



Freins en céramique équipant les véhicules Audi

Programme autodidactique 441

L'Audi A8 06 a été le premier véhicule de série de la marque à être équipé en option d'un système de freinage doté de disques de frein en céramique. En raison des propriétés de leur matériau, les freins en céramique offrent des avantages incontestables par rapport aux systèmes de freinage conventionnels, notamment sur des véhicules se caractérisant par des motorisations musclées et des puissances élevées. C'est pourquoi l'offre a été étendue à d'autres modèles. L'Audi Q7 V12 TDI est la première Audi à recevoir de série un frein en céramique. Le présent programme autodidactique vous fournit des connaissances fondamentales sur ce sujet intéressant.



Sommaire

Introduction

Les matériaux composites fibreux des freins.	4
Le composite céramisé C/SiC	6
Procédé de fabrication d'un disque de frein en céramique.	7
Structure d'un disque de frein en céramique.	8

Disques de frein céramique des Audi de série

Réalisation technique	10
Tableau des modèles.	13
Architecture et marquage des disques de frein en céramique.	14

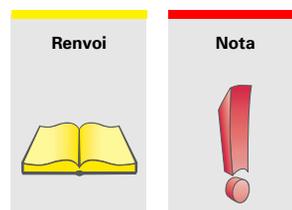
Opérations d'entretien

Manipulation des disques de frein en céramique : généralités	16
Procédure à suivre lors du changement d'une roue.	16
Caractéristiques optiques des disques de frein en céramique à l'état neuf . .	17
Critères d'usure	18
Détermination de l'usure	19
Endommagements	22
Directive de rodage des freins	23

Le programme autodidactique donne des notions de base sur la conception et le fonctionnement de nouveaux modèles automobiles, de nouveaux composants des véhicules ou de nouvelles techniques.

**Le programme autodidactique n'est pas un manuel de réparation !
Les valeurs indiquées le sont uniquement à titre indicatif et se réfèrent à la version logicielle
valable lors de la rédaction du programme autodidactique.**

Pour les travaux de maintenance et de réparation, prière de consulter les ouvrages techniques les plus récents.



Introduction

Les matériaux composites fibreux des freins

L'utilisation de matériaux renforcés de fibres en technique automobile ne cesse d'augmenter. Cela tient aux propriétés spécifiques de ces matériaux, qui sont par conséquent privilégiés dans certains domaines d'application. Dans le cas présent, il s'agit essentiellement de résistances élevées alliées à un faible poids spécifique, d'une bonne tenue à la température et d'une résistance à l'usure exemplaire.

Dans le domaine du sport automobile, des matériaux composites fibreux à base de carbone (matériaux C/C*) sont utilisés avec succès depuis de nombreuses années comme disques et garnitures de frein. Une variante de ce matériau, la céramique C/SiC*, a été mise en point pour la mise en oeuvre dans les freins des véhicules de série. Ce matériau fera l'objet d'une description détaillée au chapitre suivant.



Mise en oeuvre de disques de frein C/C sur l'Audi R10 TDI

441_001

*Définition des termes :

PRFC : plastique renforcé de fibres de carbone

C/C : carbone renforcé de fibres de carbone

C/SiC : carbure de silicium renforcé de fibres de carbone

En comparaison avec les matériaux métalliques conventionnels des freins, tels que la fonte grise, les principaux avantages de la céramique C/SiC utilisée dans les disques de frein sont les suivants :

- Poids réduit des composants, d'où réduction des masses en rotation non suspendues sur le véhicule (env. 50 % de gain de poids par roue)

- Excellente résistance à l'usure des disques de frein, allant de pair avec une durée de vie pratiquement multipliée par quatre par rapport aux disques de frein classiques



441_002

- Meilleure stabilité dans le cas de variations de températures rapides (résistance aux chocs thermiques) – excluant pratiquement toute déformation géométrique des disques de frein sous l'influence de la chaleur

- Bonne résistance à haute température, d'où diminution nettement plus faible du coefficient de frottement disque de frein / garniture de frein lorsque les températures augmentent (fading) *

* En présence de sel de déneigement ou d'humidité importante, la performance de freinage est assimilable à celle d'un système de freinage classique. Le conducteur, habitué au niveau de freinage élevé du système de freinage céramique, peut percevoir cela comme une réduction de l'efficacité des freins.

Introduction

Le composite céramisé C/SiC

On entend par céramique C/SiC un carbure de silicium renforcé de fibres de carbone.

Les propriétés du carbure de silicium s'apparentent à celles du diamant, à savoir une extrême dureté et donc une résistance à l'usure très élevée, alliée à une excellente résistance chimique comme thermique.

Pour pouvoir exploiter les propriétés de ce matériau, dont l'inconvénient est toutefois d'être fragile, dans le cas spécifique des disques de frein, il est fait appel à des fibres de carbone pour renforcer la matrice en carbure de silicium. Cela permet d'augmenter considérablement la résistance à la rupture et d'obtenir, en raison de son comportement pseudoplastique, une sensibilité réduite à l'endommagement du matériau constitutif de la pièce, et donc de cette dernière.



