

Préparation métallographiques des composants nitrurés et carbonitrurés

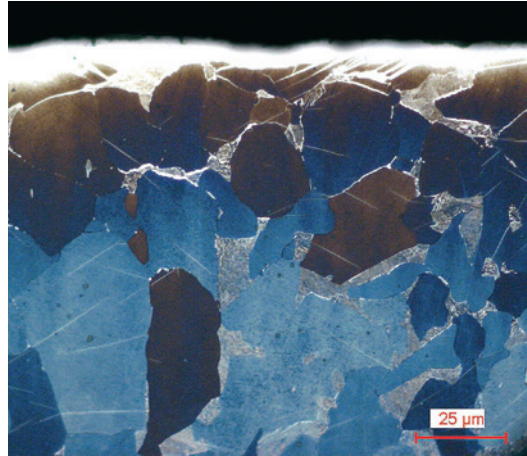
Application Notes

La **nituration** est un processus thermochimique par lequel la surface d'un métal ferreux est enrichie au nitrogène dans le but d'améliorer la résistance à l'usure des composants. Lors de la **carbonituration**, non seulement le nitrogène, mais aussi des petites quantités de carbone sont impliquées dans le processus. Le résultat obtenu est une couche nitrurée constituée par la couche de combinaison ("couche de nitride ou couche blanche") et la couche de diffusion, se trouvant juste au-dessous de la couche de combinaison.

Le processus de nituration et carbonituration utilisant du gaz ou un bain de sel a été développé en Allemagne et aux Etats-Unis au début du 20^{ème} siècle. Le développement de la nituration par bombardement ionique a commencé dans les années 30, mais n'a été commercialisé qu'au début des années 70. Toutes ces trois méthodes de nituration comportent des avantages et le choix d'une méthode en particulier va dépendre de l'application spécifique du composant nitruré.

La nituration produit un revêtement dur résistant à l'usure sur les aciers au carbone et aciers faiblement alliés, ainsi que la fonte. De plus, la résistance à la fatigue se trouve nettement améliorée et l'oxydation de la surface nitrurée améliore la résistance à la corrosion.

L'avantage principal de la nituration et carbonituration par rapport aux autres techniques de durcissement de la surface est la faible température du processus (500-600°C), de préférence 580°C. Les composants peuvent souvent être nitrurés en condition durcie ou de revenu totale sans affecter les propriétés du cœur. Un autre avantage du processus



Acier nitruré après attaque colorée au réactif d'attaque de Beraha

à faible température est le risque de distorsion minimisé. En conséquence, les pièces peuvent être usinées à leurs dimensions finales et ne nécessitent aucun travail de finition onéreux tel qu'un meulage ou redressage après la nituration.

Les techniques de nituration et carbonituration sont principalement utilisées pour les composants ferreux tels que les soupapes, les arbres à cames et les tiges de piston dans l'industrie du génie mécanique et de l'automobile. D'autres applications, sont les outils coupants ou les grands moules de formage. Les pièces en fonte, telles que les pompes et les carters d'engrenage peuvent également être nitrurées.

La métallographie des composants nitrurés et nitrocarburés est principalement utilisée pour le contrôle du processus de nituration par l'examen de la couche. La couche de



nitride, la couche de diffusion et la couche poreuse sont mesurées et évaluées. De plus, des analyses de défauts des pièces usées sont réalisées pour constater si un matériau défectueux, une détérioration de la surface ou le processus de nituration lui-même ont pu contribuer à cette usure.

Difficultés de préparation des pièces nitrurées:

- Ecaillage et fissuration dans la couche

- Arrondissement des bords

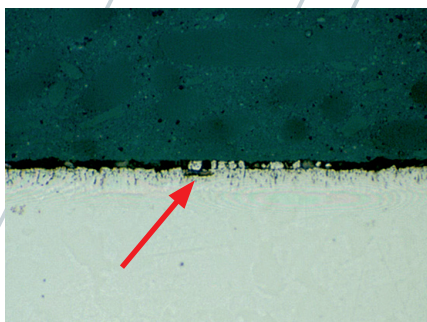


Fig. 1: Retrait entre l'échantillon et la résine pouvant causer un écaillage de la couche nitrurée et emprisonner les abrasifs

500x

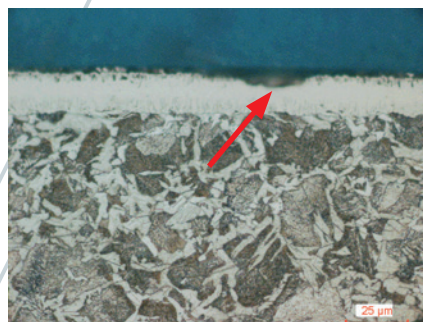


Fig. 2: Sans netteté des bords, la mise au point de la couche n'est pas claire à grossissement élevé

Solution:

