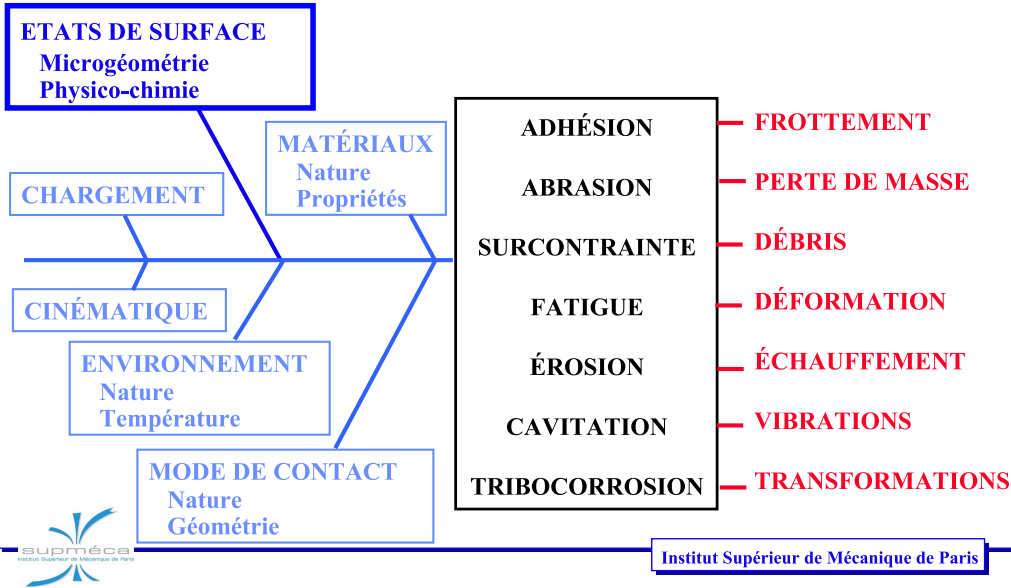


CONTEXTE : Diagramme "causes – effets" en Tribologie



2

MICROGÉOMÉTRIE

1. INTRODUCTION

1.1 Les différents langages

1.2 Contexte normatif

2. MESURES DES MICROGÉOMÉTRIES

2.1 Appareillages

- Avec contact
- Sans contact
- Comparaison entre les 2 méthodes

2.2 Principes de dépouillement

- Choix de la direction de mesure
- Représentation du profil

2.3 Paramètres de microgéométrie

2.4 Futur : la surfométrie

3. SPÉCIFICATION DES MICROGÉOMÉTRIES

4. RELATION ENTRE MICROGÉOMÉTRIE ET PROCÉDÉS DE FABRICATION



Institut Supérieur de Mécanique de Paris

3

I. INTRODUCTION

1.1 Les différents langages

| | |
|--|--|
| | <p>SPECIFICATION</p> <p>BUREAU D'ETUDES</p> |
| <p>TOURNAGE DE DEMI-FINITION (Avance par tour de 11 μm)</p> | <p>REALISATION</p> <p>ATELIER DE FABRICATION</p> |
| | <p>MESURE</p> <p>CONTRÔLE</p> |

Introduction
Langages
Normalisation
Mesures
Appareillages
Principes
Paramètres
Surfométrie
Spécifications
Relation avec la fabrication

1. Introduction

4

Institut Supérieur de Mécanique de Paris

1.2 Contexte normatif

1. Introduction

5



Introduction
Langages
Normalisation
Mesures
Appareillages
Principes
Paramètres
Surfométrie
Spécifications
Relation avec la fabrication

NF EN ISO 4287 (Décembre 1998) États de surface - Méthode du profil : Termes, définitions et paramètres d'états de surface

NF EN ISO 4288 (Mars 1998) États de surface - Méthode du profil : Règles et procédures pour l'évaluation de paramètres d'états de surface

NF EN ISO 12179 (Mai 2000) États de surface - Méthode du profil : Étalonnage des instruments à contact (palpeur)

NF EN ISO 1302 (Février 2002) Indication des états de surface dans la documentation technique de produits

NF EN ISO 11562 (Mars 1998) États de surface - Méthode du profil : Caractéristiques métrologiques des filtres à phase correcte.

