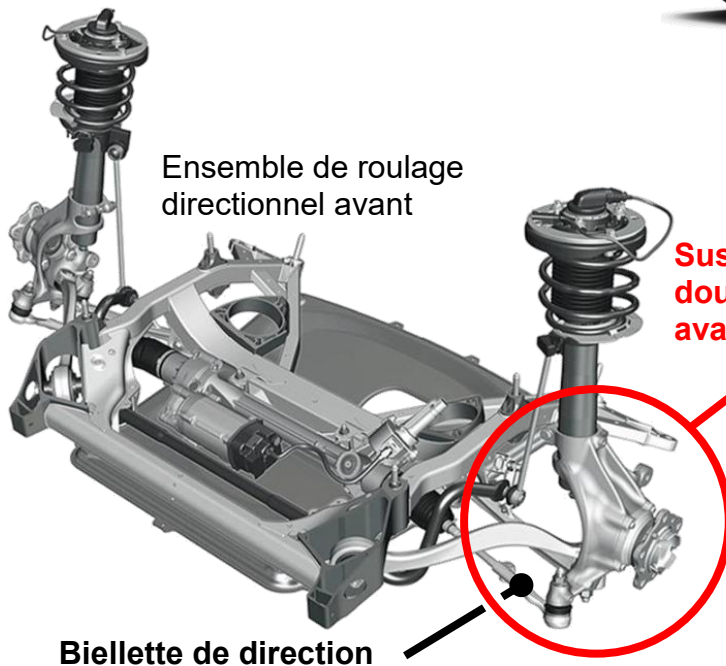


Mise en situation

Le groupe "Le Béliér" assure la production de pièces de fonderie pour le secteur automobile. Son activité est répartie mondialement sur une douzaine de sites de production. Les groupes clients sont : Bosch, Valéo, Renault, Nissan, Daimler, BMW, Peugeot Citroën.



Zone de l'étude



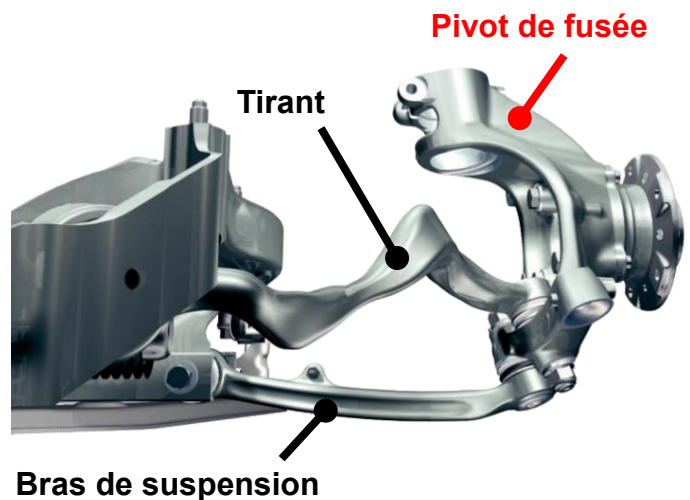
Suspension à double pivot avant gauche

Le support d'étude est une pièce de châssis d'un système de **suspension à double pivot**.

Il s'agit du "**pivot de fusée**" qui assure les fonctions de liaison au châssis du groupe de roulage et de freinage avant.

Biellette de direction

Le classique triangle de suspension inférieur est remplacé par deux éléments spécifiques : le **bras de suspension** situé à l'arrière et le **tirant** de forme particulière pour permettre le passage de la biellette de direction (non représentée sur la vue ci-contre).



Pivot de fusée

Tirant

Bras de suspension

Le "**pivot de fusée**" ainsi que les groupes fonctionnels associés sont présentés sur le document DT3.

Les caractéristiques attendues pour le pivot de fusée sont précisées dans le diagramme des exigences (document DT4).

L'entreprise "Le Béliér" réalise la **fonderie** et l'**usinage** des pièces. Le processus est présenté sur le document DT5.

