

Usinage des composites fibres de carbone/ PEEK

Autor(en): **Schwartz, Christophe**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Ingénieurs et architectes suisses**

Band (Jahr): **116 (1990)**

Heft 12

PDF erstellt am: **23.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-77260>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Usinage des composites fibres de carbone/PEEK

1. Introduction et objectif

Commercialisés en 1986, les composites à matrice thermoplastique sont aujourd'hui un prétendant sérieux aux applications aéronautiques. En effet, les thermoplastes [1]¹ présentent une plus haute résistance aux attaques chimiques et de meilleures propriétés mécaniques que les thermodurcissables, couramment utilisés. Un de ces nouveaux composites est l'APC-2 (Aromatic Polymer Composite) de ICI. Disponible sous forme de préimprégné à 60% volumique de fibres de carbone à haute résistance, ce matériau comporte une matrice poly(ether-ether-ketone), désignée comme PEEK.

PAR CHRISTOPH SCHWARTZ,
LAUSANNE

Afin que ce nouveau matériau devienne utilisable pour l'ingénieur, un usinage sans dégradation des propriétés doit être possible. En effet, un composite étant inhomogène, des opérations de base telles que la découpe ou le perçage peuvent se révéler très délicates. Cela conduit à l'élaboration d'outils spéciaux afin d'éviter de causer des dommages tels que le délaminage en surface et l'arrachage de fibres ou de résine lors de l'usinage [2].

Le présent travail propose donc un exposé de différents moyens de réalisation d'opérations d'usinage classiques, c'est-à-dire la coupe et le perçage.

2. Moyens d'usinage des composites à fibres de carbone

Les problèmes essentiels qui se posent lors de ce genre d'opération sont l'abrasion due aux fibres de carbone et la décohésion des fibres de la matrice [2] [3]. Pour éviter cela, il est nécessaire que les outils soient résistants à l'abrasion, donc en métal dur de préférence, et que leur coupe soit nette, c'est-à-dire qu'ils ne cassent pas les fibres en les arrachant.

Cela amène à trois types d'outils:

- les outils traditionnels en métal dur
- les outils spéciaux [4] développés selon ces critères

- les outils «sans usure», c'est-à-dire le laser, le jet d'eau ou le couteau ultrasonique.

Afin d'analyser la qualité de ces diverses opérations, les échantillons sont préparés de la manière suivante:

- découpe de la partie usinée (éventuellement coupe transversale)
- coulée dans un bloc de résine époxyde
- polissage jusqu'à l'obtention d'une rugosité de 1 μ (pâte diamant).

Les échantillons sont ensuite observés sous microscope optique. Une observation de l'échantillon concerné ou de la surface de rupture, dans le cas d'un test destructif de celui-ci, est également effectuée au moyen d'un microscope électronique à balayage (MEB Cambridge S 100).

3. Coupe

La coupe de tout matériau de construction représente une opération de base dans toute manipulation industrielle et les composites n'y font pas exception. Pour y parvenir, différents moyens sont possibles [5]. Le sciage, la coupe au jet d'eau ainsi que la coupe au moyen d'une fraise à contourner sont ceux qui nous occupent ici.

3.1. Scie pour composites au diamant

Il s'agit d'une scie circulaire d'un diamètre de 180 mm tournant à une vitesse de 4000 t/min, ce qui donne une

Résumé

Les composites à matrice thermoplastique, telle que le poly(ether-ether-ketone) ou PEEK, complètent aujourd'hui la gamme des matériaux nouveaux. Leurs propriétés mécaniques, supérieures à celles des composites à matrice thermodurcissable, et leur haute résistance aux attaques chimiques en font de sérieux prétendants aux applications de haute technologie, surtout dans le domaine de l'aéronautique. Toutefois, vu la nouveauté de ce genre de matériau (1986), ses différents moyens et possibilités d'usinage ne sont que peu documentés.

L'objectif de cet exposé est donc de présenter le comportement d'un composite à fibres de carbone et matrice thermoplastique lors d'opérations d'usinage simples telles que la coupe et le perçage. Les résultats obtenus avec des outils traditionnels ainsi qu'avec des instruments spécialement conçus pour l'usinage de composites à matrice thermodurcissable seront comparés à la suite des différentes opérations effectuées sur des plaques d'APC-2 de structure unidirectionnelle.

vitesse de coupe très élevée, c'est-à-dire d'environ 2250 m/min. Cette scie est généralement utilisée pour des coupes assez grossières de panneaux composites, comme les plaques de support de composants électroniques. La partie tranchante de la scie est recouverte de particules de diamant. Une observation au microscope permet de se rendre compte de la qualité de la coupe (fig. 1).

On peut aisément remarquer que la coupe est très irrégulière et qu'une bavure importante existe. En plus de cette qualité de coupe très médiocre, un nettoyage fréquent de la lame est nécessaire. Cet encrassement de la lame est dû au fait que les particules de

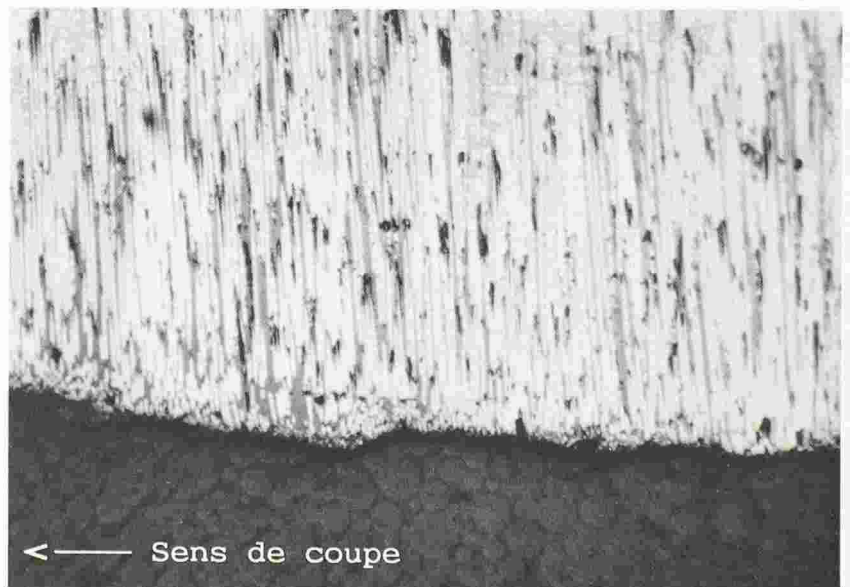


Fig. 1.— Arête d'une coupe à la scie circulaire au diamant pour plaques de support de composants électroniques. Grossissement: 100 \times .

¹ Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie en fin d'article.

