



Bachelorarbeit:

**Erstellung eines Konzeptes für ein Qualitätssicherungssystem zur
Überwachung von Werkstück, Werkzeug und Werkzeugmaschine in
automatisch arbeitenden Fertigungssystemen**

Verfasser: Shengwei Xu

(Vor- und Nachname)

Matrikelnummer: 25882

Studiengang: Mechatronik

Erstbetreuer: Prof. Dr.-Ing. Rolf Kademann

Hochschule Merseburg, Fachbereich INW

Zweitbetreuer: Dipl.-Ing. (FH) Thomas Kirchhofer

Hochschule Merseburg, Fachbereich INW

Abgabe:06/07/2021

Hochschule Merseburg

Fachbereich Ingenieur und Naturwissenschaften

Aufgabenstellung für die Bachelorarbeit von Herrn Shengwei Xu (25882)

Thema: Erstellung eines Konzeptes für ein Qualitätssicherungssystem zur Überwachung von Werkstück, Werkzeug und Werkzeugmaschine in automatisch arbeitenden Fertigungssystemen

Betreuer: Prof. Dr.-Ing. Rolf Kademann; Hochschule Merseburg, Fachbereich INW
Dipl.-Ing. (FH) Thomas Kirchhofer; Hochschule Merseburg, Fachbereich INW

Aufgabenstellung:

Zunehmend gewinnt die Automatisierung in mannigfaltiger Form in der Produktionstechnik an Bedeutung, so dass es bei der Auslegung der einzusetzenden Fertigungstechnik eine Vielzahl an technischen und organisatorischen Rahmenbedingungen zu beachten gilt.

Im Rahmen der Bachelorarbeit sind, gemäß der o. g. Themenstellung, Konzeptlösungen zu erstellen, deren Struktur darzustellen sowie dazugehörige maschinenbautechnische und organisatorische Besonderheiten aufzuzeigen und deren Einbindung in den Prozessablauf zu analysieren.

Hinweise zur Lösung der Aufgabenstellung

1. Analyse des gegenwärtigen Standes vorhandener technischer Lösungen als Basisvorgänge unter Beachtung der Prozessabläufe, der einsetzbaren Materialien, und der möglichen Anlagentechniken sowie erforderlichen Hilfseinrichtungen und Überwachungsmitteln
2. Dokumentation der vorhandenen Lösungen für die o. g. technischen Einrichtungen in derartigen Prozessen
3. Auslegung und Bewertung von allgemeinen Lösungsvarianten für die automatische Realisierung der Abläufe
4. Beschreibung einer möglichen Lösung an einem selbst gewählten Beispierteil (mit Begründung)
5. Darstellung des Zusammenhangs zwischen den maschinenbaulichen und organisatorischen Schnittstellen Materialfluss (Ausgangsteil, Fertigteil, Werkzeuge), Transport und Handhabung sowie Ver- und Entsorgung der einzelnen Elemente für die Vorzugsvariante gemäß Abschnitt 4

Anzahl der Exemplare: 2 (zuzüglich 1 Exemplar in digitaler Form)

Prof. Dr.-Ing. M. Staiger
Vorsitzender des Prüfungsausschusses
des Studiengang MMP

Prof. Dr.-Ing. R. Kademann
Themenstellender Hochschullehrer

Erklärung

Ich versichere hiermit diese Masterarbeit selbständig angefertigt zu haben. Alle verwendeten Quellen habe ich dabei vollständig und genau angegeben an den Stellen an denen ich Passagen wörtlich oder sinngemäß entnommen habe.

Diese Arbeit wurde bisher noch nicht veröffentlicht und keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Merseburg, den 08. April 2021

Shengwei Xu

Inhaltverzeichnis

1 Einführen.....	6
1.1 Der aktuelle Trend von Entwicklung der CNC-Maschine und Fertigungstechnik	6
1.2 Industrienachfrage und Funktionen der Überwachungstechnologie in Verarbeitung.....	7
1.3 Überwachte Objekte und Forschungsstatus	8
1.3.1 Überwachung des Werkzeugstatus	9
1.3.2 Überwachung des Bearbeitungsstatus	11
1.3.3 Überwachung der Werkstückoberflächenqualität.....	11
1.3.4 Flattererkennung	11
1.3.5 Andere Überwachung.....	12
2 Werkzeugverschleiß in der Bearbeitung	13
2.1 Komplexitätsanalyse beim Hochgeschwindigkeitsdrehen	13
2.2 Mechanismus zur Erzeugung der Schneidkraft	16
2.2.1 Werkzeugverschleißform und stumpfer Standard	18
2.2.2 Werkzeugverschleißmechanismus und mathematisches Modell	20
2.2.2.1 Lebensdauermodell.....	20
2.2.2.2 Werkzeugverschleißmodell.....	21
3 Überwachung des Werkzeugs.....	24
3.1 Methode zur Überwachung des Werkzeugzustands.....	24
3.1.1 Schnittkraft und Drehmoment.....	25
3.1.2 Schallemission	28
3.1.3 Andere häufig verwendete Nachweismethoden.....	29
3.1.3.1 Leistungs- und Stromsignal	29
3.1.3.2 Vibrationssignal	30
3.2 Extraktionsmethode für Werkzeugstatusmerkmale	31
3.2.1 Analyse von Zeitbereich und Frequenzbereich	31
3.2.2 Analyse von Zeit-Frequenzbereich	33

4 Schnittkraftsignalverarbeitung und Extraktion von Merkmalen.....	34
4.1 Zeitbereich - Analyse von Schnittkraft.....	35
4.2 Frequenzbereich - Analyse von Schnittkraft.....	36
4.2.1 Analyse von Amplitudenspektrum und Phasenspektrum	37
4.2.2 Leistungsspektrum	38
4.3 Zeit-Frequenz-Analyse von Schnittkraft.....	40
4.3.1 Wavelet-Analyse	40
4.3.2 Wavelet-Packet-Transformation	45
5 Zusammenfassung.....	48
Quellenverzeichnis	49
Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	52

1 Einführen

1.1 Der aktuelle Trend von Entwicklung der CNC-Maschine und Fertigungstechnik

Die Bearbeitungsgenauigkeit ist der erste Aspekt der Werkzeugmaschine, der berücksichtigt werden muss. Die Verarbeitungsstabilität und Zuverlässigkeit, die Verarbeitungsqualität und Verarbeitungseffizienz sowie der Energieverbrauch spielen jedoch immer noch eine sehr wichtige Rolle bei der Bearbeitung. Der Bearbeitungsprozess ist ein komplizierter Prozess. Zu den Faktoren, die die Bearbeitungsgenauigkeit, Bearbeitungsstabilität und Zuverlässigkeit beeinflussen, gehören Vibration, Wärmekopplung, Verformung und Werkzeugverschleiß während der Bearbeitung.

