

## CHI : Analyse de la formation effective du copeau

### 6. Formation effective du copeau

Dans ce qui précède, nous avons implicitement admis que la formation du copeau était continue. La réalité est un peu plus complexe. On peut distinguer trois cas.

- Le *copeau continu*, qui est la formation idéale pour les matériaux ductiles. C'est du reste le seul cas que l'on sache modéliser. L'analyse de ce copeau fait apparaître *deux* zones de déformation (*fig. 5*) : la zone de déformation primaire (1), située à la racine du copeau, et la zone de déformation secondaire (2) liée au frottement intense du copeau sur la face de coupe de l'outil.

- Le *copeau cisailé* qui, bien que continu, n'est pas uniforme. Ce régime est caractérisé par la formation d'une *arête rapportée* (en anglais, **Built Up Edge, B.U.E.**). Il s'agit de métal qui se colle sur la pointe de l'outil (*fig. 6*). L'arête rapportée modifie considérablement la géométrie effective de l'outil et, par conséquent, les efforts de coupe et l'écoulement du copeau. Mais son effet le plus pernicieux est le suivant : en fait, elle croît de plus en plus, jusqu'à devenir instable. Alors elle se détache, en partie sur la surface neuve de la pièce où elle forme de petits tas, ce qui conduit à de *très mauvais états de surface* (*fig. 7*). Le régime d'arête rapportée doit donc autant que possible être évité.

- Le *copeau discontinu* (*fig. 8*) est celui que l'on rencontre lors de la coupe des matériaux fragiles.

Le même matériau peut dans certains cas donner les trois types de copeaux. Typiquement, on peut passer du copeau cisailé au copeau continu en augmentant l'angle de coupe ou en augmentant la vitesse (*fig. 9*). Mais certains matériaux sont plus propices à former des arêtes rapportées. Ce sont en général les matériaux à grand allongement à la rupture. Parmi les aciers courants (ferrite/perlite), la tendance à faire des arêtes rapportées est *d'autant plus grande que l'acier contient plus de ferrite* (aciers doux). C'est pourquoi, on

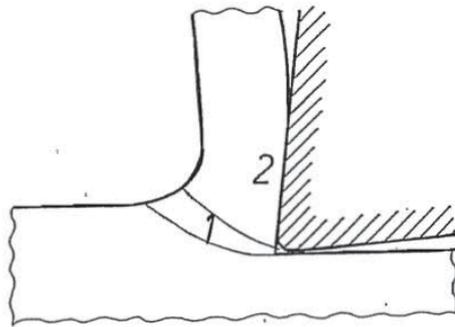


FIG. 5

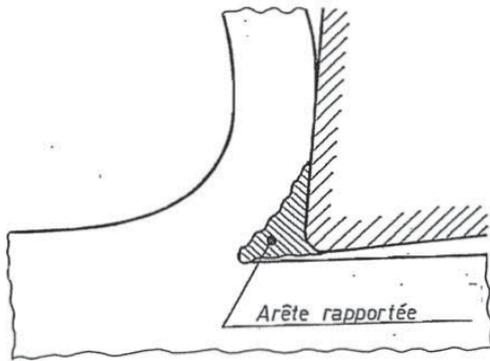


FIG. 6

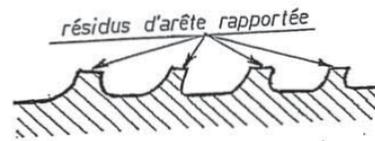


FIG. 7

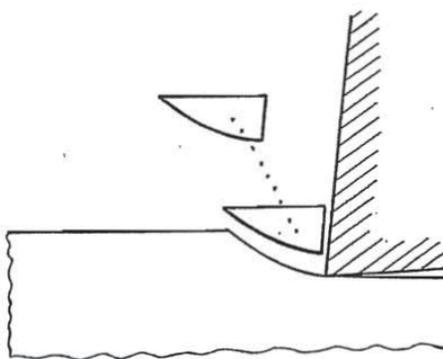


FIG. 8

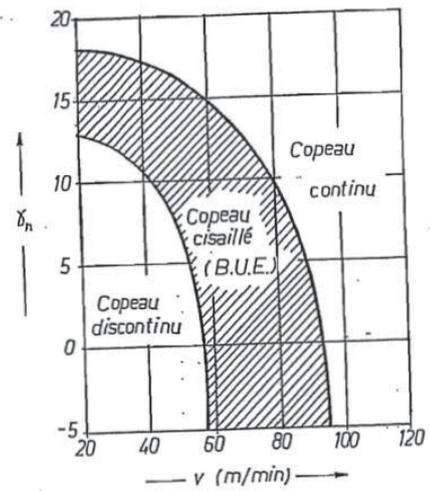


FIG. 9

préfère souvent en mécanique les aciers mi-durs (C45), qui donnent un meilleur état de surface. Les aciers *inoxydables austénitiques* forment aussi assez systématiquement des arêtes rapportées.