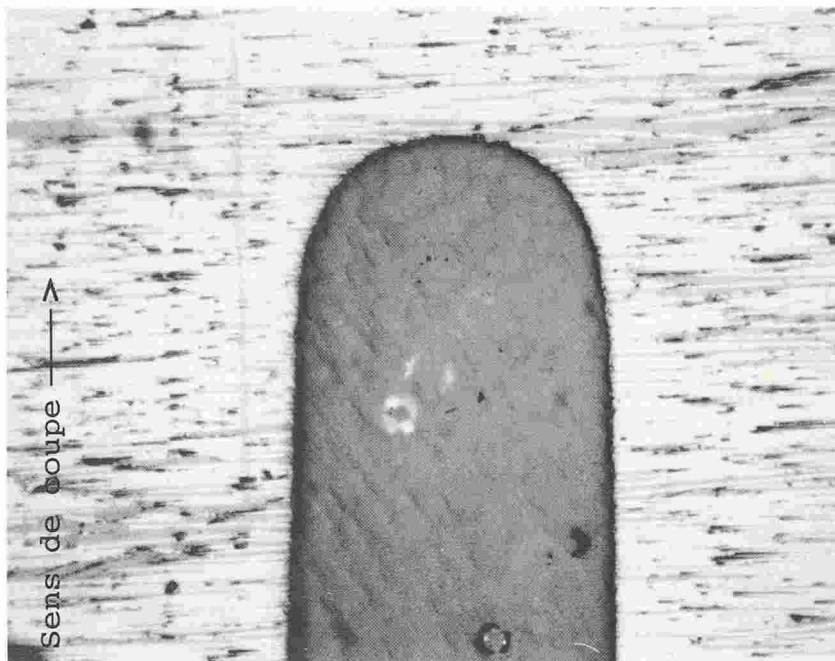


Fig. 2.— Coupe à la scie circulaire au diamant pour éprouvettes métallurgiques. Grossissement: 100X.

diamant déforment plastiquement la matrice PEEK du composite au lieu de la couper, une partie de la matrice restant ainsi collée à la scie.

3.2. Scie au diamant pour métaux

Il s'agit également d'une scie circulaire, mais d'un diamètre nettement inférieur (140 mm). La partie tranchante est recouverte de poussière de diamant. La coupe obtenue est meilleure que dans le cas précédent (fig. 2), mais il faut noter que son temps d'exécution est très long.

Cette scie n'ayant pas été conçue pour la coupe de composites mais pour celle de métaux, il est clair que l'on ne pouvait pas s'attendre à un bon résultat. Il est toutefois intéressant de remarquer que la lenteur d'exécution mise à part, la coupe réalisée est très nette, c'est-à-dire qu'une adaptation de ce genre de scie aux matériaux composites à matrice thermoplastique est tout à fait envisageable.

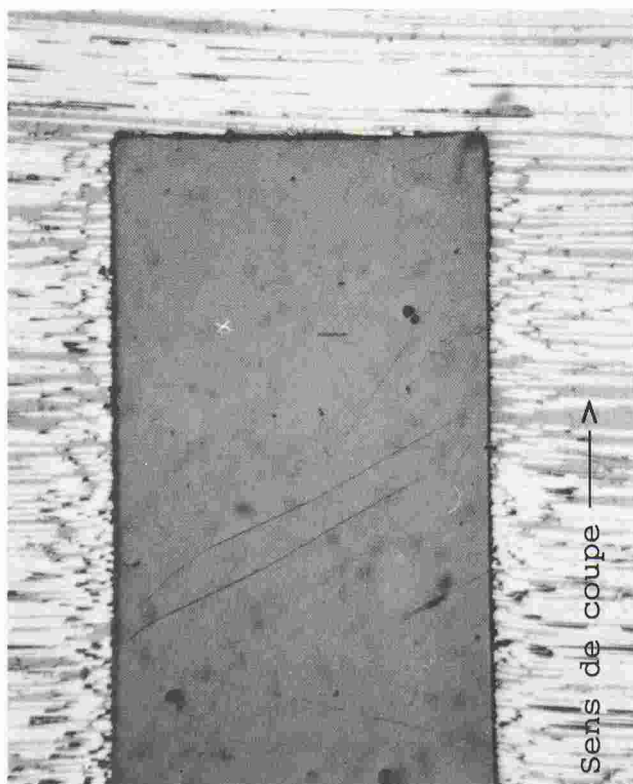


Fig. 3.— Coupe à la scie circulaire pour composites à matrice thermodurcissable. Grossissement: 100X.

3.3. Scie pour composites

L'outil en question, selon les affirmations du fabricant (Dixi SA), a été spécialement développé pour l'usinage de composites fibres de carbone/matrice thermodurcissable (résine époxyde). Il s'agit d'une scie circulaire en acier dur de 74 mm de diamètre tournant à 100 t/min, ce qui correspond à une vitesse de coupe de 24 m/min.

La coupe obtenue est très nette et d'excellente qualité. En effet, on obtient une arête de coupe très régulière (fig. 3), ainsi qu'une surface de coupe étonnamment lisse (fig. 4).

Le résultat obtenu est d'autant plus surprenant que la scie comporte une géométrie tout à fait simple (fig. 5).

3.4. Jet d'eau

Une possibilité intéressante autre que les outils tranchants, en ce qui concerne la coupe, est l'utilisation d'un jet d'eau. Ce système est maintenant couramment utilisé et présente certains avantages intéressants [5]. En effet, la coupe de matériaux composites est toujours possible au moyen d'un jet d'eau et la largeur de la coupe est très faible. Un autre aspect remarquable est qu'aucune vapeur, fumée ou poussière n'apparaît durant ce genre d'usinage; la découpe au jet d'eau est donc très peu polluante.

Toutefois, un danger de délaminage subsiste lors de ce genre d'usinage, car l'on transperce un matériau ayant des propriétés élastiques inhomogènes. Malgré cela, les résultats obtenus sont assez bons (fig. 6).

3.5. Fraise à contourner

Un moyen de découpe qui concurrence fortement le jet d'eau est la fraise à contourner. Cet outil est d'une con-

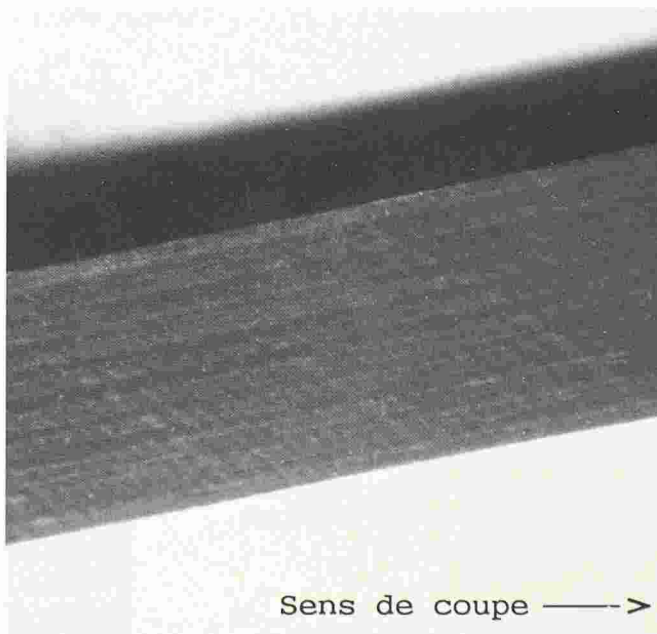


Fig. 4.— Surface d'une coupe à la scie circulaire pour composites à matrice thermodurcissable.



