

L'Inox, un défi au temps qui passe et au temps qu'il fait

Heinz Koch, Dr. Alfred Otto, Dr. Wolfgang Schlump, Krefeld, Allemagne

Présentation faite lors du colloque

L'Inox pour une Architecture Visionnaire

co-organisé par Euro Inox, Bruxelles, Belgique

et I.D. Inox, Saint Herblain, France, le 15 mai 2001 à Paris



L'acier inoxydable se caractérise par une résistance pratiquement illimitée vis-à-vis des différentes formes de corrosion. Cette résistance est en particulier la propriété qui peut convaincre tout un chacun d'utiliser ce produit comme matériau de construction. L'esthétique de la surface et l'aptitude au formage du matériau sont remarquables. La gamme de nos aciers inoxydables donne aux architectes de multiples possibilités. Grâce aux différentes formes de produits et aux nombreuses finitions de surface (fig. 1) dont on dispose, la créativité peut s'exprimer librement. L'acier inoxydable est un matériau durable qu'il soit utilisé seul ou en association avec du verre, de la pierre ou du bois.

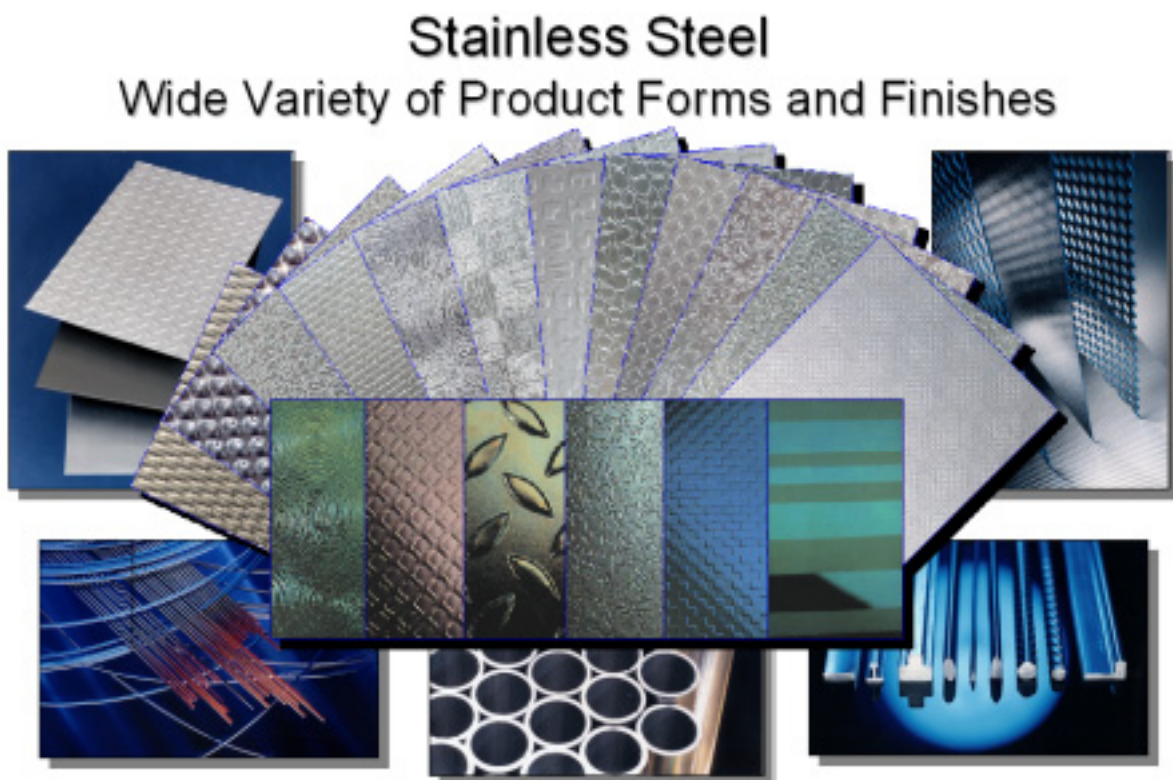


Fig. 1 : Extrait de la gamme de produits

La consommation d'acier inoxydable continue de croître depuis de nombreuses années (fig. 2). Ce constat est une confirmation de l'attrait pour ce matériau. D'une part il répond aux exigences croissantes d'applications industrielles de haute technologie en ce qui concerne la sécurité, la qualité, le respect de l'environnement et les coûts.

D'autre part, l'acier inoxydable est un matériau d'avenir qui s'intègre parfaitement dans la tendance actuelle de l'architecture en tant que moyen d'expression de la société moderne. Alors que la production industrielle des pays de l'OCDE a triplé à peu près au cours des 40 dernières années, celle de l'acier inoxydable a augmenté dans le même temps d'un facteur 8 et elle continue de croître à un rythme annuel de 5 à 7%.