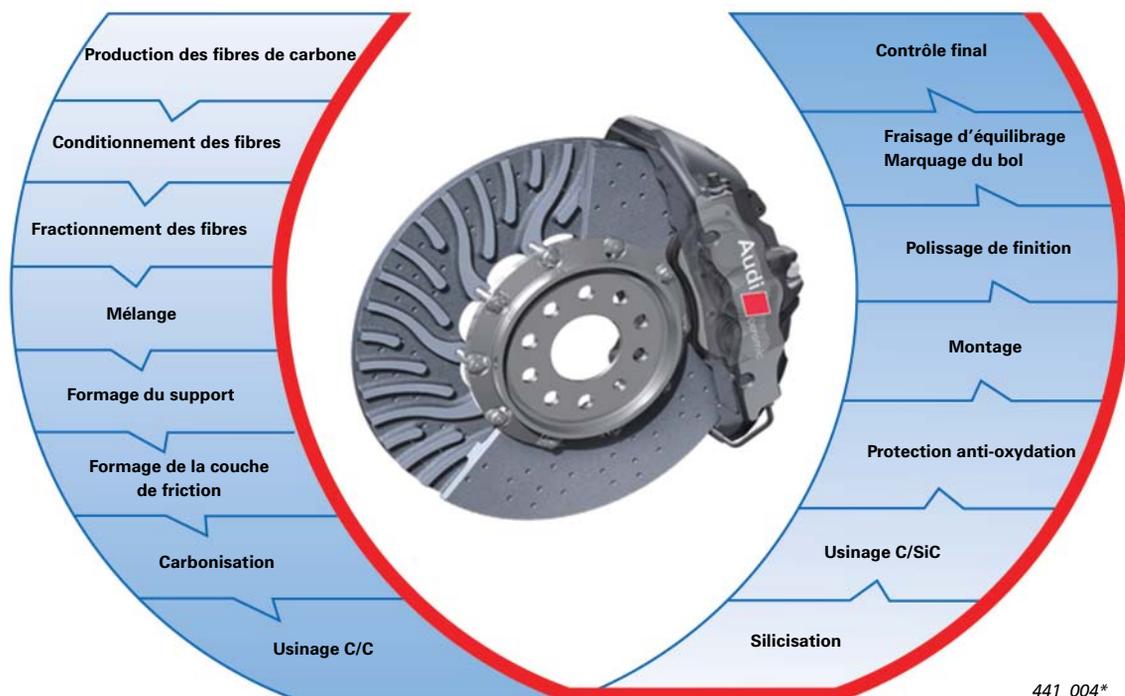
Matériaux initiaux : mélange de fibres de carbone, de résine phénol et de granulat de silicium

441_003

Procédé de fabrication d'un disque de frein en céramique

Le procédé de fabrication d'un disque de frein en céramique est extrêmement complexe. De nombreuses opérations sont encore réalisées manuellement et prennent beaucoup de temps. Pour satisfaire aux standards de qualité élevés, des étapes de rectification coûteuses du disque de frein brut sont nécessaires.

Une description détaillée des différentes opérations dépasserait le cadre de ce programme autodidactique. La figure ci-dessous identifie les principales étapes du processus de fabrication d'un disque de frein en céramique.



Le matériau initial servant à la fabrication d'un disque de frein en céramique C/SiC est un mélange de fibres de carbone de longueur différente et de résine phénol. Ce mélange est comprimé et durci sous l'effet de la pression et de la température, et l'on obtient alors un plastique renforcé de fibres de carbone (PRFC).

La pièce brute est ensuite soumise à un traitement thermique (à une température de l'ordre de 900 °C) en milieu anaérobie (procédé dit de carbonisation), durant lequel la résine phénol est transformée en carbone, ce qui permet d'obtenir un matériau de type C/C.

Cette étape est suivie, après usinage mécanique intermédiaire, d'une infiltration de silicium en fusion, réalisée à une température supérieure à 1500 °C dans un four à vide, dans la pièce brute en C/C (procédé dit de silicisation), au cours de laquelle le carbone de la matrice et le silicium en fusion sont transformés en carbure de silicium ; les fibres de carbone de renfort sont conservées dans la structure.

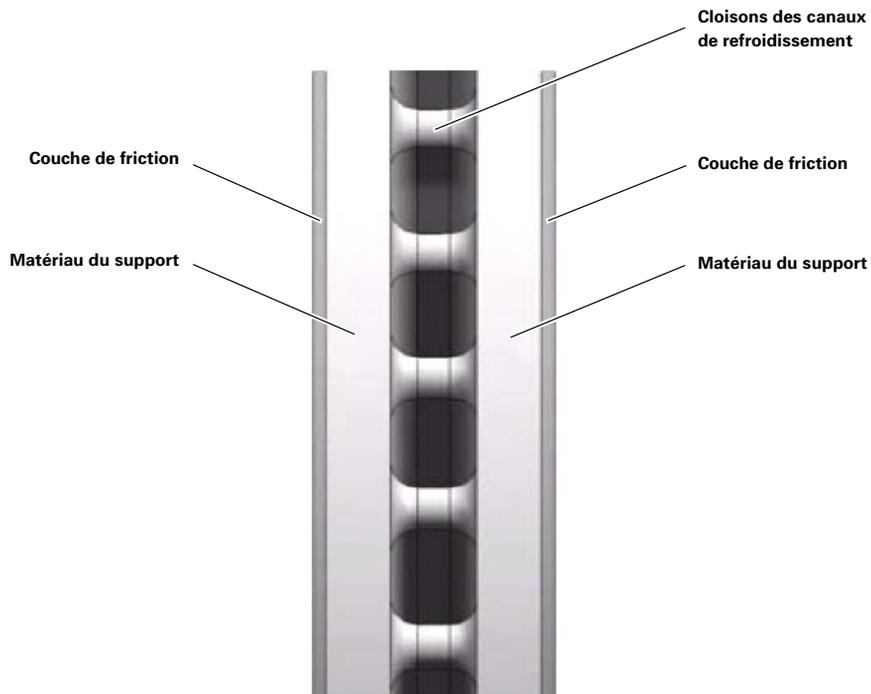
Au terme de ce processus, la céramique C/SiC constitue le matériau du disque de friction, qui est ensuite usiné et vissé sur le bol de disque de frein métallique, avant d'être soumis à un polissage de finition.

* Documentation mise à disposition par SGL Group Meitingen.