Fig. 5.— Dent de la scie circulaire pour composites à matrice thermodurcissable. Grossissement: 50X.

ception radicalement différente de celle d'une fraise classique [4]. En effet, au lieu d'avoir un pas bien défini sur son pourtour, cette fraise se divise en deux parties de pas opposés (fig. 7). Par cette géométrie particulière, les différentes couches usinées subissent des forces, parallèles à l'axe de la fraise, de sens alternativement opposé par demi-tour d'outil. Si cette alternance est suffisamment rapide, c'est-à-dire si la vitesse de rotation de l'outil est suffisamment élevée, on peut admettre que le composite se trouve dans un

état de compression lors de l'usinage [5] et que, par conséquent, une cohésion des différentes couches de fibres est maintenue durant l'usinage. Cette fraise étant constituée d'acier cémenté, une vitesse d'usinage de 32 m/min est admissible, ce qui correspond à une vitesse de rotation de 2000 t/min. Les essais se font sur des plaques de 2 mm d'épaisseur. L'outil

traverse très aisément le composite en produisant des copeaux d'environ 2 mm de long. Aucune bavure n'est apparente à vue d'œil et la surface usinée apparaît comme très régulière (fig. 8). Une observation sous microscope (fig. 9) montre que la coupe ainsi obtenue est de très bonne qualité, ce qui justifie la conception de l'outil. Un très net désavantage existe toutefois: la largeur de coupe est très importante vu qu'elle correspond au diamètre de l'outil (5 mm).

4. Perçage

Le perçage est choisi en raison de sa fréquence d'utilisation dans les diverses opérations d'usinage et d'assemblage. La préoccupation principale de cette analyse est l'observation du comportement du matériau lors de cette opération d'usinage.

L'appareil utilisé est une perceuse à colonne. La vitesse de rotation de la mèche est d'environ 745 t/min. Cette vitesse s'est révélée la mieux adaptée à ce matériau. Le perçage se fait à sec, c'est-à-dire sans apport de lubrifiant. Les échantillons, aux dimensions d'approximativement $40 \times 15 \times 2$ mm, sont tenus dans un étai. Deux genres de mèches sont utilisées pour ces tests: une de type traditionnel et une de type spécial, c'est-à-dire qu'il s'agit d'un

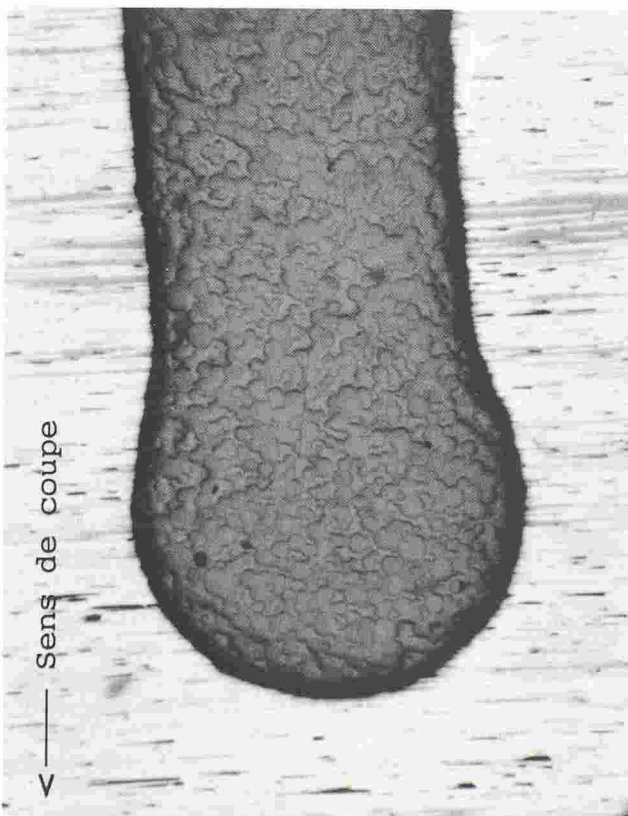


Fig. 6.— Coupe au jet d'eau. Grossissement: 100X.

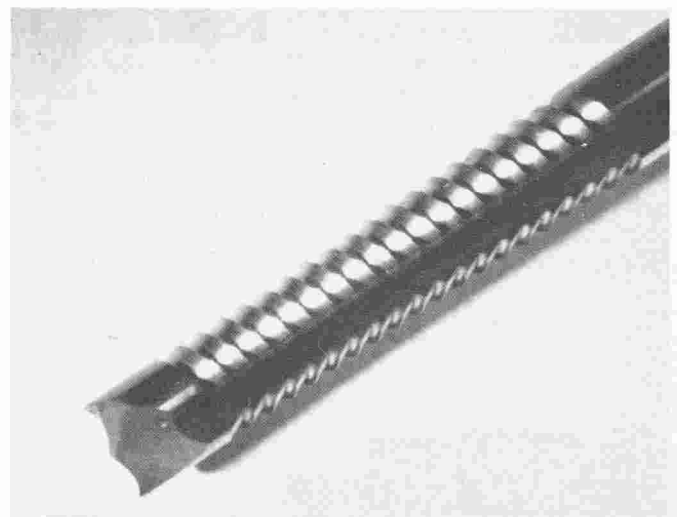


Fig. 7.— Fraise à contourner pour composites.



Fig. 8.— Surface usinée à la fraise à contourner pour composites.

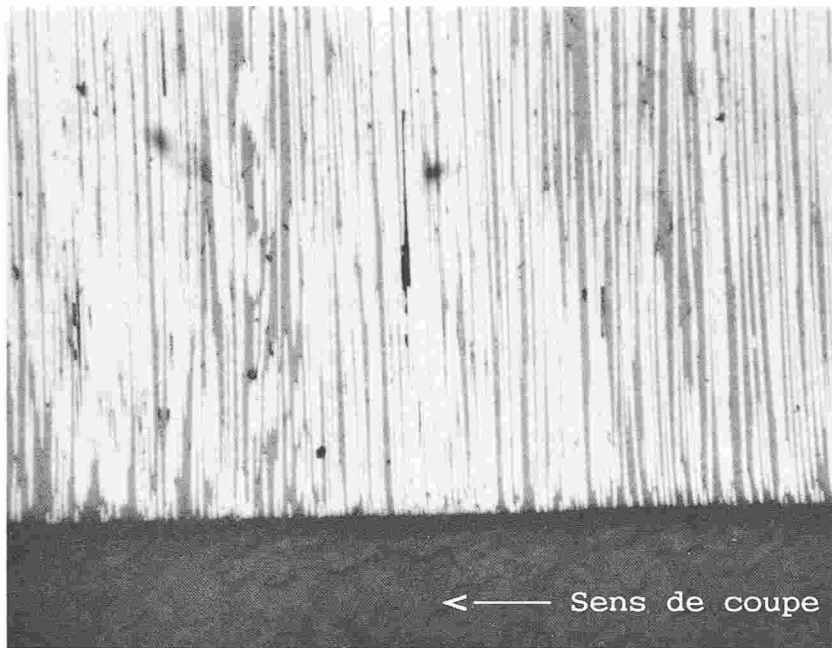


Fig. 9.— Arête d'une coupe à la fraise à contourner pour composites. Grossissement: 100x.

outil spécialement développé pour l'usinage de matériaux composites, produit par Dixi SA. Ces deux types d'outils seront essayés sur des plaques d'APC-2 ayant subi des vitesses de refroidissement de respectivement 0,5 K/min et 50 K/min. Toutes les plaques ont une épaisseur de 2 mm et comportent un arrangement de fibres unidirectionnel.