Die Überwachungstechnologie kann die Zuverlässigkeit und Steuerbarkeit des Verarbeitungsprozesses verbessern¹. Es ist notwendig, die Stabilität und Zuverlässigkeit der Verarbeitung, Verarbeitungsqualität und Verarbeitungseffizienz zu verbessern, um nicht nur die Grundlagenforschung in Bezug auf Werkzeugmaschinen-Design und Technologie zu stärken, sondern auch um gut zu sein bei der Verwendung moderner Computertechnologie und Information. Chemische Technologie und Überwachungsmethoden zur Verbesserung der Wahrnehmungs- und Kontrollfunktionen von Verarbeitungsgeräten und Verarbeitungsprozess.

Die Überwachungstechnologie ist eine günstige Garantiemethode für die Fehlerdiagnose und den sicheren und zuverlässigen Betrieb von Verarbeitungsgeräten. Bereits Ende der 1960er Jahre gründeten die USA und das UK Forschungseinrichtungen zur Zustandsüberwachung wie mechanisches Versagen

und mechanische Gesundheitsüberwachung. Mit der Entwicklung fortschrittlicher Technologien wie Sensortechnologie, Signalverarbeitungstechnologie und Technologie für künstliche Intelligenz Die Konnotation und Anwendung der Überwachung wird immer breiter.

Es reicht nicht aus, sich bei der Überwachung des Produktions- und Verarbeitungsprozesses auf Menschen zu verlassen, um ein hochpräzises, schnelles und stabiles Verarbeitungsniveau zu erreichen². Die Überwachungstechnologie bei der Überwachung des Produktionsprozesses hat jedoch eine große Rolle bei der Herstellung von Hilfsverarbeitungssystemen gespielt und kann die Wahrnehmungs- und Steuerungsfähigkeit von CNC-Verarbeitungsgeräten verbessern. Verbessern Sie die Verarbeitungsqualität und die Verarbeitungseffizienz sowie die Verarbeitungsautomatisierung und das Intelligenzniveau. Viele Unternehmen, wissenschaftliche Forschungseinrichtungen und Wissenschaftler haben sich auf fortschrittliche Überwachungstechnologie, digitale Simulationstechnologie und intelligente Fertigungstechnologie konzentriert. Die kontinuierliche Erweiterung der Verarbeitungsüberwachung und der intelligenten Verarbeitungsfunktionen ist der aktuelle Trend und das Streben nach CNC-Verarbeitungsgeräten.

1.2 Industrienachfrage und Funktionen der Überwachungstechnologie in Verarbeitung

Ausgehend von den Werkzeugmaschinenherstellern und die Anwendungen von Werkzeugmaschinen ist die fortschrittliche Überwachungstechnologie auch ein strategischer Schwerpunkt, der dringend gelöst und implementiert werden muss. Um die Wettbewerbsfähigkeit und den Mehrwert der Produkte zu verbessern, die Wartungskosten für den Kundendienst usw. zu senken, kann durch den Einsatz

fortschrittlicher Technologie zur Informationserfassung und -überwachung sichergestellt werden, dass die hergestellten Produkte schnell, effizient, hochpräzise, stabil und zuverlässig arbeiten können. und erweitern Sie die Ausrüstung und Werkzeuge so weit wie möglich. Und so weiter. Im tatsächlichen Produktionsprozess treten aufgrund der angemessenen Auswahl der Prozessparameter, der Schnittvibration, des Werkzeugverschleißes, der thermischen Verformung und vieler anderer Faktoren Fehler zwischen dem fertigen Produkt und dem theoretischen Modell auf. Die Leistung der Ausrüstung und die Garantie der Lebensdauer, Verarbeitungseffizienz und Kosten sind alles Faktoren, die berücksichtigt werden müssen und die alle untrennbar mit der Technologie der Verarbeitungsüberwachung verbunden sind. Die Überwachung der Verarbeitungsausrüstung und Verarbeitungsprozess kann effektiv die endgültige Verarbeitungsgenauigkeit des Produkts sicherstellen und die Betriebsbedingungen jeder Einheit während des Betriebs der Werkzeugmaschine vollständig erfassen, die Arbeitsleistung der Werkzeugmaschine verbessern, die Erzeugung von Abfallprodukten beseitigen, und Kosten senken.

1.3 Überwachte Objekte und Forschungsstatus

Die Überwachung von CNC-Bearbeitungsgeräten bietet eine Grundlage für unbemannte Bearbeitung und Prozesssteuerung. Sie dient lediglich der Verbesserung der Produktionssicherheit, der Bereitstellung von Bearbeitungsgenauigkeit und Bearbeitungseffizienz sowie der Kostensenkung. Die unterschiedliche Überwachung hat ihren eigenen Schwerpunkt. Verbessern Sie die Verarbeitungsgenauigkeit und Verarbeitungseffizienz, die Benutzerfreundlichkeit, die angenehme Umgebung, die Sichtbarkeit der Statusparameter jedes Teils der Verarbeitungsausrüstung im Verarbeitungsprozess, die Lebensdauervorhersage usw. Diese Anforderungen

machen die Überwachung immer wichtiger und machen die Überwachung immer unterschiedlicher Inhalte und Aufgaben. Um die Verarbeitungs-ausrüstung und den Verarbeitungsprozess zu überwachen, müssen zunächst die entsprechenden Sensoren an den überwachten Objekten installiert werden und auf der Grundlage der entsprechenden Sensoren, die für die Prozesskontrolle und Qualitätskontrolle erforderlichen Rohdaten durch die Datenverarbeitung dieser Rohdaten erzeugt werden Daten werden die nützlichen Informationen extrahiert und der Verarbeitungsstatus beurteilt. Ergreifen Sie dann Maßnahmen zur Optimierung des Verarbeitungsprozesses und der Verarbeitungsqualität. Die Ergebnisse der Prozessüberwachung sind indirekt, aber zuverlässig. Die Verarbeitung ist jedoch ein komplexer Prozess, der von vielen möglichen Änderungsfaktoren begleitet wird. Es ist erforderlich, die Verarbeitungs-ausrüstung und den Verarbeitungsprozess zu untersuchen, um das beste Überwachungsprogramm zu ermitteln.

Die meisten Forschungen zur Verarbeitungsüberwachung zielen auf verschiedene Überwachungsobjekte ab, wobei verschiedene Arten von Sensoren verwendet werden, um die prozessphysikalischen Größen der überwachten Objekte zu messen und dann die Sensorsignale zu verarbeiten, um den Status der überwachten Objekte zu identifizieren³.

1.3.1 Überwachung des Werkzeugstatus

Durch den Werkzeugverschleiß ändert sich die relative geometrische Position des Werkzeugwerkstücks und die Kraft und Wärmebelastung werden erhöht, was zu Bearbeitungsfehlern und einer Verschlechterung der Oberflächenqualität führt. Die indirekte Beurteilung des Werkzeugverschleißes kann durch die physikalischen Größen des Prozesses erfolgen, wie z. B. Vibration, Motorleistung, Schnittkraft, Drehmoment, Geräuschentwicklung, Oberflächenrauheit, Schnitttemperatur usw.,

oder durch Methoden wie Laser, visuelle Bilder und Strahlungspartikel. Direkte Beurteilung und direkte Messung haben den Vorteil, dass sie intuitiv und genau sind. Der Nachteil ist jedoch, dass sie während der Verarbeitung nicht gemessen werden können.

