

CATIDOM
Anodisation grandeur future

**ANODISATION COUCHE DURE
&
“COUCHES TECHNIQUES” SUR ALUMINIUM
&
SES ALLIAGES**

1 INTRODUCTION & BUT

CATIDOM réalise le traitement d'oxydation de l'aluminium en milieu sulfurique et plus particulièrement l'anodisation dure selon ses propres procédés, bénéficiant d'une expérience de plus de 20 ans.

Il s'agit d'un procédé électrolytique à basse température qui transforme superficiellement l'aluminium en oxyde d'alumine AL₂O₃, de 20 à 70 Microns avec une dureté de 350 à 600 Vickers.

Les caractéristiques structurelles de cet oxyde, son épaisseur importante et sa grande résistance à l'abrasion font de l'anodisation dure un choix naturel pour les utilisations de l'aluminium dans des conditions opératoires difficiles :

- 1-Élévation importante de température
- 2-Efforts de frottements
- 3-Obtenir une bonne isolation électrique
- 4-Améliorer la rigidité de la pièce...

Ainsi, l'anodisation dure donne aux pièces traitées des propriétés superficielles qui lui sont propres.

2 CHOIX DES MATÉRIAUX & LEURS APTITUDES À L'ANODISATION COUCHE DURE

Les alliages d'aluminium se comportent différemment selon la nature de leurs constituants ; les caractéristiques des couches peuvent varier notablement d'un alliage à l'autre.

Pour la réalisation de pièces mécaniques exposées à des frottements ou à des contraintes sévères, il faut rechercher les nuances.

ALUMINIUM-ZINC-MAGNESIUM
7020, 7049, 7075, FORTAL HR

ALUMINIUM-MAGNESIUM-SILICIUM :
6262, 6081, 6061, 6083...
(pour les pièces de décolletage)

ALUMINIUM-MAGNESIUM :
5083, 5056, 5754...

LES ALLIAGES AU CUIVRE :

Le cuivre perturbe la formation de couche. En effet, l'oxydation du cuivre en solution solide produit des particules microscopiques d'oxyde de cuivre qui provoque une tension requise plus haute pour produire une densité de courant donnée.

De plus, les alliages, contenant plus de 2% de cuivre, présentent des particules intermétalliques riches en cuivre, qui ont tendance à se dissoudre au moment de l'oxydation et former ainsi une couche anodique poreuse.

Ainsi, outre les risques de « brûlure », l'épaisseur et la dureté restent limitées :

ALLIAGE : 2024 – 2017 et 2030
ÉPAISSEUR : 30 Microns
DURETÉ : 350 Vickers

À ces alliages, peut se substituer avantageusement le FORTAL HR (HP ou STS), à hautes caractéristiques mécaniques.

NOTA : L'alliage AU5Pb au Bismuth (2011) est impropre à l'anodisation dure.

ALLIAGES	ÉTAT	ÉPAISSEUR MAXIMALE	DURETÉ	
AS7G	Y23	60	500 HV	
AS7G 03	Y23	60	500 HV	
AS7G 06	Y23	60	500 HV	
AS10G	Y23	50	550 HV	
AS13	Y30	10		
AU5 GT	Y24	30	300 HV	
1050 A	H18 - H24	70		
2017 A	T4 - T451	30	350 HV	AU4 G
2030	T3	30	350 HV	AU4 Pb
3003	H24			AM1
5083	H111	45	500 HV	AG4,5
5086	H111 - H24	60	550 HV	AG4 MC
5754	H24	60	500 HV	AG3 M
6005 A	T6	40	550 HV	
6060	T5	60	550 HV	AGS
6081	T4	35	550 HV	AGSM 03
6081	T6 - T61	35	550 HV	AGSM 03
7020	T6	70	500 HV	AZ5G
7049 A	T6	35	450 HV	AZ8GU
7075	T6	40	450 HV	AZ5GU
FORTAL HR-HP	T6 - T651	40	450 HV	
FORTAL STS		50	450 HV	
ALUMEC 79		40	450 HV	AZ5GU
ZICRAL 25		40	450 HV	AZ8GU - AZ5GU

3 INFLUENCE DU TRAITEMENT THERMIQUE SUR LES ALLIAGES D'ALUMINIUM

Les traitements thermiques ont une influence considérable sur les résultats après anodisation, tant en ce qui concerne les aspects de surface obtenus, que sur la dureté et l'épaisseur de la couche, car ils ont pour effet de changer l'homogénéité de la matière et la constitution des composés inter-métalliques qui réagissent différemment pendant l'opération d'anodisation.