Mais avant d'analyser cette opération d'usinage, il faut rappeler que dans le cas d'essais du même genre sur un composite unidirectionnel, un délaminage d'une ou plusieurs couches peut se produire autour du trou percé. En effet, une structure unidirectionnelle est celle qui se prête le moins bien au perçage et nous permettra par conséquent une observation aisée des défauts occasionnés par l'opération.

4.1. Perçage avec outil traditionnel

Pour cette opération, la mèche utilisée est préalablement aiguisée afin d'éliminer toutes traces d'usure dues aux utilisations précédentes. La vitesse de rotation est, nous l'avons dit plus haut, de 745 t/min et l'avance se fait manuellement.

4.1.1. Observations générales

Un échauffement de la mèche et de l'échantillon est constaté. Une température allant de 78 à 92°C est mesurée par l'intermédiaire du thermocouple placé à la sortie du trou percé. On peut en déduire que la matrice, dont la température de transition vitreuse est de 140°C, se ramollit et que l'orientation des fibres peut ainsi changer sous l'action du perçage. En effet, la ténacité de l'interface fibre/matrice diminue avec l'accroissement de la température. Cet échauffement permet également de prédire une usure prématurée de l'outil.

4.1.2. Observation au microscope

On constate que l'angle des fibres par rapport à la surface de la mèche joue un rôle important. En effet, deux zones où l'orientation des fibres a changé d'environ 15° se distinguent de part et d'autre du trou (fig. 10). Elles se dessinent dès que les fibres ne sont plus tangentes au cercle décrit par le pourtour de la mèche. La largeur de ces zones croît avec l'angle d'arrivée des fibres sur ledit cercle, pour être maximale quand les fibres forment un angle de 90° avec la tangente au cercle.

Les fibres ont tendance à s'enrouler autour de la mèche, ce qui est dû à un sectionnement non optimal des fibres. On remarque également que la taille de ces zones est la même malgré une vitesse de refroidissement différente. La morphologie de la matrice ne semble donc pas intervenir et on peut considérer que c'est la coupe des fibres qui est la principale difficulté, d'où la conclusion que c'est l'interaction mèche/fibres qui occasionne l'échauffement observé.

Il faut toutefois noter que la forme du trou est tout à fait circulaire et que ces deux zones où les fibres ont changé d'orientation ne semblent pas être un désavantage à première vue. Pour pouvoir en dire plus, une observation radiale est nécessaire afin de détecter des défauts éventuellement introduits par l'opération.

Pour cela, une coupe diamétrale du trou est effectuée selon la direction des fibres. Une observation des zones où l'arrangement des fibres a changé et de la qualité du perçage sur les flancs du trou est ainsi possible (fig. 11).

On constate tout d'abord une déformation très importante en sortie de trou, due à la coupe impropre et à l'avance de l'outil. Cette déformation engendre des fissures très nettement perceptibles. La zone où l'arrangement des fibres a changé est de profondeur constante tout au long du trou.

4.2. Perçage avec outil spécial

L'outil spécial en question est une mèche spécialement conçue pour les matériaux composites par Dixi SA. Cette mèche est utilisée dans les mêmes conditions que l'outil traditionnel afin de pouvoir comparer les deux.

4.2.1. Observations générales

Un échauffement lors du perçage est également constaté. Toutefois la température atteinte est d'environ 30 K inférieure à celle enregistrée pour l'outil traditionnel. Le trou obtenu est net et les fibres gardent leur orientation sur le pourtour du trou. Cela est dû à la présence de deux dents situées aux extrémités de la mèche dont la fonction est de couper les fibres lors de l'avance de l'outil (fig. 12).

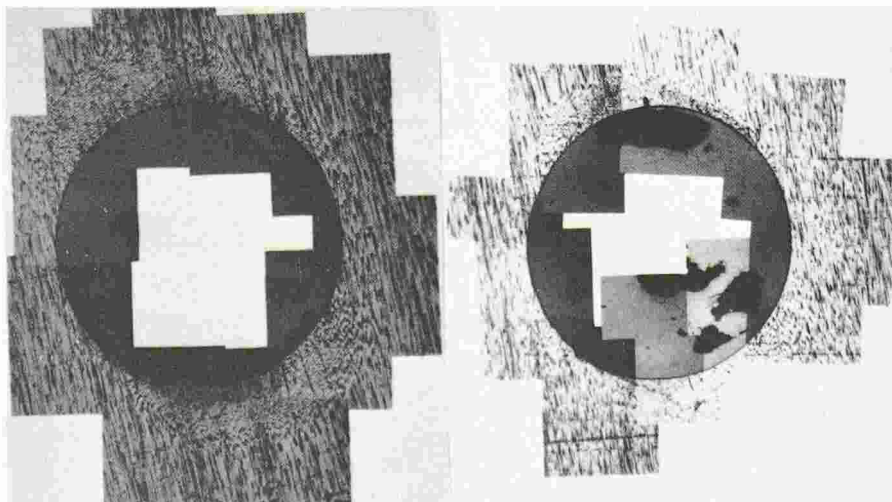


Fig. 10.— Trous percés à l'aide d'une mèche traditionnelle (diamètre 3 mm).

4.2.2. Observation au microscope

Sous le microscope optique le trou obtenu semble très net avec des bavures minimales à l'entrée. De nouveau, aucune différence entre la plaque refroidie à 0,5 K/min et celle refroidie à 50 K/min n'est observable quant à l'état du perçage obtenu (fig. 13).

Dans le sens radial, des zones de déviation des fibres sont également observables. Toutefois, elles se situent à l'entrée du trou uniquement (fig. 14) et leur largeur va décroissant. Ces zones subsistent de manière minimale tout au long du trou. La matière est également déformée en sortie de trou, mais nettement moins qu'avec l'outil traditionnel. La zone de déviation des fibres s'agrandit à la sortie du perçage. L'apparition de fissures et de défauts n'est donc pas à exclure avec l'utilisation de cet outil.

Comme précédemment, aucune différence quant à la qualité ou à la géométrie du perçage n'est observable en ce qui concerne les différentes vitesses de refroidissement du composite.

