

SESSION 2009

**CONCOURS INTERNE
DE RECRUTEMENT DE PROFESSEURS AGRÉGÉS
ET CONCOURS D'ACCÈS A L'ÉCHELLE DE RÉMUNÉRATION**

Section : GÉNIE MÉCANIQUE

ÉPREUVE PRENANT APPUI SUR UN SYSTÈME INDUSTRIEL

Durée : 8 heures

Calculatrice électronique de poche - y compris calculatrice programmable, alphanumérique ou à écran graphique – à fonctionnement autonome, non imprimante, autorisée conformément à la circulaire n° 99-186 du 16 novembre 1999.

L'usage de tout ouvrage de référence, de tout dictionnaire et de tout autre matériel électronique est rigoureusement interdit.

Dans le cas où un(e) candidat(e) repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il (elle) le signale très lisiblement sur sa copie, propose la correction et poursuit l'épreuve en conséquence.

De même, si cela vous conduit à formuler une ou plusieurs hypothèses, il vous est demandé de la (ou les) mentionner explicitement.

NB : Hormis l'en-tête détachable, la copie que vous rendrez ne devra, conformément au principe d'anonymat, comporter aucun signe distinctif, tel que nom, signature, origine, etc. Si le travail qui vous est demandé comporte notamment la rédaction d'un projet ou d'une note, vous devrez impérativement vous abstenir de signer ou de l'identifier.

Tournez la page S.V.P.

A

Le dossier comprend à l'intérieur de cette chemise :

- un dossier sujet de 11 pages ;
- un dossier de documents annexes comprenant :
 - Document A1 – Dessin volumique du produit fini A4
 - Document A2 - Schématisation Cinématique du système d'éjection de la demi-poignée inférieure A4
 - Document A3 – Dessin de définition partielle du noyau A4
 - Document A4 – Schématisation de Statique Analytique A4
 - Document A5 – Document Matériau - ThyssenKrupp A4
 - Document A6 – Vues partielles du moule A4
 - Document A7 – Repérage des surfaces du noyau A4
 - Document A7bis – Repérage des surfaces de l'empreinte du moule intérieur A4
 - Document A8 – Définition géométrique du résultat de l'électroérosion à fil A4
 - Document A9-1 à 7 – Documentation électroérosion à fil A4
 - Document A10– Documentation MOCN 4 axes – C300H A4
 - Document A11-1 à 4 – Extraits du référentiel du B.T.S. A4
- un dossier de documents-réponses
 - Document R1 – Problème du démoulage A4
 - Document R2 - Statique graphique A4
 - Document R3 – Chaîne de cotes – Epure de cotation fonctionnelle A4
 - Document R4 –Dessin de phase A4
 - Document R5 – Schématisation MIP/MAP A4
 - Document R6 – Préconception de Porte-Pièce A4

Mise en situation

Poignée de télécommande à écran intégré

Un fabricant d'outillage (ouilleur) a été contacté par un de ses clients, équipementier en matériel d'automatismes industriels (Fabrication d'outils de manutention) afin d'assurer la production de deux moules (voir plus) d'injection plastique de deux demi-poignées de télécommande filaire intégrant une interface visuelle.

Le client a exprimé au travers de son cahier des charges une volonté de modularité de la taille des écrans et du nombre de boutons de commande pour une même poignée.

La conception du moule et les solutions associées au Cahier des Charges Fonctionnelles ont donc été laissées au soin du fabricant d'outillage.