In den späten 1980er und frühen 1990er Jahren verwendeten amerikanische Forscher die Signaleigenschaften einer Vielzahl von Sensoren, um das künstliche neuronale Netzwerk (ANN) einzugeben und die intelligente Überwachung und Erkennung des Verschleißstatus des Drehwerkzeugs zu realisieren. Luo Zhenbi und andere von der Tsinghua-Universität verwendeten ANN, Group Method of Data Handling (GMDH) usw., um die Signaleigenschaften von Schallemission (AE) und Schnittvibration (V) zu verschmelzen, und entwickelten ein Tool, mit dem Verschleiß und Bruch verschiedener Arten überwacht werden können von Werkzeugen. Werkzeugmonitor vom Typ TM-9000^{4, 5}. In den späten 1990er Jahren ist es unter dem Einfluss intelligenter Algorithmen wie Fuzzy-Inferenz und Fuzzy-Clustering zu einem Trend geworden, Fuzzy-Technologie mit ANN für die Diagnose des Werkzeugstatus zu kombinieren^{6, 7}. Pan Fu und andere kombinierten Fuzzy-Clustering mit neuronalen Netzen, um Signalmerkmale wie Leistung, Schnittkraft, Schallemission und Vibration zu verschmelzen, und realisierten erfolgreich die automatische Klassifizierung des Werkzeugverschleißstatus unter einer Reihe von Verarbeitungsbedingungen⁶. Li Xiaoli und andere verwendeten zuerst die Wavelet-Pakettransformation, um das akustische Emissionssignal (AE) vorzuverarbeiten, um den quadratischen Mittelwert (RMS) des zerlegten Signals jedes Frequenzbandes zu erhalten, und dann führte die Fuzzy-Clustering-Technologie (FCM) das Falsche aus Schneiden der Eigenwerte. Verschleißklassifizierung, diese Methode hat eine höhere Erkennungserfolgsrate und einen größeren Bereich von Schnittbedingungen⁷.

1.3.2 Überwachung des Verarbeitungsstatus

Einige Forscher unterteilen den Verarbeitungszustand in "Normalzustand" und "abnormaler Zustand (das Werkzeug ist defekt oder es gibt kein Werkzeug)", was anhand des Spindelleistungssignals unterschieden werden kann. In Literatur 8⁸ wurde über die Verwendung von Hochgeschwindigkeitskameratechnologie in Kombination mit einer neuen Methode zum Laserdrucken von Schachbrettmustern auf dem Werkstück berichtet, um Schnittvariablen (Scherwinkel, Spanstärke, Werkzeugvibrationsamplitude, Dehnung, Dehnungsrate) zu bewerten. Literatur 9⁹ Das internetbasierte Bearbeitungsüberwachungsgerät im weitesten Sinne bietet Kunden ein virtuelles Bearbeitungsprozessoptimierungsgerät, das das Fernüberwachungssystem der Werkzeugmaschine in die Prozesssimulationssoftware integriert.

1.3.3 Überwachung der Werkstückoberflächenqualität

Schnittgeschwindigkeit und Vorschubgeschwindigkeit beeinflussen die Oberflächenqualität. Die Dynamik des Räumens komplexer Teileigenschaften: Bei der Analyse der Kraft- und Beschleunigungssignale zeigt die Struktur, dass die dämpfungsgekoppelte Vibration die Spuren der Flatteroberfläche verursacht, die durch die spezifische Geometrie der Schneidkante in Verbindung mit der 3D-Vibration verursacht werden¹⁰.

1.3.4 Flattererkennung

Fast alle Schneidformen weisen Rattervibrationen auf, die den Werkzeugverschleiß verschlimmern, sogar das Werkzeug und die Spindel beschädigen und die Qualität der bearbeiteten Oberfläche verringern. Die Rattervibration kann durch Eigenschaften wie

Rauschen, Vibration, verarbeitete Oberflächenform, Spanform, Schnittkraft usw. identifiziert werden. Die Erkennung von Rattern konzentriert sich auf die Prävention. Vor 1990 wurden die drei Faktoren des Schneidens hauptsächlich im Vorhersagemodell des Ratterns berücksichtigt. Nach 1990 wurden einige neue Parameter wie Dämpfung, Werkzeuggeometrie und Verschleißgrad, Bauteilsteifigkeit, Werkzeug und The Die Einhaltung zwischen den Werkstücken wird berücksichtigt. Das dynamische Modell, das die Schnittparameter und diese Parameter umfassend berücksichtigt, kommt den dynamischen Eigenschaften des tatsächlichen Verarbeitungssystems sehr nahe¹¹. In der Literatur 12¹² werden die vorhandenen Methoden zur Identifizierung von Flattern analysiert und mehrere Sensoren verglichen. Die Lösung besteht darin, ein Multisensorsystem mit einem Axialkraftsensor und zwei Beschleunigungsmessern zu verwenden, um ein Rattervibration-Erkennungssystem der Fräsmaschine zu untersuchen. Die Literatur 13¹³ verwendet eine Wavelet-Transformation, um Schnittkraftsignale zu zerlegen, um Rattern- und Nicht-Rattern-Zustände zu unterscheiden. Die Literatur 14¹⁴ verwendet die Entropierate des Schneidkraftsignals, um die Spanform und das Rattervibration zu erfassen. Die Literatur 15¹⁵ verwendet die Wavelet-Transformation des Schneidkraftsignals, um das Rattern des Schaftfräsens in Echtzeit zu erfassen. In der Literatur 16¹⁶ wird die Leistungsspektrums Dichte der dynamischen Schneidkraft bei der Bearbeitung verwendet, um eine kontinuierliche Spanbildung, eine gebrochene Spanbildung und ein Rattern zu erfassen.

1.3.5 Andere Überwachung

Spanstatus, Spindelsystem, Motor, Werkstückdurchmesser, Schnittkraft usw¹⁷.

2 Werkzeugverschleiß in der Bearbeitung

CNC-Werkzeugmaschinen stellen typische komplexe mechatronische Bearbeitungsgeräte dar. Die endgültige Bearbeitungsqualität und Bearbeitungseffizienz hängen nicht nur von ihren eigenen inhärenten Eigenschaften ab, sondern werden auch von Betriebsbedingungen wie Vibration, Hitze, Kraft und Werkzeugverschleiß während der Bearbeitung beeinflusst. Die Wahrnehmung und Kontrolle von Verarbeitungsbedingungen kann die Verarbeitungsqualität und Verarbeitungseffizienz effektiv verbessern.