NF EN ISO 12085 (Août 1996) États de surface - Méthode du profil : Paramètres liés aux motifs.

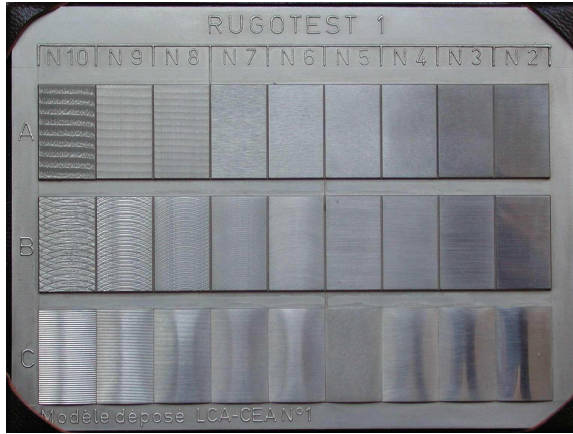


Institut Supérieur de Mécanique de Paris



2. MESURES DES MICROGÉOMÉTRIES

2.1 Appareillages



| CLASSE | N10 | N9 | N8 | N7 | N6 | N5 | N4 | N3 | N2 |
|---------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| Ra (µm) | 12.5 | 6.3 | 3.2 | 1.6 | 0.8 | 0.4 | 0.2 | 0.1 | 0.05 |

Introduction
Langages
Normalisation

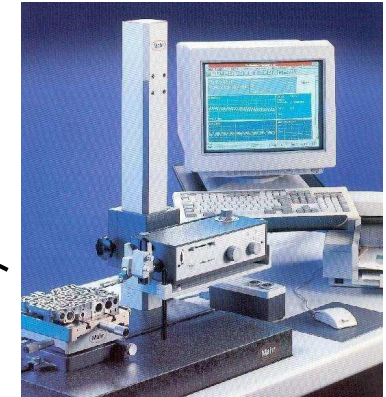
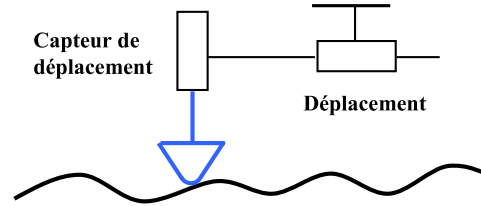
Mesures
Appareillages
Principes
Paramètres
Surfométrie
Spécifications
Relation avec la fabrication



2. MESURES DES MICROGÉOMÉTRIES

2.1 Appareillages

a) Mesures avec contact



Introduction
Langages
Normalisation

Mesures
Appareillages
Principes
Paramètres
Surfométrie
Spécifications
Relation avec la fabrication



2. MESURES DES MICROGÉOMÉTRIES

2.1 Appareillages

a) Mesures avec contact



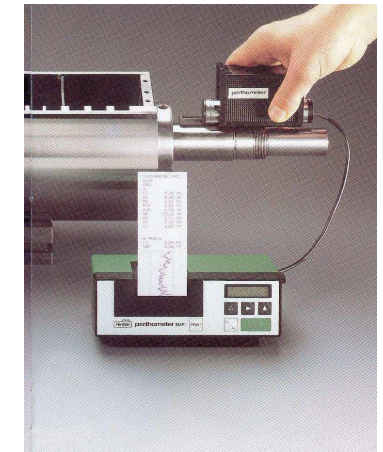
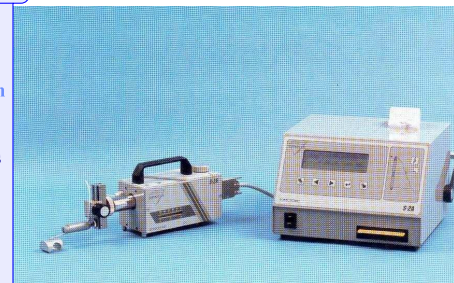
Introduction
Langages
Normalisation

Mesures
Appareillages
Principes
Paramètres
Surfométrie
Spécifications
Relation avec la fabrication