BTS conception des processus de réalisation de produits CPRP a et b		Session 2025
Épreuve E4 : Conception préliminaire	Code : 25CCE4COP	Page 2 sur 31

Partie 1 - Quel procédé de fonderie permettra l'obtention du pivot brut ?

Le site de fonderie dispose des procédés de coulée **par gravité** et **basse pression** différemment utilisés suivant les alliages et les cadences nécessaires.

Sous-partie 1.1 - Quels procédés sont compatibles avec la matière choisie ?

La matière envisagée est un **alliage d'aluminium Al Si 7 Mg 0.3** (EN AG-42100 KT6).

Question 1.1.1 | **Donner** la composition de l'alliage d'aluminium envisagé.

Répondre sur DR1

Question 1.1.2 | **Compléter** la colonne notation du tableau de comparaison des alliages qui répondent aux critères mécaniques du cahier des charges.

Répondre sur DR1

Question 1.1.3 | **Déduire** du tableau de comparaison l'inconvénient pour la fabrication de la teneur en silicium. **Donner** les deux alliages les mieux adaptés au procédé global comprenant la fonderie, le traitement thermique et l'usinage.

Répondre sur DR1

Question 1.1.4 | **Tracer** sur le graphe, les limites vous permettant d'effectuer vos choix en fonction des caractéristiques attendues d'état de surface et de tolérance dimensionnelle. **Entourer** la zone d'acceptation .

Voir DT1

Répondre sur DR1

Les contraintes liées aux prévisions de production du secteur de l'automobile et les cadences associées imposent des procédés de fonderie automatisés adaptés pour les grandes séries.

Question 1.1.5 | À l'aide du document DT6, **indiquer** quels procédés de fonderie sont compatibles pour l'alliage d'aluminium envisagé.

Voir DT6

Répondre sur DR1

Conclure quant à la faisabilité de la fonderie de l'alliage sur le site.

Sous-partie 1.2 - Quel procédé pourra répondre aux prévisions de production ?

Question 1.2.1 | À l'aide des informations du document DT6, **compléter** l'étude définissant les avantages et inconvénients des procédés disponibles sur le site.

Voir DT6

Répondre sur DR2

Le coefficient de mise au mille est le rapport entre la masse d'alliage coulé et la masse de la pièce obtenue après ébarbage.

Le masselotage de la coulée par gravité génère une mise au mille forte de valeur égale à 1,9.

Le procédé de coulée basse pression réduit la mise au mille à une valeur égale à 1,1.

Question 1.2.2 | En tenant compte d'une masse du brut ébarbé égale à 3,120 kg, **calculer** la masse d'alliage gagnée par pièce, entre chacun des deux procédés.

Répondre sur DR2

Question 1.2.3 | En considérant un gain de matière d'environ 2,5 kilogrammes par pièce et un prix de refonte des masselottes estimé à 0,5 euros par kilogramme, **calculer** le gain possible sur la production cumulée de 415 000 pièces sur quatre ans.

Répondre sur DR2

L'investissement d'une nouvelle ligne de coulée basse pression est de l'ordre de 800 k€.

Question 1.2.4 |

BTS conception des processus de réalisation de produits CPRP a et b		Session 2025
Épreuve E4 : Conception préliminaire	Code : 25CCE4COP	Page 3 sur 31

Conclure quant à la pertinence de l'investissement d'une nouvelle ligne dédiée uniquement à la production du pivot.

Le site de fabrication dispose actuellement de carrousels rotatifs automatisés de coulée par gravité et de récentes lignes de machines de coulée basse pression.

Les ateliers fonctionnent en deux équipes par jour, soit 3840 heures par an.

Note : le TRS (Taux de Rendement Synthétique) est défini par le rapport de la production réelle sur la production maximale théorique.