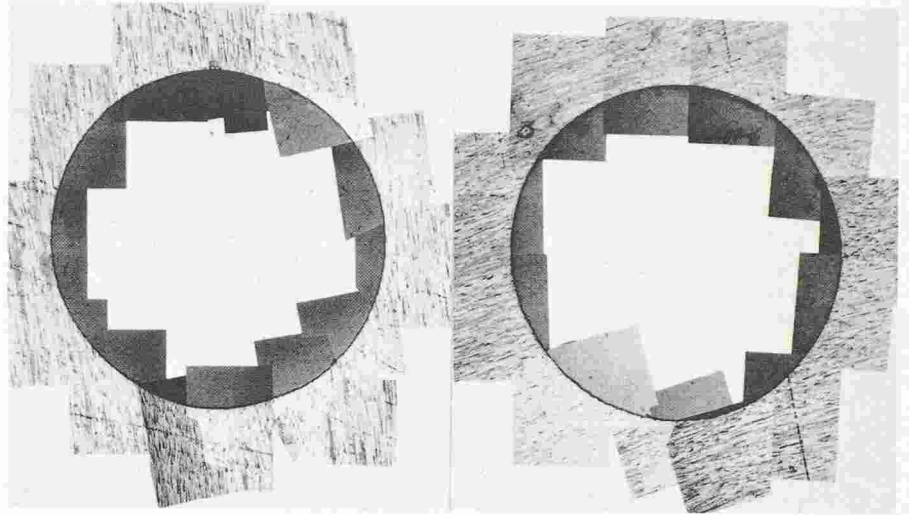


Fig. 13.— Trous percés à l'aide d'une mèche pour composites (diamètre 3 mm).

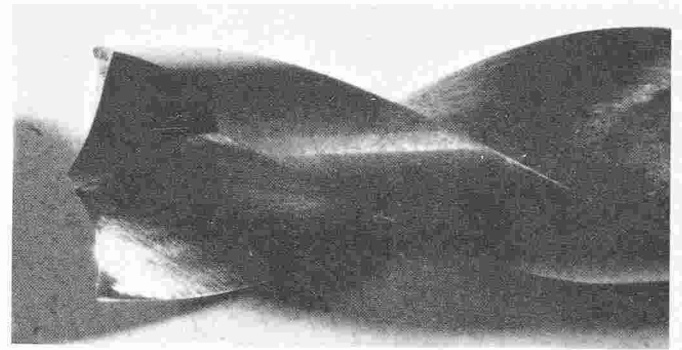


Fig. 12.— Mèche pour composites (diamètre 3 mm).

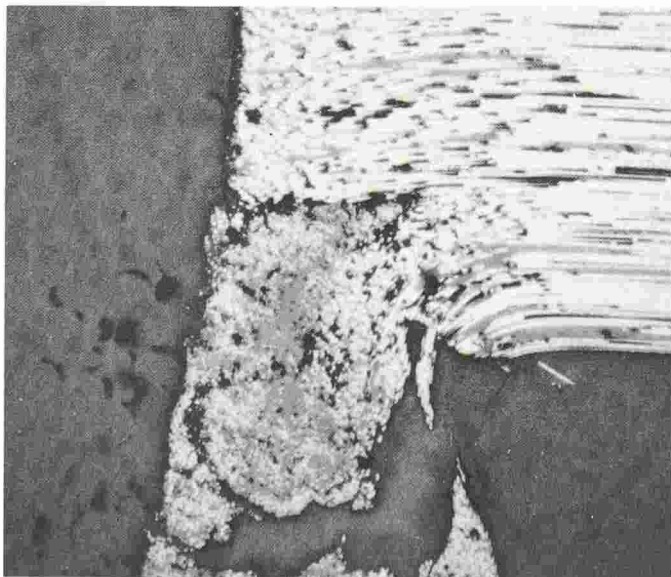
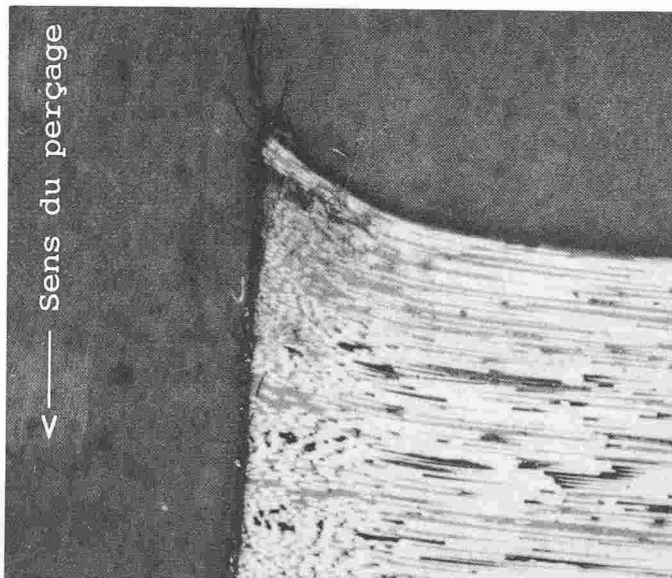


Fig. 11.— Vue radiale d'un trou percé à l'aide d'une mèche traditionnelle.

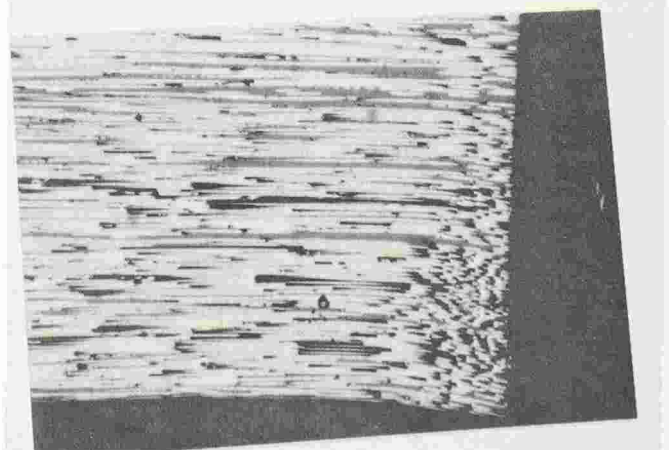
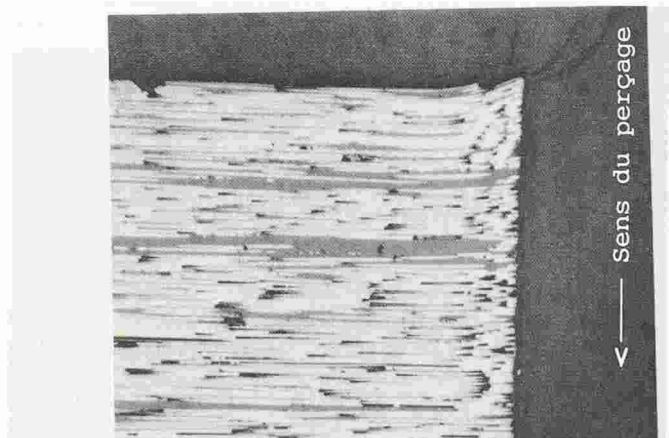


Fig. 14.— Vue radiale d'un trou percé à l'aide d'une mèche pour composites.

4.3. Comparaison des deux méthodes

4.3.1. Usure des mèches

Pour cette comparaison, deux mèches, l'une traditionnelle, l'autre spéciale, de 3 mm de diamètre, sont utilisées. Les deux se trouvent à l'état neuf avant l'essai (fig. 15).

