



N° d'ordre : 03 / 2014.

THESE DE DOCTORAT

Présentée par

Mr : Nabil MOUJIBI

Discipline : Génie Mécanique

Spécialité : Génie Mécanique

Sujet de la thèse :

EVALUATION DES TOLERANCES ET SIMULATION DES DEFAUTS DE FABRICATION

Thèse présentée et soutenue le 24 Janvier 2014, devant le jury composé de :

Nom Prénom	Titre	Établissement	
Pr. Taoufik OUZZANI CHAHDI	PES	Université Euro-Méditerranéenne de Fès	Président
Pr. Elbachir ELKIHHEL	PES	Ecole Nationale des Sciences Appliquées d'Oujda	Rapporteur
Pr. Ali CHAABA	PES	Ecole Nationale Supérieure D'arts Et Métiers de Meknès	Rapporteur
Pr. Ahmed EL KHALFI	PES	Faculté des Sciences et Techniques de Fès	Rapporteur
Pr. Mohammed RADOUANI	PES	École Nationale Supérieure D'arts Et Métiers de Meknès	Examinateur
Pr. Abdelmjid SAKA	PES	Ecole Nationale des Sciences Appliquées de Fès	Directeur de thèse

Laboratoire d'accueil : Génie Mécanique

Etablissement : Faculté des Sciences et Techniques de Fès



Résumé de la thèse

L'étude présente les méthodes pour évaluer les tolérances et estimer les défauts de fabrication tridimensionnels. Les méthodologies ont été élaborées sur la base des travaux antérieurs, tels que la méthode de tolérancement vectoriel VD&T (Vectoriel Dimensioning and Tolerancing) présentée par A. SAKA associée à la méthode de tolérancement statistique présentée par M. Radouani.

Dans cette thèse, la première méthode proposée, basée sur le modèle espace des états, est présentée et permet d'identifier les défauts de fabrication. Cette méthode permet de distinguer les défauts de mise en position d'un lot de pièces et les défauts dus aux opérations d'usinage au cours d'un processus de fabrication multi-opérations. Les résultats obtenus représentent les écarts géométriques des pièces usinées. En outre, une méthode d'analyse statistique a été réalisée pour évaluer et vérifier le respect des tolérances imposées par le concepteur en tenant compte des précisions des procédés choisis. Les résultats montrent que les valeurs de tolérances sont réalisables par les procédés choisis, dans les délais prescrits et qui permettent d'assurer les exigences fonctionnelles.

Par ailleurs, un modèle permettant de simuler les défauts de fabrication d'une pièce au cours d'un processus de fabrication multi-opérations a été développé. Le modèle final de simulation est une combinaison de deux méthodes : simulation de processus de fabrication et simulation de Monte Carlo. Pour la méthode de processus de fabrication, trois facteurs, qui sont supposés être les plus importants dans les défauts de fabrication, sont utilisés dans le modèle. Les résultats obtenus à partir des simulations sont exprimés sous forme de distribution et de paramètres statistiques caractéristiques. Ceux-ci sont ensuite utilisés pour effectuer les simulations en appliquant la méthode de Monte Carlo.

Enfin, un modèle globale est proposé, pour prévoir les défauts de fabrication tridimensionnels par la conception simultanée du produit et du processus de fabrication. Ce modèle permet de vérifier, dans un environnement de simulation, les tolérances fonctionnelles imposées par le concepteur. De plus, cette méthode permet de déterminer les tolérances garantissant le respect des besoins fonctionnels donnés malgré ces défauts.

Mots clés : Tolérancement tridimensionnel, défaut de fabrication, écarts géométriques, tolérances géométriques, simulation de Monte Carlo.

Sommaire

Remerciements	vi
Sommaire.....	i
Liste des tableaux	v
Liste des figures.....	vi
Introduction générale.....	1
Chapitre 1 : Problématique et état d'art.....	7
1. Introduction	8
2. Défauts de fabrication et processus d'usinage.....	8
2.1. L'erreur de mise en position d'une pièce	9
2.2. Erreurs des éléments de mise en position du montage	10
2.3. Erreurs dans les processus et procédés de fabrication.....	12
2.4. Discussion.....	13
3. Les méthodes de tolérancement tridimensionnelles	14
3.1. La norme ISO du tolérancement et GPS:	14
3.2. Le tolérancement	15
3.3. Analyse ou synthèse des tolérances.....	16
3.4. Approche pire des cas et approches statistiques.....	17
3.5. Modèle de spécification paramétrique ou vectorielle.....	18
3.6. Modèle de spécification statistique	21
3.7. Synthèse :.....	22
4. Tolérancement Assisté par Ordinateur (TAO)	25
5. Conclusion :.....	27
Chapitre 2 : Modèle proposé pour la synthèse de tolérances	29
1. Introduction	30
2. Le processus de fabrication	30
3. Modèle de la pièce et modèle des écarts.....	33
3.1. Modèle de la pièce.....	34
3.2. Modèle Ecart de la pièce	35