4 RÔLE DES ÉLÉMENTS D'ADDITION INCLUS DANS LES ALLIAGES

QUELQUES INDICATIONS :

Ces éléments peuvent varier d'une façon très sensible au sein d'un même type d'alliage.

Si nous prenons un alliage AG3 classique, nous notons que ce dernier peut contenir de 2,5 à 3,7 % de magnésium, cet écart de 1,2 % de magnésium dans les éléments d'addition est toléré aux fabricants dans sa composition ; par contre, il influence la formation de la couche et donne après anodisation des couleurs de couche diverses. De même, l'intensité de la couleur après traitement est proportionnelle à l'épaisseur de la couche réalisée

et peut varier en fonction du traitement thermique et d'un bain de traitement à l'autre. De même, la couleur varie en fonction de l'alliage (gris clair pour une faible épaisseur, gris très foncé, presque noir pour une forte épaisseur).

5 HOMOGÉNÉISATION

Un manque d'homogénéisation de la matière ou un échauffement localisé lors de l'usinage laissera apparaître des différences de couleur et d'épaisseur.

6 RUGOSITÉ (ÉTAT DE SURFACE)

La rugosité après traitement est étroitement liée à la qualité de l'usinage et son degré de finition.

Il faut cependant noter, après traitement, une légère augmentation de la rugosité : un essai préalable est conseillé pour déterminer l'état de surface après traitement.

Selon les exigences, une rectification ou un rodage sont particulièrement recommandés pour :

- Affiner la rugosité
- Un polissage peut aussi être envisagé sous certaines conditions.

Noter que, pour la longévité d'une pièce d'usure, l'épaisseur résiduelle ne devra pas descendre au-dessous de 15 microns.

7 CALCUL DES COTES D'USINAGE AVANT TRAITEMENT & EXEMPLES DE COTATIONS

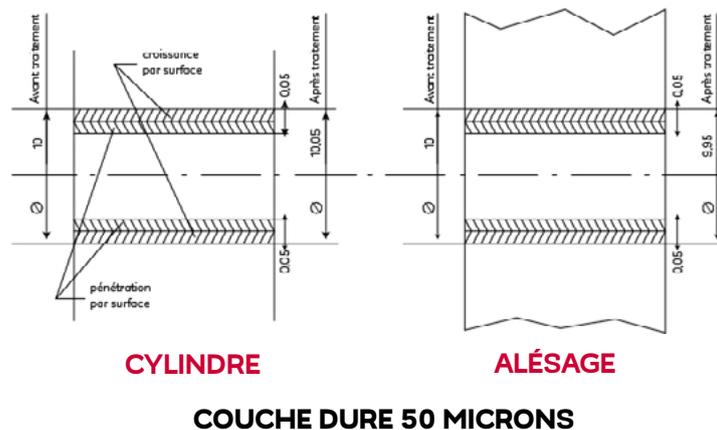
Théoriquement, la couche se développe pour moitié à l'intérieur de la cote initiale et pour moitié à l'extérieur entraînant ainsi une surépaisseur égale à la moitié de l'épaisseur atteinte.

EXEMPLE :

Une pièce anodisée dure dont le diamètre a augmenté de 50 microns aura une croissance par face de 25 microns, une pénétration par face de 25 microns et une épaisseur de couche totale de 50 microns.

Soit un diamètre extérieur avant traitement de 10 mm. Après traitement et pour une couche de 50 microns, le diamètre extérieur sera de 10,05 mm.