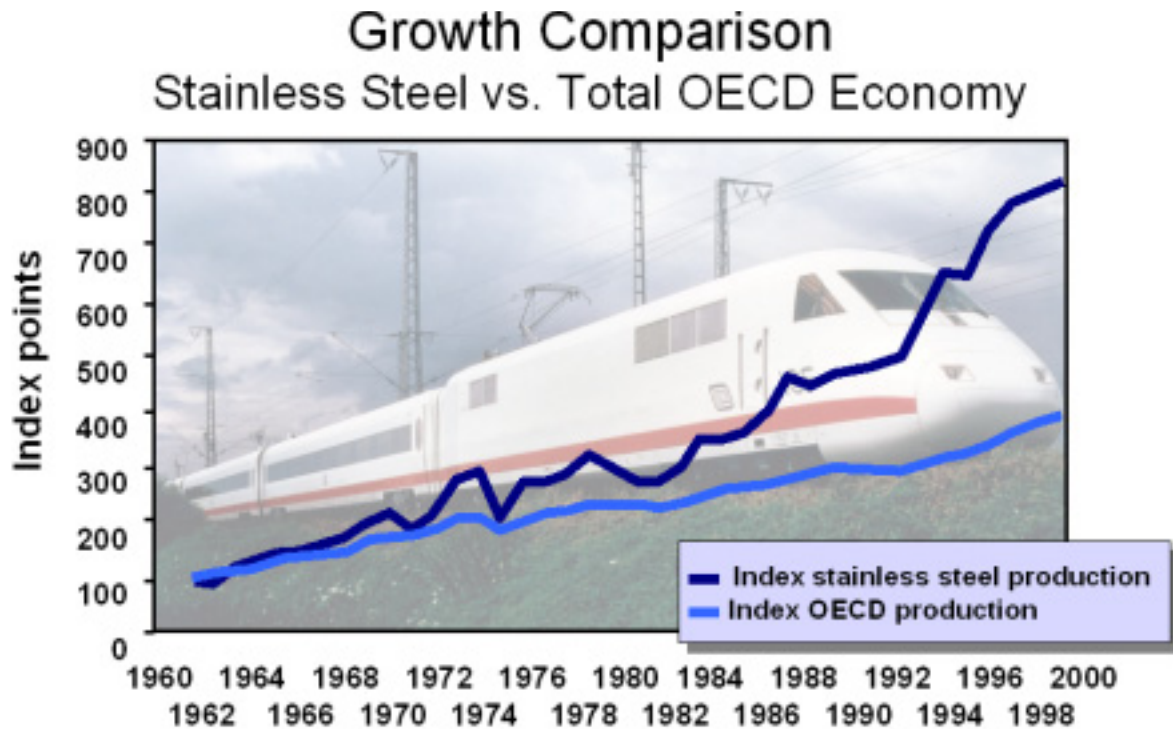


Fig. 2 : Comparaison entre le taux de croissance des pays OCDE et la production d'acier inoxydable

Bien que nous puissions poursuivre l'énumération et la description des propriétés et des évolutions de l'acier inoxydable, nous allons nous préoccuper dans cet exposé d'un thème très spécifique, à savoir l'influence de la qualité de surface sur les propriétés des composants

- Résistance à la corrosion
- Réflectivité
- Contamination et aptitude au nettoyage (fig. 3).

Des nombreux contacts que nous avons eus avec les professionnels de la construction, il s'est dégagé un besoin d'explication vis-à-vis de ce thème. En ce qui concerne les trois propriétés de surface des aciers inoxydables, nous présentons l'état actuel des connaissances ainsi que certains résultats issus de nos propres études.

The Influence of different Surface Finishes

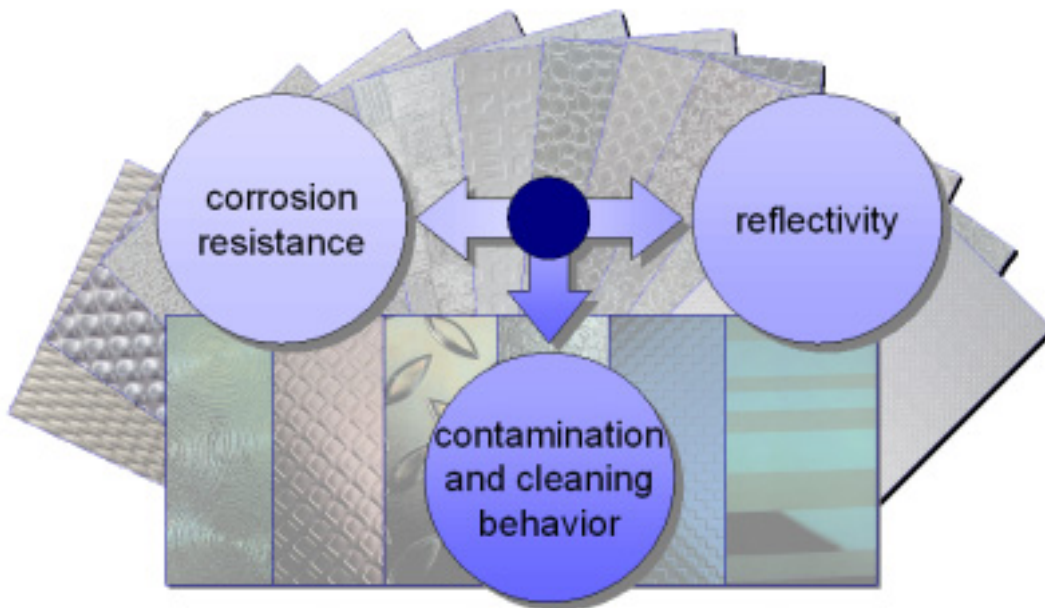


Fig. 3 : Relation entre résistance à la corrosion, réflectivité et aptitude au nettoyage

Pour commencer, nous allons parler de l'influence de la qualité de surface sur la résistance à la corrosion d'un acier inoxydable. Dans l'architecture, les composants en acier inoxydable ne sont généralement pas soumis à de la corrosion uniforme mais peuvent subir des formes d'attaque localisées. La forme la plus connue de corrosion localisée sur les aciers inoxydables est la corrosion par piqûres. Cependant, on dispose d'informations sûres sur la façon de prévenir la corrosion par piqûres et d'autres types de corrosion localisée en choisissant la nuance appropriée.

Grâce à de nombreuses études, on sait que la résistance à la corrosion des aciers inoxydables augmente avec la teneur en éléments d'alliage, en particulier le chrome et le molybdène (fig. 4). A ce propos, on doit faire référence à la classification des aciers inoxydables suivant « la spécification Z 30.3-6 » de l'Institut allemand du bâtiment (fig. 5).

