



Département de Génie Mécanique

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de :

MASTER

En Génie Mécanique

Option : Fabrication mécanique et productique

Présenté par :

GHADRI Oualid & BRAKHLIA Akram

Thème

PROGRAMMATION ET REALISATION D'UN ACCOUPLEMENT MECANIQUE FLEXIBLE SUR MOCN A 3 AXES

Devant le jury composé de :

NOM et Prénom	Grade	Qualité
MAKRI H.	MCA	Président
ARSLANE M	DOCTEUR	Encadrant
HOCINE M	MCB	Examineur

Année Universitaire : 2022 / 2023

N° d'ordre : GM/...../2022

REMERCIEMENTES

Tout d'abord, nous remercions Dieu notre Créateur

Cela nous donne la force de faire le travail.

Tout d'abord, nous tenons à remercier

Encadreur Dr : ARSLANE MUSTAPHA

Pour ses conseils

Et ses instructions. Merci à ses conseils et encouragements.

Son soutien moral que nous avons pu faire

Ce travail de recherche.

Nous n'oublierons jamais assez de remercier tous les

Enseignants du Département de génie mécanique de l'Université de M'sila

Pour contribuer à notre formation, ainsi qu'à tout

L'équipe administrative du Département de génie mécanique

Nous tenons également à remercier tous nos amis qui

Aidez-nous dans notre travail.

Enfin, un grand merci à nos familles pour leur

Soutien

Table des matières

LISTE DES FIGURES	5
Introduction générale	8
CHAPITRE I : Généralité sur les accouplements mécaniques flexibles	9
I.1 Définition d'accouplement mécanique flexible	10
I.2 Types des accouplements mécaniques flexibles	10
I.2.1 Accouplement à soufflet	10
I.2.2 Accouplement à lamelles	11
I.2.3 Accouplement à engrenages	11
I.2.4 Accouplement à disque.....	11
I.3 Rôles des accouplements mécaniques flexibles	12
I.4 Composants principaux	13
I.4.1 Moyeu d'arbre	13
I.4.2 Élément élastique	13
I.4.3 Corps de l'accouplement.....	14
I.4.4 Boulons de fixation	14
I.4.5 Lubrification.....	14
I.5 Choix et dimensionnement des accouplements mécaniques flexibles	15
I.5.1 Le choix de l'accouplement est fonction des critères suivants	15
I.5.2 Le dimensionnement des accouplements flexibles	15
<i>I.5.2.1 Guide de choix d'un accouplement :</i>	16
Conclusion	18
CHAPITRE II : Machines-outils à commande numérique et Langages de programmation	19
Introduction	20
II.1 Machines-outils à commande numérique	20
II.1.1 Définition.....	20
II.1.2 Principe de fonctionnement.....	21
II.1.3 Éléments de la machine-outil à commande numérique (structures)	21
II.1.4 Classification des machines outil à commande numérique	22
<i>II.1.4.1 Classification des MOCN selon le mode de fonctionnement</i>	22
<i>II.1.4.2 Classification des MOCN selon le nombre d'axe</i>	24
<i>II.1.4.3 Classification des MOCN selon le mode d'usinage</i>	26
II.1.5 Types de machines outil à commande numérique :	26

II.2 Langage de programmation	27
II.2.1 Les codes ISO	27
II.2.2 Poste processing	28
II.2.3 Instructions de G Code et leurs significations	29
II.2.4 Interfaces de programmation.....	29
Conclusion	31
CHAPITRE III : Modélisation d'accouplement mécanique flexible	32
III.1 Introduction	33
III.2 Etapes de Modélisation	33
III.2.1 Modélisation du corps principal de l'accouplement.....	33
III.2.2 Modélisation de l'élément élastique	37
Conclusion	38
CHAPITRE IV : Programmation et Réalisation d'un accouplement flexible	39
IV.1 Introduction	40
IV.2 Programmation et réalisation de l'élément flexible	40
IV.3 programmation et réalisation les deux éléments métalliques en AL	41
IV.4 quelques photos du processus de fabrication	46
Conclusion	47
Conclusion générale	49
Références	50
ملخص:	51
Résumé :	51
Abstract :	51

LISTE DES FIGURES

Figure I.1 :Accouplement.....	9
Figure. I.2 :Accouplement à soufflet.....	10
Figure. I.3 : Accouplement à lamelles.....	10
Figure. I.4 :Accouplement à engrenages.....	11
Figure. I.5 :Accouplement à disque.....	11
Figure. I.6 :Liaisons arbre-moyeu expansibles.....	13
Figure. I.7 :Élément élastique.....	13
Figure. I.8 :Corps de l'accouplement.....	14
Figure. I.9 :Boulons de fixation.....	14
Figure. II.1 :Structure d'une machine-outil à commande numérique.....	18
Figure. II.2 : Fonctionnement en boucle ouvert.....	20
Figure. II.3 :Commande adaptative.....	21
Figure .II.4 :Commande en boucle fermée.....	22
Figure .II.5 :Tableau de Classification suivant le nombre d'axe.....	23
Figure .II.6 : : Axes Primaires Et Axes Additionnels.....	23
Figure .II.7 : Trajectoires en positionnement point à point.....	24
Figure .II.8 : Fraisage par axiale.....	25
Figure .II.9 : Opération de contournage tournage.....	25
Figure .III.1 :Modélisation l'élément aluminium.....	34
Figure .III.2 :Modélisation l'élément élastique.....	35
Figure III.3 :Assemblage de l'élément flexible et les deux pièces.....	36
Figure III.4 :Assemblage de l'élément flexible et les deux pièces.....	37
Figure IV.1 : imprimante 3D du type ANYCUBIC.....	39
Figure IV.2 : forme de l'élément flexible.....	40
Figure IV.3 :type de machine CNC.....	41

Figure .IV .4 :forme de deux pièces.....52

Figure .IV .5 :forme de accouplement mécanique.....53

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

La technologie de commande numérique a révolutionné le domaine de l'usinage et de la fabrication, permettant une automatisation précise et efficace des opérations. Les machines-outils à commande numérique (MOCN) offrent une grande flexibilité et une précision accrue, permettant ainsi de réaliser des pièces complexes avec une grande qualité. Cependant, l'un des défis majeurs dans la conception et la réalisation de ces machines réside dans la transmission du mouvement entre les différents axes.

C'est dans ce contexte que s'inscrit notre sujet de recherche, intitulé "Programmation et réalisation d'un accouplement mécanique flexible sur MOCN à 3 axes". L'objectif principal de ce travail est de développer un accouplement mécanique flexible qui permettra une transmission précise et efficace du mouvement entre les différents axes de la machine.

Ce mémoire est structuré en quatre chapitres, chacun abordant une facette spécifique de notre sujet. Le premier chapitre offre une introduction générale aux accouplements flexibles, en mettant en évidence leur importance dans la transmission du mouvement et en présentant les différents types d'accouplements disponibles. Nous examinerons également les critères de sélection et les caractéristiques clés à prendre en compte lors du choix d'un accouplement mécanique flexible pour les MOCN.

Le deuxième chapitre se concentre sur les machines-outils à commande numérique et les langages de programmation associés. Nous passerons en revue les principes fondamentaux des MOCN, en mettant l'accent sur leur structure, leurs composants clés et leurs modes de fonctionnement. De plus, nous aborderons les langages de programmation utilisés pour contrôler ces machines, en soulignant leur rôle dans la réalisation des opérations d'usinage et leur intégration avec l'accouplement mécanique flexible.

Dans le troisième chapitre, nous nous pencherons sur la conception et la modélisation de l'accouplement mécanique flexible spécifique à notre étude. Nous explorerons les différentes méthodes de conception et d'optimisation, en mettant l'accent sur la modélisation par la simulation pour évaluer les performances de l'accouplement dans des conditions réelles. Nous discuterons également des considérations pratiques liées à la fabrication et à l'assemblage de l'accouplement.

Enfin, le quatrième chapitre sera consacré à la réalisation de l'accouplement mécanique flexible développé. Nous décrirons les différentes étapes de fabrication, d'assemblage et d'installation de l'accouplement sur une machine pour les essais mécaniques.

En clôturant ce modeste travail par une conclusion générale.

CHAPITRE I : Généralité sur les accouplements mécaniques flexibles

I.1 Définition d'accouplement mécanique flexible

Les accouplements flexibles sont des accouplements capables de transmettre la puissance entre deux arbres (par exemple moteur/pompe) tout en compensant les désalignements angulaires, axiaux ou parallèles. C'est grâce à l'élément élastique de l'accouplement que la compensation a lieu, garantissant également l'absorption des vibrations et des surcharges de torsion. En ce sens, l'accouplement élastique peut prolonger considérablement la durée de vie des systèmes mécaniques. Ces accouplements ne nécessitent pas de lubrification.

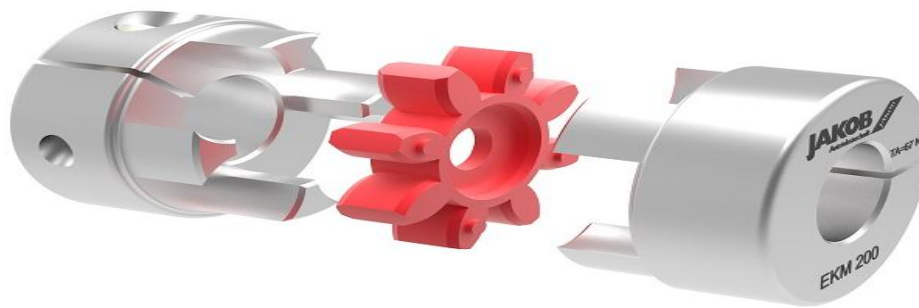


Figure I.1 : Accouplement

I.2 Types des accouplements mécaniques flexibles

Il existe plusieurs types d'accouplements mécaniques flexibles, chacun ayant des caractéristiques et des avantages spécifiques en fonction de l'application. Voici quelques exemples:

I.2.1 Accouplement à soufflet

Cet accouplement utilise un soufflet en métal pour connecter deux arbres. Le soufflet permet une certaine flexibilité dans les mouvements angulaires et axiaux des arbres, tout en empêchant la transmission de vibrations et de chocs d'un arbre à l'autre. Il est souvent utilisé dans les applications nécessitant une précision de mouvement, comme dans les machines-outils [1].



Figure. I.2 : Accouplement à soufflet.