- Enrobage correct
- Prépôlissage plan sur papier SiC
- Prépôlissage fin diamanté
- Polissage diamanté sur draps durs

Formation et composition de la couche nitrurée

A température de nitruration, le nitrogène se diffuse dans la surface d'acier et réagit avec le fer, formant du nitrure de fer γ' (Fe_4N), contenant jusqu'à 6 % en poids de N. Avec l'augmentation du nitrogène, la phase ϵ (Fe_3N) se forme, pouvant absorber jusqu'à 11 % en poids de N. Ces deux phases de nitrure de fer, $\epsilon + \gamma'$, forment la couche de combinaison, également désignée "couche de nitrure ou couche blanche", car elle reste blanche lorsque l'acier est attaqué au nital. Cette couche de combinaison ne contient aucun métal mais est constituée d'une phase non-métallique, formée par le fer et le nitrogène, pouvant être désignée comme "céramique nitrurée". Dans les zones périphériques de la couche de combinaison, une couche poreuse peut être trouvée (voir Fig. 3).

Le pourcentage de nitrure γ' et ϵ dépend du contenu en carbone de l'acier: un contenu en carbone plus élevé implique la formation de ϵ , un contenu plus faible en carbone forme plus de nitrure de fer γ' .

Au microscope optique, la différenciation des nitrures de fer ϵ et γ' dans la couche de combinaison n'est possible que par l'utilisation de méthodes d'attaque très spéciales et difficiles. Une analyse correcte de la composition ne peut se faire que par une analyse quantitative structurale aux rayons X utilisant une radiation pénétrante profonde.

La couche de combinaison est relativement dure et sa dureté augmente avec l'augmentation du contenu de nitrure formant les éléments d'alliage, alors que la profondeur de cémentation diminue. Les aciers au carbone nitrurés ont une dureté superficielle de 300 à 400 HV et les aciers alliés de 700 à plus de 1000 HV.

Sous la couche de combinaison se trouve la couche de diffusion contenant du nitrogène en solution solide. Elle contient également des nitrures de métal stables formées par les différents éléments d'alliage de l'acier, tels que l'aluminium, le molybdène, le chrome et le tungstène.



Fig. 3: Détails de la composition d'une couche nitrurée

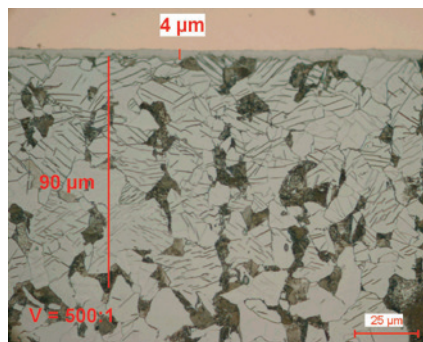


Fig. 4: Acier au carbone nitrocarburé après chauffage pendant 45 min/300°C, attaqué au Nital 1%, montrant des aiguilles de nitrure dans la zone de diffusion.

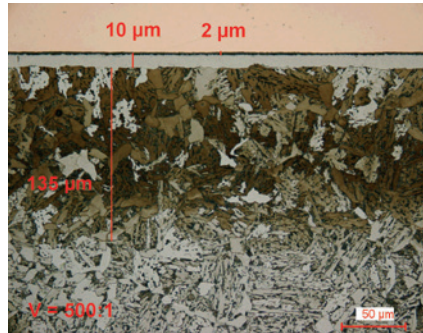
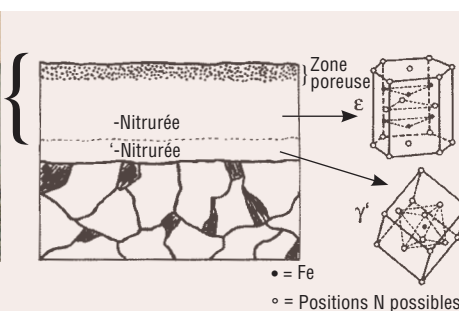


Fig. 5: Acier allié, nitrocarburé, attaqué au Nital 1%, montrant une zone de diffusion sombre, et une couche de combinaison blanche avec revêtement à l'oxyde sombre.

En raison de leur fine répartition sub-microscopique, les nitrures dans la couche de diffusion des aciers à faible teneur en carbone ne peuvent généralement pas être observés une fois que l'échantillon métallographique a été attaqué. Cependant, après un chauffage de l'échantillon à température de revenu (200 - 400° C pendant 15 - 30 min), le nitrogène en solution solide précipite en forme d'aiguilles de nitrure γ' . Ces aiguilles de nitrure peuvent être attaquées de façon à ce que la couche de diffusion devienne visible et que son épaisseur puisse être mesurée (Fig. 4). Sur les aciers d'alliage, la couche de diffusion apparaîtra sombre après l'attaque au nital, mais il n'y aura pas de résolution des nitrures au microscope optique (Fig. 5).