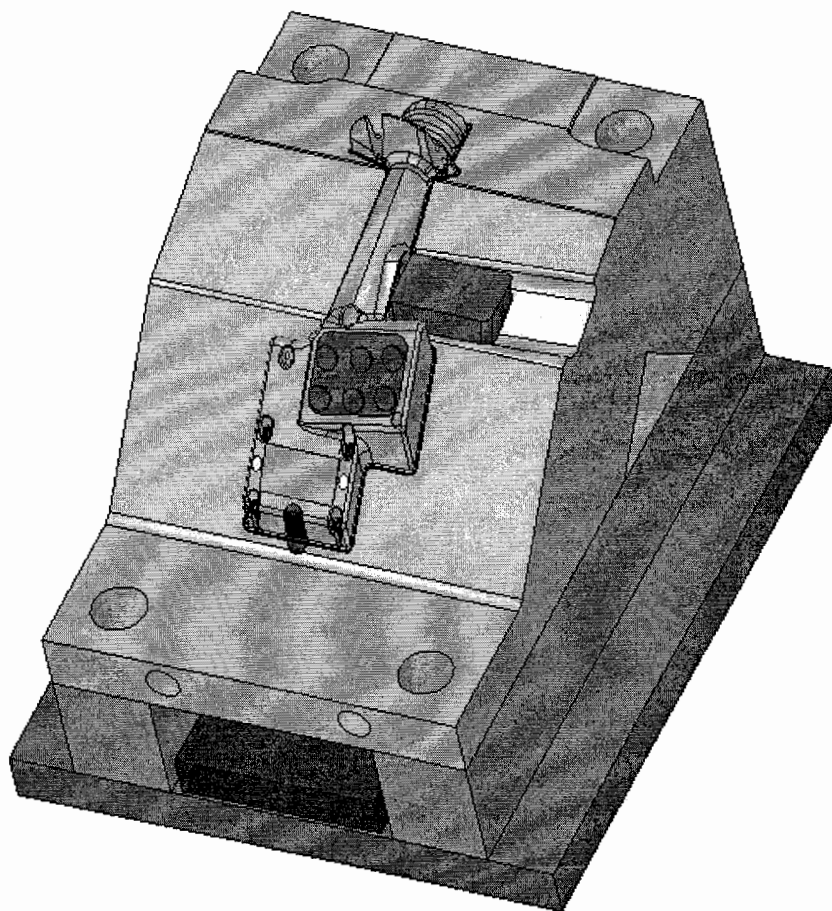
Suite à diverses consultations entre le client et le fournisseur, donnant lieu à des modifications locales du produit sans toutefois remettre en cause les fonctions de la poignée, un projet de moules a été établi. C'est ce produit et plus particulièrement un sous ensemble qui va constituer l'objet de l'étude.

L'épreuve comporte deux parties :

Première partie :

- Analyse mécanique et technologique de la solution de moulage ;
- Étude de la fabrication du noyau du moule de la demi-poignée inférieure.

Deuxième partie : exercice pédagogique exploitant les études conduites dans la première partie.



Dossier sujet

Première partie

Analyse mécanique et technologique de la solution de
moulage

Étude de la fabrication du noyau du moule de la demi-
poignée inférieure
(durée : 6 heures)

Analyse de la conception des solutions constructives des moules

Tous les document-réponse, même non utilisés, seront impérativement rendus avec les copies.

Vocabulaire :

Surface de fermeture : Surface de jonction des éléments constitutifs du produit injecté.

Surface de joint : Surface de jonction des blocs empreintes constituant le moule d'injection.

1 - Justification d'une surface de fermeture/surface de joint

1.1 - Validation de solution

Après avoir pris connaissance du dossier sujet et du dossier de documents annexes.

Question 1. La poignée support de l'étude peut-elle être réalisée à partir d'un seul moule d'injection ?

Les réponses devront faire l'objet d'une ou plusieurs justifications en s'intéressant plus particulièrement :

1-1.Au point de vue fonctionnel du produit fini (Poignée équipée)

1-2.Au point de vue technique d'injection plastique

1.2 - Identification de la surface de fermeture et justification

Pour aborder, vu la complexité du produit, la définition de la surface de fermeture des demi-poignées, on propose la méthode suivante :

- *Définition d'une direction de démoulage en relation avec la morphologie du produit. (Éviter les contre dépouille)*
- *Extraction de lignes (éventuellement brisées) de joint sur la pièce, c'est à dire les lignes extraites des surfaces latérales qui par projection orthogonale sur un plan perpendiculaire à la direction de démoulage définissent le contour de la surface projetée de la pièce.*
- *Choix d'une ligne parmi celles potentielles la plus simple possible.*

Question 2. Pour la poignée (qui sera composée de 2 demi-poignées), choisir parmi les deux solutions proposées de direction de démoulage, en le justifiant, celle compatible avec le procédé.

Tracer alors en bleu sur le Document réponse R1, pour les vues de la poignée complète, la ligne de joint qui en découle.

Le client souhaite que tous les composants constitutifs de l'ensemble soient assemblés sur une seule des demi-poignées avant fermeture de l'ensemble.

Question 3. Justifier la solution de la surface de fermeture, pour les demi-poignées, définie par la ligne de joint proposée?