Soit un diamètre intérieur de 10 mm. Après traitement et pour une couche de 50 microns, le diamètre intérieur sera de 9,95 mm.



La variation de cotes résultant du traitement est obtenue avec une précision de +/- 5 microns.

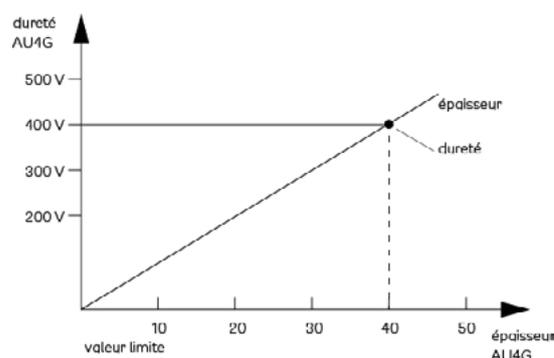
Pour une même pièce, pour un même état de surface, la couche est très homogène.

Dans les cas de pièces à haute précision dimensionnelle, une reprise mécanique (type rodage ou rectification), garantira cotes et tolérances.

ÉPAISSEUR DE COUCHE :

L'épaisseur se situe généralement entre 20 et 80 microns. Au-delà d'une valeur limite d'épaisseur, propre à chaque nuance d'alliage, la dureté décroît progressivement.

Nous vous indiquons les épaisseurs maximales obtenues sur les différents alliages avec valeur optimale de dureté.

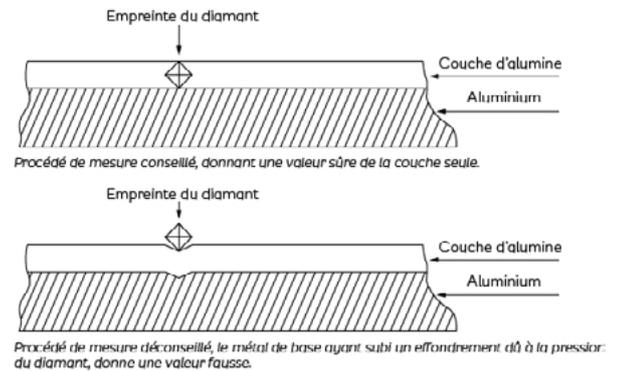


8 DURETÉ

Les duretés obtenues suivant les alliages sont de l'ordre de 350 à 600 Vickers.

Une mesure précise de microdureté s'effectue avec un appareil spécifique, le microdurimètre.

Cet essai est destructif puisqu'effectué au sein même de la couche.



ALLIAGES CORROYÉS	DURETÉ MOYENNE SUR BRUT OYDATION DURE	DURETÉ APRÈS RODAGE	ALLIAGES DE FONDERIE	DURETÉ MOYENNE SUR BRUT OYDATION DURE	DURETÉ APRÈS RODAGE
A 9	550	600	A-S4G	550	
A 5	500	600	A-S7G	550	600
A-G3	500	800	A-S10G	550	600
A-G5	500	800			
A-GS	550	800	A-S12UN	450	
A-SG	550	800			
A-Z4G	500	600	A-Z5G	400	
A-Z5GU	450	600	A-G3T	500	
A-Z8GU	450	600	A-G6	500	

ALLIAGES	DURETE VICKERS	
	sur brut traité	après rodage du film
A-U2GN	350	400
A-U4G	390	430
A-U4G1	390	430
A-U4SG	380	430
A-U4Pb	360	430

Ces duretés, bien que très importantes, demeurent inférieures à certains autres traitements de durcissement superficiel (chrome dur, revêtement plasma, etc...). Il est cependant, important de préciser que les essais d'abrasion effectués à l'aide de l'abrasimètre TABER sur des éprou-

vettes "anodisées dur" mettent en évidence une résistance à l'usure comparable, voire supérieure, à ces revêtements.

A noter que la vitesse d'usure est constante pour les épaisseurs de 40 à 70 microns.