1.2.2 Accouplement à lamelles

Cet accouplement utilise des lamelles en métal pour connecter deux arbres. Les lamelles permettent une certaine flexibilité dans les mouvements angulaires et axiaux des arbres, tout en offrant une grande rigidité torsionnelle. Il est souvent utilisé dans les applications nécessitant une transmission de puissance élevée, comme dans les machines industrielles [2].



Figure. I.3 : Accouplement à lamelles.

1.2.3 Accouplement à engrenages

Cet accouplement utilise des pignons pour connecter deux arbres. Les pignons permettent une transmission précise de la puissance et une grande rigidité torsionnelle, mais ne permettent pas de flexibilité dans les mouvements angulaires et axiaux des arbres. Il est souvent utilisé dans les applications nécessitant une transmission de puissance élevée et une précision de mouvement, comme dans les machines-outils [3].

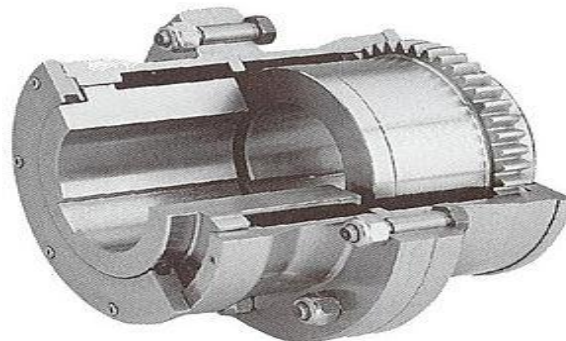


Figure. I.4 : Accouplement à engrenages.

1.2.4 Accouplement à disque

Cet accouplement utilise des disques en métal pour connecter deux arbres. Les disques permettent une certaine flexibilité dans les mouvements angulaires et axiaux des arbres, tout en offrant une grande rigidité torsionnelle. Il est souvent utilisé dans les applications nécessitant une transmission de puissance élevée et une certaine flexibilité, comme dans les pompes et les compresseurs [4].



Figure. I.5 : Accouplement à disque.

I.3 Rôles des accouplements mécaniques flexibles

Les accouplements mécaniques sont des dispositifs utilisés pour connecter deux arbres rotatifs afin de transmettre le couple et le mouvement. Les rôles des accouplements mécaniques sont les suivants :

1. Transmettre le couple : L'un des rôles les plus importants des accouplements mécaniques est de transmettre le couple d'un arbre à l'autre. Les accouplements mécaniques permettent de connecter les arbres de manière rigide ou flexible en fonction des besoins de l'application, tout en assurant la transmission efficace du couple.
2. Absorber les vibrations : Les accouplements mécaniques peuvent également être utilisés pour absorber les vibrations et les chocs qui se produisent entre les arbres rotatifs. Les accouplements flexibles absorbent ces vibrations et empêchent ainsi la transmission de ces vibrations aux autres composants du système.
3. Compenser le désalignement : Les accouplements mécaniques peuvent être utilisés pour compenser le désalignement entre les arbres rotatifs. Les accouplements flexibles peuvent compenser les désalignements angulaires, axiaux et radiaux entre les arbres, ce qui permet de maintenir la transmission de couple même lorsque les arbres ne sont pas parfaitement alignés.
4. Protéger les composants : Les accouplements mécaniques peuvent également être utilisés pour protéger les composants en cas de surcharge ou de choc soudain. Les accouplements à fusible, par exemple, sont conçus pour se rompre en cas de surcharge, ce qui protège les composants et réduit les dommages.
5. Faciliter l'entretien : Les accouplements mécaniques peuvent également faciliter l'entretien des machines en permettant le retrait facile des arbres rotatifs sans avoir à démonter l'ensemble de la machine. Les accouplements à démontage rapide, par exemple, permettent de retirer facilement l'arbre sans avoir à démonter l'ensemble de l'accouplement.

I.4 Composants principaux

Les accouplements mécaniques flexibles sont composés de plusieurs éléments qui permettent la transmission du couple et le mouvement entre les arbres rotatifs tout en absorbant les vibrations et en compensant les désalignements. Voici les composants typiques d'un accouplement mécanique flexible :

I.4.1 Moyeu d'arbre

Le moyeu d'arbre est la partie de l'accouplement qui se fixe directement sur l'arbre rotatif. Il peut être conçu pour se fixer sur un arbre par serrage, par clavetage ou par une autre méthode de fixation [5].

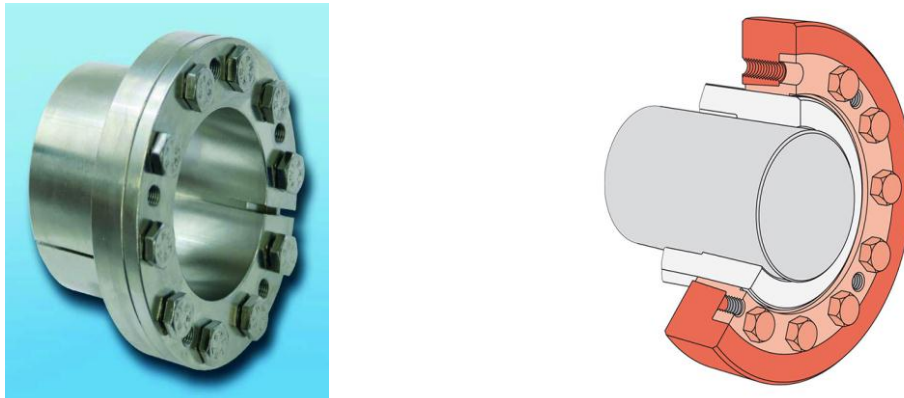


Figure. I.6 : Liaisons arbre-moyeu expansibles.

I.4.2 Élément élastique

L'élément élastique est la partie de l'accouplement qui permet la flexibilité entre les deux moyeux d'arbre. Il peut être réalisé en caoutchouc, en polyuréthane, en métal souple ou en d'autres matériaux élastiques. L'élément élastique permet d'absorber les vibrations et de compenser les désalignements entre les arbres [6].



Figure. I.7 : Élément élastique.

I.4.3 Corps de l'accouplement

Le corps de l'accouplement est la partie centrale qui relie les deux moyeux d'arbre ensemble. Il peut être réalisé en métal, en plastique ou en d'autres matériaux selon les exigences de l'application.

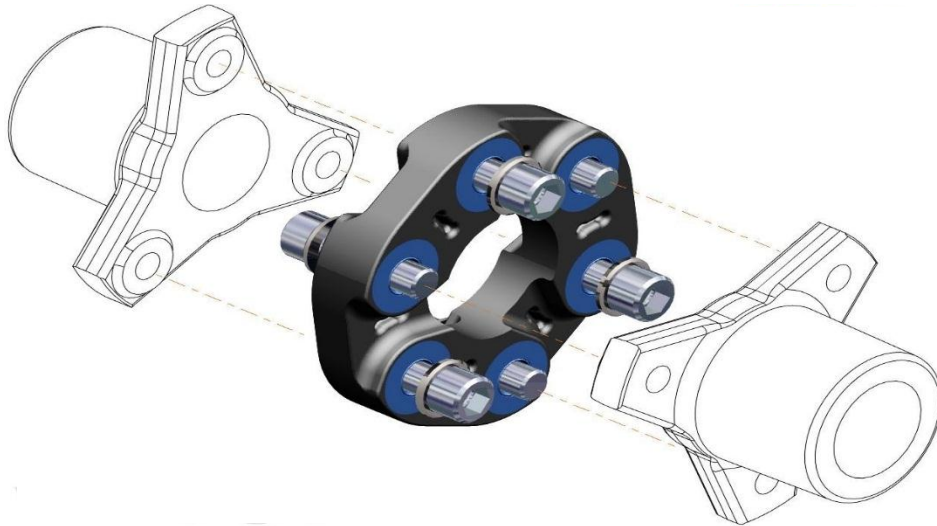


Figure. I.8 : Corps de l'accouplement. [7]

I.4.4 Boulons de fixation

Les boulons de fixation sont utilisés pour fixer les moyeux d'arbre à l'élément élastique et au corps de l'accouplement. Ils assurent la sécurité et la robustesse de l'assemblage.



Figure. I.9 : Boulons de fixation

I.4.5 Lubrification

Les accouplements mécaniques flexibles peuvent nécessiter une lubrification pour assurer des performances optimales. Certains modèles d'accouplements mécaniques sont scellés et ne nécessitent pas de lubrification, tandis que d'autres doivent être régulièrement lubrifiés.

Il existe différents types d'accouplements mécaniques flexibles, chacun ayant ses propres caractéristiques et avantages pour répondre aux exigences spécifiques de certaines applications.

I.5 Choix et dimensionnement des accouplements mécaniques flexibles

I.5.1 Le choix de l'accouplement est fonction des critères suivants [8]

1. La nature des défauts d'alignement des deux arbres (radial, angulaire et axial)
2. Le couple maximal à transmettre (en général, le fabricant indique le couple maximum)
3. Les caractéristiques du moteur et du récepteur et des conditions de fonctionnement (fréquence de démarrages, chocs et vibrations, température de service, etc.)
4. La vitesse de rotation maximale
5. L'encombrement
6. La taille des diamètres des arbres d'entrée et de sortie
7. Le rapport coût/performance
8. La durée de vie de l'accouplement par rapport au coût de remplacement est un critère de choix important. Dans certaines situations, lorsque les temps d'arrêt de l'appareil sont particulièrement coûteux ou lorsque la conception de l'assemblage permet difficilement l'entretien de l'accouplement, on sélectionnera un accouplement qui est moins susceptible de nécessiter un remplacement ou un service d'entretien.

D'autres critères peuvent entrer en compte dans le choix de l'accouplement, comme la performance du système par rapport à son coût. Par exemple, dans certaines situations, la valeur ou la fragilité des composantes menées et menantes obligera le concepteur à choisir un accouplement plus cher qui exerce des forces réactives plus petites.

I.5.2 Le dimensionnement des accouplements flexibles

Le dimensionnement d'un accouplement mécanique flexible dépend du couple à transmettre, de la vitesse de rotation, de la taille de l'arbre et de la distance entre les arbres. Voici quelques éléments à prendre en compte lors du dimensionnement d'un accouplement mécanique flexible :

1. Couple nominal : Le couple nominal est la quantité de couple que l'accouplement peut transmettre en continu sans subir de dommages. Il est important de choisir un accouplement qui peut transmettre le couple nominal requis pour votre application.
2. Vitesse de rotation : La vitesse de rotation est la vitesse à laquelle l'accouplement va tourner. Il est important de choisir un accouplement qui peut gérer la vitesse de rotation requise pour votre application.
3. Taille de l'arbre : La taille de l'arbre est la taille de l'arbre sur chaque côté de l'accouplement. Il est important de choisir un accouplement qui peut s'adapter aux tailles d'arbre sur lesquelles il sera monté.
4. Distance entre les arbres : La distance entre les arbres est la distance entre les deux arbres qui doivent être reliés par l'accouplement. Il est important de choisir un accouplement qui peut s'adapter à la distance entre les arbres.
5. Type de charge : Le type de charge est la nature de la charge que l'accouplement doit transmettre. Les accouplements flexibles peuvent transmettre des charges qui ont une certaine quantité de désalignement ou de décalage d'alignement. Il est important de choisir un accouplement qui peut gérer le type de charge pour votre application.