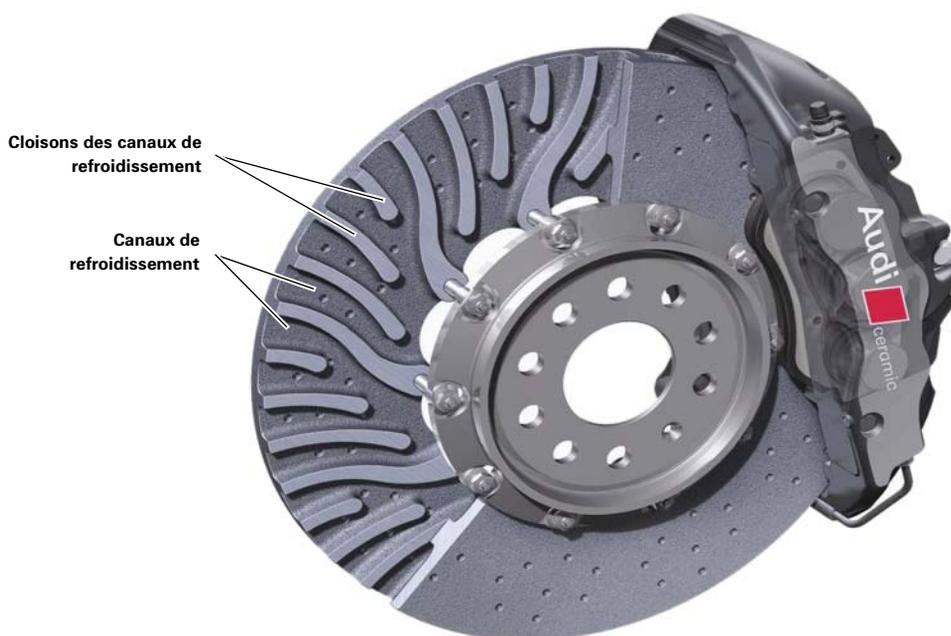
Structure d'un disque de frein en céramique

Le disque de frein en céramique présente sur chacune de ses faces une surface de friction, revêtant une importance décisive pour le comportement tribologique du système de freinage. Ces surfaces de friction présentent une composition matérielle légèrement différente de celle du support sous-jacent, qui est pour sa part responsable de la résistance de la pièce et de l'absorption de l'énergie du freinage.

Tous les disques de frein en céramique utilisés sur les véhicules de série Audi sont à ventilation intérieure avec géométrie spéciale des canaux de refroidissement, en vue de pouvoir réaliser un refroidissement optimal du frein.



441_005*

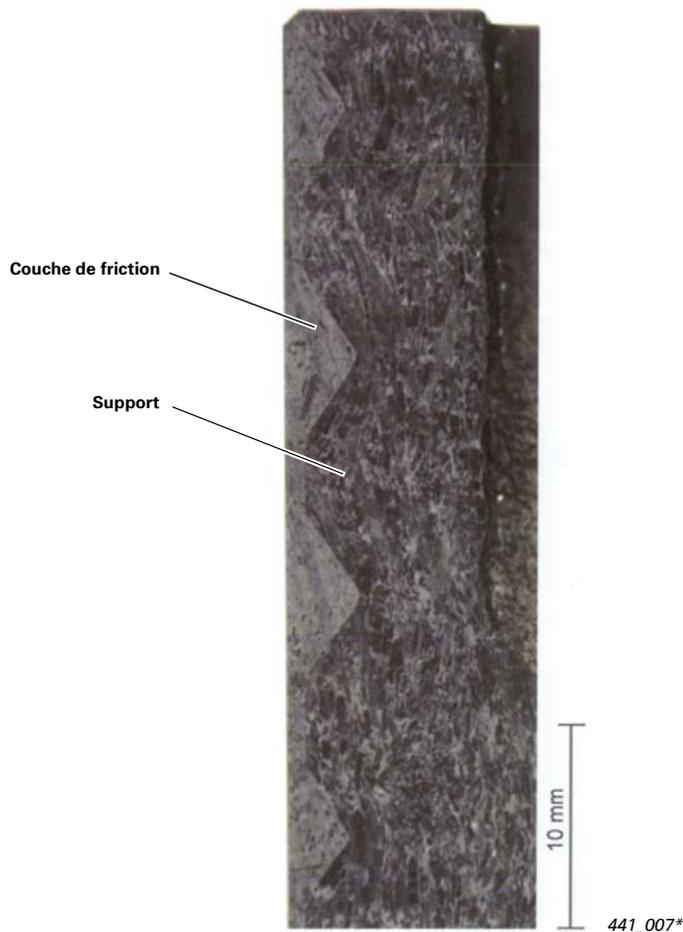


441_006

* Documentation mise à disposition par SGL Group Meitingen.

Le disque de frein en C/SiC est essentiellement constitué de trois composants matériels. La matrice est composée de carbure de silicium et de silicium libre, le renfort étant assuré par des fibres de carbone intégrées. Dans les couches de friction, le pourcentage de carbure de silicium est nettement plus élevé que dans le support car, en surface, ce sont la dureté et la résistance à l'usure qui importent.

Dans le support, par contre, la proportion de fibres de carbone est nettement plus élevée en vue de pouvoir garantir une résistance suffisante de la pièce.



Structure du disque de frein en céramique (matériaux de la couche de friction et du support), vue en section

* Documentation mise à disposition par SGL Group Meitingen.

Disques de frein céramique des Audi de série

Réalisation technique

La première mise en oeuvre de matériaux composites renforcés de fibres dans les disques de frein a eu lieu en compétition automobile. Les exigences s'adressant aux composants C/C utilisés dans ce cas diffèrent cependant beaucoup de celles de l'utilisation sur des véhicules de série. Tandis qu'en sport automobile, c'est surtout la réalisation d'une puissance de freinage élevée jusque dans la plage des hautes températures qui importe, des critères tels que l'usure, la dosabilité, le confort et les coûts jouent un rôle important dans le cas des véhicules de série.

En compétition, il faut préalablement « chauffer » les disques et garnitures de frein C/C à une température définie avant d'atteindre des coefficients de frottement suffisants et donc des puissances de freinage adéquates. Ce comportement n'est pas acceptable dans le cas de véhicules de série. C'est la raison pour laquelle il est fait appel, dans le cas des véhicules de série Audi, à des disques de frein C/SiC, garantissant des valeurs de décélération optimales dans toutes les conditions de service.

Sur les véhicules de série Audi, le système de freinage céramique est équipé de garnitures de frein composites organiques conventionnelles. L'alliage utilisé pour les garnitures renferme, par rapport au matériau des garnitures d'un système de freinage classique, un peu plus de métaux non ferreux, afin de pouvoir réaliser les températures de service plus élevées envisageables.

