afrique du Sud ; **p. 16 (d)** : Acesita (Arcelor Mittal Group), Brésil ; **p. 17** : Acesita (Arcelor Mittal Group), Brésil ; **p. 18 (g)** : Ugine & Alz (Arcelor Mittal Group), France ; **p. 18 (hd)** : Mac Brothers Catering Equipment, Cape Town, Afrique du Sud ; **p. 18 (bd)** : Centro Inox et ThyssenKrupp Acciai Speciali Terni S.p.A., Italie ; **p. 19** : Acesita (Arcelor Mittal Group), Brésil ; **p. 20 (h)** : BSH Bosch und Siemens Hausgerate GmbH, Munich, Allemagne ; **p. 20 (b)** : Faurecia, Nanterre, France ; **p. 21 (g)** : Valtimet, Boulogne-Billancourt, France ; **p. 21 (c)** : Ugine & Alz (Arcelor Mittal Group), France ; **p. 21 (d)** : Acesita (Arcelor Mittal Group), Brésil ; **p. 22 (g)** : Sander Inox et Nucleo Inox, Brésil ; **p. 22 (d)** : Ompagrill et Centro Inox, Italie ; **p. 23** : BSH Bosch und Siemens Hausgerate GmbH, Munich, Allemagne ; **p. 24 (hg & hd)** : Japan Stainless Steel Association (JSSA), Tokyo, Japon ; **p. 24 (bd)** : Columbus Stainless [Pty] Ltd, Afrique du Sud ; **p. 25 (g)** : Korea Iron & Steel Association (KOSA), Séoul, Corée du Sud ; **p. 25 (hc)** : Ugine & Alz (Arcelor Mittal Group), France ; **p. 25 (hd)** : Faurecia, Nanterre, France ; **p. 26 (h)** : Groupe SEB, Rumilly, France ; **p. 26 (b)** : LG Electronics, Corée du Sud ; **p. 27 (g)** : Columbus Stainless [Pty] Ltd, Afrique du Sud ; **p. 27 (d)** : Japan Stainless Steel Association (JSSA), Tokyo, Japon ; **p. 28 (g)** : BSH Bosch und Siemens Hausgerate GmbH, Munich, Allemagne ; **p. 28 (d)** : Korea Iron & Steel Association (KOSA), Séoul, Corée du Sud ; **p. 29** : Taiyuan Iron & Steel (Group) Company Ltd. (TISCO), Taiyuan, RPC ; **p. 30 (h)** : ISSF China, RPC ; **p. 30 (b)** : Qingdao Haier International Trading Co. Ltd., RPC ; **p. 31 (g)** : Suntank, Pretoria, Afrique du Sud ; **p. 31 (d)** : Japan Stainless Steel Association (JSSA), Tokyo, Japon ; **p. 32 (encart)** : POSCO, Pohang, Corée du Sud ; **p. 33 (toutes)** : Ugine & Alz (Arcelor Mittal Group), France ; **p. 34 (g)** : Centro Inox, Italie ; **p. 34 (hd)** : Faurecia, Nanterre, France ; **p. 34 (b)** : les 4 photos, Ugine & Alz (Arcelor Mittal Group), France ; **p. 35** : Acesita (Arcelor Mittal Group), Brésil ; **p. 36 (h)** : ThyssenKrupp Nirosta GmbH, Krefeld, Allemagne ; **p. 36 (b)** : Macadams Baking Systems (Pty) Ltd, Cape Town, Afrique du Sud ; **p. 37 (g)** : Faurecia, Nanterre, France ; **p. 37 (d)** : Ugine & Alz (Arcelor Mittal Group), France ; **p. 38 (g)** : Faurecia, Nanterre, France ; **p. 38 (d)** : Ugine & Alz (Arcelor Mittal Group), France ; **p. 39 (g)** : Suntank, Pretoria, Afrique du Sud ; **p. 39 (hd)** : Acesita (Arcelor Mittal Group), Brésil ; **p. 39 (bd)** : Solaris Bus & Coach Co., Pologne ; **p. 40 (g)** : Brandt Edeltahldach GmbH, Cologne, Allemagne ; **p. 40 (d)** : Ugine & Alz (Arcelor Mittal Group), France ; **p. 41 (hd)** : Ugine & Alz (Arcelor Mittal Group), France ; **p. 41 (bd)** : ThyssenKrupp Nirosta GmbH, Krefeld, Allemagne ; **p. 42 (hg)** : Willem De Roover, Gand, Belgique ; **p. 42 (bg)** : Faurecia, Nanterre, France ; **p. 42 (hg)** : Centro Inox, Milan, Italie ; **p. 42 (bd)** : Ugine & Alz (Arcelor Mittal Group), France ; **p. 43** : Hanjin, Corée du Sud ; **p. 44 (h)** : Groupe SEB, Rumilly, France ; **p. 44 (b)** : Lincat Limited, Lincoln, R.-U. ; **p. 58** : ThyssenKrupp Nirosta GmbH, Krefeld, Allemagne ; **p. 62** : Valtimet, Boulogne-Billancourt, France ; **p. 63** : POSCO, Pohang, Corée du Sud.

AVERTISSEMENT

Nous nous sommes efforcés d'assurer que toutes les informations incluses dans la présente publication soient exactes. Cependant, nous vous avisons que ces informations sont uniquement données à titre indicatif. L'ISSF, ses membres, ses employés et ses consultants déclinent toute responsabilité pour tous dommages occasionnés, pertes ou préjudices (en format imprimé, électronique ou autres) lors de l'exploitation de ces informations.



Nous contacter:
 International Stainless Steel Forum (ISSF)
 Rue Colonel Bourg 120
 1140 Bruxelles • Belgique
 T: +32 2 702 8900 • F: +32 2 702 8912
 E: issf@iisi.be