Il est important de consulter les spécifications techniques de l'accouplement et de suivre les recommandations du fabricant pour choisir l'accouplement approprié pour votre application.

1.5.2.1 Guide de choix d'un accouplement :

➤ Symboles

T_{AR} = Couple de tarage (Nm)

K = facteur de service

T_{max} = Couple maximum du système d'entraînement (Nm)

T_{AN} = Couple nominal du moteur (Nm)

P_{drive} = Puissance motrice (kW)

n = Vitesse de rotation motorisation (min⁻¹)

α = Accélération angulaire

t = temps d'accélération (s)

ω = vitesse angulaire (rad/s)

J_L = Moment d'inertie de la partie entraînée (kgm²)

J_A = Moment d'inertie de la partie entraînant (motorisation) (kgm²)

T_{AS} = Couple de pointe de la motorisation (Nm)

S = Nombre de modules

F = Force tangentielle (kN)

r = Rayon de positionnement modules (m)

s = pas de broche (mm)

F_V = Force d'avance (N)

η = Rendement broche

d_0 = Diamètre primitif pignon (poulie) (mm)

C_T = Rigidité torsionnelle de l'accouplement (Nm/rad)

$J_{Masch.}$ = Inertie totale de la charge (kgm²) (Broche + glissière + pièce à usiner + moitié de l'accouplement)

$J_{Mot.}$ = Inertie totale de la partie entraînant (kgm²) (moteur [incluant le rapport du réducteur] + moitié d'accouplement)

f_e = Fréquence naturelle du système à deux masses (Hz)

Facteur de charge ou de choc S_A		
Charge uniforme	Charge non uniforme	Forte charge dynamique
1	2	3
Facteur usuel pour les commandes servomoteur dans la machine- outil $S_A = 2-3$		

➤ SELON LE COUPLE DE DECLENCHEMENT

Les limiteurs de couple sont généralement sélectionnés selon le couple de déclenchement souhaité, qui doit être plus grand que les couples de démarrage et de fonctionnement de l'application. Les couples de tarage sont souvent déterminés à partir de données de l'élément moteur. Ils sont souvent un multiple du couple nominal de la motorisation. En supplément du

couple de démarrage, les facteurs de service suivants, fonctions de l'application, peuvent être utilisés :

- K = 1,3 fonctionnement doux et uniforme
- K = 1,5 fonctionnement non uniforme
- K = 1,8 fonctionnement avec fortes charges et chocs

$$T_{AR} \cong K \cdot T_{\max} \text{ (Nm)}$$

ou

$$T_{AN} \cong 9.550 \cdot \frac{P_{\text{Drive}}}{n} \text{ (Nm)}$$

➤ *SELON LE COUPLE D'ACCELERATION (Démarrage sans charge)*

$$T_{AR} \cong \alpha \cdot J_L \cong \frac{J_L}{J_A + J_L} \cdot T_{As} \cdot S_A \text{ (Nm)}$$

$$\alpha = \frac{\omega}{n} = \frac{\pi \cdot n}{t \cdot 30}$$

➤ *SELON LE COUPLE D'ACCELERATION (Démarrage avec charge)*

$$T_{AR} \cong \alpha \cdot J_L + T_{AN} \cong \left[\frac{J_L}{J_A + J_L} \cdot (T_{AS} - T_{AN}) + T_{AN} \right] \cdot S_A \text{ (Nm)}$$

➤ *SELON LA FORCE D'AVANCE*

Entraînement vis

$$T_{AN} = \frac{s \cdot F_v}{2.000 \cdot \pi \cdot \eta} \text{ (Nm)}$$

Entraînement courroie dentée

$$T_{AN} = \frac{d_0 \cdot F_v}{2.000} \text{ (Nm)}$$

➤ *SELON LA FREQUENCE DE RESONANCE*

La fréquence de résonance de l'accouplement doit être significativement supérieure ou inférieure à celle de l'installation. Le modèle d'un système à 2 masses est applicable.

$$f_e = \frac{1}{2 \cdot \pi} \sqrt{C_T \cdot \frac{J_{Masch} + J_{Mot}}{J_{Masch} \cdot J_{Mot}}} \quad (\text{Hz})$$

Conclusion

Ce chapitre traite des accouplements mécaniques flexibles et de leur dimensionnement. Les accouplements mécaniques flexibles sont des dispositifs essentiels dans de nombreuses applications industrielles, car ils permettent de transmettre la puissance entre des arbres non alignés ou sujets à des mouvements et des vibrations.

Le chapitre commence par présenter les différentes catégories d'accouplements mécaniques flexibles, tels que les accouplements à soufflet, à lamelles, à denture et à disques. Chaque type d'accouplement présente des caractéristiques spécifiques qui les rendent adaptés à des situations particulières.

Ensuite, le chapitre aborde le dimensionnement des accouplements mécaniques flexibles. Il explique l'importance de prendre en compte des paramètres tels que le couple, la vitesse, l'alignement et les conditions d'utilisation pour garantir un fonctionnement optimal. Des normes, des méthodes de calcul et des logiciels spécialisés sont disponibles pour aider à déterminer la taille appropriée de l'accouplement.

En conclusion, le dimensionnement des accouplements mécaniques flexibles est un processus crucial pour assurer une transmission de puissance efficace et fiable dans les systèmes mécaniques.

CHAPITRE II : Machines-outils à commande numérique et Langages de programmation

Introduction

Ce chapitre se concentre sur les machines-outils à commande numérique (CNC) et les langages de programmation qui les accompagnent. Ces machines ont révolutionné la fabrication industrielle en offrant une précision et une productivité accrues. La maîtrise des langages de programmation associés est essentielle pour exploiter pleinement le potentiel de ces machines. Le chapitre explore les principes fondamentaux des CNC, les différents types de machines-outils, tels que les fraiseuses et les tours, et leurs applications spécifiques. De plus, il se penche sur les langages de programmation, tels que le G-code et l'ISO code, en expliquant leur structure et leur fonctionnement. En somme, ce chapitre fournit une base solide de connaissances sur les CNC et les langages de programmation.

II.1 Machines-outils à commande numérique

II.1.1 Définition

Dans le domaine de la fabrication mécanique, le terme « commande » désigne l'ensemble des matériels et logiciels ayant pour fonction de donner les instructions de mouvements à tous les éléments d'une machine-outil :

- l'outil (ou les outils) d'usinage équipant la machine
- Les tables ou palettes où sont fixées les pièces
- Les systèmes de magasinage et de changement d'outil
- Les dispositifs de changement de pièce
- Les mécanismes connexes, pour le contrôle ou la sécurité, l'évacuation des copeaux...

Les commandes numériques sont employées le plus fréquemment en :

- fraisage à commande numérique (FCN)
- tournage à commande numérique (TCN)
- dans les centres d'usinage à commande numérique (CUCN).
- rectification à commande numérique
- électroérosion à commande numérique
- robotique
- transitaire (signifie la logistique interne d'une entreprise)
- ameublement



Figure II.1 : Centre d'usinage 4 axes.

II.1.2 Principe de fonctionnement

Le fonctionnement d'une machine commandée numériquement revient presque toujours à obtenir un signal déclenché par les consignes contenues dans une bande perforée ou par L'introduction du programme à travers le clavier. Ce signal, suffisamment amplifié, agit sur le moteur intéressé dans le sens et la vitesse désirés.

II.1.3 Eléments de la machine-outil à commande numérique (structures)

Ce type de machines se compose de deux parties : (figure. II.2)

- a) La partie opérative : représente la machine elle-même. Elle est identique aux machines conventionnelles dans la fonction "usinage" mais elle possède des performances supérieures. Elle peut posséder plusieurs têtes d'usinage motorisées selon un ou plusieurs systèmes d'axes indépendants et elle comporte également des éléments annexes pour commander les dispositifs de serrage et de lubrification.
- b) La partie commande : c'est le cerveau de la machine, appelé directeur de commande numérique (DCN). Ce dernier envoie des ordres de commande de rotation et de déplacement aux organes mobiles de la machine à partir des valeurs de consignes décrites dans le programme de la pièce à réaliser. [9]

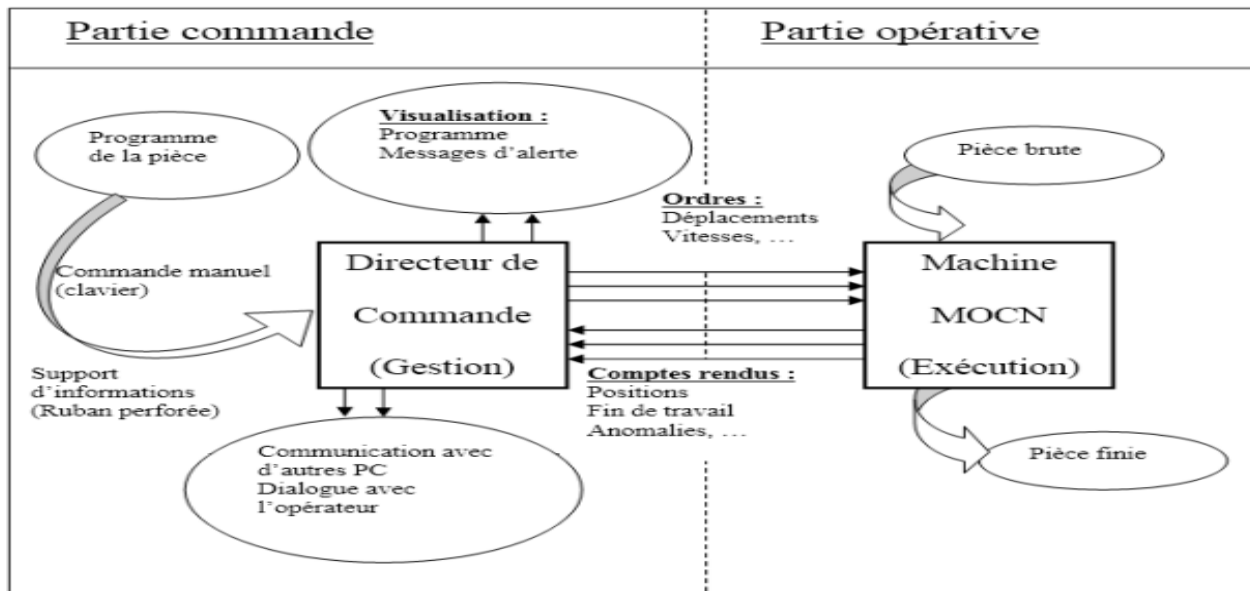


Figure. II.2 : Structure d'une machine-outil à commande numérique

La commande numérique assure l'asservissement en position et en vitesse des déplacements des mobiles. C'est purement de la commande d'axe, avec un traitement numérique pour élaborer les consignes de commande en temps réel en fonction des paramètres de la trajectoire et de l'état de la chaîne d'action.

