

45

CONTRIBUTION A L'USINAGE DES MATERIAUX COMPOSITES

P. GUEGAN , F. LE MAITRE , J.C. HAMANN

Résumé - L'objectif de réalisation de pièces en matériaux composites n'est naturellement pas de créer des conditions de parachèvement par outils coupants, néanmoins après fabrication, de nombreux éléments en composites nécessitent des opérations d'usinage en perçage ou fraisage. Usiner un matériau composite c'est avant tout couper les fibres de ce matériau et donc entraîner un risque d'endommagement au voisinage de la zone usinée. Il est donc important d'étudier la nature des défauts introduits lors de l'usinage par perçage et fraisage, ainsi que l'importance de leur étendue.

mots clés : matériau composite, usinage

PRESENTATION DU PROBLEME

Le problème actuel réside principalement sur la bonne maîtrise de la caractérisation des défauts résultants des usinages (définition de critères de qualité), et de leur quantification. C'est ainsi, qu'en raison de la constitution des matériaux composites, il est recommandé de diminuer le nombre d'opérations d'usinages, voir de les supprimer. Mais, la réalisation de pièces dans ces types de matériaux nécessite souvent, après la mise en forme globale, des opérations de parachèvement à l'outil coupant (ex : passage de rivet donc perçage, ébavurage donc fraisage, ...).

ECOLE CENTRALE NANTES
Laboratoire Matériaux
1 rue de La Noë - 44072 Nantes cedex 03

Usiner signifie couper des fibres, ce qui diminue la résistance mécanique du matériau, et de plus peut apporter des endommagements au voisinage de la zone usinée (arrachement de fibres, délaminage extérieur ou interne - séparation de couches). Ainsi, afin de diminuer le nombre de ces défauts, et leur étendue, il est nécessaire d'appliquer des techniques d'usinage adaptées aux constituants du composite (morphologie des outils, méthodologie, ...) et d'élaborer des méthodes de contrôle spécifiques.

PERCAGE

L'opération d'usinage en perçage est de loin la plus utilisée comme opération de parachèvement des structures en matériaux composites. Elle permet entre autres de réaliser des orifices nécessaires à l'assemblage des éléments, ou permettant le passage de câbles.

CARACTERISATION DES DEFAUTS

Les défauts inclus lors du perçage peuvent être dissociés en deux catégories (figure 1) :

- Caractéristiques géométriques du trou, valable quel que soit la nature du matériau :

 circularité : dc

 diamètre : $\Delta D = D-d$, sur une série de trous

 rugosité : Ra

- Défauts liés à la structure des matériaux composites :

 défauts côté débouchant :

 - pelûchement (cas des fibres aramide)

 - écaillage des arêtes (bris de la résine coté débouchant)

 - délaminage (décohésion des plis sur la surface libre)

 fissuration sur la paroi du trou

De plus, les paramètres de mise en oeuvre, la structure du matériau ainsi que la géométrie du foret influencent la nature des défauts générés lors de l'usinage (figure 2).

DEGRADATION THERMIQUE

Lors d'opérations de perçage sans lubrification de matériaux composites dont la matrice est en résine thermodurcissable (ex : époxy), les paramètres de coupe ainsi que la forme du foret influencent

directement l'apparition d'une dégradation thermique localisée de la paroi du trou.

Par le biais d'une modélisation des efforts de perçage, le calcul du travail mécanique produit par frottement au niveau du listel du foret est dissociable du travail mécanique demandé par la coupe du matériau (figure 3). Ceci rend possible une corrélation entre cette énergie de frottement et l'apparition du phénomène de dégradation thermique observable sur la paroi usinée. On peut alors définir une frontière énergétique liée au couple outil-matière, au delà de laquelle le matériau est dégradé thermiquement (figure 4).

FRAISAGE

L'opération de fraisage est plus particulièrement employée pour les opérations d'ébavurage par détourage. Les pièces brutes de moulage présentent souvent des bavures sur leur périphérie qu'il est nécessaire de supprimer.