Chemical Composition of Typical Stainless Steels

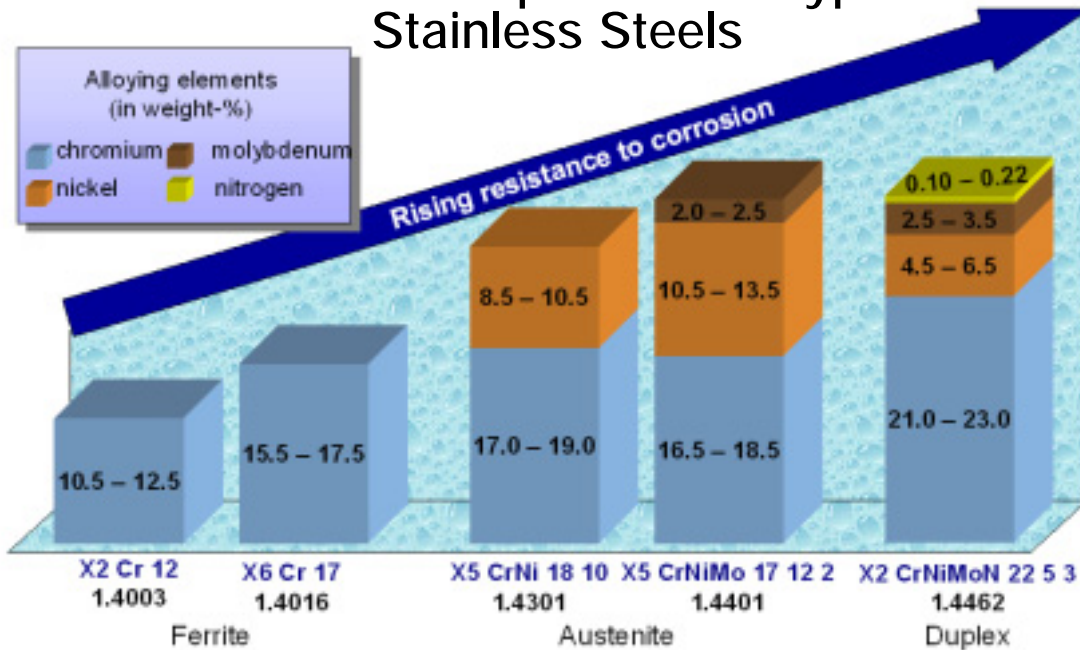


Fig. 4 : Résistance à la corrosion, en fonction de la teneur en éléments d'alliage

Classification of Steel Grades According to Resistance to Corrosion

Material	Structure	Resistance class	Corrosion loads and typical applications
1.4003 X 2 Cr 11 1.4016 X 6 Cr 17	Ferrite Ferrite	I	Interior spaces
1.4318 X 2 CrNiN 18-7 1.4567 X 3 CrNiCu 18-9 1.4301 X 5 CrNi 18-10 1.4541 X 6 CrNiTi 18-10	Austenite Austenite Austenite Austenite	II	Accessible structures without significant concentrations of chlorides and sulfur dioxide
1.4401 X 5 CrNiMo 17-12-2 1.4404 X 2 CrNiMo 17-13-2 1.4571 X 6 CrNiMoTi 17-12-2 1.4439 X 2 CrNiMoN 17-13-5	Austenite Austenite Austenite Austenite	III	Inaccessible structures with moderate chloride and sulfur dioxide loading
1.4462 X 2 CrNiMoN 22-5-3 1.4539 X 1 NiCrMoCuN 25-20-5 1.4529 X 1 NiCrMoCuN 25-20-6 1.4565 X 3 CrNiMnMoNbN 23-17-5-3 1.4547 X 1 CrNiMoCuN 20-18-6	Ferr.-austenite Austenite Austenite Austenite Austenite	IV	Structures subject to heavy corrosion loading from chlorides and sulfur dioxide (also under concentrated loads, e.g. structures in seawater and road tunnels)

Fig. 5 : Classification des aciers inoxydables suivant la réglementation allemande (spécification Z30.3-6 de l'Institut du Bâtiment, DIBT)

La classification est basée sur l'utilisation des aciers inoxydables en tant qu'éléments porteurs. En ce qui concerne le matériau 1.4003, il est défini par l'indice 1 de résistance à la corrosion. Il s'agit d'un acier de construction inoxydable contenant environ 12% de chrome. Cet acier est utilisé soit revêtu soit nu dans les environnements peu agressifs.

L'influence de la qualité de surface sur la résistance à la corrosion des aciers inoxydables est connue et a été présentée dans le cadre de nombreux travaux. Nous voudrions cependant vous présenter les résultats d'études récentes réalisées dans le cadre de notre société (fig. 6).

Il faut d'abord mentionner que la résistance à la corrosion des aciers inoxydables est influencée largement par leur composition chimique. Si l'influence de la qualité de surface sur la résistance à la corrosion existe, elle ne l'influence finalement qu'en cas d'applications marginales. Ainsi, une surface polie peut se corroder dans un environnement marin, alors qu'un composant à l'état électropoli résistera parfaitement.

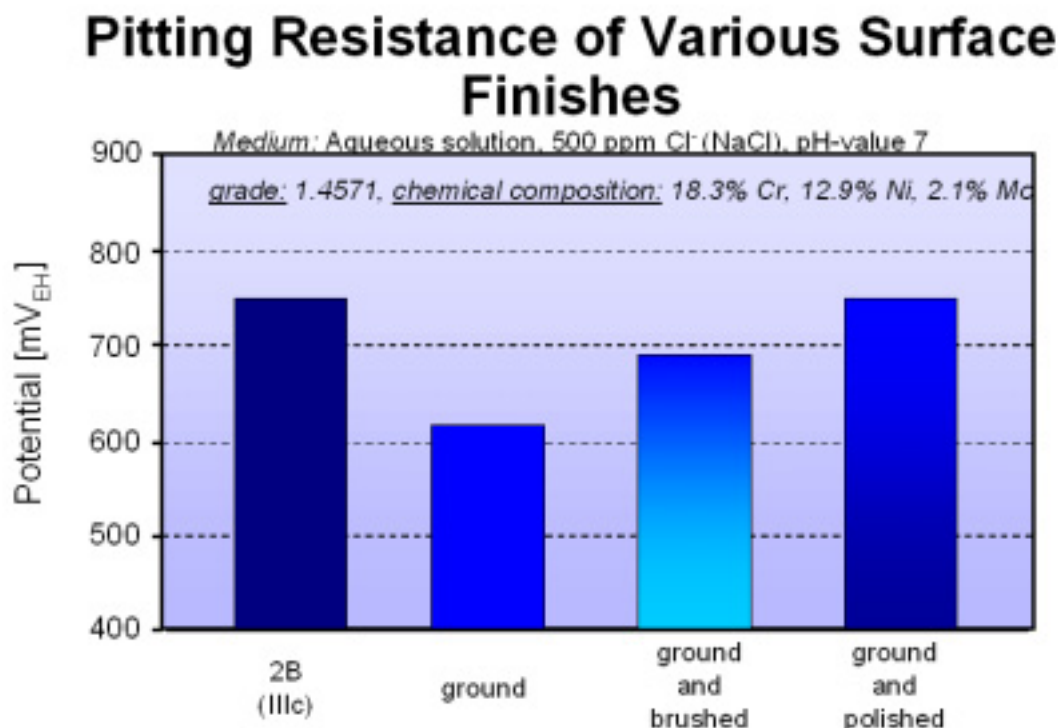


fig. 6 : Relation entre la finition de surface et la résistance à la corrosion par piqûres