9 RÉSISTANCE À L'USURE & À L'ABRASION

Le type d'essai le plus courant est effectué avec l'Abrasimètre TABER. L'abrasion de l'alumine est mesurée par pesée au 1/10 mg après 10 000 Cycles.

Les contraintes soumises aux pièces à tester sont représentatives de celles de pièces en frottement. Les résultats obtenus doivent correspondre à la norme US « MIL A 8625C », ou dernièrement au projet de norme ISO DIS 10074.

Néanmoins, chaque cas étant un cas d'espèce, nous conseillons des essais en laboratoire ou en atelier sur des pièces témoins. Les résultats qui en découleront seront ainsi plus fonctionnels et plus probants.

Globalement, les résultats sont les suivants :

ALLIAGES AU CUIVRE :

Perte maximale de masse : 40 mg

AUTRES ALLIAGES :

Perte maximale de masse : 20 mg

10 COEFFICIENT DE FROTTEMENT

Le coefficient de frottement est sensiblement le même que celui d'un acier trempé présentant un même état de surface.

Il peut néanmoins être amélioré en faisant subir à la couche certaines imprégnations de différentes huiles, de silicones, de graphite colloïdal, ou de téflon (P.T.F.E.).

Toutefois, deux pièces anodisées dures fonctionnant l'une sur l'autre donnent d'excellents résultats à l'usure et au coefficient de frottement ; ce procédé est souvent utilisé dans la fabrication des vannes et autre matériel pneumatique.

11 MODULE D'ÉLASTICITÉ

La dureté de la couche d'alumine étant très importante, l'élasticité de cette dernière reste son point faible.

Son module d'élasticité est très élevé puisqu'il varie de 35 000 à 50 000 kg/mm², alors que celui d'un alliage léger courant se situe à environ 7 000 kg/mm².

En formant une couche d'environ 60 microns sur une pièce de faible section, on augmente dans de très fortes proportions la rigidité de cette dernière, compte-tenu de la différence de module d'élasticité entre l'aluminium et la couche d'alumine.

12 RÉSISTANCE À LA CHALEUR

L'alumine formée anodiquement est un corps très réfractaire à la chaleur. Il est possible expérimentalement de fondre le métal de base sans en affecter la couche.

Cette résistance à la chaleur procure, dans certains cas, un avantage incontestable contre les coups de « butoirs » thermiques élevés, même s'ils sont produits par une flamme intermittente ou accidentelle.

12.1 CONDUCTIBILITÉ THERMIQUE

Elle varie entre le 10^e et le 30^e de celle du métal de base.

REVÊTEMENT ANODIQUE :
6,3 – 21 V/m à 20°C

ALUMINIUM :
209 V/m à 20°C

12.2 COEFFICIENT DE DILATATION THERMIQUE

Le coefficient de dilatation thermique du revêtement correspond environ à 1/5^e de celui du métal de base.

REVÊTEMENT ANODIQUE :
5.10⁻⁶

ALUMINIUM :
23.10⁻⁶

13 ISOLATION ÉLECTRIQUE

Les couches anodiques et anodiques dures sont très isolantes.

Cette isolation électrique est mesurée pour un appareil de tension de claquage et peut atteindre des valeurs de 3 000 volts, pour une épaisseur de couche de 60 à 80 microns.

D'une manière générale, plus l'alliage est pur, plus la tension de claquage est importante. Il faut considérer 20 à 30 volts par micron en mono-couche (x 2 en double face).

Les couches d'oxyde conservent leurs propriétés d'isolation électrique jusqu'à une température de 500°C.

14 CONSTANTE DIÉLECTRIQUE – RÉSISTIVITÉ

Selon les divers auteurs, la constante diélectrique se situe entre 7,4 et 7,6 avec un coefficient de température de 0,06 à 0,07 par degré entre 15 et 100°C.

La résistivité d'une couche de 50 microns est de $40 \cdot 10^{14}$ Ohm / cm / cm² à 20°C ; ce qui est proche du verre et de la procelaine.