Deux propositions sont envisagées :

	Proposition 1 Carrousel de coulée par gravité	Proposition 2 Ligne de coulée basse pression
Postes ou machines	3 postes de coulée	2 machines de coulée
Nombre de moule(s) par poste ou machine	2 moules	1 moule
Nombre d'empreinte(s) par moule	1 empreinte	2 empreintes
Temps de cycle d'une coulée	330 secondes	460 secondes
TRS	75 %	90 %
Temps de réalisation par pièce et par empreinte	tr1	tr2

Question 1.2.5

Répondre sur DR2

Calculer la cadence horaire nécessaire de coulée des bruts pour une production annuelle de 146 000 pièces.

Question 1.2.6

Répondre sur DR2

En tenant compte des temps de cycle d'une coulée et des TRS, **calculer** le temps de production réel d'un brut par poste ou par machine.

Question 1.2.7

Répondre sur DR2

En prenant, pour la coulée par gravité, un temps de réalisation par pièce tr1 de 3.5 minutes et pour la coulée basse pression un temps tr2 de 4 minutes, **déterminer** les cadences horaires des deux propositions.

Question 1.2.8

Répondre sur DR2

La cadence économique attendue étant de l'ordre de 40 bruts par heure, **conclure** quant au choix du procédé d'obtention de brut.

Partie 2 - Les centres d'usinages multiaxes du site conviendront-ils à l'usinage du pivot ?

Le site de production dispose de centres d'usinages multiaxes.

Les configurations des machines devront permettre si possible la réalisation complète des usinages sur **un seul poste en deux phases**, supprimant ainsi les stocks d'encours.

Sous-partie 2.1 - Quelles orientations répondent aux exigences fonctionnelles du pivot ?

Question 2.1.1

BTS conception des processus de réalisation de produits CPRP a et b		Session 2025
Épreuve E4 : Conception préliminaire	Code : 25CCE4COP	Page 4 sur 31

Voir DT1, DT2, DT3 et DT4
Répondre sur DR3

En tenant compte des contraintes fonctionnelles d'orientation relatives données sur le diagramme des exigences, **compléter** les contraintes d'orientations reliant les différents groupes fonctionnels proposés.

Sous-partie 2.2 - Peut-on réaliser le pivot en deux phases sur les centres d'usinage ?

Le regroupement des surfaces de fixation de l'étrier de frein comprend des plans opposés (2x trous Ø12.2 + méplats Ø31) obtenus en usinage simultané grâce à l'utilisation de fraises 3 tailles couplées (train de fraises).

Question 2.2.1

Voir DT1, DT2, DT3 et DT5
Répondre sur DR4

Tracer les directions d'usinage Z_{ij} des groupes de surfaces et **compléter** le tableau.

L'étude des spécifications relatives à l'alésage K du fourreau de la jambe de suspension fait apparaître le système de référence **A**, **C** et **B** (voir DT1 vue de face et vue de gauche).

Question 2.2.2

Voir DT1, DT2, DT5
Répondre sur DR4

Identifier l'angle théorique d'orientation de l'alésage K vis-à-vis de la référence **A**.

Question 2.2.3

Voir DT1, DT2, DT5
Répondre sur DR4

Surligner l'axe de rotation nécessaire sur la vue du schéma de phase envisagé pour l'usinage initial en prise sur le brut. **Représenter** le mouvement cinématique ( ou ) autour de l'axe sans préciser le sens.

L'étendue des surfaces **A**, **C** et **B** permet d'envisager la phase de reprise en définissant une **mise en position** commune sur ces surfaces.

Question 2.2.4

Voir DT1, DT5
Répondre sur DR5

Définir littéralement le type de mise en position assurée par chacune des surfaces **A**, **C** et **B**.

Représenter sur la vue du schéma de phase de reprise les symboles définissant les normales de mise en position de niveau 1 (1ère partie de la norme).

Question 2.2.5

Voir DT1, DT2 DT5
Répondre sur DR5

Compléter le tableau proposé pour définir les orientations d'usinages des groupes de surfaces

Question 2.2.6

Répondre sur DR5

En déduire le nombre d'axes rotatifs nécessaires à la réalisation de la phase de reprise.