1.3 - Compléments sur la structure des moules

La stratégie définitive de conception du moule a dès lors été établie en choisissant de confondre surface de fermeture et surfaces de joint pour chaque demi-poignée.

Question 4. Proposer une solution pour répondre favorablement aux exigences du client concernant la modularité des composants à intégrer sur le produit ?

2 - Réalisation des alésages latéraux de la demi-poignée

Après concertation avec le client, ce dernier a exprimé une contrainte forte vis-à-vis des alésages latéraux de la demi-poignée en souhaitant que ceux-ci soient élaborés en pleine matière. Cette volonté découle d'une optimisation de l'assemblage du produit par l'implantation et le câblage des boutons et de l'afficheur sur une seule demi-poignée.

Nous allons donc dans cette partie valider la solution cinématique retenue pour l'ensemble de solides conduisant à l'obtention de ces alésages.

2.1 - Gestion du démoulage latéral :

2.1-1 : Validation des mouvements (Etude Cinématique)

Pour chaque calcul: présenter l'expression algébrique, puis effectuer l'application numérique.

Question 5. A partir des fonctions que doit remplir le moule d'injection, justifier la nécessité d'un mouvement relatif pièce/noyau suivant \bar{x} conformément au Document A2.

Question 6. Pour la solution cinématique proposée document A2 exprimer la vitesse du noyau par rapport au moule suivant \bar{x} notée $V_{x\ 4/0}$ en fonction des paramètres géométriques et de la vitesse de la batterie d'éjection par rapport au moule notée : $V_{1/0} = d\lambda/dt$. Conclure quant à la structure cinématique proposée.

$$\text{Données : } d\lambda/dt = 6.10^2 \text{ m/s}$$

Question 7. Dans l'hypothèse où le modèle global de contact éjecteurs/pièce est celui d'un appui plan parfait conformément au schéma cinématique précédent et que l'on suppose de plus une adhérence importante entre la pièce et le noyau, due à la contraction de matière lors du refroidissement, montrer alors que l'extraction du noyau doit être réalisé avant que la pièce ait quitté complètement l'empreinte (Liaison 5/0 non rompue)

Par conséquent, on en déduit la hauteur maximale nécessaire de déplacement de la batterie d'éjection avant dégagement complet du noyau de la pièce. On note h_{lim} , cette valeur.

$$\text{Données : } h_{lim} = 20 \text{ mm}$$

Question 8. En déduire l'expression littérale de α_4 maxi en fonction de h_{lim} et e , répondant à la contrainte précédemment exprimée concernant les conditions d'extraction du noyau.

On appelle « e » l'épaisseur de la pièce injectée.

$$\text{Données : } e = 3 \text{ mm}$$

2.1-2 : Problématique des efforts de contact dans la liaison noyau/moule

Hypothèses de travail :

✗ On considère le problème comme un problème plan et les études de dimensionnement feront l'objet d'étude de statique.

✗ On modélise l'action de la pièce sur le noyau par un glisseur passant par B (Document A4) suivant l'axe \bar{x} :

$$\{F_{5 \rightarrow 4}\}_B = \left\{ \begin{array}{l} \vec{F}_{dém} = -F_d \cdot \vec{x} \\ \vec{0} \end{array} \right\}_B \quad \text{Telle que } F_d \text{ est proportionnelle à la surface de contact pièce/noyau.}$$

✗ On suppose que lors de l'éjection, la surface de contact noyau/moule est la surface supérieure de la glissière, qui constitue alors un appui plan non parfait de coefficient de frottement $f = 0.5$.

✗ On néglige les actions de pesanteur.

Question 9. Montrer graphiquement sur le Document réponse R2 que l'étude de la position initiale correspondant à la bielle verticale est celle qui génère les actions les plus importantes au contact noyau/moule.

Les différentes constructions qui ont conduit au résultat devront faire l'objet d'explications.