L'épaisseur de la couche de nitrure ou couche blanche et la couche de diffusion vont dépendre de différents paramètres dont les plus importants sont le temps, la température et la composition de l'acier. Cette couche blanche peut varier entre 0 et 20 µm et la couche de diffusion jusqu'à 0,8 mm, selon les exigences de l'application.



Les processus de nitruration et l'application des pièces nitrurées

Avant la nitruration, les composants doivent être soigneusement nettoyés et dégraissés. Toute contamination de la surface par des particules provenant du prépolissage, de la graisse ou des copeaux de métal résultera dans une formation non-uniforme de la couche nitrurée. Cela peut être la cause de fissures dans le revêtement pouvant aboutir à un écaillage et une corrosion (voir Figs. 6 et 7). Après le nettoyage, les pièces sont séchées et préchauffées, puis transférées à l'environnement de nitruration lui-même.

Les différents processus de nitruration peuvent être principalement différenciés selon leur source de nitrogène et alimentation en énergie. La nitruration par bain de sel, par gaz et par bombardement ionique comporte différents avantages en matière de coût d'investissement, de temps de processus, d'environnement, de sécurité et de qualité. Les propriétés de la surface nitrurée ou nitrocarburée obtenue ne dépendent pas, dans de nombreux cas, du processus de production.

La profondeur de cémentation requise est déterminée par l'application du composant nitruré et peut être ajustée au moyen de la température et du temps de nitruration.

Dans ce qui suit, les différents processus de nitruration sont brièvement décrits et l'application des pièces nitrurées est mentionnée.

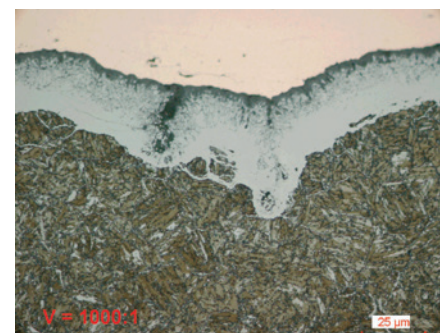


Fig. 6 et 7: Impuretés dans l'acier et sur la surface pouvant aboutir à des régions défectueuses dans la couche nitrurée et pouvant causer un fissurage ou de la corrosion.

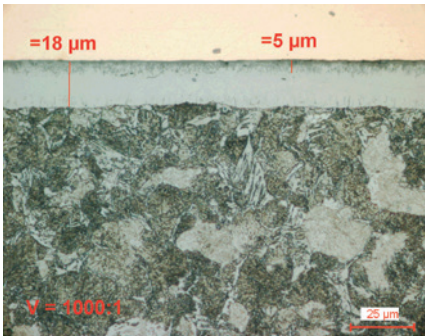


Fig. 8: Acier allié nitrocarburé en bain de sel (16MnCr5), attaqué au Nital 1%, la zone de diffusion est sombre après l'attaque, montre une couche de combinaison blanche avec une zone poreuse.

Carbonituration en bain de sel

La nitrocarburation en bain de sel a lieu dans des fours à creuset chauffés au gaz ou à l'électricité. Le matériau de prédilection pour le creuset est le titane. Après un préchauffage à 350°C, les composants sont immergés dans le bain de sel, soit en suspension ou reposant dans des rampes de chargement, soit en vrac dans des paniers d'acier inoxydable ou d'Inconel.

Le bain de sel est constitué de cyanate alcalin et de carbonate alcalin. Par l'oxydation et la réaction thermique avec la surface du composant immergé, à température de nituration, le cyanate alcalin dégage du nitrogène et du carbone qui se diffusent dans la surface du composant. Une nituration pure n'est pas possible dans le bain de sel, car il y aura toujours des petites quantités de carbone qui se diffuseront dans la surface. Les paramètres de processus habituels sont de 90 min à 580°C.

L'agent de libération actif du nitrogène du bain de sel est le cyanate alcalin. Par le biais de la réaction des ions de cyanate, la quantité de carbonate alcalin dans le bain augmente. En ajoutant un polymère organique, le contenu optimal de cyanate du bain est de nouveau à niveau.

Après la carbonituration, une trempe dans un bain de sel oxydant (380-420°C) produit un oxyde de fer noir (Fe_3O_4) sur la surface. Il remplit les pores de la couche de combinaison et agit comme une protection supplémentaire contre la corrosion. Après un refroidissement à température ambiante, les composants peuvent être polis, puis re-oxydés selon l'application.

En raison d'un apport élevé en nitrogène, la carbonituration en bain de sel produit une couche de combinaison avec des nitures et carbo-nitures ayant perdu ses propriétés

métalliques. Les couches cémentées nitrocarburees sont particulièrement résistantes à l'usure abrasive, traces de frottement, friction de glissement et corrosion. La surface poreuse peut retenir les lubrifiants, ce qui améliore les propriétés de marche des arbres à cames par exemple (Fig. 8).