Aufgrund der hohen Komplexität der Funktionen, Komponenten, Regelalgorithmen etc. von CNC-Bearbeitungszentren beeinflusst jede Komponente sich gegenseitig, jede Funktion steht in Beziehung zueinander, das Zusammenspiel zwischen Bearbeitungsprozess und Bearbeitungssystem ist komplex und die thermische Kopplung während der Bearbeitung hängt zusammen mit der gegenseitigen Beeinflussung macht den Zustand des Bearbeitungssystems im Bearbeitungsprozess unsicher und dynamisch nichtlinear, d. h. die Bearbeitungsbedingungen beim Hochgeschwindigkeitsdrehen sind dynamisch komplex und sehr schwer zu identifizieren und seinen komplexen Betriebszustand kontrollieren.

2.1 Komplexitätsanalyse beim Hochgeschwindigkeitsdrehen

Arbeitsbedingungen im Bereich Verarbeitung und Fertigung beziehen sich auf die verschiedenen Zustände des Verarbeitungssystems und der Komponenten während des Betriebs und der Verarbeitung, d.h. die Abkürzung des Arbeitszustands des Verarbeitungssystems, die die äußere Erscheinungsform des Arbeitsmechanismus ist und Schneidmechanismus des Bearbeitungssystems, und die Arbeitsbedingungen

sind unterschiedlich Die unterschiedlichen Ausdrucksformen sind eine umfassende Reflexion der Eigeneigenschaften, Werkzeugeigenschaften und Betriebsbedingungen der Werkzeugmaschine sowie eine umfassende Reflexion der elektromechanischen Kopplung, thermische Kopplung und elektromagnetische Kopplung zwischen verschiedenen Subsystemen. Der Arbeitszustand des Bearbeitungssystems stellt eine umfassende Manifestation der Wechselwirkung zwischen dem Bearbeitungsprozess und der Werkzeugmaschine dar. Die International Society of Production Engineering CIRP hat eigens eine Forschungsgruppe „Bearbeitungsprozess-Werkzeugmaschinen-Interaktion“ eingerichtet der RWTH Aachen in Deutschland gab den Bearbeitungsprozess Die Interaktionsbeziehung mit der Werkzeugmaschine ist in Abb. 2-1 Wechselwirkungen zwischen Prozess und Werkzeugmaschine¹⁸ dargestellt. Aus der Abbildung ist ersichtlich, dass sie die Bearbeitungsqualität des Werkstücks, den Werkzeugverschleiß, den Verschleiß anderer Mechanismen oder Komponenten, die Leistung und die Ausgleichsmöglichkeiten bestimmt.

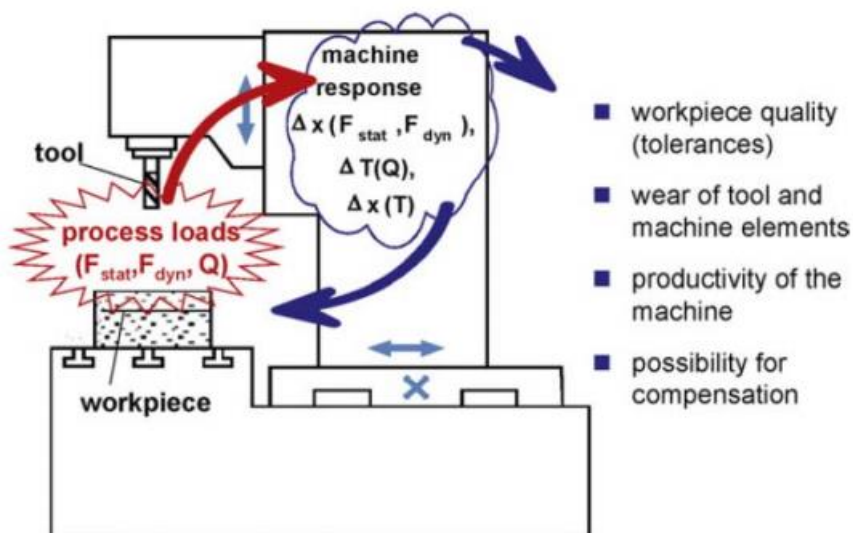


Abb. 2-1 Wechselwirkungen zwischen Prozess und Werkzeugmaschine¹⁸

Das CNC-Bearbeitungssystem ist ein Fertigungssystem, das aus Werkzeugmaschinen, Vorrichtungen, Schneidwerkzeugen, Werkstücken, Menschen, Bearbeitungstechnik, CNC-Systemen usw. Die Komponenten bzw. Teilsysteme des

Drehsystems sowie das Zusammenspiel der Teilsysteme sind sehr kompliziert und es gibt viele Arten von Drehwerkzeugen, Bearbeitungsformen, Werkstückvarianten und Bearbeitungsverfahren. Der Hochgeschwindigkeits-Drehprozess ist streng. Die Schnittbedingungen, die Schnittmenge, der geometrische Werkzeugwinkel, der Werkzeugverschleiß usw. wirken sich auf die Größe und Richtung der Schnittkraft, Schnittwärme und Schnitttemperatur, Vibration und Verformung usw. aus. Technologiesysteme, die durch die Kombination verschiedener Werkzeug- und Werkstücktypen gebildet werden, sind unterschiedlich. Unter den Schnittbedingungen sind die Größe und Richtung der Schnittkraft, der Ort und die Menge der Schnittwärme, die Richtung und Größe der Schwingungen, der Ort der Verformung und die Menge der Verformung sind alle unterschiedlich. Vibrationen im Schneidprozess hängen mit der Unebenheit des Werkstückmaterials und der Änderung der geometrischen Größe des Rohlings, der Schneidmenge, des Verschleißzustands des Werkzeugs, des Spanbruchs und der unausgeglichene Spindeldrehung zusammen.

Da es sich bei dem CNC-Drehbearbeitungssystem um ein komplexes mechatronisches Fertigungssystem handelt, interagiert die „Bearbeitungsmaschine Werkzeug“ während des Bearbeitungsprozesses miteinander und jedes Teilsystem der Komponenten ist miteinander gekoppelt und interagiert miteinander. Genauigkeit, Motorleistung und andere dynamische nichtlineare Veränderungen ist der Bearbeitungsprozess schwer zu verstehen, zu beschreiben, vorherzusagen und zu kontrollieren, so dass die Arbeitsbedingungen des CNC-Drehbearbeitungssystems als komplexe Arbeitsbedingungen des Bearbeitungsprozesses bezeichnet werden können, die gehören zu dynamischer Komplexität, Ist die Komplexität des laufenden Prozesses und des laufenden Zustands. Die vielfältigen, unvorhersehbaren, dynamischen und komplexen Betriebsbedingungen beim Betrieb von CNC-Drehzentren werden als komplexe Betriebsbedingungen bezeichnet.