15 RÉGULARITÉ DE FORMATION DE LA COUCHE

Contrairement aux phénomènes que l'on rencontre avec les dépôts électrolytiques (effets de pointe, surépaisseurs), la formation de la couche d'alumine reste toujours constante, et ne provoque aucune déformation géométrique des pièces.

Toutefois, la formation de la couche étant obtenue dans un électrolyte à très basse température, la différence de coefficient d'allongement du métal de base et de la couche provoque sur cette dernière des microfissures.

Ces microfissures sont parfois très utiles et peuvent être utilisées pour la rétention des lubrifiants, elles améliorent de ce fait grandement les possibilités de lubrification sans créer des risques de décollement, étant donné la liaison naturelle et intime du métal et de la couche.

16 RECTIFICATION & RODAGE DES COUCHES

La rectification et le rodage des couches sont non seulement possibles mais encore fortement conseillés dans de nombreux cas, car ces opérations améliorent, d'une part les états de surface et d'autre part, augmentent la valeur des duretés Vickers.

La rectification des pièces peut être réalisée avec des meules au carbure de silicium (ou carbure de bore).

Des essais ont démontré que sur une éprouvette en AG5, on pouvait réduire la rugosité RA de 2 microns à 0,50 micron et sur une éprouvette en AS7G, de 5 microns à 0,50 micron.

Les rodages se réalisent à l'aide de pâtes diamantées et donnent les améliorations de rugosité suivantes :

SUR ÉPROUVETTE AG5 :

RA avant rodage 2 microns
RA après rodage 0,14 micron
(épaisseur d'alumine enlevée 2 microns)

SUR ÉPROUVETTE AS7G :

RA avant rodage 5,4 microns
RA après rodage 1,3 micron
(épaisseur d'alumine enlevée 10 microns)

17 RÉSISTANCE AUX AGENTS CHIMIQUES

La couche dure ne résiste pas aux acides forts, elle est vulnérable aux bases, telle que la soude caustique. Elle résiste par contre très bien aux brouillards salins, et aux produits dérivés du pétrole, essence, huiles et combustibles divers.

D'une manière générale, la couche anodique dure résiste à toutes les conditions dont le PH varie entre 5 et 9,5.

17 BROUILLARD SALIN

BIS

Les essais au brouillard salin sont les tests les plus couramment utilisés en laboratoire et sont régis par la norme NF EN ISO 9227.

18 TEMPÉRATURE DE FUSION

La température de fusion de l'alumine anhydre est de 2100°C alors que la température de fusion de l'aluminium sous-jacent est de 650°C.

Une longue exposition à une température de 300°C ne provoque pas d'effet négatif sur l'oxyde.

19 CONSEILS PRATIQUES

19.1 LA PRÉPARATION

Dans certains cas, nous sommes amenés à réaliser des préparations de surface avant traitement.

Celles-ci sont choisies en fonction des résultats souhaités et des possibilités des pièces à traiter :

Le dégraissage : Il est conseillé de livrer au sous-traitant des pièces exemptes d'huile, afin d'éviter des risques de corrosion.

Le décapage : Cette préparation permet d'uniformiser les surfaces présentant des rayures et d'atténuer, voire supprimer une corrosion naturelle.

Le satinage : Cette préparation est réalisée lorsque l'on souhaite obtenir un aspect mat en final.

Le brillantage : Cette préparation est réalisée lorsque l'on souhaite obtenir un aspect « brillant » en final.

Ces opérations demeurent délicates surtout sur des pièces fortement tolérancées. Nous conseillons donc à nos clients :

- 1-De nettoyer les pièces après usinage, afin d'éviter toute corrosion
- 2-D'emballer correctement les pièces, afin d'éviter les chocs et autres altérations de l'état de surface
- 3-D'effectuer le traitement des pièces le plus rapidement possible après la dernière phase d'usinage.