II.1.4 Classification des machines outil à commande numérique

Les machines-outils à commande numérique (MOCN) sont classées suivant : Le mode de fonctionnement de la machine, Le nombre d'axes de la machine, Le mode d'usinage, Le mode de fonctionnement du système de mesure, Le mode d'entrée des informations. Néanmoins on se limite sur le détail des trois premiers vu de leur importance.

II.1.4.1 Classification des MOCN selon le mode de fonctionnement

Les MOCN peuvent être classifiées selon les modes de fonctionnement suivants :

- Fonctionnement en boucle ouverte :** dans ce mode, le système ne contrôle pas activement le déplacement ou la position en fonction des grandeurs entrées (E) et mesurées (Gm) jusqu'à ce qu'elles soient égalisées. (Fig. II.3)
- Fonctionnement en boucle fermée :** dans ce mode, le système contrôle le déplacement ou la position en ajustant continuellement les grandeurs entrées (E) jusqu'à ce qu'elles correspondent aux grandeurs mesurées (Gm). (Fig. II.4)
- Fonctionnement avec commande adaptative :** ce mode implique l'utilisation d'une commande adaptative qui ajuste automatiquement et en continu les conditions de coupe. Des capteurs mesurent le couple de la broche, l'amplitude de vibration de la broche et la température au point de coupe. Ces informations sont transmises à une unité spéciale qui les envoie au directeur de commande numérique. Celui-ci utilise ces informations pour analyser

les conditions de coupe et améliorer la qualité du travail, la productivité et la sécurité. (fig. II.5) [10]

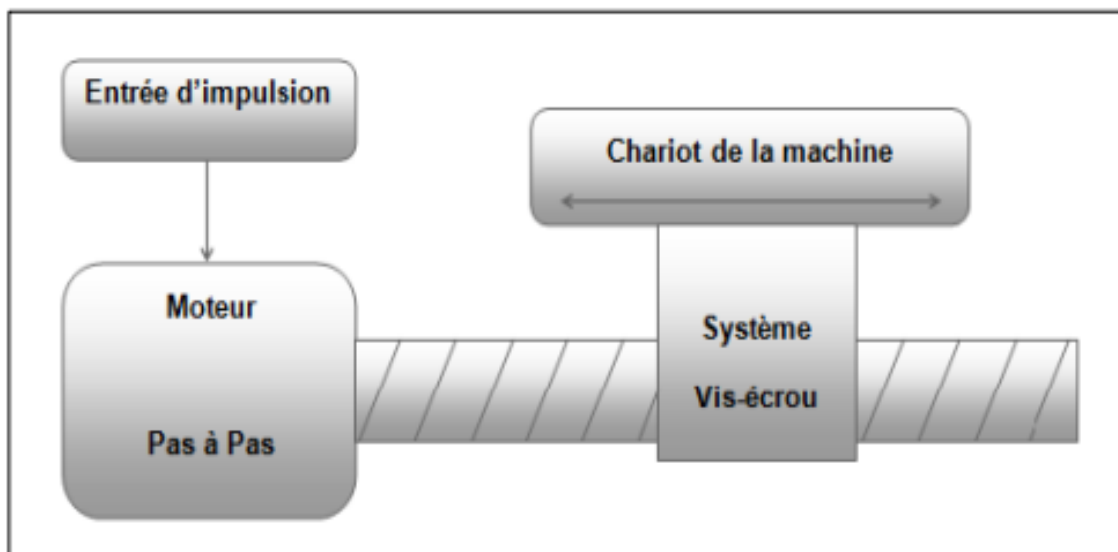


Figure. II.3 : Fonctionnement en boucle ouvert.

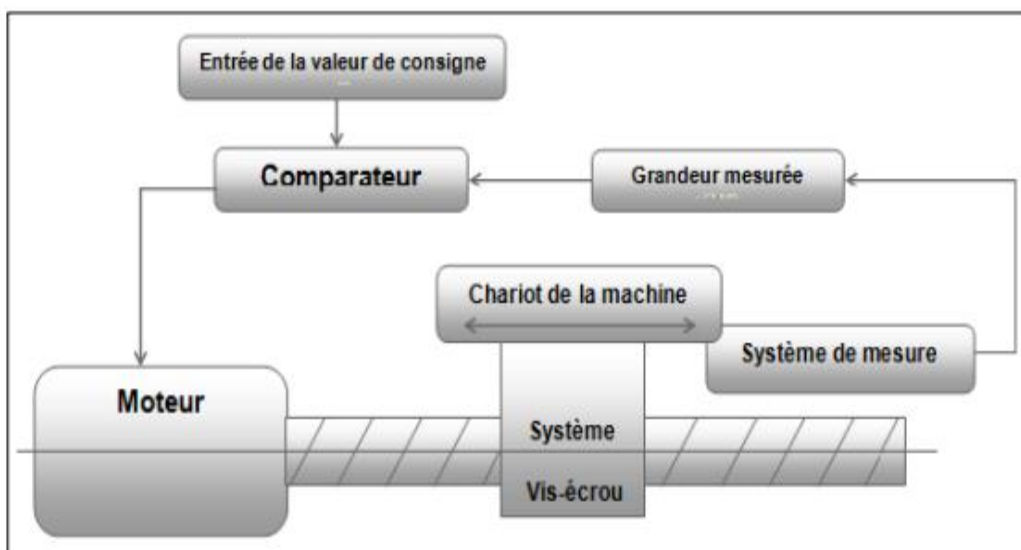


Figure II.4 : Commande en boucle fermée. [11]

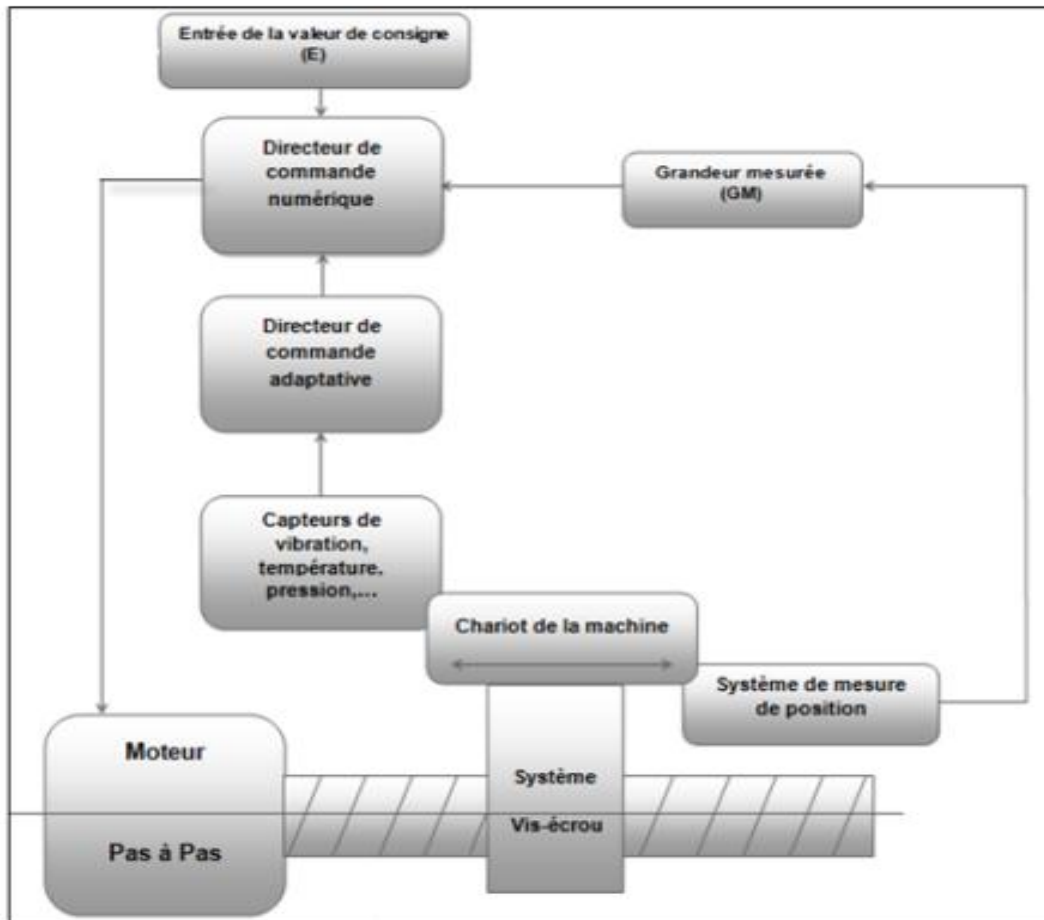


Figure II.5 : Commande adaptative. [11]

II.1.4.2 Classification des MOCN selon le nombre d'axe

La classification des machines-outils à commande numérique (MOCN) en fonction du nombre d'axes est la suivante :

Le nombre d'axes d'une MOCN détermine les possibilités de mouvement de l'outil et de la pièce. Un axe représente une direction principale le long de laquelle le mouvement relatif entre l'outil et la pièce se produit lorsque seul l'un des moteurs de déplacement fonctionne avec un contrôle numérique continu. D'autre part, un demi-axe désigne une direction dans laquelle l'avance n'est pas contrôlée numériquement, mais plutôt contrôlée par des cames ou des plateaux diviseurs.

Les machines-outils à CN peuvent être classés par le nombre d'axes actifs qu'elles peuvent mettre en œuvre lors du déplacement de l'outil par rapport à la pièce tableau. II.1. [11].