Question 10. Déterminer de manière graphique (Document réponse R2) pour les deux cas proposés fonction de α_4 la composante d'action tangentielle du contact noyau/moule. Conclure quant à l'influence de $\alpha_{4\sigma}$ sur les actions de contact. L'étude sera menée dans le cas de la position initiale

Question 11. Déterminer au point M (Document A4) milieu du contact supposé noyau/moule, l'expression littérale de la résultante et du moment des efforts de contact en fonction de $F_{\text{dém}}$ et de la géométrie.

$$\text{On notera ce torseur : } \{F_{0 \rightarrow 4}\}_M = \left\{ \begin{array}{l} \vec{R}_{04} \\ \vec{M}_{M,04} \end{array} \right\}_M$$

On donnera les composantes du torseur dans la base (u_4, v_4) définie sur le Document A4 figure 1

Question 12. En supposant une répartition des efforts normaux au contact noyau/moule de type linéaire conformément au Document A4 figure 2, déterminer l'expression littérale de la pression maximale de contact pour qu'elle soit compatible avec le torseur déterminé à la question précédente.

Question 13. Quelle est la condition sur les composantes de résultante et du moment du torseur des actions mécaniques $\{F_{0 \rightarrow 4}\}_M$ pour que l'hypothèse de contact sur la surface supérieure du guidage soit validée, sachant que :

$$p_{\min} = 0,5 \cdot (3 \cdot N_{04} + d_4 \cdot Y_{04}) / d_4^2 \quad p_{\max} = 0,5 \cdot (-3 \cdot N_{04} + d_4 \cdot Y_{04}) / d_4^2$$

Question 14. Dans le cas contraire, comment doit-être abordé le problème ?

2.1-3 : Justification du choix de matériaux et traitements associés

Le dimensionnement en efforts a conduit au choix, pour le noyau, du matériau suivant:

Code DIN 2738 – NF EN 40 Cr Ni Mo 8-6-4

Question 15. Expliciter la composition de ce matériau ;

Afin d'assurer sa fonction, le noyau doit subir un traitement de trempe et revenu.

L'obtention des caractéristiques souhaitées passe par la non transformation bainitique lors du refroidissement.

Question 16. Déterminer alors à partir des courbes fournies sur le Document A5 :

La température de trempe.

Le temps limite avant lequel le matériau doit avoir atteint une température de 300°C.

La température du revenu afin d'obtenir une caractéristique de 50HRc.

Question 17. Quels effets principaux ont eu ces traitements sur les caractéristiques de ce matériau ? Justifier fonctionnellement ces modifications voulues.

2.2 - Justification de cotation et analyse de spécifications

2.2-4 : Préambules

Chronologie de la fermeture du moule afin de permettre l'injection d'une nouvelle demi-poignée:

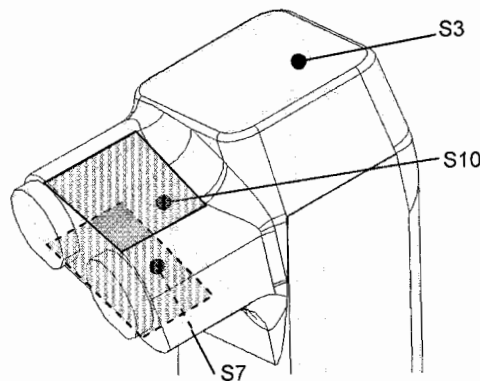
- Recul de la batterie d'éjection qui entraîne le noyau à $\approx 0,5$ mm de sa position d'injection
- Fermeture de la partie mobile du moule, le plan supérieur du noyau (Document A7 surface S3) bute alors contre la surface correspondante du bloc empreinte extérieur (partie fixe du moule).
- La partie mobile du moule termine sa translation, alors que la le noyau lui est arrêté contre la partie fixe.
- La fermeture se termine alors lorsque les surfaces de joint des deux demi-moules sont en contact.

La position relative finale des pièces mobiles est définie sur le Document A6.

Question 18. Concernant la liaison entre le pied de la bielle de noyau et la crapaudine que faudra-t-il prévoir pour que le noyau puisse translater lorsque que la batterie d'éjection est en butée et que la partie mobile du moule termine sa course pour obtenir le contact entre les deux surfaces de joint (empreinte mobile/empreinte fixe) (Document A6).

2.2-5 : Cotation fonctionnelle :

Question 19. A partir du dessin partiel du moule assemblé (Document réponse R3), tracer les chaînes de cotes unidirectionnelles permettant de déterminer les spécifications dimensionnelles du noyau et des deux blocs empreintes concernant les surfaces S3, S7 et S10.