CARACTERISATION DES DEFAUTS

La caractérisation des défauts en fraisage en roulant est principalement assurée par la rugosité de la surface usinée et par les amorces de fissuration apportées par l'usinage (figure 5). Comme lors de l'usinage de matériaux conventionnels, les surfaces usinées en concordance (ou avalant) sont moins rugueuses que celles générées en opposition.

Les défauts sont également fonction de la structure du matériau (inclinaison des fibres par rapport à la direction d'usinage), notamment à l'extrémité des pièces (bords libres). Ce comportement est matérialisé aux extrémités des éprouvettes par un déchaussement des fibres en liaison avec les surfaces libres, lorsque le sens de coupe de la fraise est dirigé vers l'extérieur de la surface usinée. Dans ce cas, les fibres formant les extrémités de la pièce ne sont pas soutenues et se déchaussent de la structure du matériau.

DEGRADATION THERMIQUE

En fraisage, l'association de plusieurs paramètres dégradant fait apparaître des traces de brûlure sur les surfaces usinées :

- outil : denture trop fine
- avance trop faible
- direction relative fibres/avance : 90°
- Sens de travail : travail en concordance

Pour remédier à ce problème, il suffit "d'inverser" une de ces quatre propriétés pour que le phénomène de dégradation thermique n'apparaisse plus (figure 6).

CONCLUSION

L'usinage des matériaux composites dépend de l'étude de la qualification des défauts introduits par la coupe. Leur quantification est importante pour permettre aux concepteurs de structures constituées de ces matériaux de diminuer les marges d'erreur et ainsi d'augmenter la qualité de leur production.

W. KÖNIG , P. GRAß , Quality Definition and Assessment in Drilling of Fibre Reinforced Thermosets, Annales du CIRP, volume 38/1/89, 119-124

W.KÖNIG , P. GRAß , CH. WULF , H. WILLERSCHIED , Machining of Fibre Reinforced Plastics, Annales du CIRP, volume 34/2/85, 537-547

CETIM Nantes , ENSM Nantes , Usinabilité des matériaux composites, optimisation des opérations de perçage et de fraisage, contrat MRT, n° 88.P0348

P. GUEGAN , Usinage des matériaux composites (DEA), ENSM et Université de Nantes, octobre 1990

Pour remédier à ce problème, il suffit "d'inverser" une de ces quatre propriétés pour que le phénomène de dégradation thermique n'apparaisse plus (figure 6).

CONCLUSION

L'usinage des matériaux composites dépend de l'étude de la qualification des défauts introduits par la coupe. Leur quantification est importante pour permettre aux concepteurs de structures constituées de ces matériaux de diminuer les marges d'erreur et ainsi d'augmenter la qualité de leur production.

W. KÖNIG , P. GRAß , Quality Definition and Assessment in Drilling of Fibre Reinforced Thermosets, Annales du CIRP, volume 38/1/89, 119-124

W.KÖNIG , P. GRAß , CH. WULF , H. WILLERSCHEID , Machining of Fibre Reinforced Plastics, Annales du CIRP, volume 34/2/85, 537-547

CETIM Nantes , ENSM Nantes , Usinabilité des matériaux composites, optimisation des opérations de perçage et de fraisage, contrat MRT, n° 88.P0348

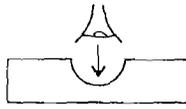
P. GUEGAN , Usinage des matériaux composites (DEA), ENSM et Université de Nantes, octobre 1990

-- Figure 1 --

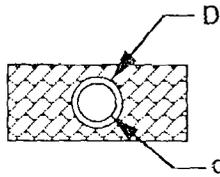
Défauts engendrés lors du perçage
d'un matériau composite