2.2 Mechanismus zur Erzeugung der Schneidkraft

Die Faktoren, die die Größe der Schnittkraft beeinflussen, sind: Werkzeugmaterial, geometrischer Winkel und Verschleißzustand, Schnittbetrag, der größte Einfluss ist der Spanwinkel und die Schnitttiefe des Werkzeugs. Der Spanwinkel des Werkzeugs nimmt zu, das Schnittdicken-Kompressionsverhältnis nimmt ab und die Schnittkraft nimmt ab. Der Spanwinkel des Werkzeugs hat einen größeren Einfluss auf den Schnitttiefenwiderstand als auf die Hauptschnittkraft. Der Schnitttiefe nimmt zu, der Schnittwinkel nimmt ab, die Schnittkraft nimmt zu, die Schnitttiefe verdoppelt sich und die Schnittkraft verdoppelt sich in etwa. Die Änderung des Schnitttiefvolumens hat einen größeren Einfluss auf die Hauptschnittkraft als auf die Schnitttiefe. Die Wirkung des Widerstands. Die Schnitttiefe hat einen größeren Einfluss auf die Schnittkraft als der Vorschubeinflussfaktor. Die Blattneigung hat Einfluss auf den Vorschubwiderstand und die Rückstellkraft. Die Größe der Schnittkraft beeinflusst den Werkzeugverschleiß, die Vibration und die Bearbeitungsqualität. Die Hauptschnittkraft besteht darin, dass der Schnitttiefenwiderstand, d. h. die Gegenkraft, leicht Verformungen und Vibrationen des Werkstücks verursachen und die Bearbeitungsgenauigkeit beeinträchtigen kann Oberflächenrauheit.

Gegenwärtig haben die Menschen eine große Menge experimenteller Daten zur Schnittkraft gesammelt, und die empirische Formel der Schnittkraft wird wie folgt aufgestellt¹⁹: Werkzeugverschleißform und Verschleißmechanismus

$$\begin{cases} F_c = C_{Fc} a_p^{x_{Fc}} f^{y_{Fc}} v_c^{n_{Fc}} K_{Fc} \\ F_p = C_{Fp} a_p^{x_{Fp}} f^{y_{Fp}} v_c^{n_{Fp}} K_{Fp} \\ F_f = C_{Ff} a_p^{x_{Ff}} f^{y_{Ff}} v_c^{n_{Ff}} K_{Ff} \end{cases} \quad (1)$$

F_c , F_p und F_f sind Schnittkraft von drei Richtungen, Einheit: N; C_{Fc} , C_{Fp} und C_{Ff} sind

Korrekturfaktoren des Verarbeitungsbedingungsexperiments; x_F , y_F und z_F : Koeffizienten des Einflussgrades verschiedener Faktoren auf die Schnittkraft; K_{Fc} , K_{Fp} und K_{Ff} : Unterschiedliche Verarbeitungsbedingungen wirken sich auf den Korrekturkoeffizienten jeder Teilstärke aus.

Die empirische Formel der Schnittkraft wird auf der Grundlage von Daten erstellt, die unter bestimmten experimentellen Bedingungen erhalten wurden, und der Korrekturkoeffizient wird ebenfalls auf Grundlage von Experimenten erhalten. Wenn genauere Schnittkraftdaten erforderlich sind, ist eine tatsächliche Messung erforderlich. Die Messmethoden umfassen die Messmethode der Werkzeugmaschinenleistung und die Messmethode des Dynamometers

Die Werkzeugmaschinenleistungsmessung Schnittkraft Verfahren ist ein Verfahren der Schnittkraft mit dem bekannten Werkzeugmaschine Motorleistung und Übertragungseffizienz der Berechnung, die Formel ist wie folgt:

$$P_e = P_m \eta_m \quad (2)$$

P_m ist Motorleistung. P_e ist die Schnittleistung, d. h. die während des Schneidvorgangs verbrauchte Leistung.

η_m ist die Übertragungseffizienz der Werkzeugmaschine, im Allgemeinen im Bereich von 0,85 ~ 0,75. Die Übertragungseffizienz der neuen Werkzeugmaschine ist hoch und die Sensoreffizienz der alten Werkzeugmaschine ist niedrig.

Die Schnittleistung ist die Summe der Leistung der Hauptschnittkraft und der Vorschubkraft. Die vom Vorschub aufgenommene Leistung ist im Vergleich zur aufgenommenen Leistung der Hauptschnittkraft vernachlässigbar. Die Schnittleistung kann als Hauptschnittkraft ausgedrückt werden:

$$P_e = F_c v_c \times 10^{-3} / 60 (kW) \quad (3)$$

F_c ist die Hauptschnittkraft, v_c ist die Schnittgeschwindigkeit (m/min).

Nach den beiden obigen Formeln 2 3:

$$F_c = P_m \eta_m \times 60 \times 10^3 / v_c (N) \quad (4)$$

Der Schnittkraftwert kann durch Messen des Leistungswertes P_m des Werkzeugmaschinenmotors oder des Motorstroms I ermittelt werden. Die durch die Messung der Leistung des Werkzeugmaschinenmotors erhaltene Schnittkraft ist nicht genau genug

2.2.1 Werkzeugverschleißform und stumpfer Standard

Schnittwärme und Schnitttemperatur sind zwei weitere wichtige physikalische Phänomene im Schnittprozess, die sich hauptsächlich auf den Werkzeugverschleiß, die Standzeit und die thermische Verformung des bearbeitungstechnischen Systems auswirken. Unterschiedliche Werkstückmaterialien und Werkzeugmaterialien, bei unterschiedlichen Schnittgeschwindigkeiten, die erzeugte Wärmemenge und der Wärmeübertragungsmechanismus sind völlig unterschiedlich. Der größte Teil der Schnittwärme beim Schneiden von Kunststoffen wird durch Spanverformung erzeugt, ein kleiner Teil wird durch die Reibung zwischen Werkzeug und Span erzeugt und die Wärme, die durch die Reibung zwischen Schneidkante und bearbeiteter Oberfläche entsteht, macht nur einen kleinen Teil aus. Die Schnittwärme beim Hochgeschwindigkeitsschneiden entsteht hauptsächlich durch die Späne werden abgeführt, ein kleiner Teil wird auf das Werkstück übertragen und die

Werkzeugwärmeableitung macht nur einen kleinen Teil aus. Die Schnitttemperatur ist die durchschnittliche Temperatur des Schnittbereichs einschließlich der Werkzeugspitze und der Späne.

Laut einer Vielzahl experimenteller Studien sind die Faktoren, die die Schnitttemperatur beeinflussen, die Schnittmenge, der geometrische Werkzeugwinkel, das Werkstückmaterial, der Werkzeugverschleiß, die Schneidflüssigkeit usw.