2.1 Appareillages

a) Mesures avec contact



Introduction
Langages
Normalisation

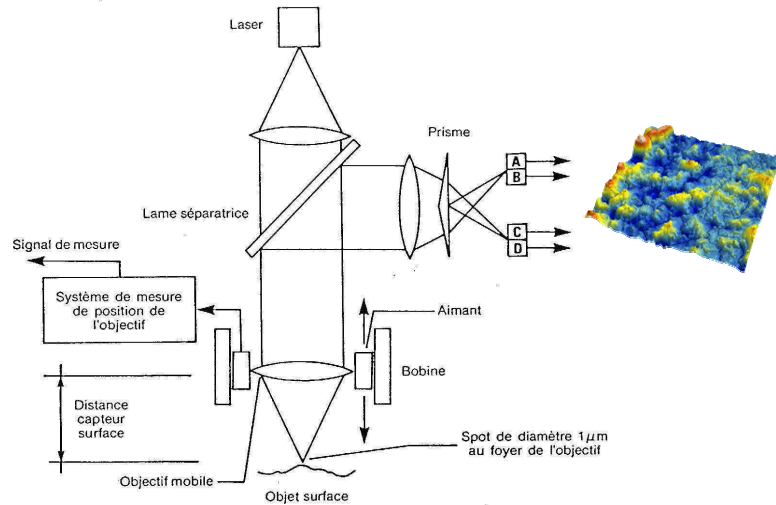
Mesures
Appareillages
Principes
Paramètres
Surfométrie
Spécifications
Relation avec la fabrication



Appareillages miniatures

2.1 Appareillages

b) Mesures sans contact



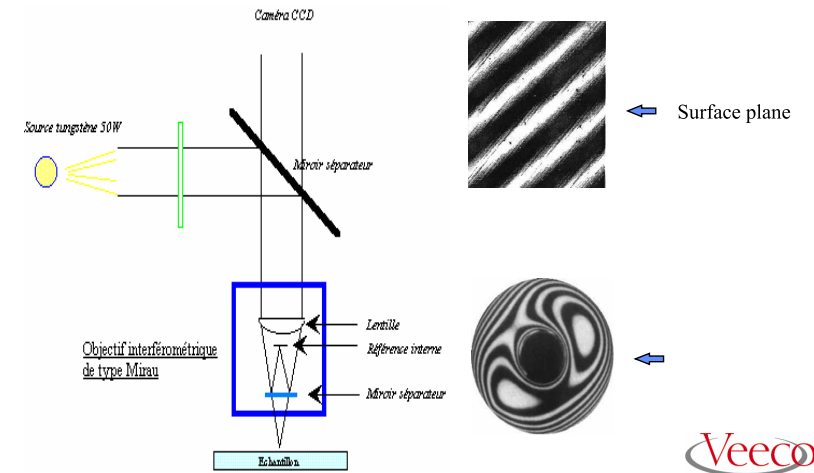
Introduction
Langages
Normalisation

Mesures
Appareillages
Principes
Paramètres
Surfométrie
Spécifications
Relation avec la fabrication



2.1 Appareillages

b) Mesures sans contact: interférométrie



Introduction
Langages
Normalisation

Mesures
Appareillages
Principes
Paramètres
Surfométrie
Spécifications
Relation avec la fabrication



2.1 Appareillages

b) Mesures sans contact: interférométrie

Le système balaie en Z la surface. La focalisation est maximale pour des franges d'interférence d'intensité maximale.

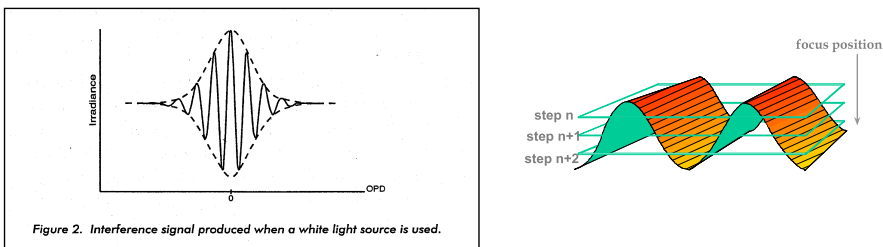


Figure 2. Interference signal produced when a white light source is used.

