

Dipl.-Ing. Oliver Sawodny, Nersingen

Modellbasierte Qualitäts- regelung in der spanenden Fertigung am Beispiel der Drehbearbeitung

Reihe **2**: Fertigungstechnik

Nr. **403**

Inhalt

1.	Einleitung	1
2.	Stand der Technik	4
2.1	Aufgabe und Definition der Qualitätslenkung	4
2.2	Regelkreisstrukturen in der Qualitätssicherung	4
2.3	Anforderungen an Regelkreise zur Qualitätslenkung	5
2.4	Verfahren zur Prozeßauslegung im Kontext der Qualitätslenkung	7
2.4.1	Prozeßauslegung in der Arbeitsplanung der spanenden Fertigung	7
2.4.2	Prozeß-Fehler-Möglichkeiten-und-Einfluß-Analyse (P-FMEA)	8
2.4.3	Versuchsplanung	9
2.4.4	Regelkreis zur Qualitätslenkung und Prozeßauslegung	9
2.5	Verfahren zur Qualitätslenkung in der laufenden Fertigung	10
2.5.1	Heuristische Prozeßregelung in der spanenden Fertigung	11
2.5.2	Statistische Prozeß Steuerung (SPC)	12
2.5.3	Expertensysteme	13
2.5.3	Modellbasierte Qualitätsanalyse und Maßnahmenunterstützung	14
2.5.4	Regelkreis zur Qualitätslenkung und laufende Fertigung	15
3.	Problemstellung	16
3.1	Voraussetzungen für eine Qualitätsregelung	16
3.2	Randbedingungen der spanenden Fertigung	16
3.3	Ziele einer Qualitätsregelung	17
4.	Struktur einer modellbasierten Qualitätsregelung	18
4.1	Begriffe und Definitionen zur Modellierung	18
4.2	Allgemeine Betrachtung der Qualitätsregelung in mehrstufigen Fertigungssystemen	18
4.3	Teilkomponenten der Qualitätsregelung in der spanenden Fertigung	20
4.3.1	Spanender Fertigungsprozeß als Strecke	21
4.3.2	Methoden der Fertigungsmeßtechnik zur Messung der Qualitätsmerkmale	23
4.3.3	Meßergebnisanalyse und Maßnahmenentscheidung als modellbasierte Regelstrategie	25
4.3.4	NC-Steuerung für den Stellgrößeneingriff	25
4.4	Grundsätzliche Vorgehensweise beim Entwurf einer modellbasierten Qualitätsregelung	26

5.	Drehbearbeitung als Beispiel für die spanende Fertigung	29
5.1	Bearbeitungsverfahren	29
5.2	Qualitätsmerkmale beim Drehen rotationssymmetrischer Teile	30
6.	Modell zur Beschreibung des Drehprozesses	32
6.1	Modellierung des Zerspanungsvorgangs	32
6.1.1	Zerspankräfte	32
6.1.2	Kienzlesches Schnittkraftgesetz	33
6.1.3	Modell zur Beschreibung der Passiv- und Vorschubkräfte	34
6.1.4	Modell zur Beschreibung der Oberflächenbeschaffenheit	38
6.2	Statischer Modellansatz zur Beschreibung qualitätsrelevanter Merkmale	40
6.2.1	Analyse von Prozeßstörungen mit Auswirkung auf die Geometrie	40
6.2.2	Fertigungstechnische Beschreibung der Offsetabweichung	41
6.2.3	Fertigungstechnische Beschreibung der Bieigungsabweichung	42
6.2.3.1	Beschreibung der Werkstückgeometrie mit Grundgeometrieelementen	43
6.2.3.2	Differentialgleichung zur Beschreibung der Biegung	44
6.2.3.3	Lösung der Biegedifferentialgleichung für Werkstückabschnitte mit konstantem Querschnitt bei einseitiger Aufspannung	46
6.2.3.4	Lösung der Biegedifferentialgleichung für Werkstückabschnitte mit Kegel-Flächen bei einseitiger Aufspannung	48
6.2.3.5	Lösung der Biegedifferentialgleichung für Werkstückabschnitte mit Kugel-Flächen bei einseitiger Aufspannung	49
6.2.3.6	Numerische Lösung der Biegedifferentialgleichung bei beliebigen Geometrien	50
6.2.4	Analyse von Prozeßstörungen mit Auswirkung auf die Oberflächenbeschaffenheit	52
6.2.5	Fertigungstechnische Beschreibung der Rauheitsabweichung	53
6.2.6	Festlegung der Modellstruktur in Abstimmung mit der Regelaufgabe	53
7.	Ansätze zum Entwurf von Qualitätsregelungen	56
7.1	Einfaches Beispiel zur Qualitätsregelung der Rauhtiefe	56
7.1.1	Struktur des Rauheitsregelkreises	56
7.1.2	Funktionsweise der Regelung in Anpassung an die betriebliche Struktur	57

7.1.3	Meßergebnisse der einfachen Rauheitsregelung	59
7.2	Linearisierte Qualitätsregelung der Geometrie	62
7.2.1	Fertigungsaufgabe und zu regelnde Qualitätsmerkmale	62
7.2.2	Abweichungsmodell und zugelassene Abweichung	63
7.2.3	Geometriekompensation der Biegung	64
7.2.4	Startwertberechnung	67
7.2.5	Regelungsstruktur	67
7.2.6	Meßergebnisse	71
7.3	Linearisierte Geometrie- und Rauheitsregelung	75
7.3.1	Fertigungsaufgabe und zu regelnde Qualitätsmerkmale	75
7.3.2	Abweichungsmodell	76
7.3.3	Startwertberechnung	76
7.3.4	Regelungsstruktur	76
7.3.5	Meßergebnisse	78
7.4	Besondere Aspekte der Linearisierung und ihre Auswirkungen	81
7.4.1	Arbeitspunktnachführung	81
7.4.2	Robustheit bei Schwankungen der Prozeßparameter	83
7.5	Geometrieregung mit Schätzung der linearen Parameter und exakte Stellgrößenberechnung	84
7.5.1	Randbedingungen der Geometrieregung mit Schätzung der linearen Parameter	84
7.5.2	Linearer Optimierungsansatz	85
7.5.3	Exakte numerische Stellgrößenberechnung	86
7.5.4	Regelungsstruktur	86
7.5.5	Meßergebnisse	87
7.6	Geometrieregung bei beliebigen Werkstückgeometrien durch nichtlineare Parameterschätzung und exakte Stellgrößenberechnung	90
7.6.1	Fertigungsaufgabe und zu regelnde Qualitätsmerkmale	90
7.6.2	Voruntersuchungen und Abweichungsmodell	90
7.6.3	Startwertberechnung	92
7.6.4	Geometriekompensation	93
7.6.5	Nichtlinearer Optimierungsansatz	95
7.6.5.1	Problemstellung	95
7.6.5.2	Lösungsverfahren	95
7.6.5.3	Nebenbedingungen und Startwerte	96
7.6.5.4	Abspaltung eines linearen Teilproblems	96
7.6.5.5	Problemmodifikation	97
7.6.6	Regelungsstruktur	99
7.6.7	Meß- und Simulationsergebnisse	100
7.7	Geometrieregung durch nichtlineare Parameterschätzung mit Profilanalyse	105
7.7.1	Modifiziertes Abweichungsmodell	105

7.7.2	Modifizierter Optimierungsalgorithmus und Regelungsstruktur	106
7.7.3	Meßergebnisse	107
8.	Zusammenfassung	110
9.	Literaturverzeichnis	113