Die empirische Formel für die Schnitttemperatur basierend auf Temperaturmessversuchen lautet wie folgt:

$$\theta = C_{\theta} a_p^{x_{\theta}} f^{y_{\theta}} v_c^{z_{\theta}} k_{\theta} ({}^{\circ}\text{C}) \quad (5)$$

θ ist die Schnitttemperatur. x_{θ} , y_{θ} und z_{θ} sind die Koeffizienten des Einflussgrades der Schnittmenge a_p , f , v_c auf die Schnitttemperatur. Bei Werkzeugen aus Schnellarbeitsstahl liegen die Koeffizienten im Bereich von 0,08 bis 1, 0,2 bis 0,3 bzw. 0,35 bis 0. Für Hartmetallwerkzeuge sind die Koeffizienten in Bereiche 0,05, 0,15, 0,26~0. C_{θ} ist der Einflusskoeffizient bezogen auf die Versuchsbedingungen, k_{θ} ist der Korrekturkoeffizient für Änderungen der Schnittbedingungen.

Aus der empirischen Formel ist ersichtlich, dass die Schnittgeschwindigkeit einen großen Einfluss auf die Schnitttemperatur hat, die mit zunehmender Schnittgeschwindigkeit ansteigt, gefolgt von der Vorschubgeschwindigkeit, der Menge des Gegenschneidwerkzeugs und der Wärmeabfuhrfläche erhöht, so dass die Menge des hinteren Werkzeugs die Schnitttemperatur beeinflusst. Die Schnitttemperatur sinkt mit zunehmendem Spanwinkel des Werkzeugs.

2.2.2 Werkzeugverschleißmechanismus und mathematisches Modell

Aus Sicht der Verschleißursache sind abrasiver Verschleiß, Bindungverschleiß, oxidativer Verschleiß und Diffusionsverschleiß üblich²⁰.

Wie in Abb. 2-2 Verschleißmechanismus in der Metallzerspanung²¹ dargestellt, wird der Verschleiß verschiedener Teile des Werkzeugs durch unterschiedliche Faktoren verursacht: Der Verschleiß der Spanfläche wird im Normalfall hauptsächlich durch Diffusionsverschleiß und oxidativen Verschleiß verursacht, und der Verschleiß der Freifläche, d. der seitliche Verschleiß, wird hauptsächlich durch abrasiven Verschleiß verursacht. Verschleißursache und Verschleißform variieren je nach Schnittmenge und Temperaturwechsel.

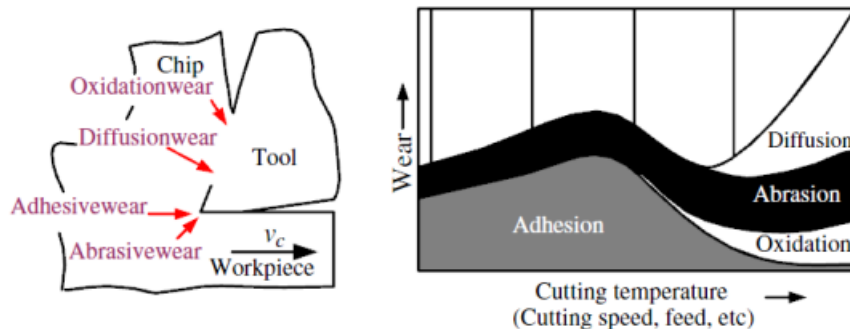


Abb. 2-2 Verschleißmechanismus in der Metallzerspanung²¹

2.2.2.1 Lebensdauermodell

Das Standzeitmodell ist die Beziehung zwischen Standzeit und Schnittparametern.

Das bekannte Standzeitmodell ist die Taylor-Formel, die den Zusammenhang zwischen Standzeit und Schnittgeschwindigkeit in folgender Form aufzeigt:

$$L^n = \frac{c}{v} \quad (6)$$

L ist die Standzeit, v ist die Schnittgeschwindigkeit und c ist eine Konstante.

Da die Taylor-Formel nur den Zusammenhang zwischen Standzeit und Schnittgeschwindigkeit berücksichtigt, ist sie nicht genau genug. Die verbesserte Taylor-Formel lautet wie folgt:

$$L = \frac{c_1}{v^p f^q d^r} \quad (7)$$

L ist die Standzeit, v ist die Schnittgeschwindigkeit und c_1 , p, r, q ist eine Konstante.

Später entwickelte sich die Formel wie folgt:

$$L^m = \frac{c_2}{v^p f^q d^r \left(\frac{H}{200}\right)^r} \quad (8)$$

L ist die Standzeit, v ist die Schnittgeschwindigkeit, f ist der Vorschub, d ist der Betrag des Gegenwerkzeugs, H ist die Härte des Werkstückmaterials, m, p, q, r und c_2 sind alle Konstanten.

2.2.2.2 Werkzeugverschleißmodell

Das Werkzeugverschleißmodell basiert auf einem oder mehreren Verschleißmechanismen. Es spiegelt die mathematischen Formeln von Werkzeugverschleiß und Schnittprozessparametern sowie Umgebungsparametern wider. Es wird experimentell oder auf andere Weise erstellt²¹ und repräsentiert das Takeyama-Modell, Archard-Modell und Usuis Modell.

(1) Takeyama-Modell

Das Takeyama-Modell basiert auf dem Mechanismus des abrasiven Verschleißes und des Diffusionsverschleißes. Die entsprechende Formel besteht aus zwei Elementen: Ersteres entspricht dem abrasiven Verschleiß und ist proportional zur Geschwindigkeit,

und letzteres entspricht dem Diffusionsverschleiß wie folgt:

$$\frac{dw}{dt} = G(v, f) + D e^{\frac{E}{RT}} \quad (9)$$

G, D: konstant. v: Schnittgeschwindigkeit. f: Vorschubgeschwindigkeit, E: Aktivierungsenergie (75,35 kJ/mol), R: Gaskonstante (8,314 kJ/mol K), T: Schnitttemperatur

Mathews weitere Forschungen zeigen, dass der Diffusionsverschleißterm dieser Formel eng mit der Durchschnittstemperatur des Werkzeugs zusammenhängt. Beim Hochtemperaturschneiden ist Diffusionsverschleiß dominant. Wenn die Schnitttemperatur höher als 700 bis 800°C ist, kann der vorhergehende G (V, f) vernachlässigt werden. Das verbesserte Takeyama und Murata-Modell ist²¹ [59]:

$$\frac{\partial w}{\partial t} = D e^{\frac{E}{RT}} \quad (10)$$

D ist die Materialkonstante, die sich auf Schnittzeit und Temperatur bezieht. E: Aktivierungsenergie (75,35 kJ/mol). R: Gaskonstante (8,314 kJ/mol K). T: Schnitttemperatur.

(2) Archard-Modell

$$w = \int K \frac{P^a b^b}{H^c} dt \quad (11)$$

P ist der Anpressdruck (Normalspannung) zwischen Werkzeug und Werkstück, V ist die Gleitgeschwindigkeit, H ist die Härte des Werkzeugmaterials. dt ist das Zeitinkrement. a, b, c und K sind alle experimentellen Korrekturkoeffizienten, und die Werte stammen aus Im Experiment ist im Allgemeinen a, b 1, c ist 2 und K ist 2⁻⁶.