Réflectivité de différentes surfaces d'aciers inoxydables – Généralités

L'effet « réfléchissant » de la surface d'aciers inoxydables est souhaité dans certaines applications. On connaît la qualité de surface « poli miroir » et son application comme miroir dans les ascenseurs, dans les halls d'entrée, comme cache de commutateurs ou également, en raison de sa résistance à la rupture, comme miroir dans les automobiles et les avions. Dans un très grand nombre d'applications, l'utilisation des aciers inoxydables et d'autres matériaux métalliques exige cependant la réflectivité la plus faible possible de la lumière. Ceci est toujours le cas lorsqu'une réflexion intensive de la lumière peut nuire à la sécurité du trafic aérien ou du trafic routier. Également pour des raisons de conception, on peut souhaiter une surface mate. Le cuivre et le zinc, qui sont des matériaux également souvent utilisés dans le bâtiment, forment une patine très mate au contact de l'atmosphère et résolvent ainsi à leur façon le problème de la réflexion de la lumière.

Cette patine, d'une épaisseur de 3 à 5 μm , est formée par l'oxydation de la surface métallique. Ces couches d'oxydation sont si épaisses qu'elles agissent au plan optique comme une céramique et ne présentent plus aucun éclat métallique. Les aspects de cette patine sont fonction de l'environnement et peuvent varier avec le temps. Une élimination de ces couches par lavage et sous certaines conditions, est également connue. Contrairement à ces matériaux, un acier inoxydable se caractérise par une surface d'un blanc métallique, qui reste uniforme pendant des années. Elle est associée à une couche dite « couche passive » ou « film passif » de l'acier inoxydable. Son épaisseur est seulement de quelques nanomètres. Un avantage d'une importance croissante en faveur de l'utilisation des aciers inoxydables pour certaines applications réside dans le fait qu'en l'absence de corrosion, aucun produit qui en résulterait ne peut contaminer les eaux pluviales ou souterraines.

Afin de minimiser l'éclat métallique ou également la réflectivité directionnelle, on a développé différentes qualités de surface mates. Elles sont disponibles sous la forme de tôles et de feuillards.

Avant de présenter les valeurs de réflectivité mesurées pour différentes surfaces inoxydables, nous voudrions expliciter quelques principes physiques de base relatifs à la réflexion de la lumière. Cela contribuera à mieux comprendre le procédé de mesure de la brillance. L'appréciation visuelle utilisée pour une façade est soumise dans une large mesure à l'impression subjective des personnes et est influencée par les conditions d'environnement, en particulier par les conditions de lumière.

L'objectif des procédés de mesure de la brillance utilisés aujourd'hui est de partir d'une évaluation subjective et d'arriver à une évaluation objective et quantifiable de la brillance d'une surface.

Par brillance, on entend de façon très générale la réflexion de la lumière. Ce type de réflexion de la lumière se manifeste sur des surfaces métalliques nues et très lisses. L'angle d'incidence des faisceaux de lumière α_{in} est égal à l'angle de réflexion α_{out} (fig. 7). Les surfaces céramiques et organiques présentent une réflectivité diffuse de la lumière. Les faisceaux lumineux qui apparaissent sont donc réfléchis de façon diffuse.