On a procédé alors à 30 perçages dans des plaques d'APC-2 ayant subi des vitesses de refroidissement identiques (10 K/min). L'épaisseur des plaques était de 2 mm et la vitesse des mèches de 475 t/min. Une première observation peut déjà être faite avant de repasser les mèches sous le microscope: la qualité du trou percé avec l'outil traditionnel se dégrade visiblement à partir de la 12^e opération, contrairement à ce que l'on constate pour les trous réalisés avec l'outil spécial. La différence devient évidente lorsqu'on observe l'état des deux mèches au microscope après les 30 passages.

On constate aisément que l'usure de l'outil traditionnel est très marquée (fig. 16), ce qui explique le mauvais état des derniers trous percés. On peut en conclure que les fibres de carbone ont un effet abrasif sur la mèche. L'outil spécial semble quant à lui n'avoir subi qu'un rodage (fig. 16), ce qui s'explique, semble-t-il, par la présence des deux «dents» à son extrémité, qui coupent les fibres lors du perçage.

4.3.2. Essais de traction

Pour ces essais, l'idée fut de mettre les deux méthodes en compétition, c'est-à-dire en comparaison directe. Une série de paires d'échantillons de largeur égale fut préparée de la manière suivante:

- plaquette d'aluminium placée à l'un des bouts au moyen de colle Araldite (pour tenir l'échantillon dans les mâchoires de la machine de traction)
- perçage d'un échantillon par outil traditionnel, de l'autre par outil spécial (les deux ayant le même diamètre)
- assemblage des deux par rivetage
- essai de traction de l'ensemble (Zwick).

La traction s'effectue perpendiculairement aux fibres du laminé et les zones déformées par l'opération de perçage se trouvent de part et d'autre du rivet. On peut donc s'attendre à une rapide propagation des fissures induites par le perçage à travers la matrice. Sept tests ont ainsi été effectués avec le résultat suivant:

- 6 ruptures du côté usiné par mèche traditionnelle
- 1 rupture du côté usiné par mèche spéciale.

On peut en conclure que des fissures sont en effet induites dans la matrice

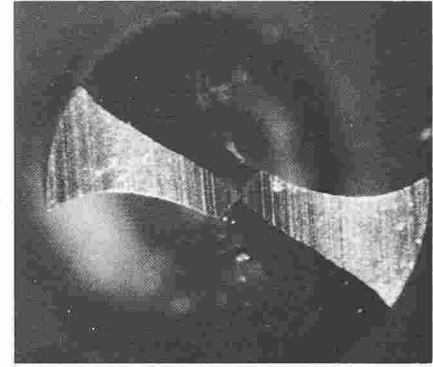
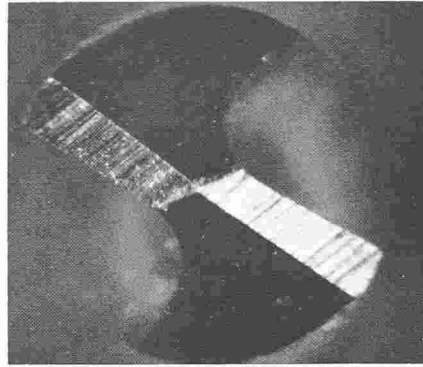


Fig. 15.- Mèches traditionnelle (à gauche) et spéciale (à droite) à l'état de neuf.

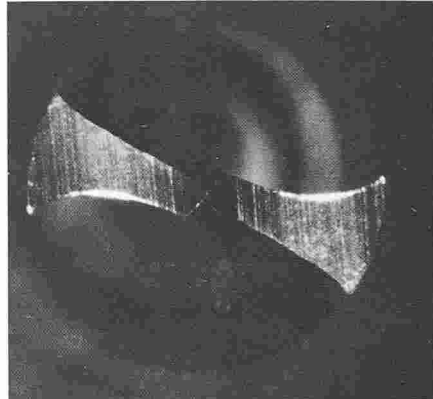
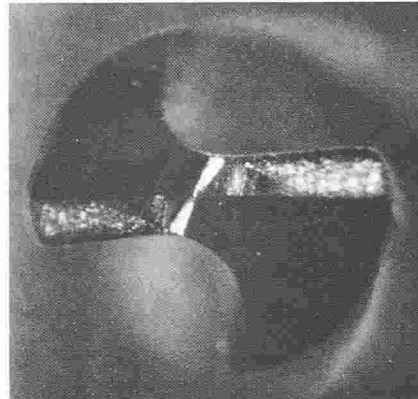


Fig. 16.- Mèches traditionnelle (à gauche) et spéciale (à droite) après 30 perçages d'une plaque d'APC-2 de 2 mm d'épaisseur.

par les deux méthodes, et que les dégâts provoqués par l'outil traditionnel sont les plus importants. Une observation de la surface de rupture par microscope à balayage permet d'en dire plus.

4.3.3. Surface de rupture

Une première observation permet de se rendre compte de l'état de surface sur les flancs du trou (fig. 17). Les deux outils utilisés ont un diamètre de 5 mm.

Une très nette déviation des fibres dans le cas de l'outil traditionnel est observable ($\sim 20^\circ$) et d'importantes fissures, compte tenu du faible agrandissement, sont apparentes. Pour ce qui est du trou percé à l'aide de l'outil spécial, son état de surface est d'une qualité nettement supérieure à celle du cas précédent, mais des fissures sont également perceptibles.

Venons-en maintenant à une inspection plus détaillée de la rupture, c'est-à-dire à la recherche d'une zone de déformation plastique indiquant l'amorce de cette déformation.

Dans le cas traditionnel, une zone de déformation plastique est découverte à proximité d'une large fissure occasionnée par le perçage (fig. 18).

Cela permet de supposer que l'amorce de rupture a été occasionnée par la fissure provoquée lors de l'usinage et que, par conséquent, la déviation des

fibres au bord du trou ne rigidifie pas celui-ci.

Pour ce qui est de l'outil spécial, une zone de déformation plastique a également été découverte à proximité d'une fissure qui se trouve à la sortie du perçage (fig. 19).

Il n'est donc pas exclu que l'outil spécial provoque des fissures, qui engendrent à leur tour des amorces de rupture. Néanmoins, les résultats obtenus par cette observation confirment l'efficacité de l'outil spécialement conçu pour l'usinage de matériaux composites. En effet, cet outil remplit au mieux les conditions posées pour un usinage de composites à fibres de carbone [3], c'est-à-dire:

- outil en métal dur, résistant à l'abrasion causée par les fibres
- outil capable de couper ou de casser les fibres de façon nette.