(3) Usui-Modell

Usui untersuchte den Verschleißmechanismus von Hartmetallwerkzeugen und erstellte ein Werkzeugverschleißmodell basierend auf Diffusionsverschleiß, einschließlich Temperatur, Normalspannung und Schlupfgeschwindigkeit an der Kontaktfläche von Werkzeug und Werkstück.

$$w = \int apVe^{-\frac{b}{T}}dt \quad (12)$$

w ist die Werkzeugverschleißtiefe, P ist der Anpressdruck (Normalspannung) zwischen Werkzeug und Werkstück, V ist die Gleitgeschwindigkeit, T ist die Temperatur der Kontaktfläche zwischen Werkzeug und Werkstück. dt ist das Zeitinkrement, a und b sind beide experimentelle Korrekturkoeffizienten. Die Größe des Wertes ergibt sich aus dem Experiment, a kann auch der Kehrwert der Rutschgeschwindigkeit und Anpressleistung sein und b kann auch die absolute Temperatur der Kontaktfläche sein. Für Hartmetallwerkzeuge zum Schneiden von 45-Stahl werden häufig die Werte von a und b verwendet: bei $T \geq 1150K$, $a=1.0^{-5}$, $b=1000$; wenn $T < 1150K$, $a=1.0^{-7}$, $b=855$.

3 Überwachung des Werkzeugs

3.1 Methode zur Überwachung des Werkzeugzustands

Werkzeugzustandsüberwachungsmethode Jedes Überwachungssystem benötigt eine wirksame Überwachungsmethode, und das Werkzeugzustandsüberwachungssystem muss eine geeignete Überwachungsmethode auswählen. Mit vielen Methoden zur umfassenden Überwachung des Werkzeugzustands können die häufig verwendeten Inspektionsmethoden in zwei Kategorien eingeteilt werden: direkte Methode und indirekte Methode²². Das direkte Verfahren besteht darin, die Formänderung jeder Schneidfläche des Werkzeugs direkt zu messen, und seine üblichen Verfahren umfassen das Kontaktverfahren, das Strahlungsverfahren, das optische Bildverfahren und so weiter. Die indirekte Methode besteht darin, Sensoren zu verwenden, um Signale zu sammeln, die eng mit der Änderung des Werkzeugstatus zusammenhängen, effektive Merkmale durch Signalverarbeitung zu extrahieren und dann ein mathematisches Modell zwischen dem Werkzeugstatus und den Signalmerkmalen zu erstellen, um die Erfassung des Werkzeugstatus zu erreichen, einschließlich Methoden zur Erkennung von Kraft-, Schallemissions-, Vibrations-, Spindel- und Vorschubachsensignalen. Die Messgenauigkeit der direkten Methode ist hoch, muss jedoch zur Inspektion angehalten werden, verschwendet viel Produktionszeit, es ist schwierig, die plötzlichen Schäden des Werkzeugs in der Produktion und Verarbeitung usw. zu überwachen. Die Zeitleistung ist schlecht. Diese Mängel behindern die breite Anwendung der direkten Methode. Das indirekte Verfahren kann indirekt die Statusinformationen des Bearbeitungswerkzeugs durch eine bestimmte Kalibrierungsbeziehung entsprechend den Änderungen dieser Signale während des Schneidvorgangs erhalten. Die indirekte Methode hat keinen Einfluss auf

den Schneidprozess des Werkzeugs und kann die Online-Echtzeitüberwachung des Werkzeugstatus besser realisieren. Das indirekte Verfahren hat jedoch das Problem, dass das gesammelte Schneidverarbeitungssignal viel Rauschen enthält. Das Extrahieren effektiver Informationen ist zu einem schwierigen Punkt in der Forschung geworden. Trotz dieser Schwierigkeiten ist die indirekte Messmethode nach wie vor die gängige Methode zur Überwachung des Werkzeugzustands und derzeit die Hauptmethode für Forschung und Anwendung. Es gibt viele indirekte Messmethoden, und im Folgenden werden einige gängige indirekte Messmethoden vorgestellt. Sensoren, die üblicherweise für Online-Messungen verwendet werden, sind in Abb. 3-1 Messbare Phänomene für die Online-Sensorüberwachung³ zusammengefasst.

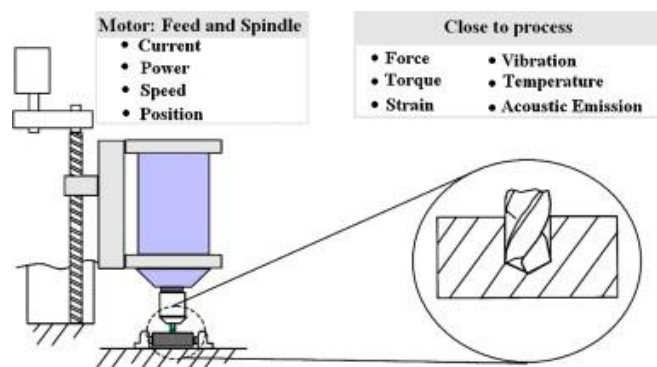


Abb. 3-1 Messbare Phänomene für die Online-Sensorüberwachung³

3.1.1 Schnittkraft und Drehmoment

Der Zustand des Werkzeugs ändert sich, was zu einer Änderung der Kraft zwischen dem Werkzeug und dem Werkstück führt, und die Schnittkraft ändert sich ebenfalls entsprechend. Dies ist eine Tatsache, die von der Mehrheit der Forscher anerkannt wird. Die Schnittkraft ist die physikalische Größe, die sich am stärksten mit dem Verschleiß- und Beschädigungszustand des Werkzeugs ändert. Sie bietet den Vorteil eines leichten Signalverlusts und einer schnellen Reaktion. Mehdi Nouri et al. verwendeten die Schneidkraftmethode, um den Verschleißstatus von Schaftfräsern zu

überwachen, und erstellten ein Modell, das den Schneidkraftkoeffizienten verfolgen kann. Experimente an Werkzeugen mit verschiedenen Werkstückmaterialien zeigten, dass dieses Modell zur Verfolgung des Werkzeugverschleißes verwendet werden kann in Echtzeit²³. Choudhury SK und andere schlugen ein Schnittkraftmodell vor, durch das die Beziehung zwischen dem Werkzeugverschleißzustand und der durchschnittlichen tangentialen Schnittkraft und den Schnittparametern durch das Schnittkraftsammelexperiment bestimmt wurde, um die Überwachung des Werkzeugverschleißes zu realisieren²⁴. Durch Extrahieren der Eigenschaften von Frequenzspektrum der Spindelschnittkraft analysierten Li Jinsong und andere, dass das Radialkraftleistungsspektrum den Werkzeugverschleißzustand empfindlicher widerspiegeln kann und die Änderungen der Schnittmenge nicht empfindlich sind. Zusätzlich wird durch die Zeitbereichsanalyse das Verhältnis der Radialkraft und der Tangentialkraft zur Gesamtschnittkraft auf den Werkzeugzustand reflektiert²⁵. Zheng Jianming und andere extrahierten eine Vielzahl von Merkmalsvektoren aus der Zeit- und Frequenzbereichsanalyse der Bohrschnittkraft und gaben sie zur Fusion in das mehrschichtige neuronale Backpropagation-Netzwerk ein, um den Grad des Verschleißes in Bohrung zu identifizieren²⁶. Gao Hongli²⁷ und andere verwenden ebenfalls die Schneidkraftmethode, um den Zustand des scharfen Schneidens zu überwachen. All dies zeigt, dass das Schneidkraftverfahren den Zustand von Bearbeitungsverfahren wie scharfem Schneiden und Bohren besser überwachen kann, und das Schneidkraftverfahren ist auch das am weitesten Verfahren bei der Überwachung des Werkzeugzustands.