Le système repère les maxima.
On a alors une cartographie 3D de la zone visualisée.
Méthode sans contact, résolution verticale égale au nm sur un balayage Z maximal de 2 mm, large gamme de champ observable, recollement d'image possible (stitching).



2.1 Appareillages

b) Mesures sans contact: optique confocale en lumière blanche

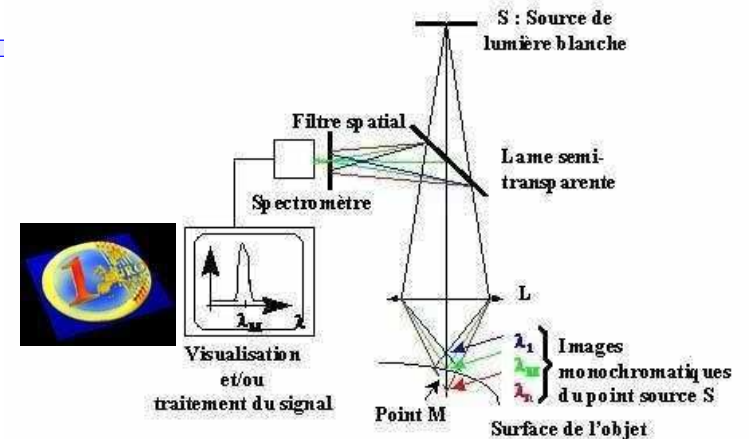


Fig. 3 : Principe de la microscopie à profondeur de champ étendue

Introduction
Langages
Normalisation

Mesures
Appareillages
Principes
Paramètres
Surfométrie
Spécifications
Relation avec la fabrication



2.1 Appareillages

b) Mesures sans contact: optique confocale en lumière blanche



Introduction
Langages
Normalisation

Mesures
Appareillages
Principes
Paramètres
Surfométrie

Spécifications
Relation avec la fabrication



2.1 Appareillages

c) Comparaison entre les 2 méthodes de mesures

| | Mesure par contact | Mesure sans contact |
|----|--|--|
| ☹️ | Matériau très déformable Remèdes : répliques | Non normalisée Non utile en profilométrie |
| ☺️ | Antériorité Normalisée | Rapide (pour mesures sur des surfaces) |

Introduction
Langages
Normalisation

Mesures
Appareillages
Principes
Paramètres
Surfométrie

Spécifications
Relation avec la fabrication

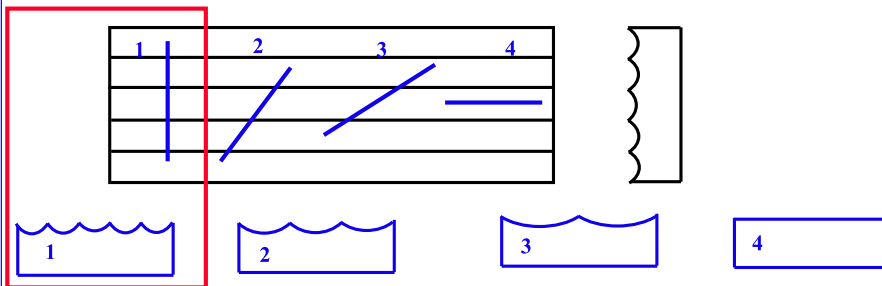


Actuellement : Seules les mesures de profil avec contact sont normalisées. Une norme pour les mesures sans contact et pour les surfaces est en cours de rédaction.