Question 2.2.7

Voir DT7
Répondre sur DR5

Conclure quant à la possibilité de réaliser les deux phases sur le centre d'usinage bi-broche multi-axes en tenant compte des différents types de palettes.

BTS conception des processus de réalisation de produits CPRP a et b		Session 2025
Épreuve E4 : Conception préliminaire	Code : 25CCE4COP	Page 5 sur 31

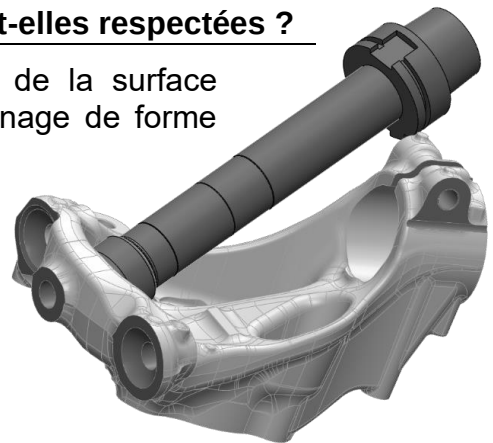
Partie 3 - Les outils de coupe proposés sont-ils en adéquation avec les performances des centres d'usinages ?

Sous-partie 3.1 - Les accessibilités des usinages seront-elles respectées ?

La phase de reprise en cinq axes comprend l'usinage de la surface sphérique **T** (voir DT2 coupe D-D) avec une tête d'usinage de forme hémisphérique sur une base d'outil modulaire.

L'angle de bascule de la pièce est limité par le secteur angulaire effectif de coupe de l'outil.

Pour une rigidité maximale et une accessibilité sans interférence avec la pièce, la simulation donne une longueur totale de l'outil comprise entre 260 et 265 mm.



Question 3.1.1

Voir DT2, DT7, DT8
Répondre sur feuille de copie

Choisir la configuration de l'outil avec le porte-outil, la rallonge et la fraise.

Donner la dimension de longueur et la référence des trois éléments.

Question 3.1.2

Voir DT7
Répondre sur feuille de copie

Vérifier la compatibilité de l'outil envisagé avec les caractéristiques du magasin outils.

Pour éviter toute collision lors du changement de l'outil ou d'une rotation de la palette, la simulation a montré que celui-ci doit être dégagé intégralement de la pièce et parcourir un recul supplémentaire de 80 mm.

Question 3.1.3

Voir DT7, DT8
Répondre sur feuille de copie

Conclure quant à l'accessibilité de cet usinage par rapport aux courses maximales de la machine.

Sous-partie 3.2 - L'investissement d'outils haute performance PCD et d'outils monobloc est-il pertinent ?

Les alliages d'aluminium usinés permettent d'envisager l'utilisation d'outils monobloc avec pastilles ou inserts PCD (Poly Cristal Diamond). Les performances des inserts PCD sont élevées avec une vitesse de coupe de $2000 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$.

Les plans seront surfacés avec des fraises de diamètre minimum 80 mm.

Question 3.2.1

Voir DT7
Répondre sur feuille de copie

Calculer la fréquence de rotation maximale.

Vérifier si les centres d'usinage permettent d'atteindre cette fréquence de rotation.

Certains alésages de la pièce pourront être eux aussi usinés avec des outils à inserts PCD.

Question 3.2.2

Voir DT1, DT5, DT7
Répondre sur feuille de copie

Calculer le diamètre minimal d'outil permettant d'atteindre la vitesse de coupe proposée vis-à-vis de la fréquence de rotation maximale du centre d'usinage.

Lister les alésages usinables au regard de la performance étudiée.

BTS conception des processus de réalisation de produits CPRP a et b		Session 2025
Épreuve E4 : Conception préliminaire	Code : 25CCE4COP	Page 6 sur 31

Le regroupement des surfaces associées aux portées sphériques **D**, **S** et **T** (voir DT2 coupes C-C, F-F et D-D) peut être envisagé en utilisant un outil monobloc combiné, dans la limite d'un investissement de 2000 euros.