5. Conclusions

A propos de la coupe

Deux outils apparaissent comme étant d'excellente qualité pour les opérations de coupe: la scie circulaire Dixi et la fraise à contourner du même fabricant. Il s'agit d'outils destinés à l'usinage de composites à matrice thermdurcissable et les résultats obtenus montrent qu'ils sont également

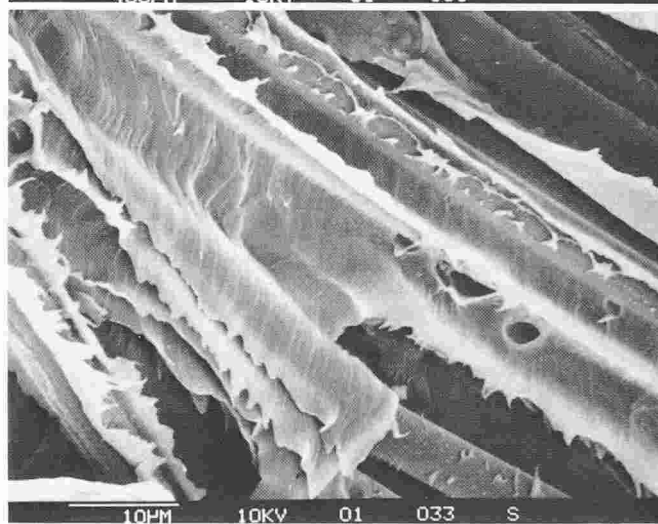
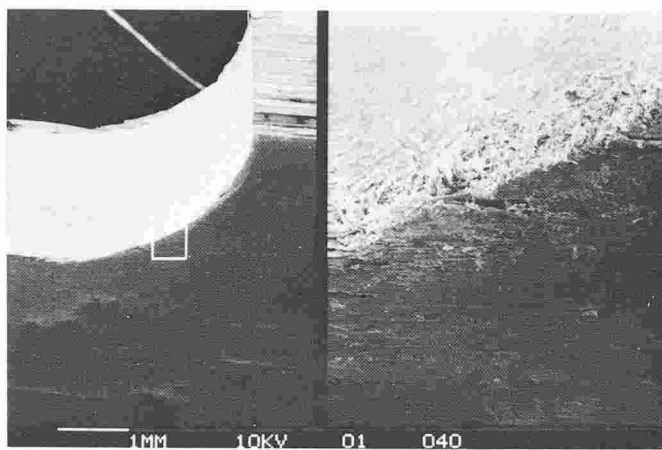
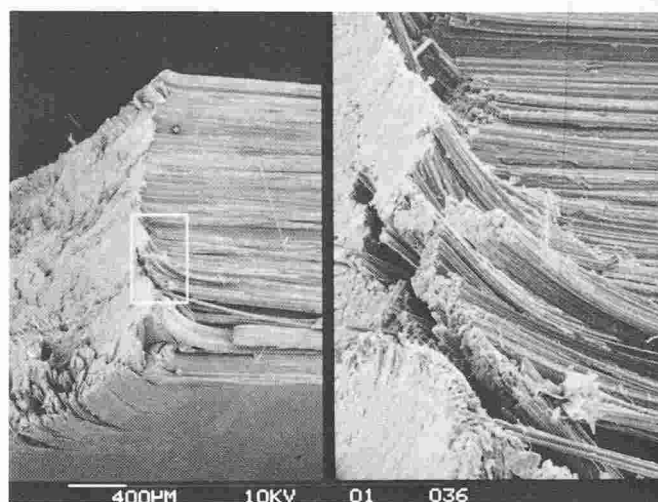
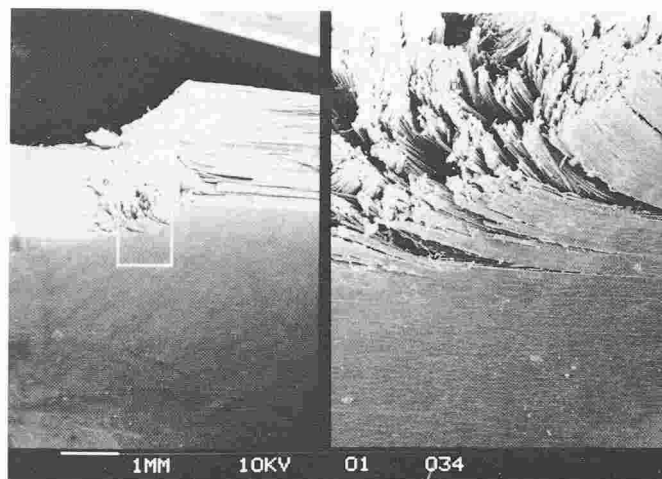


Fig. 17.— Surfaces de rupture aux bords de trous percés avec outils spécial (en bas) et traditionnel (en haut).

Fig. 18.— Surface de rupture et déformation plastique (outil traditionnel). Détail du bas: déformation plastique de la matrice.

adaptés à la coupe de composites à matrice thermoplastique telle que le PEEK.

La coupe au jet d'eau est le concurrent le plus direct de ces deux outils. Cette manière d'usinage est également bien supportée par le matériau. Il serait intéressant de poursuivre l'étude dans ce sens, c'est-à-dire d'évaluer la possibilité d'utilisation d'autres outils «sans usure», comme le laser ou le couteau ultrasonique.

A propos du perçage

La différence entre mèche traditionnelle et mèche spéciale est évidente. La

mèche spéciale non seulement donne un perçage supérieur en qualité sans endommager le composite de manière apparente, mais encore s'use moins. Cet outil est à préférer, mais il faut admettre qu'une mèche traditionnelle à l'état neuf peut constituer une solution de fortune.

La vitesse de refroidissement aurait pu jouer un rôle dans ce genre d'opération car elle influence la cristallinité de la matrice et, par conséquent, la capacité de celle-ci à se déformer plastiquement. Toutefois, aucune différence n'a été observée ni avec l'outil traditionnel ni avec l'outil spécial. On

Remerciements

Nous tenons à remercier ici MM. Wesley J. Cantwell et Pean-Yue Jar pour leur suivi et leurs conseils tout au long de ce travail, Serge Fleury pour ses conseils concernant l'usinage, Brian Neal pour ses conseils concernant la préparation des échantillons et la prise des photos illustrant ce rapport, enfin tout spécialement M. Brian senior pour sa disponibilité et l'excellence des photos prises au microscope électronique à balayage.

TABLEAU 1. — Comparaison des différents moyens de couper des plaques en composite fibres de carbone/PEEK.

Outil	Durée de l'usinage	Facilité d'exécution	Qualité de coupe	Largeur de coupe
Scie au diamant rapide	+	+ / -	-	+ / -
Scie au diamant lente	--	+	++	++
Scie Dixi	++	+	++	++
Jet d'eau	+	+ / -	++	+
Fraise à contourner	+	+	++	+ / -

peut admettre que dans l'ensemble le matériau se prête bien au perçage. D'une manière générale, on peut dire que des outils spécialement conçus pour l'usinage de composites fibres de carbone/matrice thermosable se prêtent bien à l'usinage de composites

Bibliographie

- [1] NGUYEN, HUY X.; ISHIDA, HATSUO: «Poly(Aryl-Ether-Ether-Ketone) and its Advanced Composites: a Review», *Polymer Composites*, Vol. 8, No. 2, April 87.
- [2] BOLDT, J. A.; CHANANI, J. P.: «Solid-Tool Machining and Drilling», *Engineered Materials Handbook, Composites*, Vol. 1, ASM International.
- [3] PHILLIPS, JOSEPH L.; PARKER, ROBERT T.: «Fastener Hole Considerations», *Engineered Materials Handbook, Composites*, Vol. 1, ASM International.
- [4] KÖNIG, WILFRIED; GRASS, PETER: «Bohr- und Fräswerkzeuge für faserverstärkte Kunststoffe», *VDI-Z*, Bd. 128 (1986), Nr. 3-Februar (I).
- [5] KÖNIG, WILFRIED; MEIS, F. ULRICH; GRASS, PETER; WULF, CHRISTIAN; WILLERSCHIED, HEINRICH: «Konturbearbeitung faserverstärkter Kunststoffe», *VDI-Z*, Bd. 126 (1984), Nr. 21-November (I).