Données :

Jeu mini Noyau/ Blocs empreintes = 0

Jeu maxi Noyau/Blocs empreintes = 0.02 (pour éviter fuites lors de l'injection)

Pour la répartition des IT sur les différentes cotes de la chaîne, choisir en le justifiant parmi les cas suivants proposés :

- ♦ ITmoule = ITnoyau
- ♦ ITmoule > ITnoyau
- ♦ ITmoule < ITnoyau

Question 20. A partir des résultats précédents, en supposant que $IT_{noyau} = 0,005$ mm, transposer votre exigence dimensionnelle précédente à celle géométrique adaptée concernant l'exigence fonctionnelle équivalente pour la surface « S3 » (Document R3)

Les valeurs des IT mis en jeu ainsi que l'approche quasi-unitaire de la production ne permettent pas une approche classique de fabrication. Nous allons développer dans la suite, les concepts de réalisation de produit répondant à la fonction des demi-poignées.

Fabrication du noyau

Pour répondre au problème précédent, la stratégie choisie est celle de mesurer des dimensions de l'empreinte obtenue pour la partie de moule accueillant le noyau et de réaliser ce dernier alors ajusté à ces dimensions.

3 - Stratégie d'usinage de la préforme du noyau par électroérosion au fil et finition sur centre 4 axes (pièce quasi unitaire avec ajustage)

3.1 - Gestion de l'électroérosion (Obtention de la préforme) :

Remarque : le brut disponible est une plaque dont les faces définissant sa hauteur auront été préalablement rectifiées. Hauteur = 36,54 ; Longueur = 300 ; largeur = 200

Question 21. Détermination des paramètres d'érosion

Données du processus :

- Diamètre de fil 0,25 mm,
- Matériau à éroder : Code DIN 2738 – NF EN 40 Cr Ni Mo 8 6-4,
- Géométrie à éroder (Document A8),
- Surépaisseur 0,5 mm (voir Document A8).

A partir de la documentation de gestion du procédé (Documents A9), choisir l'enchaînement éventuel des régimes d'usinage en fonction des exigences à obtenir.

Question 22. Spécificité du processus

Dans le cas où l'obtention de la préforme est réalisé par un enchaînement de plusieurs régimes (opérations), il est nécessaire de prévoir de ne pas découper complètement le contour dès le premier régime, pour cela il faut prévoir une attache entre la préforme et le brut. L'opération finale de la phase d'électroérosion conduit quant à elle à séparer la préforme du brut. On va donc s'intéresser à cette attache qui ne fait pas l'objet d'un dimensionnement. On considérera donc une attache de largeur 4 mm.

Quels sont les critères qui conduisent au choix du lieu de l'attache ?

Question 23. Définition des trajectoires :

Tracer sur le dessin de phase (Document réponse R4)

1. la disposition relative de la pièce usinée par rapport au brut (la situation relative de la pièce dans le brut proposée sur le document A9 est une solution possible),
2. La situation de l'attache,
3. le repère de programmation,
4. les trajectoires pour chacun des régimes en précisant les points d'entrée et sortie ainsi que le sens de parcours,
5. les trajectoires d'engagement et déengagement tangentiel du fil sur le contour si nécessaire.

Remarque : Le candidat est invité à utiliser une couleur différente pour chacun des régimes choisis. Le sens de parcours d'une trajectoire sera indiqué par un fléchage.

Question 24. Gestion de l'usinage

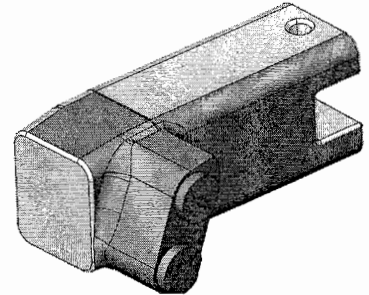
Afin d'assurer les dimensions souhaitées ou de gérer d'éventuelles surépaisseurs pour les usinages suivants, il y a lieu de définir un décalage complémentaire pris en compte pour le calcul de la trajectoire du fil (Paramètre CLE - Document A9).

Pour chacun des régimes choisis, déterminer les valeurs du paramètre CLE.

3.2 - Usinage sur centre d'usinage 4 axes à broche horizontale :

3.2-1 : Gestion de l'orientation :

Question 25. Montrer qu'il n'est pas possible de réaliser en une seule phase sur un centre 4 axes à l'aide d'une fraise cylindrique à bout plat le groupe de surfaces repérées {S4 ; S6 à S23 ; S30 ; S31 ; S35 ; S36} (de couleur foncée sur la figure ci-contre). Voir repérage des surfaces sur Document A7.