Question 3.2.3 | **Calculer** pour ces groupes, le gain de temps de changement d'outil, obtenu par pièce en combinant quatre outils en un seul.

Voir DT7

Répondre sur feuille de copie

Pour un coût horaire des centres d'usinage de 95 €, **calculer** la réduction du coût d'usinage par pièce en utilisant un outil monobloc.

Question 3.2.4 | Pour une réduction d'environ 0.20 € par pièce, **déterminer** le nombre minimal de pièces permettant d'amortir l'investissement.

Répondre sur feuille de copie

Question 3.2.5 | Au regard de la production totale de 415000 pièces, **conclure** quant à la pertinence de l'investissement.

Répondre sur feuille de copie

Sous-partie 3.3 - L'obtention de l'alésage **K** en perçage est-elle possible sans noyautage pour l'obtention du pivot brut ?

L'étude de l'utilisation de noyautage pour l'alésage **K** (voir DT1 vue de face) doit être menée en parallèle aux vérifications des performances des centres d'usinage.

Les conditions de coupe recommandées pour le perçage Ø56 sont une vitesse de coupe de $460 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ et une avance f de $0,3 \text{ mm} \cdot \text{tr}^{-1}$

Le matériau utilisé est un alliage d'aluminium Al Si 7 Mg 0.3 (EN AG-42100 KT6) de dureté 90 HB.

Question 3.3.1 | À partir du tableau **déterminer** la force spécifique de coupe par unité de surface K_c en fonction du matériau usiné et de l'avance f .

Répondre sur DR6

Question 3.3.2 | **Calculer** l'effort de poussée F_f pour ce perçage avec noyautage en fonderie de l'alésage **K**.

Répondre sur DR6

Calculer la puissance de coupe nécessaire P_c .

Question 3.3.3 | **Vérifier** si le centre d'usinage permet cette opération de perçage.

Voir DT7

Répondre sur DR6

Question 3.3.4 | **Conclure** quant à la faisabilité de ce perçage en cas de conception du moule permanent avec ou sans noyautage.

Répondre sur DR6

Question 3.3.5 | **Conclure** quant à la possibilité de réalisation des pivots de fusée sur le centre d'usinage avec des outils hautes performances et des outils combinés à partir de l'ensemble des critères abordés.

Répondre sur DR6

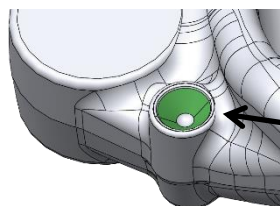
BTS conception des processus de réalisation de produits CPRP a et b		Session 2025
Épreuve E4 : Conception préliminaire	Code : 25CCE4COP	Page 7 sur 31

Partie 4 - Les outillages de prise de pièces garantissent-ils la conformité du pivot ?

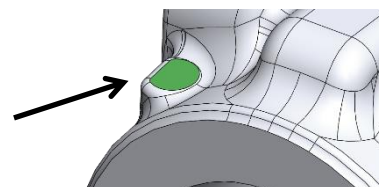
Sous-partie 4.1 - La prise de pièce initiale sur brut sera-t-elle satisfaisante ?

Pour la phase initiale, les appuis du porte-pièce sont matérialisés par des **portées hémisphériques**. Les mises en positions correspondantes sont assurées par l'ajout de formes sur le brut. Ces départs d'usinage, notés **DU** (voir documents DT1 et DT5), sont des formes acceptées par le client pour la prise de pièce initiale.

La conception préliminaire du brut définit donc trois formes additionnelles espacées :

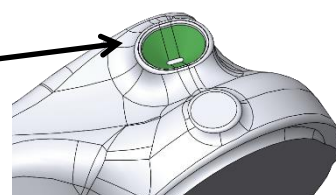


- un bossage local **plat** pour le départ d'usinage DU1



- un bossage avec un **creux** central de forme **conique** pour le départ d'usinage DU 2,3,4

- un bossage avec une **rainure** creuse centrale de forme **oblongue** pour le départ d'usinage DU 5,6



Question 4.1.1

Répondre sur DR7

Définir la liaison de mise en position assurée par chaque forme de départ d'usinage du brut.