19.2 CHOIX DE L'ALLIAGE

Notre technique nous permet de traiter les alliages dont les éléments d'addition suivants restent inférieurs à :

MAGNÉSIUM	: 8 %
SILICIUM	: 15 %
ZINC	: 8 %
CUIVRE	: 5 %

Les alliages de fonderie, l'AS7G et l'AS10G donnent d'excellents résultats lorsque les zones fonctionnelles sont usinées avant traitement.

En effet, la peau de fonderie est un obstacle au bon développement de la couche (quel que soit l'alliage). L'AS9U3 est à éviter, du fait de la combinaison du cuivre et du silicium en proportion importante.

19.3 ANGLES VIFS

Il faut éviter les angles vifs pour deux raisons principales :

- 1-Effet Joule plus important sur des parois fines d'où un risque accru de brûlures à ces endroits.
- 2-La dureté obtenue provoque la fragilisation des angles ou filets d'où un risque accru d'écaillage.

Il convient donc de rayonner les angles chaque fois que cela est possible.

19.4 SUSTENTATION ET ÉLECTRODE

L'anodisation dure est un traitement électrochimique.

Un support adapté doit réaliser correctement une double fonction :

- Sustentation de la pièce dans le bain
- Acheminement du courant dans la pièce.

Le contact avec la pièce doit être franc et dépend :

- De la surface immergée
- Du poids de la pièce

Il convient donc de nous préciser les zones de préhension possibles ou à défaut, les zones fonctionnelles qu'il ne faut pas altérer.

19.5 ÉPARGNE

Il est possible de traiter localement une pièce en utilisant plusieurs techniques (bouchons, vernis, scotch, etc...).

- Les épargnes dites « intérieures » (taraudages, alésages) sont courantes et le plus souvent simples à réaliser.
Le surcoût est donc faible.
- Les épargnes dites « extérieures » (faces...) sont délicates d'application et souvent difficiles à réaliser.
Le surcoût est donc important.

Nous conseillons donc :

- 1-D'éviter les épargnes chaque fois que cela est possible
- 2-D'effectuer par usinage une retouche à l'outil après traitement (solution fiable à 100%)
- 3-D'effectuer des épargnes mécaniques, plutôt que des épargnes d'application type cire, scotch...

19.6 INSERTS

Du fait de la forte agressivité de la solution électrolytique, il faut éviter les inserts métalliques, autres que l'aluminium. Dans certains cas, ils peuvent être tolérés par l'utilisation de masques fiables, mais nous consulter impérativement dans ce cas.

19.7 REPRISE DE TRAITEMENT

Une pièce anodisée dure est difficilement re-traitable. Le décapage préalable a deux inconvénients :

- Altération de la rugosité,
- Modification des cotes du fait de la répartition 50 inter./50 extér. du film anodique et donc difficulté de maîtriser la tolérance finale.

Un usinage mécanique pour enlever le traitement défectueux est là encore préférable, dans la mesure du possible.

19.8 COLORATION

Du fait de la coloration naturellement foncée de l'alumine dure, la seule couleur réalisable est le noir.

Le passage dans un bain de « comatage » est impératif pour emprisonner la teinte.

Ce bain, généralement composé d'eau déminéralisée à 95-100°C, a pour inconvénient de faire baisser la dureté de couche de l'ordre de 20%, en surface.

À NOTER : A contrario, les différents colmatages sont aussi et surtout utilisés pour améliorer la tenue des pièces à la corrosion.

En résumé, afin d'éviter tout malentendu ou perte de temps dans nos délais de réponse, vos consultations ou commandes devront impérativement porter mention de :

- 1-Nature de l'alliage
- 2-Épaisseur de couche souhaitée
- 3-Zones fonctionnelles
- 4-Emplacements des points de contact
- 5-Epargnes éventuelles
- 6-Poids de la pièce
- 7-Quantités, cadencements, etc...

Dans la mesure du possible, nous vous conseillons de nous consulter lors de l'étude de votre projet, afin d'optimiser le comportement et de minimiser le coût du traitement.