La carbonituration en bain de sel est un processus rapide, flexible et économique. Les applications typiques sont les pièces utilisées dans l'industrie automobile telles que les tiges de piston, les vilebrequins et les arbres à cames, les soupapes et les engrenages. De plus, les composants nitrocarbures sont utilisés dans l'industrie aéronautique et off-shore ainsi que dans le génie mécanique.

La nituration par un gaz et carbonituration

ont généralement lieu dans un four à nitrate hermétique à cloche offrant une bonne circulation du gaz. Ce processus est principalement contrôlé par le degré de dissociation de l'ammoniac. Le gaz d'ammoniac réagit à 500-520°C avec la surface d'acier et se décompose, libérant ainsi du nitrogène frais qui se diffuse dans la surface d'acier. Comme la nituration par un gaz utilise une température plus basse, les temps de processus varient entre 40 et 80 heures. L'apport de gaz contenant du carbone rend aussi possible une carbonituration par gaz (Fig. 9 et 10). En conséquence, les temps de processus sont réduits.

La formation et les propriétés de la couche de combinaison et couche de diffusion sont similaires à celles produites par une nituration en bain de sel. Cependant, l'épaisseur de la couche de combinaison peut être plus précisément contrôlée ou même entièrement supprimée avec la nituration par un gaz. Cela rend la surface en acier très dure mais pas friable. Des couches de diffusion profondes peuvent être produites qui auront un effet bénéfique sur la tension mécanique par vibration et torsion. Des composants avec des trous percés, caniveaux et cavités,

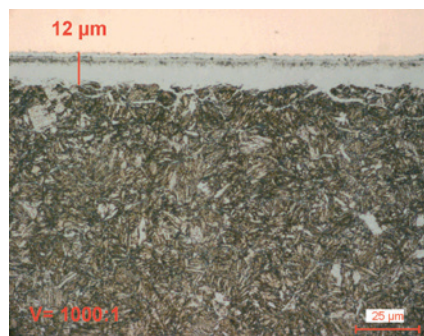


Fig. 9: Acier allié (42CrMo4), nituré au gaz à 510°C/36 h, attaqué au Nital 1%, montrant une zone de diffusion sombre, une couche de combinaison blanche avec une zone poreuse.

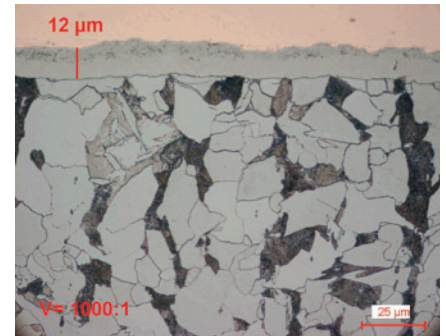


Fig.10: Acier au carbone nitrocarburé au gaz, 580°C/1,5 h.

par exemples les aciers frittés, sont adéquats pour la nituration par un gaz, car le gaz pénètre facilement partout en circulant dans la cornue. Le cuivrage ou les matériaux particulièrement résistants peuvent être utilisés pour masquer les zones ne devant pas être niturées.

Les pièces niturées par un gaz seront typiquement des broches de machine, des boîtiers de pompe en fonte ductile, des mécanismes de serrure de portière, des composants de pompe à eau et des pistons pour les compresseurs.

La nituration au plasma et la carbonituration

ont lieu en atmosphère de nitrogène - hydrogène à 400-600° C et à une pression d'environ 50 à 500 Pa. Pour la carbonituration, des gaz contenant du carbone, tel que le méthane, sont ajoutés. Le plasma est produit dans une chambre à vide à haute tension où la pièce sert de cathode et le réservoir de vide est l'anode. Comme le nitrogène et l'hydrogène sont amenés dans la chambre à vide comme gaz individuels, le taux de nitrogène par rapport à celui de l'hydrogène peut être contrôlé, permettant des variations d'épaisseur et de composition de la couche de combinaison. En conséquence, non seulement les aciers à faible teneur en carbone, mais aussi les aciers austénitiques, les métaux ferreux pour la métallurgie des poudres et les métaux réfractaires peuvent être niturés au plasma.

Difficultés lors de la préparation métallographique des aciers nitrurés

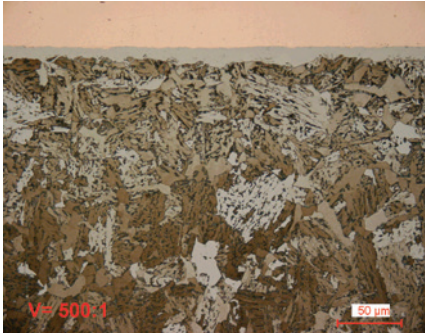


Fig. 11: Acier allié (16MnCr5N), nitrocarburé au plasma, 570°C/ 6 h.