2.2 Principes de dépouillement

a) Choix de la direction de mesure

- Cas des surfaces texturées
 - Mesures perpendiculaires aux stries



- Cas des surfaces non texturées
 - Mesures dans des directions différentes

Introduction
Langages
Normalisation

Mesures
Appareillages
Principes
Paramètres
Surfométrie

Spécifications
Relation avec la fabrication

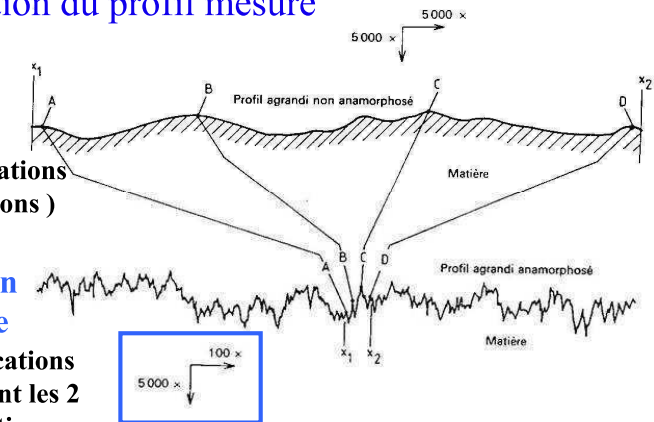


2.2 Principes de dépouillement

b) Représentation du profil mesuré

Mesure réelle
(mêmes amplifications dans les 2 directions)
Effet zoom

Représentation anamorphosée
avec des amplifications différentes suivant les 2 axes (représentation en pleine échelle)



Introduction
Langages
Normalisation

Mesures
Appareillages
Principes
Paramètres
Surfométrie

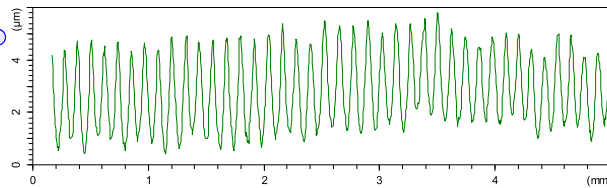
Spécifications
Relation avec la fabrication



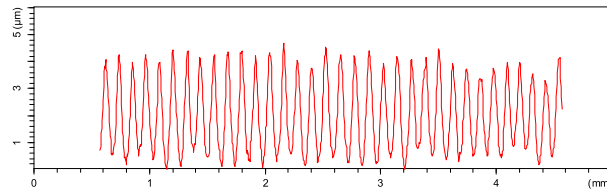
Attention : La forme des aspérités est déformée

2.3 Paramètres de microgéométrie

a) Traitement 1 du profil : principe



Profil de mesure



Profil filtré
filtre passe-haut
période < 0,8 mm

La technique utilisée est le filtrage.

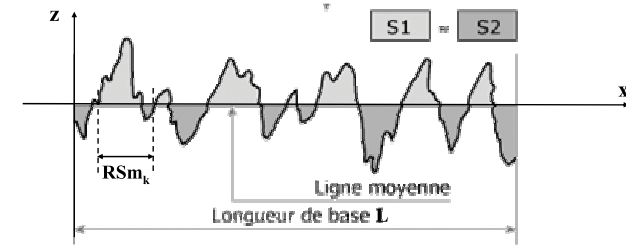
Introduction
Langages
Normalisation

Mesures
Appareillages
Principes
Paramètres
Surfométrie
Spécifications
Relation avec la fabrication



2.3 Paramètres de microgéométrie

a) Traitement 1 du profil : Ligne moyenne



Rugosité arithmétique : $Ra = \frac{1}{L} \int_0^L |z(x)| dx$

Rugosité quadratique (écart-type des altitudes): $Rq^2 = \frac{1}{L} \int_0^L z^2(x) dx$

Périodicité moyenne des aspérités: $RSm = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n RSm_k ; \frac{L}{n}$

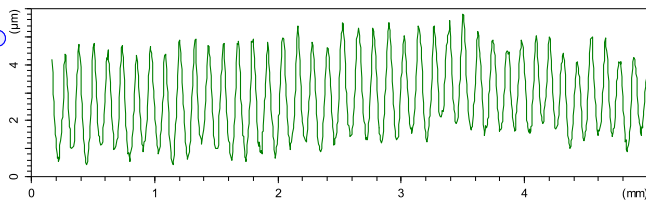
Introduction
Langages
Normalisation

Mesures
Appareillages
Principes
Paramètres
Surfométrie
Spécifications
Relation avec la fabrication

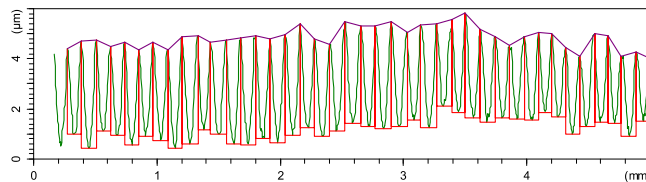


2.3 Paramètres de microgéométrie

b) Traitement 2 du profil : principe



Profil de mesure



Décomposition en "motifs"

La technique utilisée est la reconnaissance de forme.

