

Introduction	1
--------------	---

A

Évolution des moyens de fabrication

1 • Analyse structurelle d'une machine d'usinage	7
1.1 Introduction	7
1.2 Analyse structurelle d'une machine d'usinage	9
2 • Système de génération du mouvement de coupe	12
2.1 Les porte-outils	12
2.2 Les électrobroches UGV	14
3 • Système de génération du mouvement d'avance	19
3.1 Typologie des machines UGV	19
3.2 Le bâti	26
3.3 La technologie des axes de déplacement	38
3.4 La motorisation des machines-outils	42
3.5 Optimisation du pilotage des machines	53
4 • Modélisation géométrique des machines UGV : Espaces de travail	71
4.1 Espace de travail géométrique	71
4.2 Espace de travail cinématique	72
4.3 Espace de travail dynamique	72
4.4 Transformation géométrique inverse	74
4.5 Méthodes pour la définition du modèle géométrique	75
4.6 Méthode de Merlet spécifique aux mécanismes à structure parallèle	82
4.7 Conclusion	86

5 • Modélisation cinématique des machines UGV	87
5.1 Introduction	87
5.2 Notion de bases pour la modélisation cinématique d'une machine-outil UGV	89
5.3 Modélisation du comportement des machines-outils UGV	92
5.4 Comparaison avec un directeur de commande numérique industriel	105
5.5 Synthèse	108
6 • Modélisation dynamique des machines UGV	109
6.1 Introduction	109
6.2 Démarche de modélisation	110
6.3 Analyse modale d'un modèle éléments-finis	112
6.4 Modèles simplifiés à constantes localisées	114
6.5 À propos des phénomènes de frottements	118
6.6 Conclusion	119
7 • Optimisation du pilotage des machines	121
7.1 Évolution des Commandes numériques	121
7.2 Simulation des machines	123
7.3 L'approche ICAM	124

B

Outils et méthodes d'analyse d'un processus de coupe sans vibration

8 • Usinage et coupe	129
8.1 Introduction	129
8.2 Problématique générale de la coupe	131
8.3 Historique de la coupe des métaux	132
9 • Usinabilité	142
9.1 Tentative de définition	142
9.2 Quantification de l'usinabilité	145
9.3 Les mécanismes de formation du copeau	155
9.4 Usinage avec et sans fluide de coupe	159
10 • Modélisation et instrumentation des efforts de coupe	164
10.1 Modélisations des efforts de coupe	164
10.2 Instrumentation des opérations d'usinage	174

C

Outils et méthodes d'analyse d'un processus de coupe avec vibration

11 • Principales sources de vibration au sein d'une structure d'usinage	183
11.1 Notions de base pour l'analyse vibratoire du système usinant	183
11.2 Causes de déformation du système usinant	187
12 • Le broutement, phénomène prépondérant en usinage	193
12.1 Introduction	193
12.2 Analyse qualitative de l'instabilité engendrée par broutement	193
12.3 Modélisation du broutement en vue du choix de conditions de coupe	195
12.4 Comment aborder un calcul de broutement en pratique ?	204
13 • Les enjeux actuels de l'industrie et de la recherche	219
13.1 Un premier objectif : vers une meilleure conception et utilisation des broches	219
13.2 Un deuxième objectif : vers une maîtrise des vibrations	223
13.3 Un troisième objectif : vers le développement d'approches de type « expérimentation/simulation »	238
13.4 Un quatrième objectif : vers une utilisation positive des vibrations	249

D

Évolution des méthodes de programmation

14 • Description et programmation des trajectoires d'usinage	261
14.1 La chaîne numérique en Fabrication Assistée par Ordinateur	261
14.2 Les formats de description des trajectoires	262
14.3 L'interpolation polynomiale dans la chaîne numérique	263
14.4 Développements autour de l'interpolation polynomiale	265
14.5 Comportement cinématique	271
14.6 Évolution des moyens de programmation	276

15 • Évolution des méthodes de programmation en fraisage 2.5 axes	280
15.1 L'arrondissement des trajectoires	280
15.2 L'usinage des poches	281
15.3 L'usinage par contournage	287
15.4 L'usinage des pièces flexibles	288
15.5 Le tréflage	291
15.6 L'usinage trochoïdal	296
16 • Évolution des méthodes de programmation en fraisage 3 axes des moules et matrices	299
16.1 Point de vue géométrique	299
16.2 Les stratégies d'usinage	306
17 • Évolution des méthodes de programmation en fraisage 5 axes des formes complexes	311
17.1 Intérêt de l'usinage à 5 axes	311
17.2 Machines d'usinage à 5 axes	312
17.3 Comportement cinématique des machines à 5 axes	315
17.4 La chaîne numérique de programmation	325
17.5 Description du procédé	326
17.5 Usinage à 5 axes en bout	327
17.6 Usinage à 5 axes sur le flanc	331
17.7 Conclusion	336
18 • Optimisation des trajectoires d'usinage	337
18.1 Redéfinition du problème de calcul des trajets d'usinage	337
18.2 Calcul de trajectoires par optimisation sous contraintes : exemple d'une opération d'ébauche de poches en fraisage 2.5 axes	340
18.3 Maximisation de la vitesse d'avance outil/pièce en fraisage 5 axes	353
Bibliographie	369
Index	387