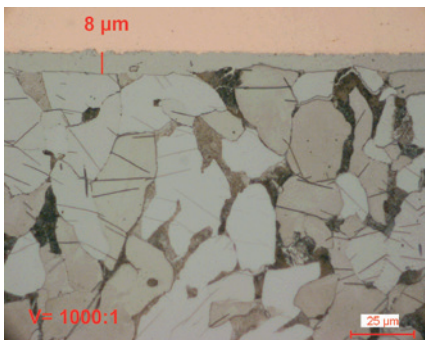


Fig. 12: Acier au carbone, nitrocarburé au plasma, 570°C/ 6 h. Les deux couches nitrurées sont sans zone poreuse et montrent un très beau fini de surface.

La nitruration au plasma donne un fini de surface très beau, pratiquement exempt de pores, se prêtant parfaitement à un polissage fin (fig. 11 et 12). Grâce à cette faible porosité, les arbres à cames et les vilebrequins nitrurés au plasma et nitrocarbures sont par exemple utilisés pour les moteurs de haute performance. Comme la nitruration au plasma offre une grande variété de couches nitrurées, ses champs d'application sont également variés. Comme exemples, nous pouvons mentionner le traitement de surface des moules de formage tels que les grandes filières de plastique et les matrices de découpage des carrosseries, les outils pour l'emboutissage profond à l'acier inoxydable, les matrices de moulage, de forgeage à chaud et de forgeage par extrusion. D'autres applications spécifiques sont les soupapes de moteur résistantes à la corrosion, les outils coupants en acier à coupe rapide et de nombreuses applications dans le domaine du génie mécanique.

Le problème principal rencontré lors de la préparation des composants nitrurés est l'écaillage de la couche poreuse et le fissurage de la couche de combinaison (voir Fig. 1, 2 et 13). Ces dommages sont principalement introduits lors de la première étape de prépolissage. Un enrobage incorrect et un polissage long sur draps doux va donner des bords arrondis. Comme l'évaluation du revêtement est faite à un grossissement de 1000x, les bords arrondis aboutissent à des mesures incorrectes de l'épaisseur.

Recommandations pour la préparation des aciers nitrurés

Pour éviter tout endommagement de la couche nitrurée, il est recommandé que le **tronçonnage** soit accompli avec précaution sur une machine de tronçonnage avec refroidissement à l'eau, spécialement adaptée pour la métallographie. Pour tronçonner, une meule en oxyde d'aluminium sera choisie selon la dureté du composant nitruré. Il s'agit habituellement d'une meule de tronçonnage de moyennement dure à tendre.

Enrobage: Pour éviter les fentes dues au retrait, un enrobage à chaud dans une résine renforcée

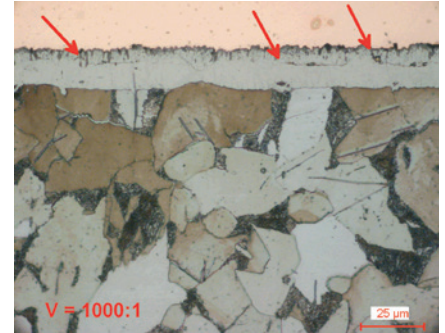


Fig. 13: Fissures dans le revêtement causées par la préparation.

aux fibres est recommandé (IsoFast, DuroFast). De plus, envelopper l'échantillon tronçonné dans une mince feuille de cuivre pur (0,05 mm) avant l'enrobage garantira une bonne netteté des bords.* La couleur cuivrée fera également ressortir le revêtement par rapport à la résine d'enrobage, ce qui est particulièrement utile lors du travail avec des composants oxydés (comparer les Fig. 14 et 15, 16 et 17).

*La feuille est étirée tel un ruban par la lame d'une paire de ciseaux, collée à l'échantillon par de la colle instantanée, enveloppée autour de l'échantillon et collée de nouveau. Puis, le surplus de feuille est replié sur la surface et bien pressé du bout des doigts ou avec l'ongle. La feuille de cuivre sur la surface de l'échantillon est éliminée à l'étape de prépolissage plan subséquente.

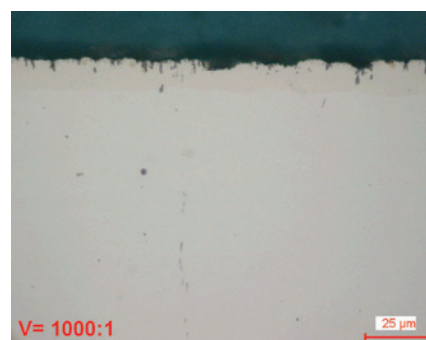


Fig. 14: Acier allié (16MnCr5N) nitrocarburé en bain de sel, enrobé sans feuille de cuivre. L'on peut observer un écaillage de la couche de nitrure et la mince couche d'oxyde ne peut pas être distinguée de la résine d'enrobage.