Defaults in composite materials drilling

Rugosité
Surface roughness

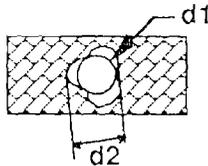


Variation du diamètre
Dimensional error



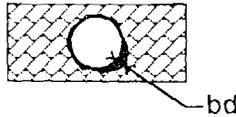
$$\Delta D = D - d$$

Circularité
Roundness error



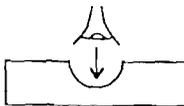
$$dc = \frac{1}{2} (d2 - d1)$$

Défauts côté débouchant
Damage of surface layers



*spalling, edge chipping,
delamination, fuzzing*

Fissuration
Crack formation

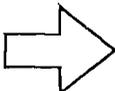


-- figure 2 --

Influence des conditions de perçage
sur les facteurs d'endommagement

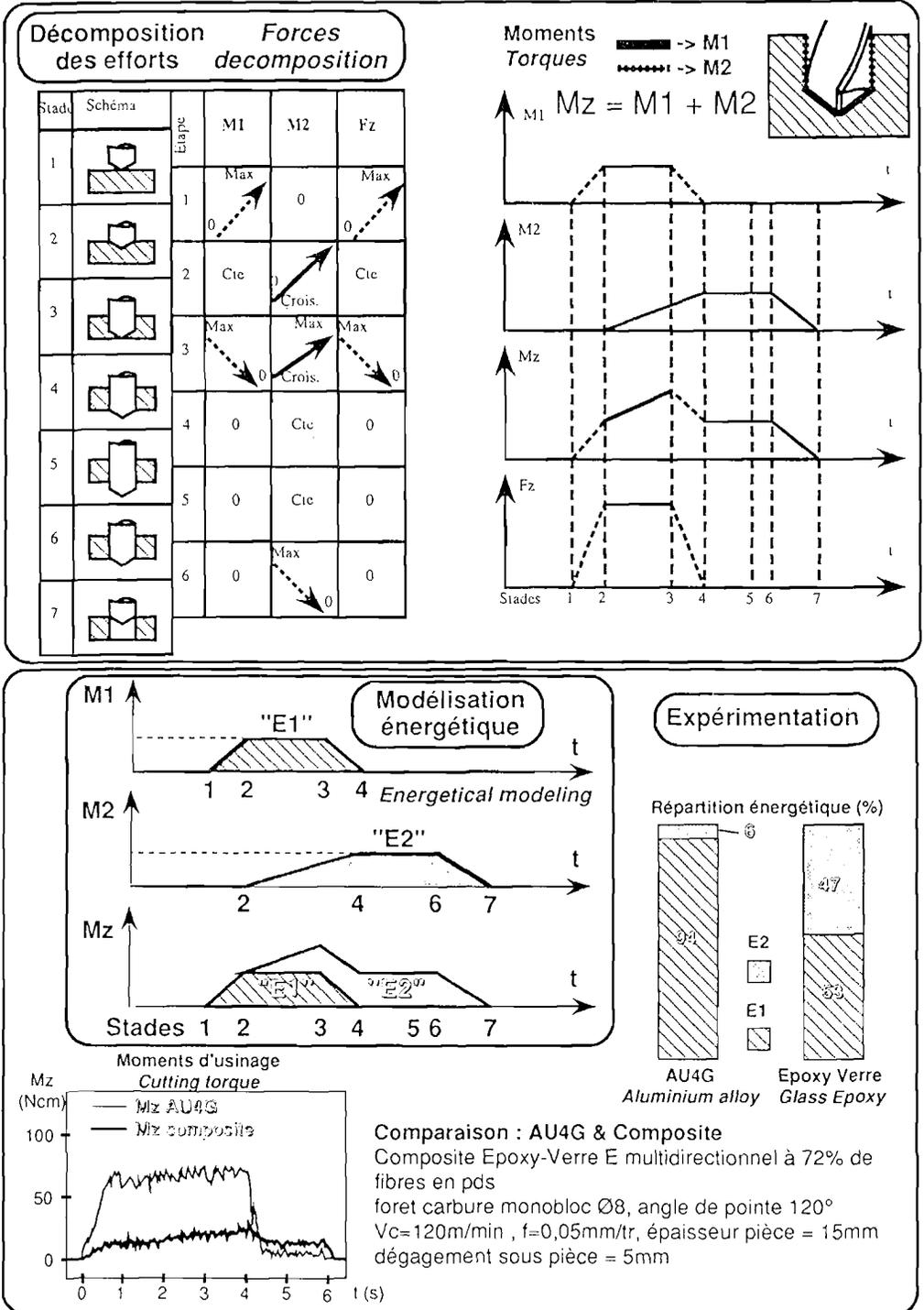
Drilling conditions
and composite damages