Chaque mouvement de translation ou de rotation est donc représenté par un axe défini une lettre affectée de signe + ou -. La figure. II.6 montre l'ensemble des axes qu'un DCN peut contrôler.

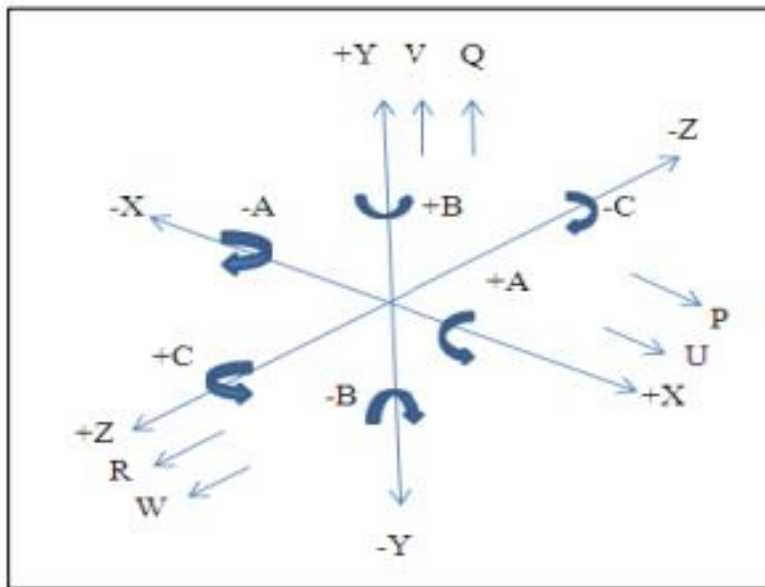


Figure. II.6 : : Axes Primaires Et Axes Additionnels. [11]

Tableau II.1: Tableau de Classification suivant le nombre d'axe

Nb d'axes	Mouvements	Désignation du type d'usinage et des opérations possibles
1	Z	Brochage, presse
2	X,Z	Tournage : toutes les formes obtenue sont le même axe des y métrie
3	X,Y,Z	Fraisage : surfaçage, perçage, fraisage de poches, de rainures et de surfaces gauches. L'axe outil reste parallèle à une direction fixe par rapport à la pièce.
3	X, Z, C	Tournage, avec asservissement de la broche , permet le fraisage sur tour: tournage général, fraisage à l'outil tournant ,perçage hors axe. La broche est asservie en position.

4	X, Y, Z, B	Fraisage: surfaçage, perçage, fraisage de poches, de rainures et de surfaces gauches. L'axe outil reste contenu dans un plan fixe par rapport à la pièce.
4	X, Y, Z, C	Fraisage (cf X, Y, Z, B)
4	X, Y, Z, C	tournage
4	$2(X, Z)$	Tournage à deux tourelles
5	$2(X, Z),$ C	Tournage à deux tourelle set asservissement de la broche, (cf. X, Z, C)
5	X, Y, Z, A, C	Fraisage de formes gauches : fraisage avec le flanc de l'outil, fraisage avec dépinçage, perçage en toutes directions.
5	X, Y, Z, B, C	Fraisage de formes gauches (cf. X, Y, Z, A, C)
5	X, Y, Z, A, B	Fraisage de formes gauches (cf. X, Y, Z, A, C)

II.1.4.3 Classification des MOCN selon le mode d'usinage

Selon le mode d'usinage on peut classer les MOCN en trois catégories :

- a) Commande numérique point à point
- b) Commande numérique par axiale
- c) Commande numérique de contournage

II.1.5 Types de machines outil à commande numérique :

Il existe plusieurs types de machines-outils à commande numérique (CNC) utilisées dans l'industrie manufacturière pour produire des pièces précises et répétables, voici quelques exemples:

1. Fraiseuses CNC : Une fraiseuse CNC est une machine-outil utilisée pour enlever des matériaux de la pièce en utilisant un outil de coupe rotatif. Les fraiseuses CNC sont largement utilisées dans l'usinage de pièces de précision à partir de métaux, de plastiques, de composites et d'autres matériaux.
2. Tours CNC : Un tour CNC est une machine-outil utilisée pour couper, percer, aléser et tarauder des pièces cylindriques. Les tours CNC sont utilisés pour produire des pièces cylindriques de précision telles que des arbres, des axes, des roulements et des raccords.
3. Machines de découpe laser CNC : Les machines de découpe laser CNC utilisent un faisceau laser pour couper et graver des matériaux tels que le métal, le bois, le plastique et le verre. Ces machines sont couramment utilisées dans l'industrie de la tôlerie pour produire des pièces de précision.

4. Machines de découpe plasma CNC : Les machines de découpe plasma CNC utilisent un jet de plasma pour couper des matériaux conducteurs tels que l'acier, l'aluminium et le cuivre. Ces machines sont couramment utilisées dans l'industrie de la tôlerie pour produire des pièces de précision.
5. Machines de découpe par jet d'eau CNC : Les machines de découpe par jet d'eau CNC utilisent un jet d'eau haute pression pour couper et graver des matériaux tels que les métaux, les composites, le verre, la pierre et le caoutchouc. Ces machines sont couramment utilisées dans l'industrie aérospatiale, automobile et de la tôlerie.
6. Machines de pliage CNC : Les machines de pliage CNC sont utilisées pour plier des pièces en métal, en plastique et en autres matériaux. Ces machines sont couramment utilisées pour la production de pièces de précision telles que des boîtiers, des panneaux, des couvercles et des boîtes.

Il existe de nombreux autres types de machines CNC utilisées dans l'industrie manufacturière, y compris des machines de perçage, de meulage, de rectification et de soudage. Chaque type de machine CNC est conçu pour répondre à des besoins spécifiques en matière de production et de précision, et peut être personnalisé pour des applications spécifiques.

II.2 Langage de programmation

Au départ, le langage de programmation était le G-code, développé par l'EIA (**Electronic Industries Alliance**) au début des années 60, et finalement normalisé par l'ISO en février 1980 sous la référence RS274D/ (ISO 6983).

Depuis l'établissement de la norme ISO 6983, et les technologies évoluant rapidement, de nombreuses extensions ont été ajoutées pour tenir compte des nouveautés et des nouvelles capacités des machine-outil. Ces extensions, quoique fréquemment utiles chez des constructeurs différents de Directeur de Commande Numérique, n'entrent pas dans la norme et compliquent la tâche des logiciels de Fabrication assistée par ordinateur, qui doivent créer les lignes de ce langage pour un DCN spécifique. À côté de l'ISO, de nouveaux codes sont apparus, différents selon le Directeur de Commande Numérique. Ils intègrent de plus en plus, en plus de l'ISO, des langages propres aux constructeurs de DCN (symbolique, C, ...) mais aussi des interfaces de programmation conversationnelle conçues pour simplifier la programmation (ex :CN MAZAK, HEIDENHAIN ou SELCA).

II.2.1 Les codes ISO

- Fonctions préparatoires (G), fonctions d'appel de mode d'interpolation (G 0), cycles machine
- Coordonnées de points (X, Y, Z, I, J, K)
- La vitesse. Progrès ... (S, F)
- Fonctions auxiliaires (M) qui permettent d'enclencher la lubrification, de changer d'outil, ou de déclencher des accessoires.
- X position absolue, Y position absolue, Z position absolue

- A, B, C positions (rotations autour de l'axe X, Y et Z successivement).
- ❖ C : s'il est intégré dans un bloc de cycle fixe Ebauche ou finition, C sert à désigner un chanfrein
- U position Relative V position Relative W position Relative
- M code Fonction "Machine" ou "Modale" (un autre type d'action ou de code machine comme fonctions auxiliaires). Permet aussi de contrôler des entités externes à la machine lui-même (magasin auxiliaire, refroidisseur, compteur ETC)
- D association d'un correcteur de jauge outil.
- F vitesse de déplacement. S vitesse de rotation
- N nombre de ligne
- ❖ Le numéro de bloc n'est pas obligatoire à chaque ligne avec les commandes ISO FANUC, il sert à désigner juste un lieu du programme où on peut ordonner un saut d'opération ou un départ d'opération, le plus fréquemment avant un changement d'outil
 - V sert à contrôler une vitesse de rotation dans une machine avec diverses configurations
 - R Rayon d'arc ou option passée à un sous-programme
 - P Temps de pause ou option passée à un sous-programme ou appel de sous-programme (Précédé de M98 par ex)
 - T Sélection d'outil
 - I Axe X, J Axe Y, K Axe Z des données d'un arc
 - D diamètre de coupe/décalage pour l'épaisseur d'outil
 - H décalage pour la hauteur de l'outil

(*) Les codes M contrôlent la totalité de la machine, donnant la possibilité son démarrage, son arrêt, la mise en route de l'arrosage, etc. Tandis que les autres codes concernent le cheminement de l'outil.

II.2.2 Poste processing

Les fichiers G-code sont produits par des programmes de CFAO tels que GOELAN, Smart CAM, Gibbs Cam, Solide CAM, Art Cam, Surf Cam, Master Cam, One CNC, Router-CIM, Alpha Cam, Top Solide Cam, e-NC etc. Ces applications utilisent généralement des convertisseurs nommés post-processeurs pour optimiser le code en vue de son utilisation sur une machine spécifique. Les post-processeurs sont le plus souvent modifiables par l'utilisateur afin d'optimiser leur usage. Le G-code est aussi produit par certains programmes de CAO spécialisés dans la conception de circuit imprimé. De tels programmes doivent être adaptés pour chaque type de machine-outil.

Quelques machines CNC utilisent des programmes "Interactifs", qui permettent de programmer avec des Agents en cachant partiellement ou complètement le G-code. Certains exemples populaires sont MAZAK MAZATROL, HURCO ULTIMAX et le langage interactif CAPS de MORI SEIKI.