Conclure quant au caractère isostatique du groupe des trois départs d'usinage en phase initiale.

Les efforts d'usinage sont opposés aux appuis, sauf pour le perçage latéral de l'alésage K qui engendre un effort axial d'usinage de **2800 N**.

Les serrages par bridage sont opposés aux départs d'usinage sur des bossages plats. Les brides pivotantes hydrauliques fonctionnent avec une pression de **50 bars**.

Question 4.1.2

Répondre sur DR7

La poussée axiale de perçage est répartie équitablement sur les deux départs d'usinage de DU2,3,4 et DU5,6.

Sur le graphe de résultat de simulation, **tracer** la valeur maximale de l'effort de bridage Ay opposé à l'appui DU₂₃₄. **Donner** sa valeur.

Pour la suite de l'étude, on considère que le serrage nécessaire d'une bride est égal à **2000 N**.

Question 4.1.3

Voir DT9

Répondre sur DR7

L'encombrement réduit des porte-pièces impose une limite des corps de bride à un diamètre d'implantation de **50 mm** dans la base de l'outillage. **Choisir** le ou les vérins compatibles.

Question 4.1.4

Voir DT9

Répondre sur DR7

Relever sur le ou les abaques, la force de serrage effective pour le ou les vérins compatibles.

Conclure quant au maintien en position de la pièce en phase initiale.

BTS conception des processus de réalisation de produits CPRP a et b		Session 2025
Épreuve E4 : Conception préliminaire	Code : 25CCE4COP	Page 8 sur 31

Sous-partie 4.2 - La reprise de pièce sur les surfaces **A**, **C** et **B** permet-elle de garantir la conformité de la pièce ?

L'outil monobloc combiné, qui réalise le perçage et l'usinage de la portée sphérique **D** (voir DT2 coupe C-C) de rotule de la barre de direction, provoque un effort axial d'usinage de **2500 N**. Les déformations lors de l'usinage doivent être contenues pour assurer le respect des spécifications géométriques.

Le bureau des méthodes à déterminer les contraintes d'orientation et de position de la zone de tolérance de la spécification géométrique de la surface sphérique **D** de rayon R 22 par rapport aux références **A**, **C** et **B**. On cherche à identifier les surfaces de références en vue de créer la gamme de contrôle de cette spécification

Question 4.2.1 | **Compléter** l'interprétation de la spécification géométrique de la surface sphérique **D** de rayon R 22 par rapport aux références **A**, **C** et **B**
Voir DT1, DT2
Répondre sur DR8

On simule en déformation et contraintes le comportement de la pièce sous l'effort de poussée des opérations associées de perçage et d'obtention de la sphère par un outil combiné.

Question 4.2.2 | **Relever** la valeur maximale de la contrainte et la **comparer** à la valeur de résistance Re admissible.
Voir DT10, DT5
Répondre sur DR7

Question 4.2.3 | **Relever** la valeur de déformation simulée maximale de la surface **D**.
Justifier la compatibilité de cette déformation avec la tolérance de forme de la surface **D**.
Conclure quant à la qualification partielle par simulation du montage de reprise.
Voir DT10
Répondre sur DR7

Partie 5 - Quel procédé de finition sera économiquement optimal pour l'obtention d'une empreinte du moule de fonderie ?

Les moules sont usinés dans des aciers de type X38CrMo5 ou 45CrMnMo8 pré-traités pour une résistance élastique de 800 MPa.

Les modes d'obtention des outillages sont : **électroérosion par enfonçage EDM** (electrical discharge machine), ou **usinage UGV** (usinage grande vitesse).

La grande qualité des états de surface obtenus en UGV doit nécessiter une **reprise manuelle** afin de dégrader localement les surfaces et ainsi permettre un effet de « peau » lors de la coulée.