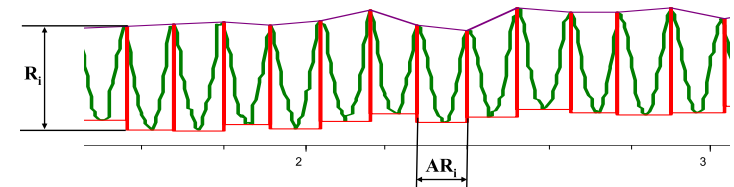
Introduction
Langages
Normalisation

Mesures
Appareillages
Principes
Paramètres
Surfométrie
Spécifications
Relation avec la fabrication



2.3 Paramètres de microgéométrie

b) Traitement 2 du profil : Motifs



Paramètre R: moyenne des hauteurs de motifs, R_i

Paramètre AR: moyenne des largeurs de motifs, AR_i

Paramètre SR: écart-type des hauteurs de motifs, R_i

Paramètre SAR: écart-type des largeurs de motifs, AR_i

Introduction
Langages
Normalisation

Mesures
Appareillages
Principes
Paramètres
Surfométrie
Spécifications
Relation avec la fabrication



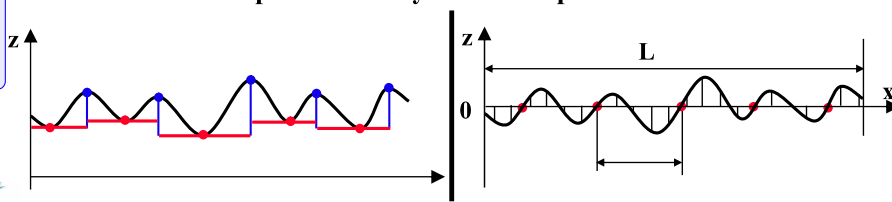
2.3 Paramètres de microgéométrie

c) Comparaison entre les 2 familles de paramètres

Paramètres " Motifs" | Paramètres " Ligne moyenne"

$R = (3 \text{ à } 4) R_a$
Exploitation moyenne des altitudes

$AR \# RSm$
Exploitation moyenne des espacements



Introduction
Langages
Normalisation

Mesures
Appareillages
Principes
Paramètres
Surfométrie

Spécifications
Relation avec la fabrication



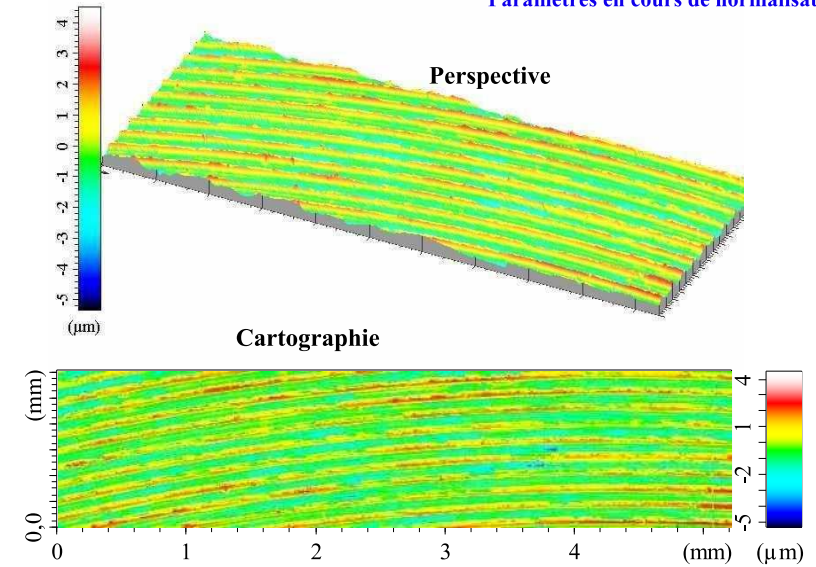
2.4 Futur : la surfométrie

Paramètres en cours de normalisation

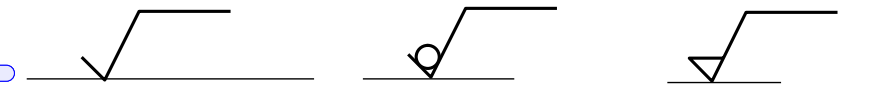
Introduction
Langages
Normalisation

Mesures
Appareillages
Principes
Paramètres
Surfométrie

Spécifications
Relation avec la fabrication



3. SPÉCIFICATION DES MICROGÉOMÉTRIES

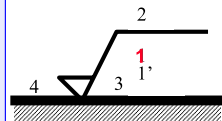


Tout procédé de fabrication autorisé Enlèvement de matière interdit Enlèvement de matière exigé