20 CONCLUSION

On peut donc considérer que l'élaboration par voie électrolytique sur l'aluminium d'une couche extrêmement dure permet à l'utilisateur d'employer un matériau à la fois léger et possédant des caractéristiques importantes de résistance à l'abrasion, avec de faibles coefficients de frottement, des propriétés diélectriques exceptionnelles, des résistances à la corrosion en présence de nombreux agents chimiques, brouillards salins, etc...

Nous rappelons également les propriétés d'adhérence de la couche sur son support du fait que celle-ci est issue d'une transformation de la matière de base et non d'un dépôt électrolytique tels que le cuivrage, le nickelage ou le chromage.

Comme on a pu s'en rendre compte, les propriétés de l'anodisation couche dure des alliages légers sont nombreuses et variées ainsi que leurs applications dans pratiquement toutes les industries.

Dans de nombreux cas, l'anodisation dure permet de substituer l'aluminium à de l'acier, du bronze ou du laiton ; ce qui permet des gains substantiels de poids.

21 EXEMPLE D'UTILISATION

AÉRONAUTIQUE :

- Bords d'attaque de pales d'hélicoptères
- Éléments de freins du Concorde
- Éléments coulissants de train d'atterrissage
- Pales de turbines
- Corps de vérins
- Organes de régulation de combustibles
- Tuyères de fusées, etc...

ÉLECTRONIQUE :

Toutes pièces demandant des propriétés diélectriques :

Supports de contacts tournants • Potentiomètres • Rhéostats • Équipements radar • Sondes thermoélectriques • Contacteurs • Corps de disjoncteurs • Supports de transistors • Bobines d'induction • Platines de calculateurs • Boîtes à balais de moteurs

AUTRES APPLICATIONS SPECTACULAIRES :

Boîtiers de chronographes et de montres de plongée
Rigidification des matériaux en alliage léger par anodisation
couche dure permettant de réduire les sections et le poids du métal de base sur :

DIVERS :

Certains articles culinaires haut de gamme.

MÉCANIQUE :

Axes • Pivots • Rotules • Cliquets d'engrenages • Glissières • Cames • Flasques • Variateurs de vitesse • Guide fils • Pièces pour machine textiles • Corps de pompes • Cylindres • Pistons • Broches de métiers à tisser • Soupapes • Vannes • Têtes de pistons de moteur Diesel • Boucliers thermiques • Roues à aubes • Poulies à gorges • Poulies crantées • Bols distributeurs vibrants • Bagues d'amortisseurs et de guidage

ARMEMENT :

Roues de char • Pistons • Corps de fusée • Corps de boulet • Empennages • Sabots de lancement • Coiffes balistiques

- Flèches pour tir à l'arc
- Raquettes de tennis
- Jantes de bicyclette de compétition
- Jantes automobiles de compétition
- Accastillage (§11)

Ces exemples ne sont donnés qu'à titre indicatif et non limitatif.

22 ASSURANCES & CAS PARTICULIERS

La responsabilité du façonnier est règlementée par l'article 1789 du Code Civil, sauf convention expresse contraire ; elle est limitée à la perte de son travail sur les pièces détériorées (à moins d'un manquement grave à la compétence normalement requise pour un travail de ce genre).

Les incidents sont extrêmement rares.

Les causes en sont généralement :

- A** – Erreurs dans le choix de la nuance d'alliage
- B** – Manque d'homogénéité de la matière
- C** – Diverses : Chocs fortuits, Coupure de courant, etc...
- D** – Le traitement ne provoque aucune déformation géométrique de la pièce ; toutefois, il convient de s'assurer que la matière a été correctement stabilisée afin d'éviter que des tensions ne se libèrent.

Dans le cas de pièces à forte valeur marchande et sans commune mesure avec le coût du traitement, nous conseillons vivement à nos clients d'attirer notre attention sur le coût de la pièce nue.

Moyennant une faible majoration, notre assurance couvrira les défauts éventuelles (nous consulter).

CATIDOM

Anodisation grandeur future

Chemin de la Croix - ZI de césardes - 74 600 SEYNOD
Tél : +33 (0)4 50 51 04 81 - Fax : +33 (0)4 50 52 96 36

www.catidom.com