Conditions Conditions		Matériau Material				Foret Tool				Cutting values	
		Résine seule Only resin	Fibres Fibres carbon aramid glass	% fibres	Tissage Weave tissu roving fil	angle pointe 	forme pointe 	forme âme 	Matière PCD carbure		largeur lister  étroit large
Facteurs Factors	Délaminage delamination										
		décohésion fibre/matrice fibre matrix defect	défaits côté débouchant damage of surface layers								
	écaillage										
	Rugosité Surface Roughness										
	Tolérance sur Ø Dimensional error										
	Circularité roundness error										
	Dégradation thermique Thermal damage										



Influence directe : résultats vérifiés
Direct influence : test results

-- figure 3 --



-- figure 4 --

Corrélation énergie de frottement - dégradation thermique	<i>Frictional energy and thermal damage correlation</i>
--	---

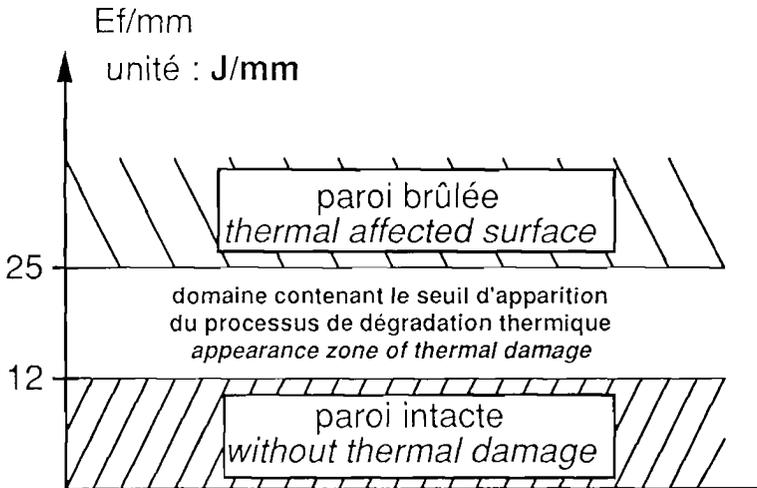
Matériau : composite Epoxy-Verre E multidirectionnel à 72% de fibres en pds