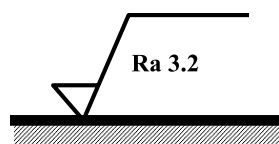
1 : Symbole(s) et valeur(s) numérique(s) du (ou des) paramètre(s)

Valeurs numériques prises dans la série:

| | | | | | | | | | |
|---|------|-----|---|-----|-----|-----|---|----|------|
| 1 | 1.25 | 1.6 | 2 | 2.5 | 3.2 | 6.3 | 8 | 10 | 12.5 |
|---|------|-----|---|-----|-----|-----|---|----|------|



- 2 : Procédé d'élaboration
- 3 : Stries d'usinage
- 4 : Surépaisseur d'usinage



Introduction
Langages
Normalisation

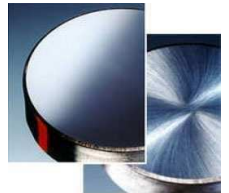
Mesures
Appareillages
Principes
Paramètres
Surfométrie

Spécifications
Relation avec la fabrication



4. LA RELATION ENTRE MICROGÉOMÉTRIE ET PROCÉDÉS DE FABRICATION

Avec enlèvement de matière



Introduction
Langages
Normalisation

Mesures
Appareillages
Principes
Paramètres
Surfométrie

Spécifications
Relation avec la fabrication

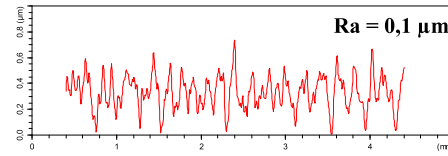
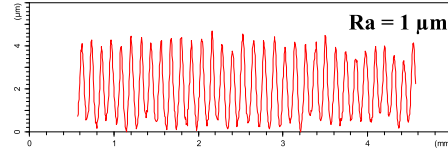
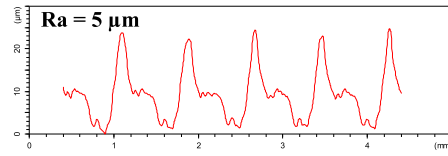
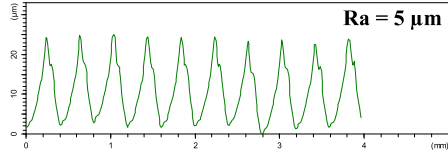
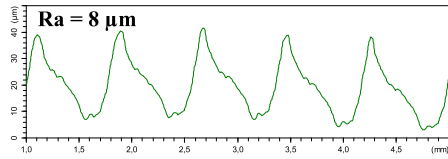
| Tournage | Electro érosion | Rectification | Polissage |
|----------|-----------------|---------------|-----------|
| Alésage | | | 0,0125 |
| rabotage | | 0,025 | 0,025 |
| | | 0,05 | 0,05 |
| | | 0,1 | 0,1 |
| 0,4 | | | |
| 0,8 | 0,8 | | |
| 1,6 | 1,6 | | |
| 3,2 | 3,2 | | |
| 6,3 | 6,3 | | |
| 12,5 | 12,5 | | |
| | 25 | | |

Sans enlèvement de matière

| | Acier | | Aluminium, cuivre Magnésium, Zinc | | | |
|------|----------|--------------|-----------------------------------|----------|-------------|---------------|
| | En sable | en carapaces | de précision | en sable | par gravité | sous pression |
| | | | | | | 0,2 |
| | | | | | | 0,4 |
| | | | 0,8 | | | 0,8 |
| | | | 1,6 | | | 1,6 |
| | | | 3,2 | | | 3,2 |
| | | | 6,3 | 3,2 | | 6,3 |
| | | | 12,5 | 6,3 | | 12,5 |
| 12,5 | | | 12,5 | 12,5 | | 12,5 |
| 25 | | | 25 | 25 | | 25 |
| 50 | | | 50 | 50 | | 50 |
| 100 | | | 100 | | | 100 |
| 200 | | | | | | |
| 400 | | | | | | |