4.	Modèle montage et opérations d'usinage	35
4.1.	Système de coordonnées.....	36
4.2.	Modèle opérations de montage.....	38
4.2.1.	Défaut de mise en position du montage :	38
4.2.2.	Défauts de mise en position de la pièce :	40
4.3.	Modèle opérations de fabrication	42
5.	Modèle 3D d'accumulation et de propagation des erreurs	43
6.	Conclusion.....	44
Chapitre 3 :		46
Méthode proposée pour la synthèse de tolérances		46
1.	Introduction	47
2.	Description du modèle espace d'état pour le processus d'usinage.....	48
2.1.	Représenter la pièce et le processus	48
2.2.	Détermination des relations géométriques	51
2.2.1.	Rotation autour de l'axe (x), Rx :.....	52
2.2.2.	Rotation autour de l'axe (y), Ry :	53
2.2.3.	Rotation autour de l'axe (z), Rz :	53
2.2.4.	Translation selon une direction, T	54
2.3.	Description de l'approche automatique de prise de décision pour le processus de fabrication.....	55
2.4.	Modélisation des opérations de montage et d'usinage.....	57
3.	Etude de cas et simulation du processus de fabrication	58
3.1.	Modélisation de la première phase (pas d'erreurs de références)	58
3.1.1.	L'opération de montage de la phase 1	58
3.1.2.	L'opération d'usinage de la phase 1	61
3.2.	Modélisation de la deuxième phase (avec les erreurs de Datum).....	62
3.2.1.	Opération de montage.....	62
3.2.2.	Opération d'usinage	64
4.	Résultats numériques et discussions.....	65
4.1.	Identification de valeurs de la tolérance géométrique	65
4.2.	Evaluation de la valeur des tolérances géométriques	68

4.2.1.	Evaluation de la spécification de localisation de la surface S_1 dans la phase 1 :	68
4.2.2.	Analyse par solveur :	69
5.	Simulation Monte Carlo des valeurs de Tolérance.....	73
6.	Conclusion.....	74
Chapitre 4 :		75
Méthode proposée pour la vérification de tolérances		75
1.	Introduction	76
2.	Applicabilité de modificateurs sur les valeurs de tolérance géométrique et d'éléments de référence	76
2.1.	Effet de l'exigence du MMC	76
2.2.	Application du MMC à une TOP	77
2.3.	Interprétation de la spécification de localisation au MMC.....	79
2.3.1.	Éléments non idéaux.....	79
2.3.2.	Éléments idéaux.....	80
2.3.3.	État virtuel de l'élément tolérancé.....	80
2.3.4.	Condition de conformité.....	80
2.4.	Diagramme de Tolérance Dynamique Tridimensionnel	82
2.4.1.	Diagramme de Tolérance Dynamique Tridimensionnelle.....	83
2.4.2.	Tolérancement géométrique zéro	84
3.	Algorithme de calcul et d'inspection des spécifications géométriques.....	85
3.1.	Surface associée théoriquement.....	87
3.1.1.	Caractéristiques du plan théorique associé.....	87
3.1.2.	Caractéristiques du cylindre théorique	87
3.2.	Rechercher l'axe de référence tertiaire Axe_C.....	88
3.3.	Rechercher l'état virtuel de l'élément tolérancé.....	90
3.4.	Condition d'acceptation.....	91
4.	L'approche graphique d'orientation de la zone de tolérance (GOTZ)	91
4.1.	L'approche GOTZ	93
4.2.	Représentation graphique de l'élément tolérancé.....	93
4.2.1.	Modélisation des éléments cylindriques avec polytopes.....	94
4.2.2.	Zone de tolérance sans MMC	94

4.2.3. Polytope des MMC.....	94
4.2.4. Comment ajouter de la MMC: le résultat final.....	94
5. Conclusion.....	95
Conclusion générale et perspective.....	97
1. Conclusion :.....	98
2. Perspective :.....	100
Annexes.....	ix
Annexe 1 : Tableaux des valeurs numériques.....	x
Annexe 2 : Tolérancement avec les méthodes statistiques.....	xii
A2.1. introduction.....	xii
A2.2. Tolérancement basé sur la Simulation de Monte Carlo.....	xiii
A2.2.1. Algorithme d'application de la SMC.....	xiii
A2.2.2. Tolérancement avec la SMC.....	xvi
Annexe 3 : Approche de simulation et de synthèse des tolérances 3D.....	xii
A3.1. introduction.....	xii
A3.2. Evaluation de la méthode de traitement.....	xii
A3.3. Exemple de tolérance de localisation.....	xiii
A3.4. Traitement des données.....	xv
A3.5. Processus de fabrication et exploitation des résultats.....	xvii
A3.5.1. Influence des différents défauts sur la surface tolérancée.....	xviii
A3.5.2. Influence de chaque paramètre sur la tolérance de la surface cible.....	xix
Références Bibliographiques.....	xii
Publications et communications.....	xii
PUBLICATIONS DANS DES REVUES SPECIALISEES A COMITE DE LECTURE.....	xii
COMMUNICATIONS ORALES & COLLOQUES A COMITE DE LECTURE.....	xiii