II.2.3 Instructions de G Code et leurs significations

G00	Déplacement rapide
G01	Interpolation linéaire
G02	Interpolation circulaire (sens horaire)
G03	Interpolation circulaire (sens antihoraire)
G04	Arrêt programme et ouverture carter (pour nettoyer) (temporisation – suivi de l'argument F ou X en secondes)
G10/G11	Écriture de données/Effacement de données
G17	Sélection du plan X-Y
G18	Sélection du plan X-Z
G19	Sélection du plan Y-Z
G20	Programmation en pouces
G21	Programmation en mm
G28	Retour à la position d'origine
G31	Saute la fonction (utilisé pour les capteurs et les mesures de longueur d'outil)
G33	Filetage à pas constant
G34	Filetage à pas variable
G40	Pas de compensation de rayon d'outil
G41	Compensation de rayon d'outil à gauche
G42	Compensation de rayon d'outil à droite
G79	Saut de bloc
G90	Déplacements en coordonnées absolues
G91	Déplacements en coordonnées relatives
G94/G95	Déplacement en Pouce par minute/Pouce par tour
G96/G97	Vitesse de coupe constante (vitesse de surface constante) /Vitesse de rotation constante ou annulation de G96

II.2.4 Interfaces de programmation

Les machines-outils à commande numérique (MOCN) peuvent être programmées dans plusieurs langages de programmation de commande numérique. Les langages de programmation de commande numérique sont utilisés pour programmer les mouvements de la machine et pour contrôler les opérations d'usinage. Les langages les plus couramment utilisés pour les MOCN sont les suivants.



Figure II.7 : interface de programmation SINUMERIK 828d

1. G-code : Le G-code est le langage de programmation de commande numérique le plus couramment utilisé dans l'industrie. La norme ISO (Organisation internationale de normalisation) définit un ensemble de codes de commande numérique pour les machines-outils. Il est utilisé pour programmer les mouvements de la machine, tels que les déplacements en X, Y et Z, ainsi que les opérations de coupe, telles que l'usinage, le perçage et le taraudage.
2. CAM : Les logiciels de fabrication assistée par ordinateur (CAM) permettent de générer automatiquement le code de commande numérique en fonction des modèles 3D de la pièce à usiner. Les programmes de CAM peuvent convertir les fichiers CAO en fichiers NC (numérique commandé) pour les machines-outils à commande numérique.
3. Langages propriétaires : Certains fabricants de machines-outils ont développé leurs propres langages de programmation pour leurs machines. Ces langages peuvent être spécifiques à un fabricant ou à un modèle de machine-outil.
4. Le langage FANUC : Le langage FANUC prend pour base le langage ISO de 1980. Il ajoute des fonctions supplémentaires ce qui en fait un langage unique. Les spécificités du langage sont : Parenthèses pour les commentaires. Appel de sous programmes avec M98. Points virgules en fin de blocs
5. Le langage NUM : Le langage NUM prend pour base le langage ISO. Il ajoute des fonctions supplémentaires ce qui en fait un langage unique. Les spécificités du langage sont : Parenthèses pour les commentaires. Appel de sous programmes avec G77

6. Le langage SIEMEMS : Le langage SIEMEMS prend pour base le langage ISO. Il ajoute des fonctions supplémentaires ce qui en fait un langage unique. Les spécificités du langage sont : Points virgules pour les commentaires. Des appels de cycles un peu compliqué.
7. Le langage HEIDENHAIN : Le langage HEIDENHAIN est un langage inventé par les allemands pour animé principalement des robot CNC conversationnels.
8. Le langage PROFORM : Le langage PROFORM a été inventé de toute pièces pour les robots charmille.

Le choix du langage de programmation dépend des exigences de l'application, de la machine-outil utilisée et des compétences de programmation disponibles.

Conclusion

En conclusion, ce chapitre a souligné l'importance des machines-outils à commande numérique (CNC) et des langages de programmation dans le domaine de la fabrication industrielle. Les CNC ont révolutionné la productivité, la précision et la flexibilité des processus de production, tandis que les langages de programmation permettent de tirer pleinement parti de leur potentiel. Nous avons exploré les principes fondamentaux des CNC, les différents types de machines-outils et leurs applications spécifiques. De plus, nous avons étudié les langages de programmation tels que le G-code et l'ISO code, ainsi que les logiciels de simulation et de modélisation.

CHAPITRE III : Modélisation d'accouplement mécanique flexible

III.1 Introduction

Ce chapitre se concentre sur l'application de la méthode de rétroconception à la modélisation d'un accouplement mécanique flexible. L'objectif principal de cette étude est de reconstruire le modèle géométrique et fonctionnel de l'accouplement en utilisant des techniques de mesure et d'analyse avancées. La rétroconception est une démarche itérative qui combine l'observation, la mesure et l'analyse des différentes composantes de l'accouplement. Des outils tels que la numérisation 3D et les techniques d'analyse de contraintes seront utilisés pour recueillir des données précises sur la géométrie, les matériaux et les interactions des éléments de l'accouplement. Ce chapitre fournira donc un aperçu détaillé des différentes étapes et méthodes nécessaires pour mener à bien la rétroconception d'un accouplement mécanique flexible.

III.2 Etapes de Modélisation

III.2.1 Modélisation du corps principal de l'accouplement

Pour concevoir un accouplement mécanique flexible, nous utilisons le logiciel SOLIDWORKS. Après avoir levé tous les dimensions nécessaires à l'aide des instruments de mesure différents, tous les dimensions sont représentées dans la mise en plan suivante. (Fig. III.1)

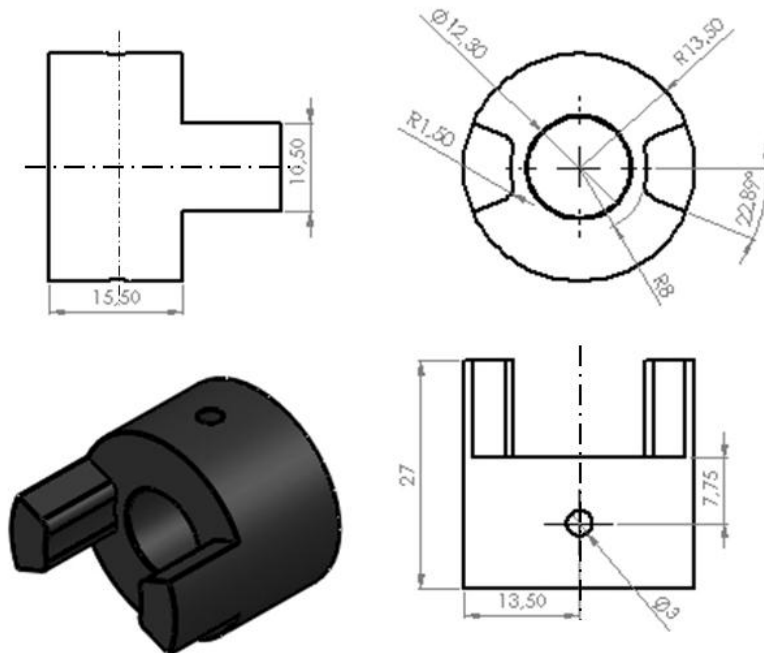


Figure III.1 : détails de la pièce métallique en AL

Après l'ouverture de l'interface du dessin de SOLIDWORKS, dessiner une esquisse de cercle d'un diamètre de 27 mm, en le fixant sur le point zéro (0) du référentiel en but de lui faire contraindre (fig. III.2)

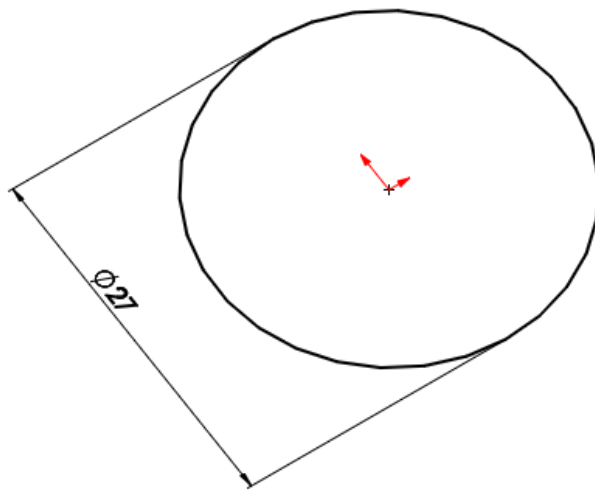


Figure III.2 : esquisse du corps principal de l'accouplement

Ensuite, on le transformant en 3D en utilisant la fonction extruder sur longueur de 15.5 mm. Voir la figure III.3.

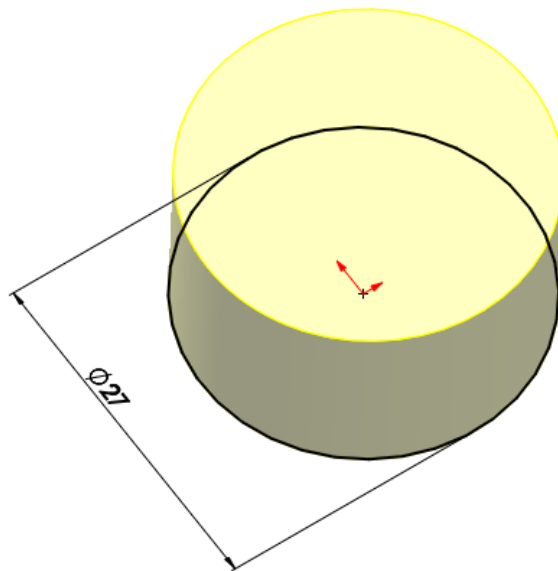


Figure III.3 : extrusion de l'esquisse 2D

Dessignons les esquisses des détails de l'accouplement sur la face supérieure du bossage précédent en l'utilisant comme un plan de départ (fig.III.4), puis les extruder sur une longueur de 11.5 mm.