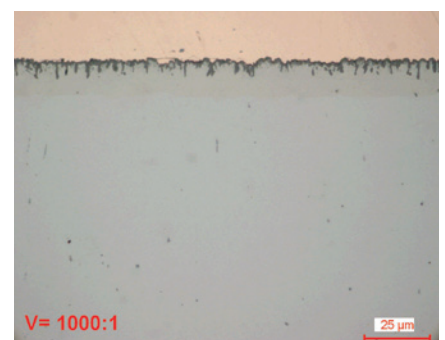


Fig. 15: Pareil que la Fig. 14, mais enrobé avec une feuille de cuivre, la couche d'oxyde sombre est parfaitement visible contre la couleur cuivrée de la feuille. La couche est bien préservée.

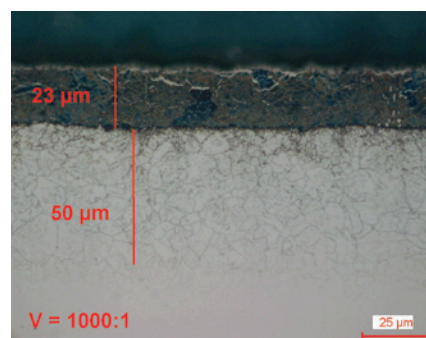


Fig. 16: Acier fortement allié (X45CrSi9V), nitrocarburé en bain de sel, oxydé, attaqué au Nital 1%, la zone de diffusion est sombre après l'attaque, la couche de combinaison ne peut pas être distinguée de la résine d'enrobage.

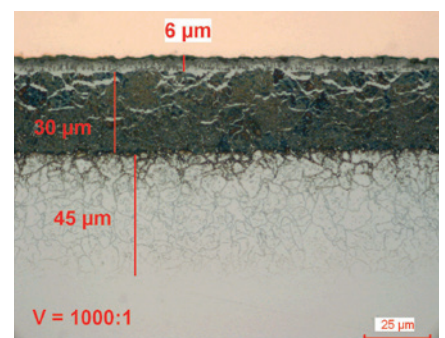


Fig. 17: Pareil que la Fig. 16, enrobé avec une feuille de cuivre, la couche de combinaison est clairement visible contre la feuille d'acier et peut être mesurée.

Tableau 1:
Méthode de
préparation des
aciers nitrurés



Prépolissage

Etape		PG	FG
	Surface	Foil/Paper	MD-Largo
	Abrasive	Type	Diamond
		Taille	#220
	Suspension/ Lubrifiant	Eau	DiaPro Allegro/Largo 9
	t/m	300	150
	Force [N]	25	25
	Temps	À besoin	5 min.

Prépolissage et polissage: Le prépolissage plan est effectué sur un papier de prépolissage SiC 180# et/ou 200#. Pour garantir la netteté des bords, il est important de procéder à un prépolissage fin diamanté sur disque de prépolissage fin (MD-Largo). Cette étape sera suivie d'un polissage diamanté sur drap de soie synthétique (MD-Dac), et d'un bref polissage final diamanté à 1µm ou à la silice colloïdale.

La méthode suivante a donné de bons résultats reproductibles pour les aciers nitrurés. Les données de préparation sont pour 6 échantillons enrobés, de 30 mm de diamètre, serrés dans un porte-échantillons. Selon la taille des échantillons et le type de revêtement, les temps de polissage peuvent être légèrement modifiés.

Attaque: Le revêtement nitruré est tout d'abord examiné non-attaqué afin d'évaluer la couche poreuse ainsi que la forme et la taille des pores. L'attaque au nital 1-3% expose la couche de combinaison blanche et, dans les aciers alliés, la couche de diffusion sombre. Pour une bonne couche nitrurée, un très bon matériau de base est essentiel. Les fissures, inclusions, le lignage ou la déformation de la surface initiale influencent nettement la qualité de la couche nitrurée. Il est donc important d'évaluer la structure du matériau de base également. Dans les aciers à faible teneur en carbone, la couche de diffusion peut être identifiée par un chauffage de l'échantillon à 300°C / 45 min, puis attaqué au nital 1% (voir la Fig. 4).

Polissage

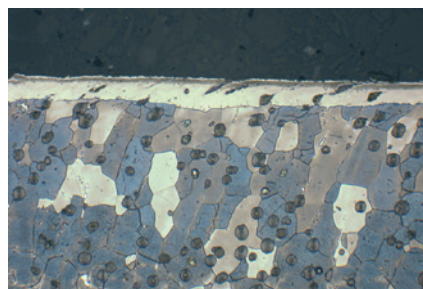
Etape		DP 1	DP 2	OP*
	Support	MD-Dac	MD-Nap	MD-Chem
	Abrasive	Type	Diamond	Alumina/Silica
		Taille	3 µm	1 µm
	Suspension/ Lubrifiant	DiaPro Dac 3	DiaPro Nap B1	OP-A or OP-U NonDry
	t/m	150	150	150
	Force [N]	30	25	15
	Temps	6 min.	1 min.	1 min.