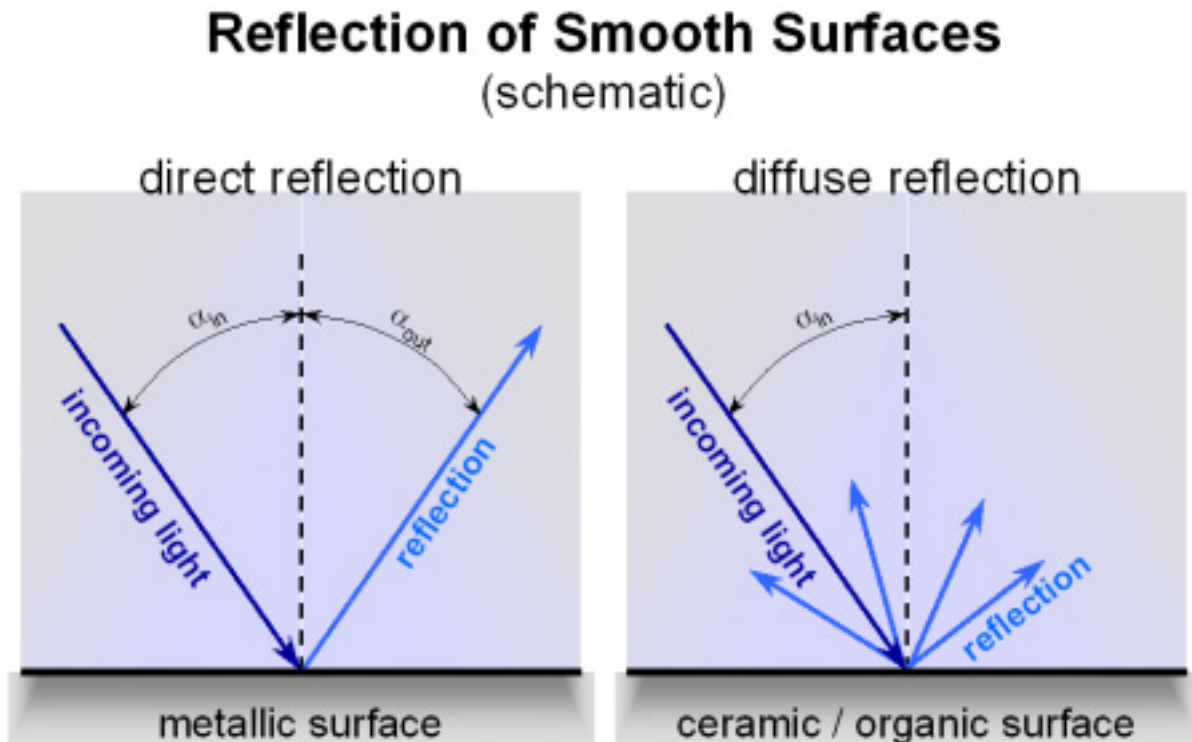


Fig. 7 : Réflexions sur surfaces lisses

Dans la figure 8, on présente de façon schématique la réflexion de surfaces métalliques de rugosité différente. En résumé, on peut dire ce qui suit :

Faible rugosité	→	faible dispersion	→	brillance élevée
Grande rugosité	→	grande dispersion	→	brillance faible

La réflectivité des surfaces métalliques est mesurée aujourd'hui avec des réflectomètres normalisés (fig. 9). Les réflectomètres travaillent selon le principe de la réflexion, ce qui veut dire qu'on mesure dans des conditions bien définies la réflexion d'un faisceau de lumière après son contact avec la surface métallique. La surface a une largeur de 8 mm avec les procédés de mesure classiques et une longueur comprise entre 10 et 20 mm en fonction de l'angle d'incidence choisi.

Reflection of Different Surface Designs (Schematically)