La durée de vie des garnitures est identique à celle des garnitures de frein conventionnelles.

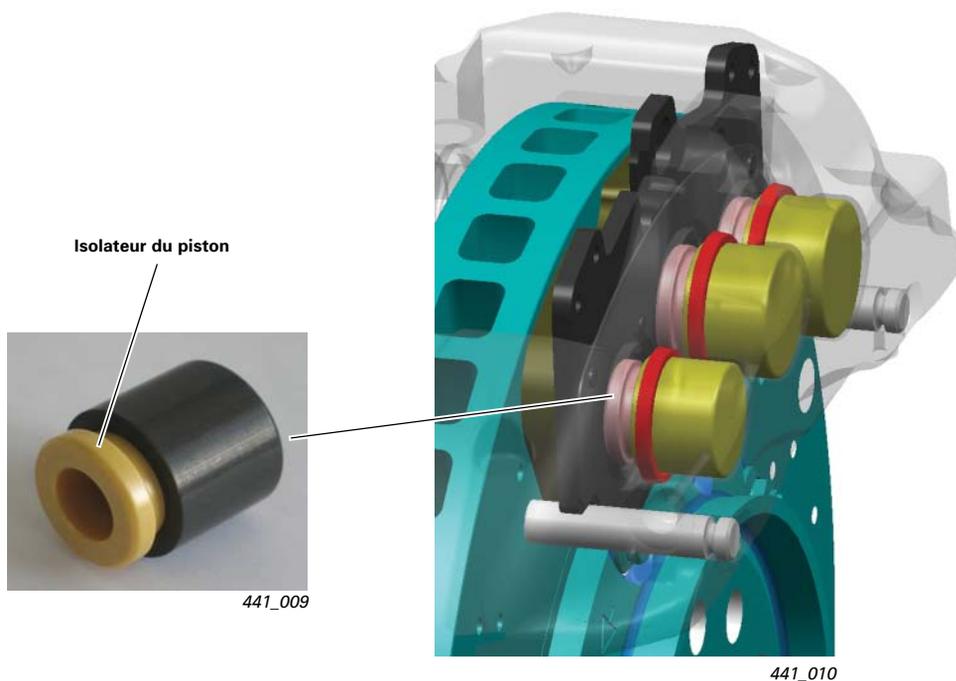


441_008

Garnitures de frein organiques du frein en céramique

En raison des températures plus élevées possibles du disque et de la garniture de frein, on requiert également, en comparaison des systèmes de freinage classiques, des étriers de frein spéciaux. Il faut éviter que les températures élevées de la garniture et du piston de frein ne soient transmises au liquide de frein.

En cas d'ébullition du liquide de frein, des bulles de vapeur se produiraient et de l'air serait généré dans le système de freinage. Pour éviter ce phénomène, certains fabricants (Brembo par exemple) utilisent entre le piston de frein et la garniture de frein des isolateurs en céramique d'oxyde de zirconium.

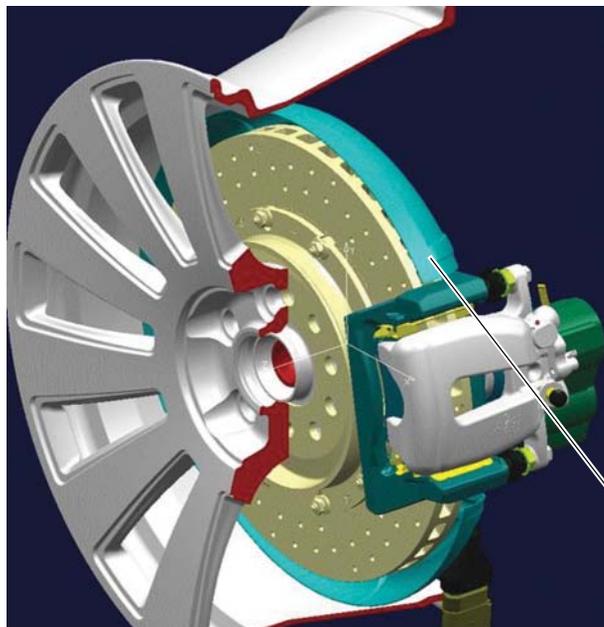


Du fait des propriétés du matériau, les disques de frein en céramique se distinguent des disques de frein classiques dans leur comportement de freinage sur mouillé. Sur tous les véhicules Audi équipés de freins en céramique, l'ESP est doté de la fonction déjà connue de « raclage du disque de frein ». Les garnitures de frein sont, sur chaussée mouillée, appliqués cycliquement et la surface du disque de frein est nettoyée et séchée.

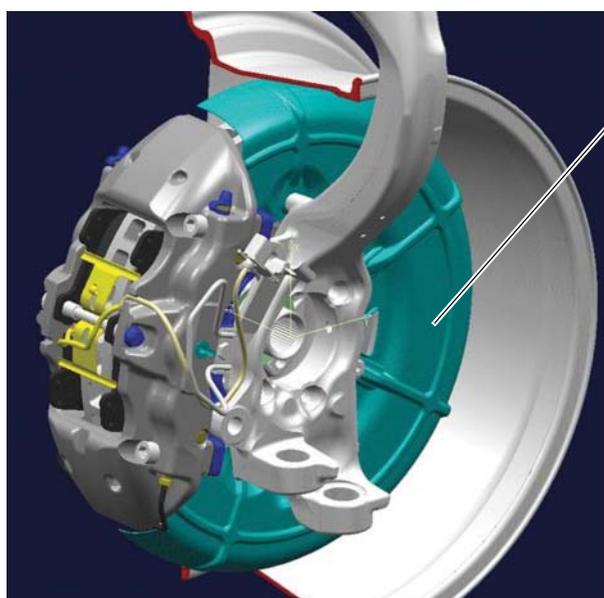


Disques de frein céramique des Audi de série

Réalisation technique



441_012



441_013

Les véhicules équipés de freins en céramique possèdent également des tôles de blindage plus largement dimensionnées.

Tableau des modèles

Conformément à l'offre de décembre 08, les freins en céramique sont exclusivement proposés sur les modèles Audi figurant dans le tableau ci-dessous.