## 7. Le modèle de Piispanen

### 7.1 – Introduction

Pour expliquer la formation du copeau, Piispanen a imaginé en 1937 le mécanisme discrétisé de la figure 10, dans lequel le copeau est décomposé en des espèces de cartes à jouer obtenues par cisaillement dans un plan formant un angle  $\phi$  avec le mouvement principal de coupe. Une fois formées, les cartes glissent sur la face de coupe de l'outil.

Rendant ce mécanisme continu, on obtient un plan de discontinuité de la vitesse (fig. 11). C'est ce modèle que nous allons analyser.

### 7.2 – Relations cinématiques

Tout d'abord, la conservation du volume implique la relation

$$vh = v_{ch}h_{ch}$$

soit

$$v_{ch} = v \frac{h}{h_{ch}} = vr$$

où  $r$  n'est autre que le *rapport de coupe* défini précédemment.

Il est possible d'exprimer le rapport de coupe en fonction de l'angle du plan de cisaillement  $\phi$ . En effet, il ressort clairement de la figure 11 que

$$h_{ch} = AC = AB \cos(\phi - \gamma)$$

Par ailleurs,

$$h = AB \sin \phi$$

ce qui donne

$$r = \frac{h}{h_{ch}} = \frac{\sin \phi}{\cos(\phi - \gamma)}$$

Mais en pratique, c'est  $r$  qui est mesurable, et non  $\phi$ . C'est donc la relation inverse qui est utile. On a immédiatement

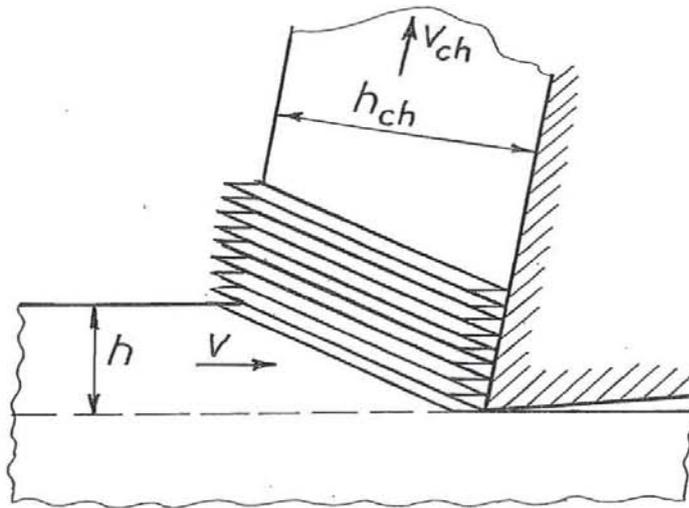


FIG. 10

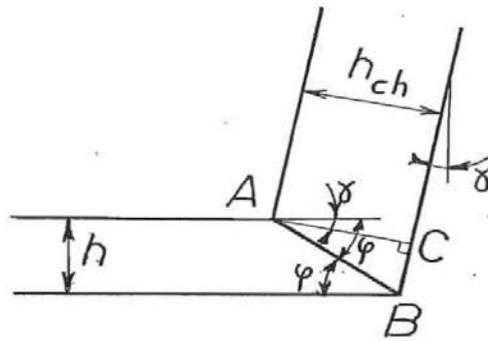


FIG. 11

$$\sin \phi = r \cos(\phi - \gamma) = r \cos \phi \cos \gamma + r \sin \phi \sin \gamma$$

ce qui, après division par  $\cos \phi$ , donne

$$\tan \phi = r \cos \gamma + r \tan \phi \sin \gamma$$

soit

$$\tan \phi = \frac{r \cos \gamma}{1 - r \sin \gamma}$$

Cette relation permet donc une mesure *indirecte* de l'angle  $\phi$ .