Outils : forets carbure Ø8

- Titex-Plus, pointe 120° en diamant
- Pedersen, pointe type bois

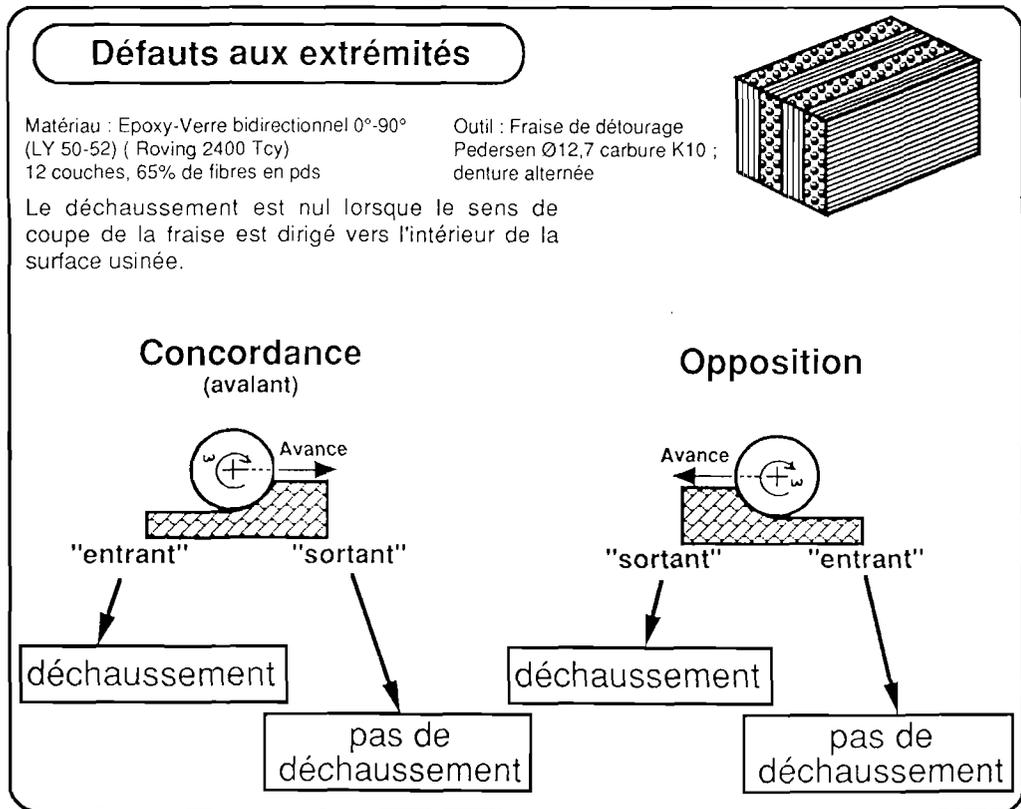
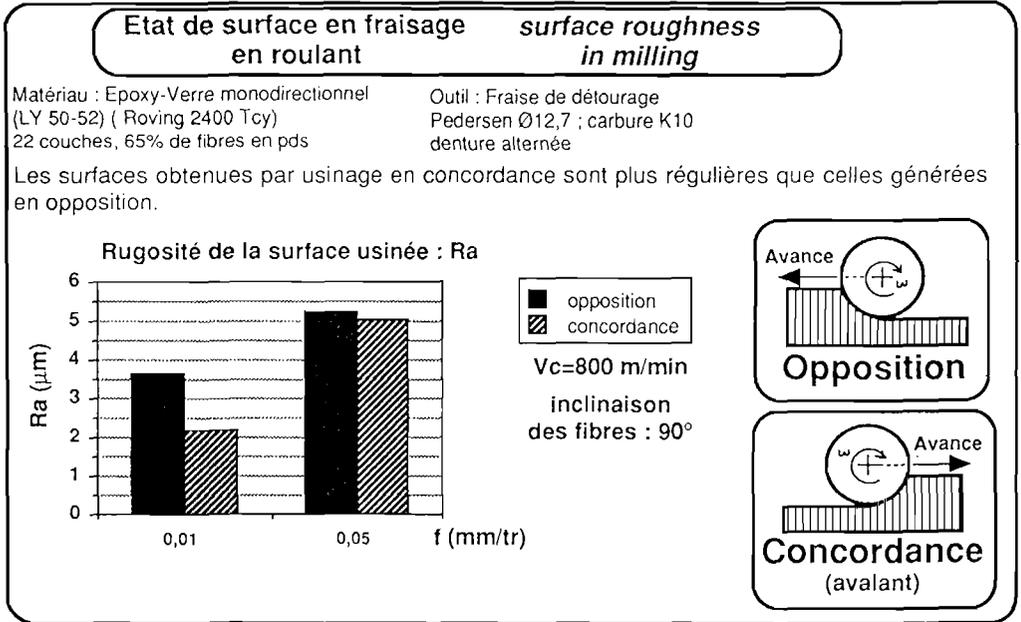
Paramètres :

- $V_c = 400$ à 800 m/min
- $f = 0,005$ à $0,04$ mm/tr



E_f/mm = énergie transmise par frottement parasite du listel du foret sur la paroi du trou, par unité de longueur percée
 E_f/mm = *frictional torque energy per unit drilling length*

-- figure 5 --



-- figure 6 --

Décomposition des paramètres
causant des brûlures
sur les surfaces usinées
en fraisage en roulant
*Thermal damage
in composite milling*

Matériau : Epoxy-Verre monodirectionnel
(LY 50-52) (Roving 2400 Tcy)
22 couches, 65% de fibres en pds