Modèle	Équipement	Position sur essieu
A8 W12	équipement de série en option	sur essieux avant et arrière
S8	équipement de série en option	sur essieux avant et arrière
A8 V8 (TDI et FSI)	équipement de série en option, rééquipement possible	sur essieux avant et arrière
RS4 (Avant, Berline, Cabriolet)	équipement de série en option	uniquement essieu avant
RS6 (Avant, Berline)	équipement de série en option	sur essieux avant et arrière
Q7 V12 TDI	équipement de série	sur essieux avant et arrière
Q7 V8	équipement de série en option	sur essieux avant et arrière
R8	équipement de série en option	sur essieux avant et arrière



441_014

Disques de frein céramique des Audi de série

Architecture et marquage des disques de frein en céramique

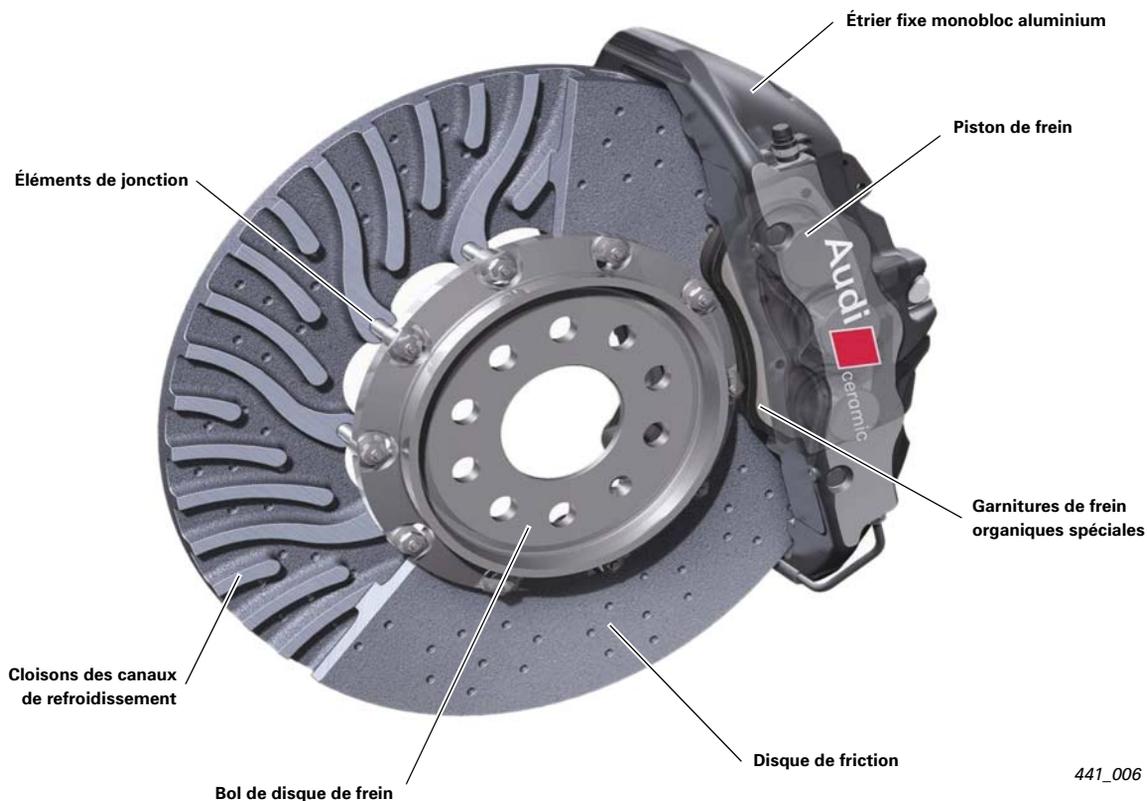
La disque de friction en céramique est solidarisé avec le bol de disque de frein métallique via des éléments de jonction métalliques. Le bol de disque de frein et les éléments de jonction sont réalisés en alliage métallique résistant à la corrosion. Sur certains modèles de véhicules, le bol de disque de frein est doté d'un revêtement spécial. Des orifices et canaux de refroidissement sont usinés dans le disque de friction.

Le refroidissement correct n'est garanti que si les disques de frein ont été montés à la position prévue sur le véhicule. C'est pourquoi il y a une indication du sens de marche ; les disques de frein sont différents pour les côtés gauche et droit du véhicule.