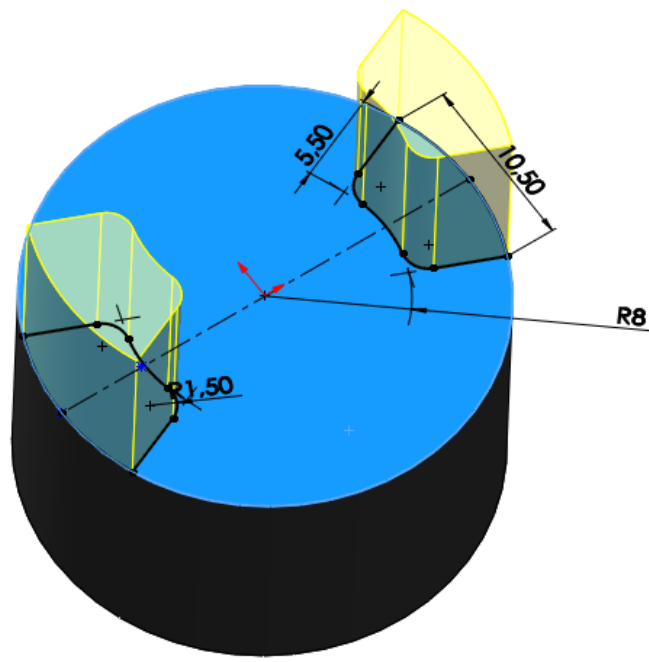


Figure III.4 : esquisses des deux détails de l'accouplement

L'alésage de diamètre 12 mm a été créé tout simplement suivant deux étapes, la première est la création d'une esquisse de cercle avec un diamètre de 12 mm sur le point zéro (0) et le plan de base, puis enlèvement de la matière à travers tout (fig. III.5)

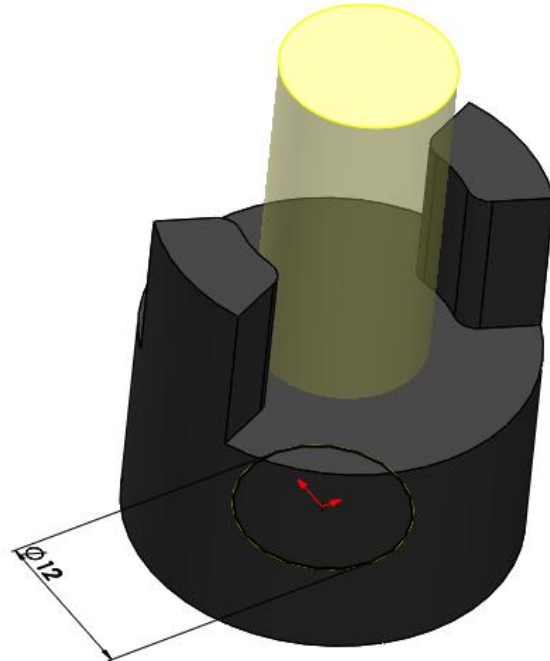


Figure III.5 : création de l'alésage Ø 12 mm.

Le logement de la goupille de fixation de l'arbre avec le corps principal de l'accouplement, avec un diamètre de trois (3 mm), on esquisser un cercle de $\varnothing 3$ mm sur le plan milieu vertical transversal, puis on a fait un enlèvement de la matière suivant les deux directions à travers tout pour assurer que le trou traverse de part en part le corps de l'accouplement. (fig. III.6).

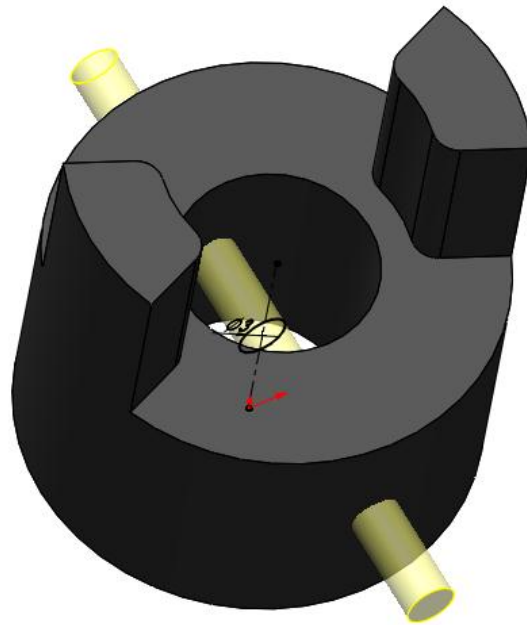


Figure III.6 : création du logement de la goupille.

Pour des raisons de sécurité et d'esthétique on a cassé les arêtes vives par un congé de rayon 1.5 mm, par la fonction congé en réglant le rayon sur 1.5 mm, et en choisissant les arêtes à casser (Fig.III.7)

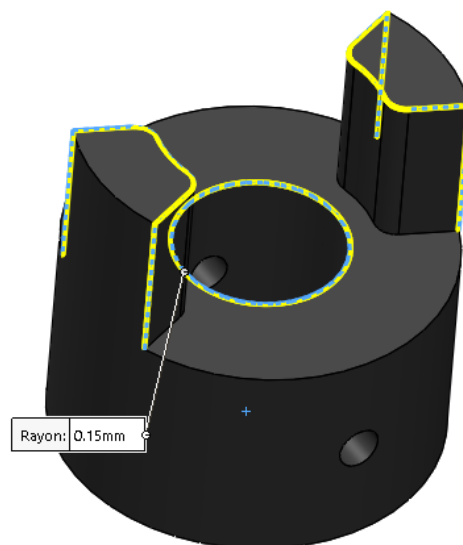


Figure III.7 : création des congés

III.2.2 Modélisation de l'élément élastique

La création de cet élément (fig. III.8) a été faite dans le mode assemblage (fig. III.9), afin d'assurer la forme exacte avec les contraintes nécessaires et les cotes nécessaires, en lissant un jeu de 0.25 mm entre cet élément et le corps principal pour permettre un jeu glissant.

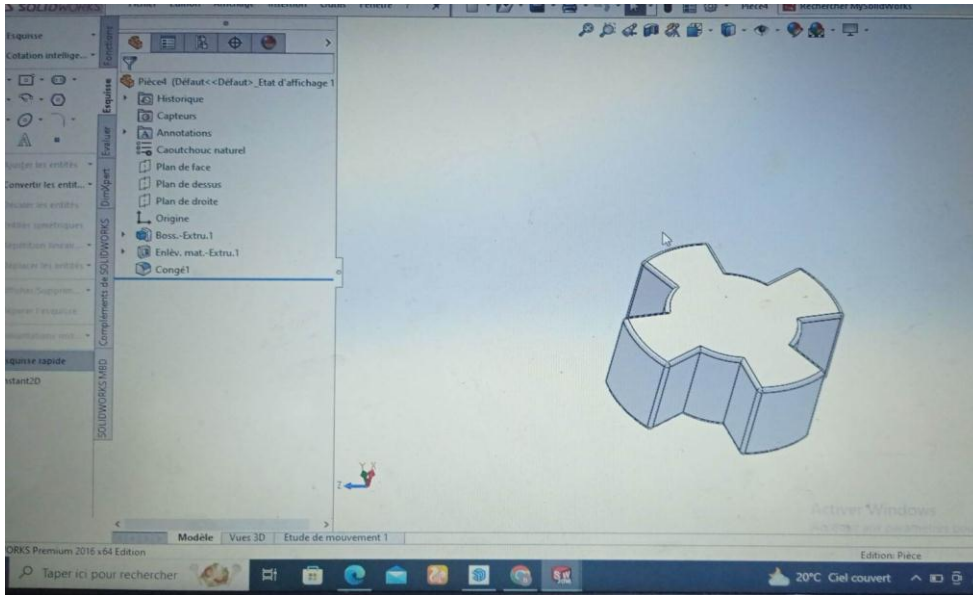


Figure III.8 : Modèle de l'élément élastique

La figure suivante montre l'assemblage des trois éléments de l'accouplement flexible qu'on va réaliser dans le chapitre suivant.

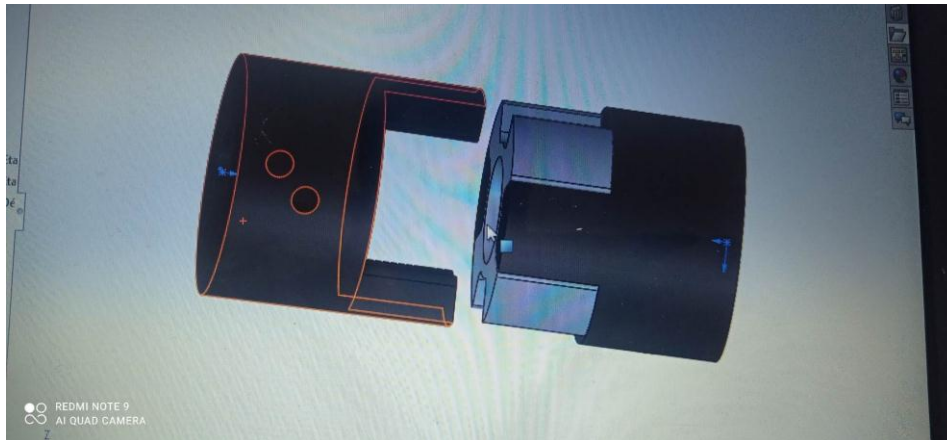


Figure. III.9 : assemblage accouplement

Conclusion

Ce chapitre explore les différentes étapes de la modélisation de l'accouplement mécanique flexible dans la conception et l'optimisation des systèmes mécaniques. L'accouplement mécanique flexible permet de transmettre des forces et des mouvements tout en compensant les désalignements, les vibrations et les variations de charge. La modélisation précise de cet accouplement est essentielle pour prédire son comportement, évaluer sa performance et optimiser sa conception. Le chapitre examine les étapes de modélisation, il met également en évidence l'importance de prendre en compte les propriétés des matériaux, et la géométrie de l'accouplement. En conclusion, la modélisation d'accouplement mécanique flexible joue un rôle crucial dans la conception et l'optimisation des systèmes mécaniques, offrant des possibilités d'amélioration de l'efficacité et de la fiabilité des systèmes.

CHAPITRE IV : Programmation et Réalisation d'un accouplement flexible

IV.1 Introduction

Ce chapitre se concentre sur la conception et la mise en œuvre d'un accouplement flexible dans le contexte de la programmation. L'accouplement flexible est un concept qui permet de créer des interactions dynamiques et adaptatives entre différentes parties d'un système. Il vise à faciliter la communication et la collaboration entre ces parties, en leur permettant de s'ajuster et de s'adapter aux changements de manière efficace

Ce chapitre explore les principes fondamentaux de la programmation de l'accouplement flexible, en mettant l'accent sur les techniques et les outils utilisés pour réaliser cette fonctionnalité. Il examine les différentes étapes de programmation.

IV.2 Programmation et réalisation de l'élément flexible

Maintenant que nous avons conçu un accouplement mécanique flexible dans SolidWorks avec les dimensions et tailles souhaitées, nous passons au processus de programmation et d'exécution. On commence tout d'abord par l'élément flexible, où on l'a programmé sur le logiciel ULTIMAKER CURA qui nous a donné le programme en code G (contient 900 lignes), puis on l'a fait sur une imprimante 3D du type ANYCUBIC.



Figure IV.1 : imprimante 3D du type ANYCUBIC

Après une heure et demie de dépôt de la matière plastique sous forme de couches superposées les unes sur les autres, on a obtenu la pièce en couleur blanche suivante (fig. IV.2)



Figure IV.2 : pièce en plastique de l'élément flexible

IV.3 programmation et réalisation les deux éléments métalliques en AL

Pour gagner du temps on préparer les deux pièces en AL, en diamètres et en longueurs dans un tour parallèle conventionnel. Après la confirmation des côtes, on a passé à la programmation CNC sur le centre d'usinage F-VMC 510L se trouvant au niveau du hall technologique (fig. IV.3 et IV.4), en but de compléter les détails restants.