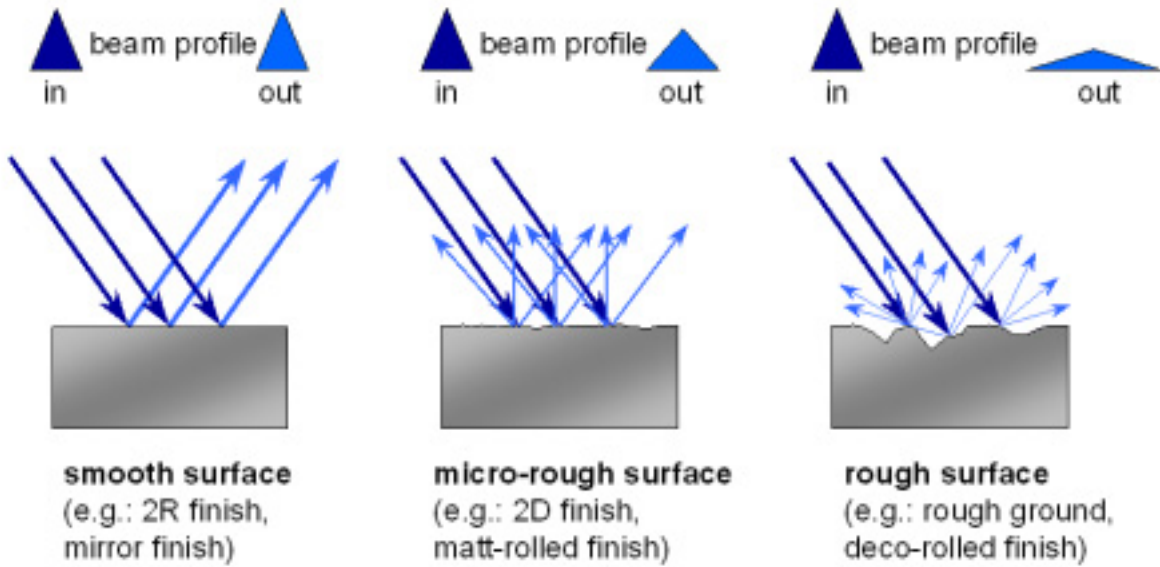


Fig. 8 : Effets réfléchissants sur différentes surfaces métalliques

The Gloss Meter



Fig. 9 : Réflectomètre

Interrelationship of Surface Finish, Gloss Index and Roughness

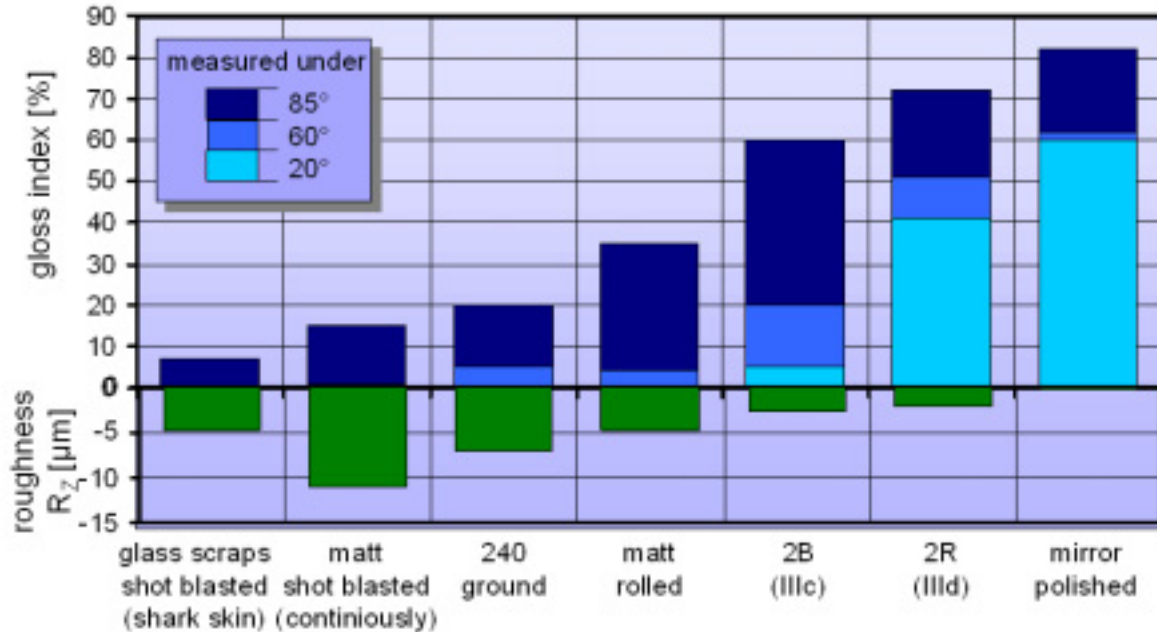


Fig. 10 : Relation entre finition de surface, réflectivité et rugosité

Le diagramme (fig. 10) présente pour différentes surfaces d'aciers inoxydables des valeurs de la brillance en fonction des valeurs de rugosité respectives R_z . Nous voudrions maintenant résumer ce qui a été dit sur le thème de la réflexion. L'objectif de la mesure de la brillance sur des aciers inoxydables est de faire en sorte que la réflectivité soit évaluée de manière objective. Même si l'on procède à un examen critique des valeurs calculées sur des échantillons, on peut constater que la mesure de la brillance à l'aide de réflectomètres contribue à avoir une évaluation plus objective des surfaces. Toutefois, le procédé de mesure ne peut pas simuler complètement la perception subjective par l'œil humain. Celle-ci regroupe également d'autres facteurs tels que la couleur, la luminosité et les reliefs des surfaces qui contribuent à donner une image globale.

Les résultats de mesure présentés montrent que l'on peut produire, à un coût raisonnable, des surfaces qui présentent une réflectivité plus faible que les finitions « glacées ». Les photos suivantes donnent des exemples d'applications. La photo 11 montre un bâtiment administratif à Düsseldorf habillé avec des tôles « recuit brillant ». Ici, la surface réfléchissante et brillante est une caractéristique de conception sciemment choisie. L'aspect de l'édifice varie selon le point d'observation et les conditions de lumière. Contrairement à la précédente, la photo 12 donne un exemple de l'utilisation de tôles laminées à l'aspect mat et homogène.

„Neuer Zollhof“ Harbour Düsseldorf, Germany



Facade worked in bright annealed stainless steel, *Architect:* Frank Gehry, USA
Grade 1.4401 in 0.5 mm thickness.

Fig. 11 : Neuer Zollhof, Düsseldorf

Residential Building in Vorarlberg, Austria



Stainless Steel as roofing material for domestic architecture.
Grade 1.4301 (AISI 304) with matt-rolled surface, thickness 0.5 mm

Fig. 12 : Tôle à surface mate obtenue par laminage

Contamination et aptitude au nettoyage

Les aciers inoxydables se caractérisent dans l'architecture par une faible tendance à la contamination et à une bonne aptitude au nettoyage. Cependant des « traces de doigt » par exemple peuvent avoir un effet gênant dans certaines zones. Il existe cependant des solutions pour réduire au minimum l'effet optique des « traces de doigt ». En tant que fabricant, nous devons nous investir dans ce débat afin de favoriser l'utilisation des aciers inoxydables dans certains domaines d'application. Sur le fond, il faut faire la différence entre les contaminations de surface mouillantes et non mouillantes.

Par contaminations non mouillantes, il faut entendre en particulier la poussière, la suie, etc., ce qui veut dire que les particules de salissure sont libres et sont enlevées par lavage dans les applications extérieures lorsqu'il pleut suffisamment. Un exemple impressionnant est la toiture de l'immeuble Chrysler à New York. Lors d'une inspection, on a constaté qu'environ 70 ans après sa réalisation, la surface métallique est entièrement intacte et inchangée au plan visuel. Dans le cas présent, les rugosités traditionnelles des aciers inoxydables ne sont pas importantes, même à l'état grenailé par exemple, en matière d'aptitude au nettoyage dans le cas d'un encrassement non mouillant. On peut également mentionner que la mousse et les algues, qui se forment sur les matériaux de construction minéraux comme le béton, la pierre ou le bois, n'apparaissent pratiquement pas sur les surfaces métalliques, étant donné qu'il n'y a pas de prise pour les algues et la mousse.

Les contaminations mouillantes sont par exemple des composants aqueux et gras, la sueur des doigts et de la peau, mais également tous les autres liquides non volatiles avec lesquels l'acier inoxydable entre en contact. Les surfaces présentant de telles contaminations deviennent plus difficiles à nettoyer avec l'augmentation de la rugosité, ce qui a pour effet d'augmenter les dépenses de nettoyage. Ceci doit être attribué au fait que les films mouillants pénètrent ou sont encastrés dans les cavités des surfaces rugueuses.

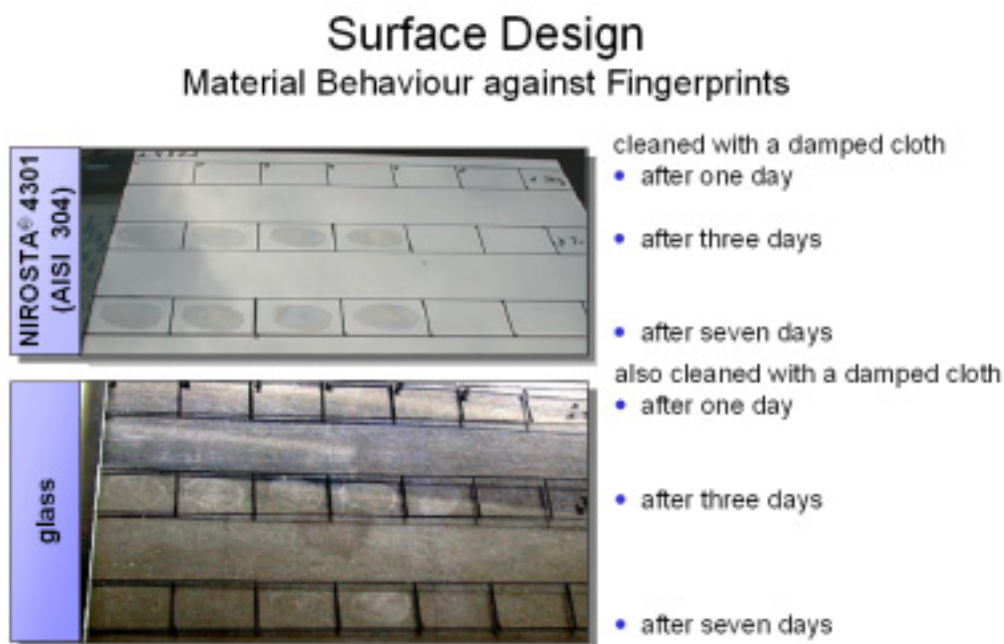


Fig. 13 : Evolution des empreintes digitales en fonction du temps

De façon expérimentale, on a prouvé que le nettoyage de la surface devient de plus en plus difficile au fur à mesure que le processus de nettoyage est retardé (fig. 13).