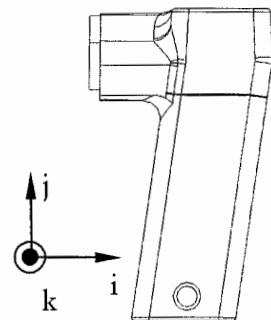


Question 26. Afin d'assurer la réalisation du groupe de surfaces {S4 ; S6 à S23 ; S30 ; S31} en une seule phase sur un centre 4 axes, la stratégie d'usinage s'est orientée vers des opérations de balayages à l'aide d'une fraise cylindrique à bout hémisphérique pour les surfaces {S6 à S14 ; S20 à S23 ; S30 ; S31}.

Proposer alors deux orientations possibles de la pièce dans l'espace de la machine, compatible avec :

- La réalisation des surfaces {S15 à S19} en contournage à l'aide d'une fraise à bout plat et la réalisation des surfaces {S35 ; S36} en surfaçage à l'aide du même outil,
- Le surfaçage S4,
- Les balayages pour les surfaces restantes.

Le résultat sera présenté sous la forme d'un tableau dans lequel vous préciserez la correspondance entre les axes normalisés de la machine outil et ceux de la figure fournie ci-contre, sur laquelle la silhouette de la pièce préfigure sa mise en position dans l'espace de la machine.



Exemple :

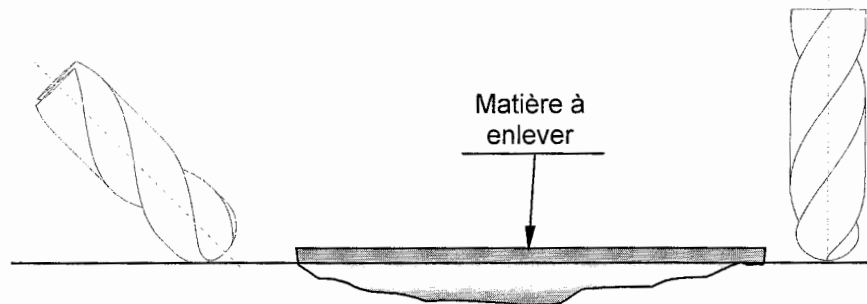
Axes MOCN	Sol 1	Sol2
X	i	
Y	j	
Z	k	
B	?	

Remarque : L'exemple précédent ne présume en rien des solutions attendues et n'est donné que pour mettre en place un formalisme de réponse.

Question 27. Pour les deux solutions, préciser la possibilité de réalisation du ou des alésage(s) [Ø6] et/ou de la rainure [largeur 15] de pied de bielle. Vous préciserez alors le(s) type(s) d'opération(s) et le(s) outil(s) employé(s).

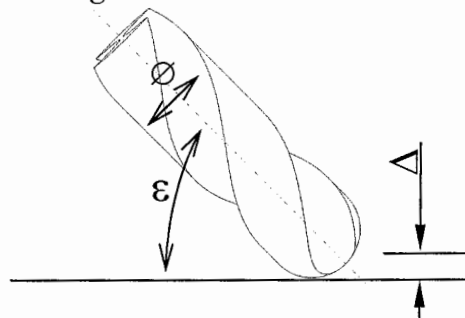
3.2-2 : Gestion de la coupe :

Question 28. Pour les deux cas présentés ci-dessous, d'orientation de la fraise par rapport à la surface à générer, représenter sur votre copie la position de la ligne de contact outil/matière, sachant que l'outil utilisé est une fraise à bout hémisphérique.



Question 29. En déduire, l'orientation préférentielle vis-à-vis de la coupe en la justifiant.

Question 30. Montrer qu'il existe un angle d'inclinaison outil/surface à générer noté $\varepsilon_{\text{limite}}$ qui modifie la longueur de contact outil/pièce. On vérifiera la relation $\varepsilon = \arccos(1-2\Delta/\varnothing)$ où Δ désigne la surépaisseur d'usinage et \varnothing le diamètre de l'outil.