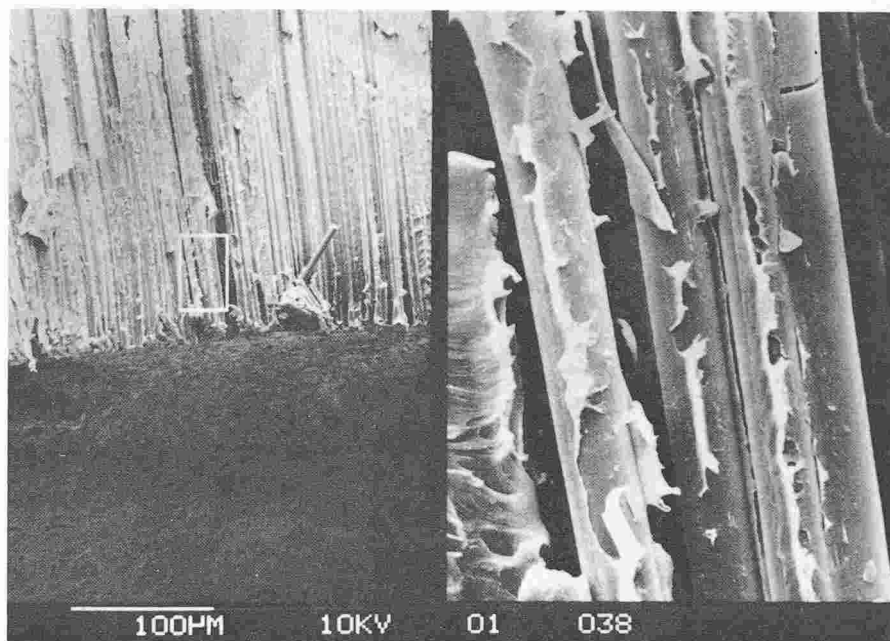


Fig. 19.— Surface de rupture et déformation plastique (outil spécial pour composites). Détail de droite: déformation plastique de la matrice.

fibres de carbone/matrice thermoplastique. Ces outils sont commercialisés et facilement obtenables. Leur prix est plus élevé que celui des outils traditionnels de même type (~ 30%), mais leur usure moindre et leur qualité d'usinage supérieure justifient leur acquisition.

Adresse de l'auteur:

Christophe Schwartz
Ingénieur EPFL
Département des matériaux de l'EPFL –
Laboratoire des polymères
32, ch. de Bellerive
1007 Lausanne

Bibliographie

Vous avez dit Suisse romande?

Publié sous la direction de Daniel-L. Seiler et René Knüsel. – Un vol. 15 × 21 cm, broché, 318 pages. Editions 24 Heures, Lausanne, 1989. Prix: Fr. 29.—

Cet ouvrage rassemble une série de contributions dues à quatre historiens, un juriste, un sociologue, sept politologues, un écrivain, sept journalistes, un graphiste, un prêtre, un économiste, un traducteur, un géographe, un architecte (Jean-Pierre Vouga) et un linguiste, suisses pour la majorité.

Il s'agit là du résultat d'un colloque organisé il y a quelque cinq ans sur la question de l'existence de la Suisse romande.

Une telle brochette d'auteurs garantit des empoignades souvent fort éloignées des réalités de la vie quotidienne dans nos régions. On se demande inévitablement si nos professions ont été jugées indignes de participer à un débat d'une telle élévation puisqu'on n'y trouve qu'un seul représentant sur 28 auteurs. Et encore, c'est l'en-

gagement antérieur du professeur Vouga dans le domaine des relations entre régions linguistiques suisses qui excluait qu'on l'oublie.

Il est évident qu'être ingénieur ou architecte en Suisse implique la pratique des relations par-dessus la Sarine sans tourments idéologiques ou complexes d'infériorité. De même que les journaux ne sont pas là pour annoncer les trains arrivant à l'heure, le débat sur la Suisse romande n'a que faire de témoins des aspects positifs et utiles de la coexistence confédérale (telle que nous la vivons par exemple au sein de la SIA). Quiconque douterait de cet ostracisme envers les praticiens peut s'en convaincre en lisant dans ce livre les propos du Mouvement romand en réponse au texte de Jean-Pierre Vouga.

Pour ma part, je souhaite sincèrement que de tels colloques soient organisés souvent, afin d'occuper activistes, historiens, journalistes, politologues et sociologues le plus loin possible

des centres de décision politiques et économiques. En effet, les remèdes qui sont proposés pour remédier au déséquilibre confédéré incontestable suscitent plus de peur que d'espoir. De fait, le malaise suisse, au cœur du monde d'aujourd'hui, requiert une mobilisation nationale bien plus que des revendications régionales. Le professeur Vouga constate que les Romands ne font rien, engagés qu'ils sont dans des querelles de clocher, pour donner l'image d'une minorité résolue; plutôt que de reporter ces escarmouches sur le plan fédéral, gardons nos forces pour affirmer notre place au soleil en Europe et dans le monde.

En portant le débat dans le domaine économique – pour s'en prendre à ce triangle d'or qui ferait peser son joug sur le pays au détriment de la Suisse romande –, on oublie que le même déséquilibre existe entre la frange lémanique et le reste des régions romandes. Le facteur économique, si important soit-il, ne saurait être la pierre de touche du bonheur romand. Comment en effet expliquer

que les Romands sont moins enclins que les Alémaniques, les Tessinois ou les Grisons à quitter – fût-ce momentanément – leur région pour aller voir ce qui se fait ailleurs? Estimeraient-ils que le privilège de rester sur leur coin de terre ne saurait connaître de compensation matérielle?

Un mot encore sur le terme «Romandie» (élogiquement évité dans le titre de cet ouvrage). C'est un vocable creux, dans la mesure où il suggère – avec beaucoup plus de force que «Suisse romande» – une entité, là où il n'y a pour l'essentiel que communauté de la langue. Les cantons romands ne se sont que tout récemment engagés dans des actions solidaires, destinées à défendre des projets jugés d'intérêt commun; les premières fissures apparues dans ce front (qu'on pense aux questions ferroviaires) ne doivent pas décourager, car le chemin est long. Mais qu'on évite de brandir le drapeau de la Romandie et de chanter «outre-Sarine guidez-nous au combat!»

Jean-Pierre Weibel