Cet état de fait ne doit pas être attribué en général à une réaction chimique du contaminant avec la surface de l'acier inoxydable. On trouve le même phénomène sur des surfaces de verre, qui sont nettement plus inertes que les surfaces métalliques. L'aptitude au nettoyage qui s'est dégradée doit être attribuée à une modification de la salissure, en particulier des « traces de doigt », par oxydation et sous l'influence de la lumière. Même après une période prolongée, les contaminations de ce type peuvent être éliminées complètement par des solvants utilisés pour les corps gras.

Remèdes

On a trouvé de façon expérimentale que la visibilité des « traces de doigt » dépend entre autres des propriétés de réflexion de la surface. Dans le cas de surfaces réfléchissantes, la « trace de doigt » apparaît généralement de façon claire. Ceci peut s'expliquer par le fait que la surface métallique semble foncée aussi longtemps que la lumière réfléchi par elle ne parvient pas à l'œil de l'observateur. L'application d'impuretés entraîne une réflexion diffuse de la lumière et ces zones semblent donc claires. Dans le cas de surfaces mates et non réfléchissantes, la « trace de doigt » apparaît sombre, et la lumière réfléchi de façon diffuse est absorbée localement par la couche de salissure. Entre ces deux états, il y a un état de réflectivité pour lequel la trace de doigt est pratiquement invisible. Une surface adaptée peut être obtenue en effectuant un léger grenailage avec des billes de verre (fig. 14). D'autres solutions pour la suppression ou la minimisation de l'effet perturbateur de traces de doigts sont l'utilisation de surfaces à motifs ou à rugosité adaptée.

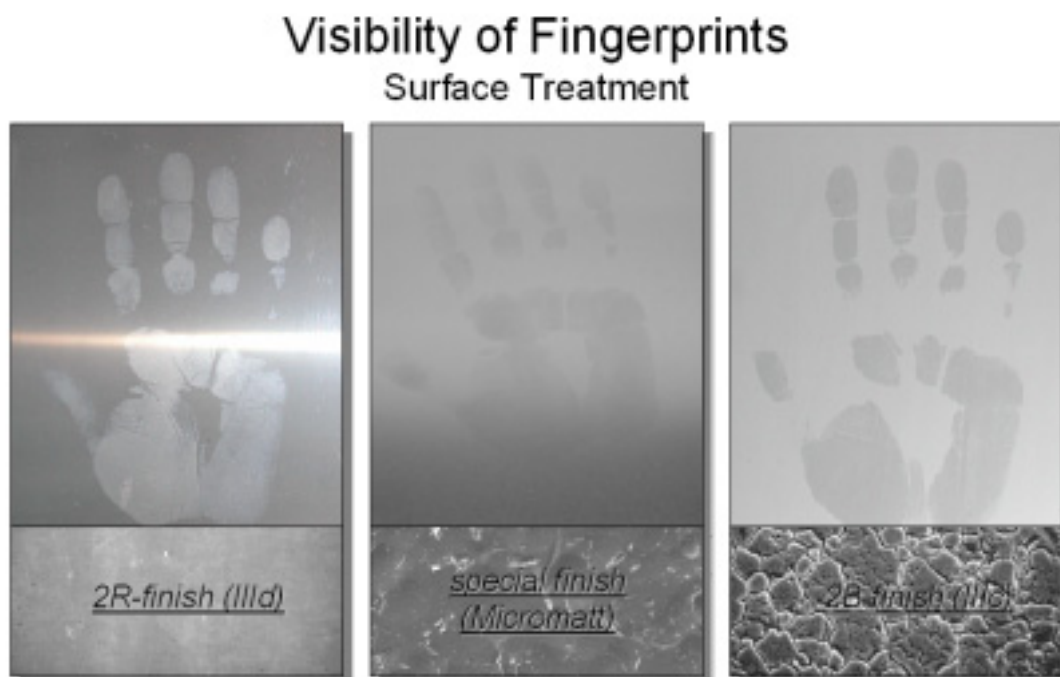


Fig. 14 : Aspect des empreintes digitales en fonction de la rugosité des surfaces

Nous n'avons pas l'intention d'examiner en détail les revêtements temporaires ou permanents. De tels revêtements sont utilisés pour les applications intérieures, mais présentent l'inconvénient de devoir être renouvelés périodiquement. La figure 15 montre l'effet d'un revêtement temporaire. Ici, une surface grenillée a été recouverte pour moitié d'une huile de silicone. La surface prend alors la couleur des traces de doigt. Notre article ne serait pas complet si nous ne mentionnions pas « l'effet Lotus », étant donné qu'il est depuis des années le champ d'investigation de physiciens spécialistes des surfaces qui s'efforcent de l'appliquer aux surfaces industrielles.