Question 31. A partir de l'exigence d'état de surface de S6, définir le paramètre d'engagement radial a_r compatible en fonction du diamètre de l'outil. On montrera de plus qu'il est indépendant de l'orientation pour $\varepsilon > \varepsilon_{\text{limite}}$ (Une solution graphique est acceptée)

Question 32. Déterminer numériquement les valeurs limites de ε et a_r , pour :

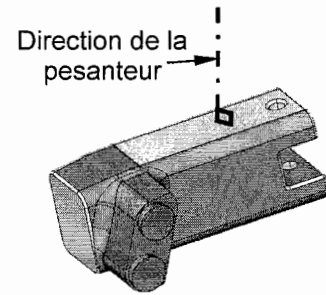
- un outil de $\varnothing = 8 \text{ mm}$
- un engagement $\Delta = 1 \text{ mm}$

Question 33. Pour la solution de la question 32 conduisant à l'obtention du maximum de surfaces dans une même phase, montrer que la gestion de la trajectoire de l'outil afin de maîtriser au mieux la coupe lors du balayage nécessite un pilotage en continu de l'axe rotatif et ce, quelque soit le plan de balayage. Qu'en est-il pour l'autre orientation ?

La stratégie choisie par le fabricant s'oriente vers une solution d'orientation « horizontale » de la pièce pour une première phase conduisant à l'obtention des surfaces {S4 ; S6 à S23 ; S30 ; S31 ; S35 ; S36} et de la rainure [largeur « 15 »] (de couleur foncée sur la figure ci-dessous), dans une seconde phase, le perçage/alésage des pieds de bielles et la finition des surfaces restantes par balayage {S24 à S28} seront obtenus.

3.2-3 : Porte-pièce :

Pour l'orientation pièce dite « horizontale » conformément au schéma ci contre (le sens étant laissé au choix du candidat) :



Question 34. En le justifiant, donner sous forme schématique normalisée sur le document réponse R5, une mise en position et un maintien en position de la pièce (Symboles de base) permettant le respect de la stratégie d'usinage.

Question 35. Définir pour l'ensemble de la phase, les outils nécessaires et leur morphologie (forme, limites des dimensions caractéristiques, modes d'attachement)

Question 36. Représenter alors à l'échelle sur le dessin de la palette du document réponse R6, la position de la pièce permettant un usinage de toutes les surfaces dans les limites raisonnables des capacités : machine, outils et porte-outil.

Question 37. Représenter sur le document réponse R6 autour de la pièce précédemment représentée, le porte-pièce qui permettra d'assurer la mise en position et son maintien en position.

Deuxième partie

Exercice pédagogique

(durée : 2 heures)

Cette partie permet d'évaluer les capacités des candidats à utiliser le support étudié précédemment pour élaborer un exercice d'évaluation des connaissances et méthodes acquises par les étudiants.

Thème de l'exercice

L'exercice d'évaluation concerne les capacités C2-3 (Choisir et optimiser la fabrication, les méthodes et les moyens) du référentiel du B.T.S. Étude et Réalisation d'Outillages de Mise en Forme des Matériaux. (Voir Document A11).

Attention au sens du mot outillage dans le contexte considéré : il s'agit ici, par exemple, du moule qui sera mis en œuvre pour injecter la demi-poignée avant.

On s'intéresse au procédé d'électroérosion par découpe au fil de la préforme du noyau.

L'objectif est de justifier l'utilisation de ce procédé d'obtention de surfaces pour préparer les opérations de fraisage du noyau?

(Deux feuilles de calque vous sont proposées pour vous aider à présenter vos documents.)

Mise en situation :

L'exercice fait suite à l'ensemble des activités de formation des étudiants nécessaires à son bon déroulement.

Dès lors, les étudiants sont donc en possession des savoirs associés à l'activité proposée. De plus, ils connaissent, maîtrisent et disposent des moyens à retenir pour mener à bien l'activité.

Question 38. Le support proposé est-il représentatif des situations de mise en œuvre du procédé d'électroérosion par découpe au fil ?

Elaboration des documents de travail

Question 39. Proposer la forme du document réponse, que devront compléter les étudiants, décrivant les étapes du processus de réalisation du noyau du moule.

Question 40. Présenter le document contenant les éléments de corrigé.

Question 41. Proposer des critères d'évaluation du document réponse

Question 42. En supposant que les résultats de l'évaluation ne sont pas conformes aux exigences, quelle séquence envisagez-vous de mettre en place ? Définir les conditions de sa réalisation (durée, effectif concerné, lieu, ...) et son contenu ? Plusieurs scénarii pourront être envisagés.