*Etape optionnelle

Comme solution alternative, la suspension diamantée polycristalline DiaPro P, 9 µm, 3 µm et 1 µm peut être utilisée avec du lubrifiant bleu.

Résumé

La nitruration est un processus thermo-chimique par lequel la surface d'un métal ferreux est enrichie au nitrogène pour améliorer la résistance à l'usure et à la corrosion des composants. Trois méthodes de nitruration peuvent être utilisées: la carbonitruration par bain de sel, la nitruration et carbonitruration par un gaz ou par plasma. La nitruration et la carbonitruration résultent en une



Fonte nodulaire ferritique, nitrurée au gaz, attaquée au nital 3%, 500x

formation d'une surface très dure constituée d'une couche de combinaison et d'une couche de diffusion. La métallographie des couches nitrurées est principalement utilisée pour le contrôle qualité et le contrôle du processus de nitruration, ainsi que pour l'analyse des défauts. Les problèmes principaux lors de la préparation des couches nitrurées sont l'arrondissement des bords et le fissurage ou l'écaillage de la couche lors du prépolissage et du polissage. En enveloppant avec soin l'échantillon dans une mince feuille de cuivre avant l'enrobage à chaud, ce problème peut être surmonté. Pour le prépolissage fin du papier SiC ou un disque de prépolissage fin diamanté peuvent être utilisés, ce dernier donnant une meilleure netteté des bords. Le polissage diamanté subséquent devra être aussi long que nécessaire pour éliminer les dommages éventuels de la couche introduits par la préparation.

Struers ApS

Pederstrupvej 84
 DK-2750 Ballerup, Denmark
 Phone +45 44 600 800
 Fax +45 44 600 801
 struers@struers.dk
 www.struers.com

NETHERLANDS

Struers GmbH Nederland
 Zomerdijk 34 A
 3143 CT Maassluis
 Telefoon +31 (10) 599 7209
 Fax +31 (10) 5997201
 netherlands@struers.de

NORWAY

Struers ApS, Norge
 Sjøskogenveien 44C
 1407 Vinterbro
 Telefon +47 970 94 285
 info@struers.no

AUSTRIA

Struers GmbH
 Zweigniederlassung Österreich
 Betriebsgebiet Puch Nord 8
 5412 Puch
 Telefon +43 6245 70567
 Fax +43 6245 70567-78
 austria@struers.de

POLAND

Struers Sp. z o.o.
 Oddział w Polsce
 ul. Jasnogórska 44
 31-358 Kraków
 Phone +48 12 661 20 60
 Fax +48 12 626 01 46
 poland@struers.de

ROMANIA

Struers GmbH, Sucursala Bucuresti
 Str. Preciziei nr. 6R
 062203 sector 6, Bucuresti
 Phone +40 (31) 101 9548
 Fax +40 (31) 101 9549
 romania@struers.de

SWITZERLAND

Struers GmbH
 Zweigniederlassung Schweiz
 Weissenbrunnenstraße 41
 CH-8903 Birmensdorf
 Telefon +41 44 777 63 07
 Fax +41 44 777 63 09
 switzerland@struers.de

SINGAPORE

Struers Singapore
 627A Aljunied Road,
 #07-08 BizTech Centre
 Singapore 389842
 Phone +65 6299 2268
 Fax +65 6299 2661
 struers.sg@struers.dk

SPAIN

Struers España
 Camino Cerro de los Gamos 1
 Building 1 - Pozuelo de Alarcón
 CP 28224 Madrid
 Teléfono +34 917 901 204
 Fax +34 917 901 112
 struers.es@struers.es

FINLAND

Struers ApS, Suomi
 Hietalahdenranta 13
 00180 Helsinki
 Puhelin +358 (0)207 919 430
 Faksi +358 (0)207 919 431
 finland@struers.fi

SWEDEN

Struers Sverige
 Box 20038
 161 02 Bromma
 Telefon +46 (0)8 447 53 90
 Telefax +46 (0)8 447 53 99
 info@struers.se

UNITED KINGDOM

Struers Ltd.
 Unit 11 Evolution @ AMP
 Whittle Way, Catcliffe
 Rotherham S60 5BL
 Tel. +44 0845 604 6664
 Fax +44 0845 604 6651
 info@struers.co.uk

USA

Struers Inc.
 24766 Detroit Road
 Westlake, OH 44145-1598
 Phone +1 440 871 0071
 Fax +1 440 871 8188
 info@struers.com