Figure IV.3 : type de machine CNC



Figure IV.4 : centre d'usinage à 4 axes.

La programmation de l'usinage a été faite au moyen d'un logiciel intégré à la machine, appelé Shop Mill de la commande SINUMERIK 88D Siemens.

ShopMill est un logiciel de commande numérique développé par Siemens pour les machines-outils équipées du système SINUMERIK 828D. Il s'agit d'un environnement de programmation convivial conçu spécifiquement pour les opérations de fraisage.

Avec ShopMill, les opérateurs peuvent créer et optimiser des programmes d'usinage pour une variété de pièces et de matériaux. Le logiciel offre une interface graphique intuitive qui facilite la programmation, la simulation et la visualisation des opérations d'usinage.

L'une des fonctionnalités clés de ShopMill est sa capacité à générer des cycles d'usinage automatisés. Ces cycles préprogrammés permettent d'exécuter rapidement des opérations courantes telles que le perçage, le taraudage, le fraisage de poche et bien d'autres, réduisant ainsi le temps de programmation et augmentant l'efficacité de la production.

ShopMill prend également en charge l'utilisation de fonctions avancées telles que la compensation d'outil, la gestion des outils, la correction automatique des erreurs, la mesure d'outils et la surveillance du processus d'usinage.

Après quelques manipes consistant l'introduction des dimensions du brut, le contour à usiner, le choix de l'outil, les paramètres de coupe, on obtient alors le programme suivant.

```
WORKPIECE(,,,,,,CYLINDER",,64,0,-27,-80,27)

N10 G17 G90 G54

N15 T="10"D1

N20 M6

N25 S 1000 M3

CYCLE62("ACCOUP",1,,)

CYCLE72(,,,,,30,0,2,-11.5,3,0.5,0,200,500,1,42,1,5,0.1,1,5,0,1,2,101,1011,100)

CYCLE62("ACCOUP1",1,,)

CYCLE72(,,,,,30,0,2,-11.5,3,0.5,0,200,500,10001,42,1,5,0.1,1,5,0,1,2,101,1011,100)

CYCLE62("ACCOUP2",1,,)

CYCLE72(,,,,,30,0,2,-11.5,3,0.5,0,200,500,1,40,1,5,0.1,1,5,0,1,2,101,1011,100)

CYCLE62(44ACCOUP244,1,,)

CYCLE72(",30,0,2,-11.5,11,0,0,200,500,2,42,1,5,0.1,1,5,0,1,2,101,1011,100)

CYCLE62("&quot;ACCOUP1 ",1,,)

CYCLE72(",30,0,2,-11.5,11.5,0,0,200,500,10002,42,1,5,0.1,1,5,0,1,2,101,1011,100)

M30

E_LAB_A_ACCOUP: ;#SM Z:4

;#7__DIgK contour de finition Begin - Don&#39;t change!;*GP*;*RO*;*HD*
```

```

G17 G90 DIAMOF;*GP*
G0 X-12.44 Y-5.25 ;*GP*
G1 X-7.37 Y-3.11 RND=1.5 ;*GP*
G2 Y3.11 I=AC(.001) J=AC(0) RND=1.5 ;*GP*
G1 X-12.44 Y5.25 ;*GP*
;CON,0,0.0000,3,3,MST:0,0,AX:X,Y,I,J,TRANS:1;*GP*;*RO*;*HD*
;S,EX:-12.44,EY:-5.25;*GP*;*RO*;*HD*
;LA,EX:-7.37,EY:-3.11;*GP*;*RO*;*HD*
;R,RROUND:1.5;*GP*;*RO*;*HD*
;ACW,DIA:0/235,EX:-7.37,EY:3.11,RAD:8;*GP*;*RO*;*HD*
;R,RROUND:1.5;*GP*;*RO*;*HD*
;LA,EX:-12.44,EY:5.25;*GP*;*RO*;*HD*
;#End contour definition end - Don't change!*GP*;*RO*;*HD*
E_LAB_E_ACCOUP:
E_LAB_A_ACCOUP1: ;#SM Z:3
;#7__DlGk contour definition begin - Don't change!*GP*;*RO*;*HD*
G17 G90 DIAMOF;*GP*
G0 X12.44 Y-5.25 ;*GP*
G1 X7.37 Y-3.11 RND=1.5 ;*GP*
G3 Y3.11 I=AC(-.001) J=AC(0) RND=1.5 ;*GP*
G1 X12.44 Y5.25 ;*GP*
;CON,0,0.0000,3,3,MST:0,0,AX:X,Y,I,J,TRANS:1;*GP*;*RO*;*HD*
;S,EX:12.44,EY:-5.25;*GP*;*RO*;*HD*
;LA,EX:7.37,EY:-3.11;*GP*;*RO*;*HD*
;R,RROUND:1.5;*GP*;*RO*;*HD*
;ACCW,DIA:0/35,EX:7.37,EY:3.11,RAD:8;*GP*;*RO*;*HD*
;R,RROUND:1.5;*GP*;*RO*;*HD*

```

```
;LA,EX:12.44,EY:5.25;*GP*;*RO*;*HD*

;#End contour definition end - Don't change!*GP*;*RO*;*HD*

E_LAB_E_ACCOUP1:

E_LAB_A_ACCOUP2: ;#SM Z:2

;#7__DlGk contour definition begin - Don't change!*GP*;*RO*;*HD*

G17 G90 DIAMOF;*GP*

G0 X0 Y-13.5 ;*GP*

G1 Y13.5 ;*GP*

;CON,0,0.0000,1,1,MST:0,0,AX:X,Y,I,J,TRANS:1;*GP*;*RO*;*HD*

;S,EX:0,EY:-13.5;*GP*;*RO*;*HD*

;LU,EY:13.5;*GP*;*RO*;*HD*

;#End contour definition end - Don't change!*GP*;*RO*;*HD*

E_LAB_E_ACCOUP2:
```

IV.4 quelques photos du processus de fabrication





N.B : chaque pièce peut être usinée en seulement quelques minutes (environ deux minutes).

Conclusion

Ce chapitre aborde les étapes essentielles pour concevoir et mettre en œuvre un accouplement mécanique flexible dans un système. La programmation de l'accouplement consiste à développer un code qui contrôle les mouvements et les interactions des composants de la machine-outil. Une programmation précise est nécessaire pour assurer un fonctionnement optimal de l'accouplement. La réalisation de l'accouplement implique la fabrication et l'assemblage des composants, en utilisant des techniques spécifiques telles que l'impression 3D ou/et l'usinage CNC. En conclusion, la programmation et la réalisation d'un accouplement flexible exigent une approche multidisciplinaire pour développer des accouplements adaptés aux besoins spécifiques des systèmes mécaniques, ouvrant la voie à des applications innovantes et performantes

Conclusion générale

Conclusion générale

En conclusion, le projet de fin d'étude intitulé "Programmation et réalisation d'un accouplement mécanique flexible sur MOCN à 3 axes" a pour objectif de résoudre le défi de rétroconception et de réalisation d'une transmission précise du mouvement entre les axes d'une machine-outil à commande numérique. L'accent est mis sur la combinaison de plusieurs procédés de fabrication afin de créer un accouplement mécanique flexible qui offre une solution efficace et fiable

Dans l'ensemble, ce projet contribue au développement de solutions innovantes dans le domaine de l'usinage et de la fabrication en combinant la programmation, la conception mécanique et la réalisation pratique d'un accouplement mécanique flexible sur une machine-outil à commande numérique. Les résultats obtenus dans ce travail de recherche peuvent avoir des applications significatives dans l'industrie manufacturière, en améliorant l'efficacité, la précision et la qualité des opérations d'usinage

ملخص:

يهدف هذا المشروع لنهاية التخرج إلى حل تحدي إعادة تصميم وتنفيذ توصيل ميكانيكي مرن. يتم التركيز على استخدام عدة عمليات تصنيع لإنشاء توصيل فعال وموثوق. إعادة تصميم الأجزاء الميكانيكية تسمح بتكرار الأجزاء الموجودة، وفي هذا المشروع نجمع بين تقنيات تصنيع مختلفة للحصول على توصيل مثالي من حيث المقاومة والمرونة. نولي أيضاً اهتماماً خاصاً لاختيار المواد لضمان موثوقية وطول عمر التوصيل. ستجرى اختبارات تجريبية لتقييم أداء التوصيل. في الختام، يهدف هذا المشروع إلى توفير حلاً فعالاً وموثوقاً لتطبيقات تتطلب توصيل ميكانيكي مرن.

الكلمات المفتاحية: الهندسة العكسية، الاتصال الميكانيكي، الاتصال المرن، عمليات التصنيع، الأجزاء الميكانيكية، الأشكال الهندسية

Résumé :

Ce projet de fin d'étude vise à résoudre le défi de rétroconception et de réalisation d'un accouplement mécanique flexible. L'accent est mis sur l'utilisation de plusieurs procédés de fabrication pour créer un accouplement efficace et fiable. La rétroconception des pièces mécaniques permet de reproduire des pièces existantes, et dans ce projet, nous combinons différentes techniques de fabrication pour obtenir un accouplement optimal en termes de résistance et de flexibilité. Nous accordons également une attention particulière à la sélection des matériaux pour assurer la fiabilité et la longévité de l'accouplement. Des tests expérimentaux seront réalisés pour évaluer les performances de l'accouplement. En conclusion, ce projet vise à fournir une solution efficace et fiable pour les applications nécessitant un accouplement mécanique flexible.

Mots clés : Rétro-ingénierie, Couplage mécanique, accouplement flexible, Processus de fabrication, Pièces mécaniques, Géométrie

Abstract :

This final year project aims to solve the challenge of reverse engineering and manufacturing a flexible mechanical coupling. The focus is on using multiple manufacturing processes to create an efficient and reliable coupling. Reverse engineering of mechanical parts allows for reproducing existing parts, and in this project, we combine different manufacturing techniques to achieve an optimal coupling in terms of strength and flexibility. We also pay special attention to material selection to ensure the reliability and longevity of the coupling. Experimental tests will be conducted to evaluate the performance of the coupling. In conclusion, this project aims to provide an effective and reliable solution for applications requiring a flexible mechanical coupling.

Keywords: Reverse engineering, Mechanical coupling, Flexible, Manufacturing processes, Mechanical parts, Geometry