Sous-partie 5.1 - Quelle machine sera la plus performante pour la finition ?

Question 5.1.1 | Pour une valeur de rugosité arithmétique Ra comprise entre 4 et 10 microns, **déterminer** les valeurs limites de profondeur de rugosité Rz à partir du graphe de conversion du document technique.
Voir DT11
Répondre sur DR9

L'ébauche de l'empreinte est réalisée sur un centre UGV 5 axes équipé d'une broche 18000 tr·min⁻¹. La finition des surfaces et des congés de raccordement peut être assurée avec une fraise hémisphérique et une fraise « tonneau », de diamètre 8 mm.

La fraise hémisphérique sera utilisée pour la finition des surfaces de fond d'empreinte.

BTS conception des processus de réalisation de produits CPRP a et b		Session 2025
Épreuve E4 : Conception préliminaire	Code : 25CCE4COP	Page 9 sur 31

La fraise tonneau sera utilisée pour l'usinage des parois proches de la verticale (grand rayon latéral de l'ovale) et pour le suivi des congés de faible rayon en pointe.

Question 5.1.2 | En prenant comme cible une valeur moyenne de profondeur de rugosité R_z égale à **25** μm , et en suivant la démarche du document réponse DR9, **relever** les paramètres de coupe conseillés et **calculer** le pas de balayage pour l'obtention en finition UGV des surfaces.

Voir DT11, DT12

Répondre sur DR9

Question 5.1.3 | **Déterminer** les valeurs de vitesse d'avance V_{f2} et de vitesse surfacique V_{s2} , pour chaque fraise, à partir des paramètres de coupe donnés dans le tableau du document réponse DR9.

Voir DT12

Répondre sur DR9

Question 5.1.4 | **Calculer** le temps nécessaire à la finition de la partie basse de l'empreinte.

Voir DT12

Répondre sur DR9

Dans le cas de l'utilisation d'une machine d'électroérosion par enfonçage, la phase de finition doit permettre l'obtention d'une valeur cible de rugosité arithmétique de 7 microns avec une usure limitée de l'électrode comprise entre 0.1 et 0.3%.

Question 5.1.5 | **Choisir** le régime d'enfonçage nécessaire.

Voir DT13

Répondre sur DR10

Déterminer le débit d'enfonçage probable de finition.

Question 5.1.6 | Pour une surface d'empreinte basse de 63160 mm^2 avec une surépaisseur après ébauche de 0.25 mm et un régime d'enfonçage ajusté à une vitesse de 50 $\text{mm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$,

Répondre sur DR10

Calculer à partir de l'aire de la surface et de l'épaisseur, le volume de matière à enlever.

Définir le temps nécessaire à la finition.

Question 5.1.7 | **Conclure** quant au choix du procédé en regard du temps de réalisation.

Répondre sur DR10

Sous-partie 5.2 - Quel procédé de finition sera le plus rentable ?

Question 5.2.1 | À partir des informations données pour chaque procédé sur le document réponse DR10, **compléter** le tableau afin de déterminer les coûts relatifs des deux procédés avec les informations ci-dessous. (hors coûts d'outillage autres)

Répondre sur DR10

Taux horaire UGV 5 axes : 85 $\text{€} \cdot \text{h}^{-1}$

Taux horaire EDM : 55 $\text{€} \cdot \text{h}^{-1}$

Taux horaire CU pour usinage de l'électrode : 65 $\text{€} \cdot \text{h}^{-1}$

Taux horaire égrainage manuel : 35 $\text{€} \cdot \text{h}^{-1}$

Coût matière de l'électrode pour 6 empreintes : 660 €

Question 5.2.2 | **Conclure** au regard de l'ensemble des critères abordés quant au choix du procédé de finition de l'empreinte inférieure du moule.

Répondre sur feuille de copie

BTS conception des processus de réalisation de produits CPRP a et b		Session 2025
Épreuve E4 : Conception préliminaire	Code : 25CCE4COP	Page 10 sur 31