Nota

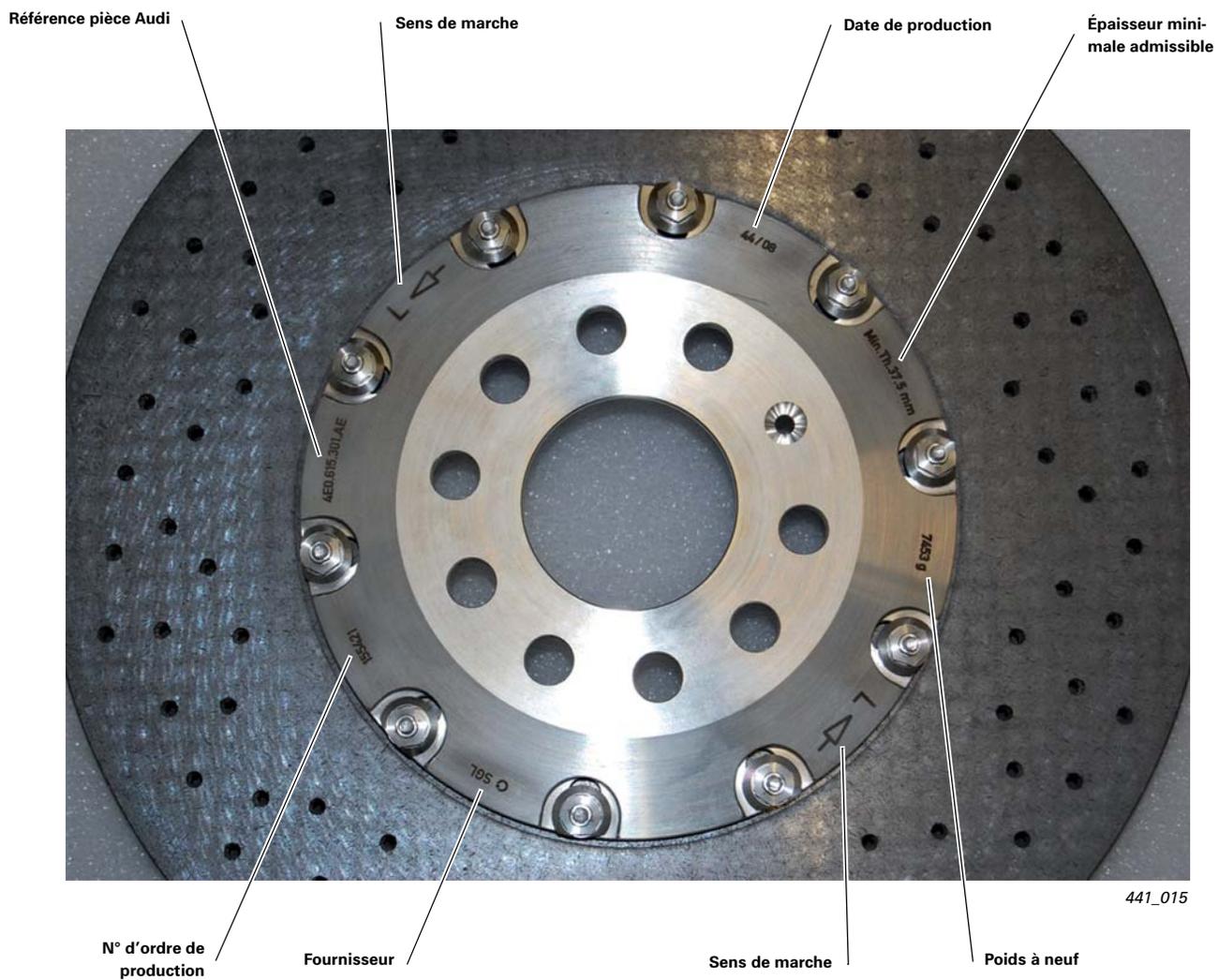


La désolidarisation du disque de friction et du bol de disque de frein par le SAV n'est pas autorisé !



441_006

Les principales caractéristiques du produit sont gravées sur le bol du disque de frein en céramique :



Manipulation des disques de frein en céramique : généralités

Lors de la manipulation des disques de frein en céramique, il faut tenir compte de ce qui suit :

- ▶ Il convient d'éviter les chocs mécaniques sur le disque de frein. (Ne pas donner de coups de marteau, par exemple, pour détacher le disque de frein du moyeu de roue.)
- ▶ Des interventions mécaniques sur la surface en céramique ne sont pas autorisées. Le nettoyage des perforations des disques de frein peut, en cas d'encrassement tenace, être réalisé à l'aide d'un outil approprié.
- ▶ Le nettoyage des disques de frein s'effectue avec des détergents pour freins classiques, à l'aide d'un nettoyeur haute pression ou à l'air comprimé. Des disques de freins défectueux ou usés doivent être renvoyés à Audi AG.

Nota



En cas de nettoyage à l'air comprimé, respecter à la lettre les directives de protection respiratoire !



Mandrins de montage dans l'outillage de bord

441_016

Procédure à suivre lors du changement d'une roue

Pour éviter que, lors de la dépose de la roue du véhicule, la jante ne frappe sur le disque de frein en céramique, un auxiliaire de montage supplémentaire a été ajouté à l'outillage de bord. Il se compose d'un mandrin qui, à la dépose, écarte suffisamment la roue du disque de frein en vue d'exclure toute collision avec le disque de frein.



Mandrins de montage en place

441_017

Nota



Pour plus de détails sur la marche à suivre, tenir compte des indications fournies dans la notice d'utilisation et le manuel de réparation !

Caractéristiques optiques des disques céramique à l'état neuf

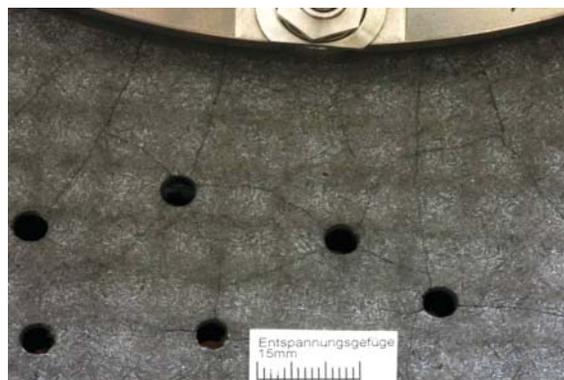
Afin de déterminer si un disque de frein doit être remplacé, il est indispensable de savoir en apprécier objectivement l'usure et l'endommagement.

Pour pouvoir en juger, il est important de connaître l'aspect du disque de frein à l'état neuf. Les principales caractéristiques en sont décrites ci-après.

1. Fissuration en relaxation des surfaces de friction

Les surfaces de friction présentent déjà à l'état neuf une structure plus ou moins marquée par la fissuration en relaxation. Des fissures isolées sont parfois décelables le long des perforations. Cette fissuration est dans certains cas assez marquée et peut nettement différer entre le côté du bol de disque de frein et le côté opposé. La fissuration de relaxation est générée lors de la fabrication et ne constitue pas un défaut.

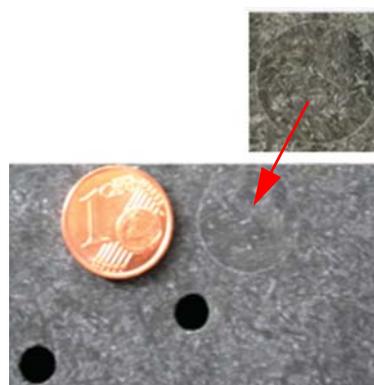
Les surfaces du disque de friction en céramique se distinguent donc nettement de celles d'un disque de frein classique. Un disque de frein classique présentant un tel aspect devrait être remplacé, tandis que dans le cas des disques en céramique, il ne s'agit pas d'un défaut ! La structure profilée de la surface limitrophe entre couche de friction et support présente parfois une structure en grille nettement reconnaissable.