Quelques exemples de microgéométrie (tournage)



Tournage : Relation pas – rugosité (Ra > 0,8 μm)

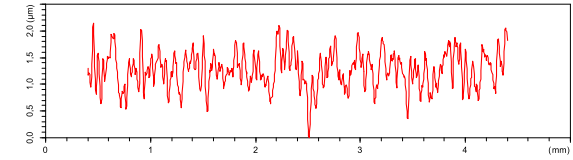
Intro
La
No
Mes
Ap
Pri
Pa
Su
Spéc

Relation avec la fabrication

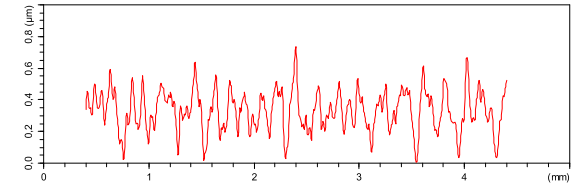


Quelques exemples de microgéométrie (finition)

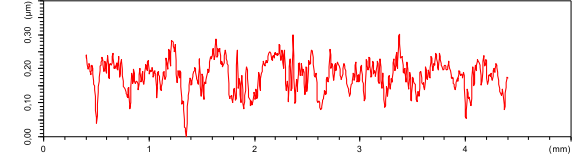
Rectification
Ra = 0,35 μm



Rodage
Ra = 0,15 μm



Polissage
Ra = 0,05 μm

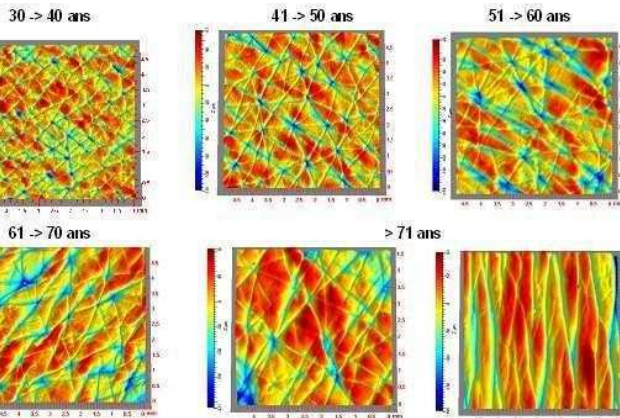


Les procédés de finition génèrent des profils aléatoires

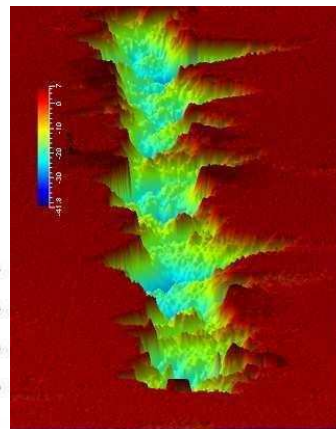
Introduction
Langages
Normalisation
Mesures
Appareillages
Principes
Paramètres
Surfométrie
Spécifications
Relation avec la fabrication



Quelques exemples de surfaces



Morphologie de la topographie cutanée durant le vieillissement



Essai de rayage sur une roche à vitesse constante.



Source des images pour cette page: École Centrale de Lyon.

Indication des stries de surface

| Symbole graphique | Interprétation et exemple | |
|-------------------|--|--|
| = | Parallèle au plan de projection de la vue sur laquelle le symbole figure | |
| ⊥ | Perpendiculaire au plan de projection de la vue sur laquelle le symbole figure | |
| X | Croisé dans 2 directions obliques par rapport au plan de projection de la vue sur laquelle le symbole figure | |
| M | Multidirectionnel | |
| C | Approximativement circulaire par rapport au centre de la surface à laquelle le symbole s'applique | |
| R | Approximativement radial par rapport au centre de la surface à laquelle le symbole s'applique | |
| P | Stries particulières, non directionnelles ou protubérantes | |