AUSTRALIA & NEW ZEALAND

Struers Australia
 27 Mayneview Street
 Milton QLD 4064
 Australia
 Phone +61 7 3512 9600
 Fax +61 7 3369 8200
 info.au@struers.dk

BELGIUM (Wallonie)

Struers S.A.S.
 370, rue du Marché Rollay
 F- 94507 Champigny
 sur Marne Cedex
 Téléphone +33 1 5509 1430
 Télécopie +33 1 5509 1449
 struers@struers.fr

BELGIUM (Flanders)

Struers GmbH Nederland
 Zomerdijk 34 A
 3143 CT Maassluis
 Telefoon +31 (10) 599 7209
 Fax +31 (10) 5997201
 netherlands@struers.de

CANADA

Struers Ltd.
 7275 West Credit Avenue
 Mississauga, Ontario L5N 5M9
 Phone +1 905-814-8855
 Fax +1 905-814-1440
 info@struers.com

CHINA

Struers Ltd.
 No. 1696 Zhang Heng Road
 Zhang Jiang Hi-Tech Park
 Shanghai 201203, P.R. China
 Phone +86 (21) 6035 3900
 Fax +86 (21) 6035 3999
 struers@struers.cn

CZECH REPUBLIC & SLOVAKIA

Struers GmbH Organizační složka vědeckotechnický park Pílepská 1920,
 CZ-252 63 Roztoky u Prahy
 Phone +420 233 312 625
 Fax +420 233 312 640
 czechrepublic@struers.de
 slovakia@struers.de

GERMANY

Struers GmbH
 Carl-Friedrich-Benz-Straße 5
 D- 47877 Willich
 Telefon +49 (0) 2154 486-0
 Fax +49 (0) 2154 486-222
 verkauf@struers.de

FRANCE

Struers S.A.S.
 370, rue du Marché Rollay
 F-94507 Champigny
 sur Marne Cedex
 Téléphone +33 1 5509 1430
 Télécopie +33 1 5509 1449
 struers@struers.fr

HUNGARY

Struers GmbH
 Magyarországi Fióktelepe
 2040 Budaörs
 Szabadság utca 117
 Phone +36 2380 6090
 Fax +36 2380 6091
 Email: hungary@struers.de

IRELAND

Struers Ltd.
 Unit 11 Evolution @ AMP
 Whittle Way, Catcliffe
 Rotherham S60 5BL
 Tel. +44 0845 604 6664
 Fax +44 0845 604 6651
 info@struers.co.uk

ITALY

Struers Italia
 Via Monte Grappa 80/4
 20020 Arese (MI)
 Tel. +39-02/38236281
 Fax +39-02/38236274
 struers.it@struers.it

JAPAN

Marumoto Struers K.K.
 Takanawa Muse Bldg. 1F
 3-14-13 Higashi-Gotanda,
 Shinagawa
 Tokyo
 141-0022 Japan
 Phone +81 3 5488 6207
 Fax +81 3 5488 6237
 struers@struers.co.jp

Auteurs

Elisabeth Weidmann, Anne Guesnier,
 Struers A/S, Copenhagen, Denmark

Remerciements

Nous désirons remercier **Durferrit GmbH**, Mannheim, Allemagne, pour la permission accordée de reproduire des photos et schémas. Nous remercions le Dr. Ulrich Baudis pour son soutien professionnel.

Nous désirons tout particulièrement remercier Mme. Sabine Riesbeck pour la préparation d'échantillons et pour nous avoir généreusement fourni la micrographie de la page 1 et les Fig. 2-17.

Nous remercions également **Eltro GbmH**, Baesweiler, Allemagne, pour l'échantillon nituré au plasma.

Merci également à **Carl Gomman KG**, Remscheid, Allemagne, pour l'échantillon nituré par un gaz.

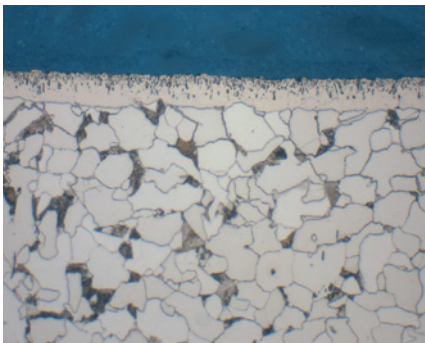
Bibliographie

Practical nitriding and ferritic microcarburizing,
 David Pye, ASM International, 2003

ASM Handbook, Vol. 9, Metallography and
 Microstructure, ASM, 2004

Wärmebehandlung von Eisenwerkstoffen, Nitrieren
 und Nitrocarburieren, D. Liedtke u.a., expert verlag,
 Renningen, 2006

Technologie der Salzschnmelzen, Ulrich Baudis und
 Michael Kreutz, Die Bibliothek der Technik, Band 224,
 verlag moderne industrie, 2001



Couche blanche avec zone poreuse sur de l'acier à faible teneur en carbone