Structure typique avec fissuration de relaxation et structure en grille d'un disque de frein en céramique à l'état neuf 441_018

2. Indicateurs d'usure sur les surfaces de friction

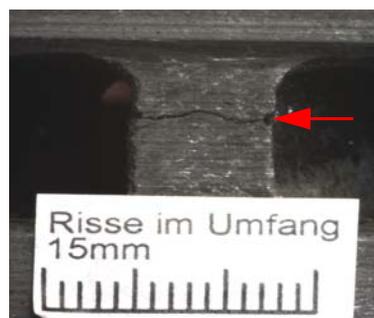
Chaque surface de friction comporte trois indicateurs d'usure circulaires décalés de 120°. Ils servent, au bout d'un kilométrage donné et/ou d'une sollicitation plus ou moins élevée des disques de frein en céramique, à l'appréciation de l'usure. Nous aborderons plus en détail au chapitre suivant l'évaluation des indicateurs d'usure.



Indicateur d'usure d'un disque en céramique à l'état neuf 441_019

3. Fissures superficielles dans les cloisons des canaux de refroidissement

Les fissures superficielles dans les cloisons des canaux de refroidissement sont également liées à la fabrication et ne constituent pas un défaut.



Fissure de la cloison d'un disque de frein en céramique à l'état neuf 441_020

Critères d'usure

En règle générale, il existe deux types d'usure des disques de frein en céramique :

1. Usure en épaisseur

En raison du frottement mécanique entre la garniture de frein et le disque de friction, il se produit une réduction de l'épaisseur du disque de frein. Du fait de la dureté de la surface de friction, cette usure en épaisseur est toutefois nettement plus faible que dans le cas des disques de frein conventionnels.



441_021

2. Perte pondérale par oxydation

Le disque de frein en céramique est soumis à une usure thermomécanique et oxydative. Lors du réchauffement du disque de frein à des températures dépassant 400 °C, il y a oxydation des fibres de carbone en présence de l'oxygène de l'air. À des températures de service persistantes au dessus de 400 °C, il se produit par conséquent une perte de poids continue du disque de frein et une modification superficielle visible de la structure du matériau due à la pyrogénéation et à l'apparition d'une porosité.



Surface d'un disque de frein à l'état neuf

441_022a



Surface d'un disque de frein après pyrogénéation

441_022b

Détermination de l'usure

Le critère d'usure se manifestant le premier dépend essentiellement des conditions de service du disque de frein en céramique.

1. Mesure de l'usure en épaisseur

L'épaisseur minimale autorisée du disque de friction est gravée comme suit sur le bol du disque de frein en céramique :

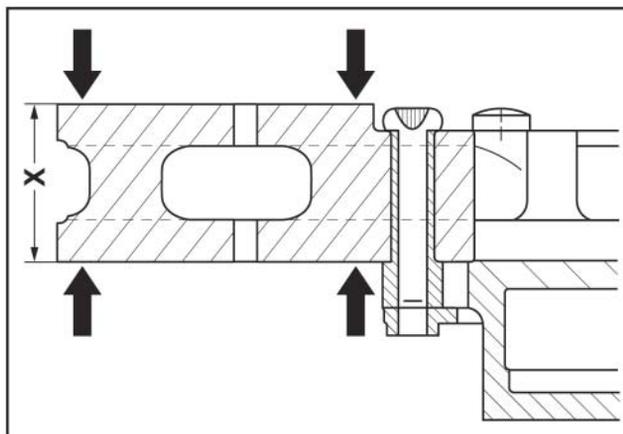
min. Th. (= « minimum Thickness »).



441_023

La cote de l'épaisseur du disque de frein **X** doit être mesurée à l'aide d'une vis micrométrique appropriée ou d'un gabarit dans la zone des pistes intérieure ou extérieure des surfaces de friction (voir flèches sur la figure). La mesure de l'épaisseur du disque de frein doit être effectuée à chaque remplacement de la garniture et les valeurs de mesure doivent être consignées.

Une fois la cote $X = \text{min. Th.} + 0,2 \text{ mm}$ atteinte, il faut toujours procéder à un pesage supplémentaire du disque de frein en céramique (méthode, voir point 2.).



441_024

Nota



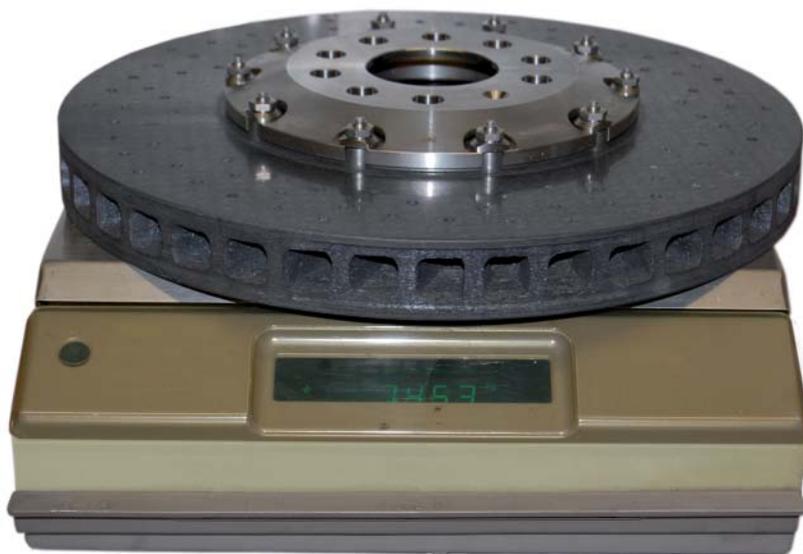
Une fois la cote minimale atteinte, l'utilisation du disque de frein en céramique n'est plus autorisée. Il convient de déposer immédiatement les disques de frein et de les renvoyer à Audi AG !