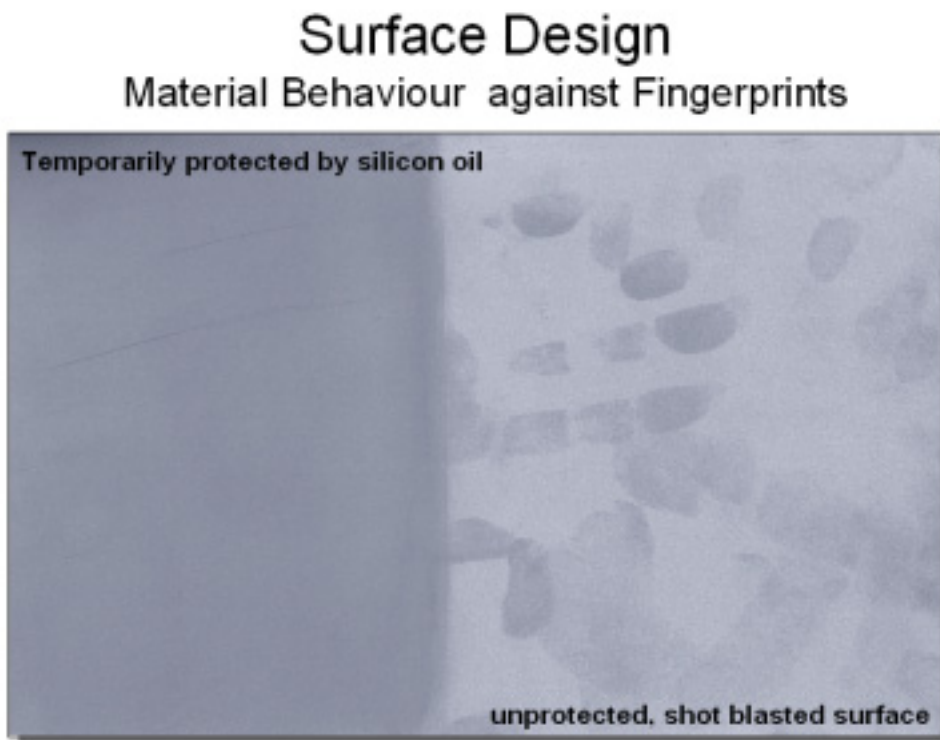


Fig. 15 : Influence de protections temporaires

Habituellement, sur les surfaces mouillables, les particules de poussière ou impuretés contenues dans une goutte d'eau restent accrochées à la surface. En revanche, il existe dans la nature par exemple sur la fleur de lotus, d'où le nom « effet Lotus » des surfaces autonettoyantes. Cet effet repose sur la formation d'une structure de surface extrêmement fine et rugueuse. Les extrémités de cette surface ressemblant à une brosse sont extrêmement fines de l'ordre du nanomètre et sont pourvues en supplément d'une cire hydrofuge (fig. 16).

Cette structure représente une surface complètement hydrofuge sur laquelle les gouttes d'eau glissent sous forme de billes en entraînant les particules de poussière. Dans l'état actuel des connaissances, des structures aussi fines peuvent certes être fabriquées en laboratoire, mais pas encore à une échelle industrielle sur des surfaces métalliques. L'effet d'autonettoyage agit seulement en liaison avec l'eau, et conviendrait donc bien pour une application extérieure. Cependant, cela pose un problème en intérieur en raison des besoins importants en eau pour le nettoyage.

The Lotus-Effect®

Smooth Surfaces

Rough Surfaces

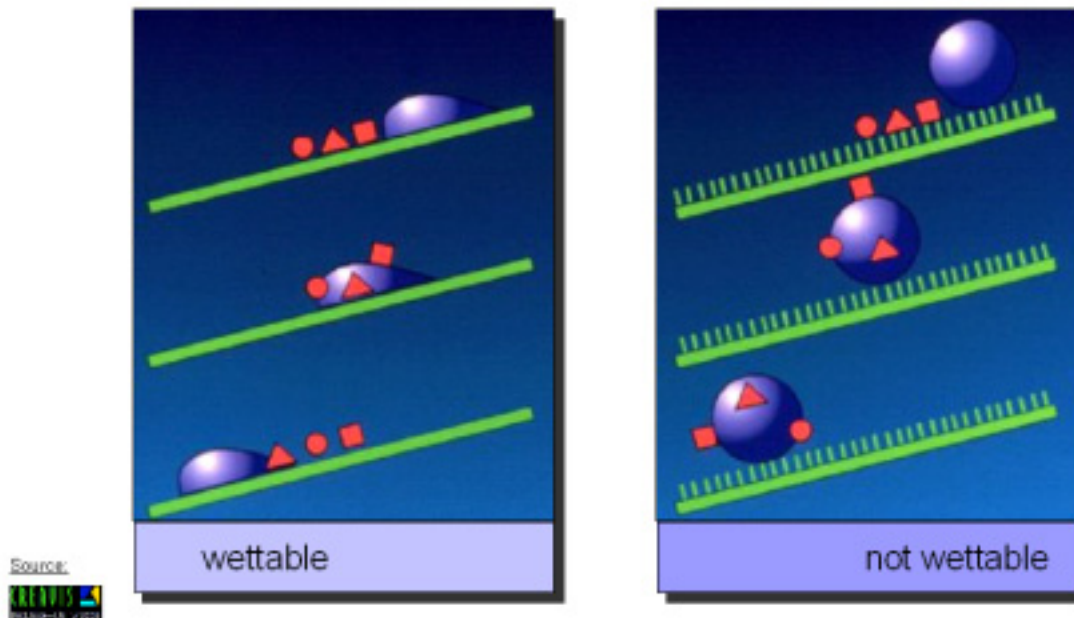


Fig. 16 : L'effet Lotus

Les laques et films avec un pseudo effet Lotus sont maintenant disponibles pour les applications extérieures. On a également été capable de reproduire des surfaces similaires à celles obtenues par effet Lotus sur des revêtements de l'ordre du nanomètre. A cause de leur fragilité, ces surfaces sont très sensibles aux agressions mécaniques.

Résumé

Nous avons essayé de montrer qu'un « concept de surface » adapté aux exigences permet d'influencer et d'optimiser le comportement à la réflexion et la sensibilité à la salissure des surfaces d'aciers inoxydables. Nous nous sommes préoccupés dans le cas présent d'aspects qui sont importants pour l'utilisation des aciers inoxydables dans le domaine de l'architecture. Nous espérons que notre exposé contribuera à renforcer l'intérêt pour les aciers inoxydables dans l'architecture. Les possibilités d'application qui ont été mises en évidence devraient vous inciter à trouver d'autres applications pour ce remarquable groupe de matériaux métalliques.