Détermination de l'usure

2. Détermination de l'usure par pesage

En raison de l'oxydation du carbone, le disque de frein en céramique subit, dans le cas d'une sollicitation élevée, une perte de poids constante. La pesée du disque de frein constitue par conséquent une autre possibilité de détermination de l'usure. Cette procédure n'est toutefois réalisable qu'à condition de disposer d'une balance ayant la précision requise (tolérance : +/- 1g).

Les poids initiaux à l'état neuf sont gravés sur les bols des disques de frein.
La plage de mesure de la balance doit être comprise entre 0 et 12 kg.



441_027

Les valeurs limites pour la perte pondérale admissible sont précisées dans le Manuel de réparation correspondant.

Nota



Avant de procéder à la pesée, il faut que le disque de frein soit nettoyé et sec car des disques de frein fortement encrassés et humides risquent de fausser le résultat de la mesure.

Sur les disques de frein présentant un dépôt sur les surfaces de friction, il faut au préalable effectuer des « freinages de nettoyage ».

Une fois les valeurs limites de perte de poids atteintes, il faut remplacer les disques de frein. Ils ne doivent plus être réutilisés ! Les disques de frein remplacés doivent être renvoyés à Audi AG !

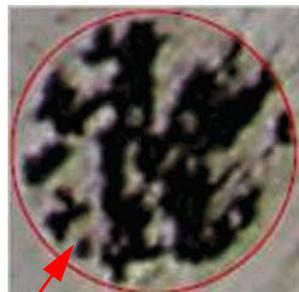
Détermination de l'usure

3. Évaluation des indicateurs d'usure

Les indicateurs se distinguent optiquement par une teinte légèrement différente de celle de la surface de friction environnante. La différence de teinte provient d'une teneur plus élevée en carbone, ce qui explique ici l'usure plus importante que sur le reste de la surface de friction.

L'usure des indicateurs se présente sous forme de pyrogénéation du matériau, qui se manifeste par des creux plus sombres. Si une nette usure est perceptible, il faut procéder à une mesure de l'épaisseur du disque de frein (méthode, voir point 1.). Cette mesure doit être effectuée dès que l'un des six indicateurs présente cet aspect d'usure.

Exemple d'usure supérieure à 50% de la surface de l'indicateur



441_025



441_026

Endommagements

Dans le cadre des révisions périodiques et en cas de réclamations, il faut procéder à un contrôle optique des endommagements. Le contrôle visuel inclut également les éléments de jonction entre le disque de friction et le bol de disque de frein, les vis, écrous et rondelles de pression. L'absence de pièces ou des pièces desserrées entraînent le remplacement des disques de frein. Il est strictement interdit de « resserrer » les éléments de jonction.

1. Fissures dans la zone de liaison

Les disques de frein en céramique présentant des fissures allant de la zone de liaison (zone de vissage sur le bol) jusqu'aux surfaces de friction doivent être remplacés !



Fissures critiques dans la zone de liaison

441_028

2. Ébréchures dans la zone de l'arête

Les ébréchures dans la zone de l'arête sont dues à des endommagements mécaniques de l'arête.

Sont acceptables :

- largeur / profondeur max. admissibles = 2 mm
- longueur max. admissible = 10 mm
- max. 3 endommagements de l'arête par disque de frein

En cas de dépassement de l'un des critères susmentionnés, il faut remplacer le disque de frein.



Ébréchure dans la zone de l'arête

441_029

3. Ébréchures dans la zone des surfaces de friction

Des disques de frein présentant des ébréchures dans la zone des surfaces de friction dont la

surface totale est supérieure à 1 cm²

doivent être systématiquement remplacés !



Ébréchure dans la zone de la surface de friction

441_030

Nota



Les disques de frein doivent systématiquement être remplacés par essieu si :

- les disques de frein doivent être remplacés en raison de l'usure
- le disque de frein de rechange a fait l'objet d'une modification technique (reconnaissable à une modification de la référence de la pièce) !

Dans ce cas, il faut toujours remplacer les garnitures de frein d'un même essieu !

Les disques de frein en céramique remplacés doivent être renvoyés à Audi AG !

Les surfaces de friction des disques de frein en céramique résistent mieux à l'usure que celles des disques de frein classiques.

Dans le cas de disques de frein neufs, il faut préalablement « roder » les disques et les garnitures en vue de leur adaptation. Cette procédure peut, en fonction de la sollicitation, nécessiter des trajets plus longs que dans le cas des systèmes de freinage conventionnels.

Si les freins ne sont pas rodés conformément à la directive, il peut s'ensuivre des réclamations ayant trait au confort (broutage, bruits) et une usure accrue.

Directive de rodage des freins

Après remplacement de disques de frein en céramique et/ou de garnitures de frein, il est impératif de se conformer à la directive de rodage des freins suivante :

Garniture neuve, disque de frein neuf

10 freinages d'env. 80 km/h à env. 30 km/h avec faible décélération (correspond à une conduite prudente et préventive avec freinage à l'approche d'un obstacle, aucun mouvement de tangage du véhicule dû au freinage n'est perceptible, pas de verrouillage de la ceinture)

20 freinages de 100 km/h à env. 50 km/h avec décélérations moyennes (un faible mouvement de tangage du véhicule est perceptible)

Il convient d'éviter les freinages consécutifs.

Autoriser un refroidissement des freins entre les freinages individuels.

Durée requise de trajet env. 30 minutes

Garniture neuve, disque de frein usagé

5 freinages d'env. 80 km/h à env. 30 km/h avec faible décélération (correspond à une conduite prudente et préventive avec freinage à l'approche d'un obstacle, aucun mouvement de tangage du véhicule dû au freinage n'est perceptible, pas de verrouillage de la ceinture)

10 freinages de 100 km/h à env. 50 km/h avec décélérations moyennes (un faible mouvement de tangage du véhicule est perceptible)

Il convient d'éviter les freinages consécutifs.

Autoriser un refroidissement des freins entre les freinages individuels.

Durée requise de trajet env. 20 minutes

Sous réserve de tous
droits et modifications
techniques.

Copyright
AUDI AG
I/VK-35
Service.training@audi.de
Fax +49-841/89-36367

AUDI AG
D-85045 Ingolstadt
Définition technique 12/08

Printed in Germany
A09.5S00.59.40