Jeder Schnittvorgang erfordert eine gewisse Kraft, um das Material zu trennen und zu entfernen. Die Überwachung von Schnittkräften in der Zerspanung zur Validierung analytischer Prozessmodelle, zur Erkennung von Werkzeugversagen etc. wird von Forschern intensiv genutzt²⁸. Dies liegt an der hohen Empfindlichkeit und schnellen

Reaktion von Kraftsignalen auf Änderungen der Schneidzustände. Drehmomentsensoren bestehen ebenso wie Kraftsensoren aus einer mechanischen Struktur, die auf eine Verformung reagiert, aber in diesem Fall ist die aufgebrachte Last eine Torsion. Die zugrundeliegende Kraftmesstechnik ist oft identisch, die Anwendung von Drehmomentsensoren und die Art der Signalübertragung von rotierenden Werkzeughaltern sind jedoch unterschiedlich.

Bei geradlinigem Einbau des Kraftsensors zum Kraftpfad kann der piezoelektrische Sensor zur direkten Kraftmessung verwendet werden. In Fällen, in denen eine größere Flexibilität bei der Messung erforderlich ist, wurden Mehrkomponenten-Kraftsensoren entwickelt und weit verbreitet in laborbasierten Anwendungen eingesetzt. Es sind auch rotierende Schneidkraftprüfstände erhältlich, die Kraftmesselemente enthalten, die die drei Komponenten Kraft und Drehmoment messen können. Daten werden durch Telemetrie vom rotierenden Teil des Sensors zum Stator übertragen. In den letzten zehn Jahren gab es Entwicklungen zur Integration von Kraftsensoren in Maschinenstrukturen, einschließlich der Konzepte Fräsen²⁹. Abb. 3-2 Integrierte Kraftsensoren in der Motorspindel²⁹ zeigt den in den Hauptkraftfluss der Motorspindel integrierten Sensor.

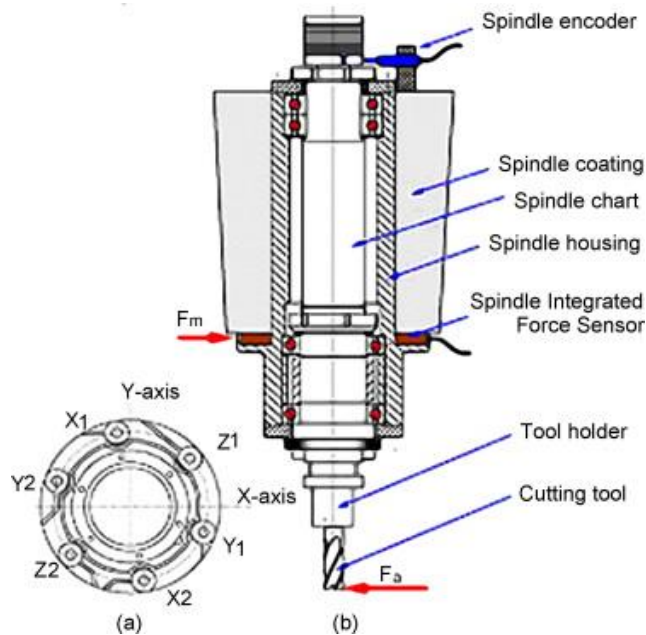


Abb. 3-2 Integrierte Kraftsensoren in der Motorspindel²⁹

3.1.2 Schallemission

Die Schallemission (AE) ist ein weit verbreitetes physikalisches Phänomen. Unter Einwirkung äußerer Kraft überschreiten Materialverformungen, Brüche, Reibungen oder innere Spannungen die Streckgrenze und treten in irreversible plastische Verformungen ein. Sie setzen schnell Energie frei und erzeugen vorübergehende elastische Spannungswellen³⁰. Diese elastischen Wellen breiten sich zur Oberfläche des Schallemissionssensors aus und können vom Sensor erfasst werden. Wenn das Werkzeug das Werkstückmaterial verarbeitet, wird das Werkstückmaterial ständig abgeschnitten, die Reibung zwischen dem Werkzeug und dem Werkstück usw. erzeugt diese elastische Welle, und diese elastische Welle ändert sich aufgrund der Änderung des Werkzeugzustands. Das Schallemissionssignal während der Werkzeugbearbeitung variiert aufgrund des Unterschieds zwischen dem Werkstückmaterial und dem Werkzeugmaterial. Der Frequenzbereich des AE-Signals liegt im Allgemeinen zwischen 50 kHz und 1 MHz³¹. Wenn das Werkzeug abgenutzt

und beschädigt ist, ist das AE-Signal ein Hochfrequenzsignal, während die Vibrations- und Tonsignale bei der Produktion und Verarbeitung Niederfrequenzsignale sind. Daher vermeidet das Verfahren zur Überwachung der Schallemission effektiv andere Interferenzsignale im Hoch-Frequenzbereich und hat Anti-Interferenz-Fähigkeit. Stärker. Daher haben viele Wissenschaftler viel über die Anwendung des AE-Signals bei der Überwachung des Werkzeugzustands geforscht. Jemielniak et al. Überwachen den Zustand des Drehverschleißes, indem sie den quadratischen Mittelwert des AE-Signals extrahieren und die Verteilung dieser Merkmale statistisch analysieren³². Guan Shan schlug vor, mehrere Merkmale des AE-Signals des Werkzeugverschleißes basierend auf der empirischen Modenzerlegung, dem Zeitreihenmodell (AR-Modell), dem spektralen Singularwert und dem Wavelet-Paket und anderen Methoden zu extrahieren und die mehreren Merkmale für den Werkzeugstatus des Werkzeugs zu verschmelzen Wendeprozess. Klassifizierung und Vorhersage³³. Xie Jianfeng sammelte die AE-Signale von defekten Werkzeugen, normalen und zufälligen Stößen und extrahierte die drei Arten von Merkmalen von Energie, Standardabweichung und Wölbung in jedem Frequenzband durch Wavelet-Transformation und realisierte die Klassifizierung der drei Arten von Zuständen in Fräsen Verarbeitung³⁴.

3.1.3 Andere häufig verwendete Nachweismethoden

3.1.3.1 Leistungs- und Stromsignal

Das Leistungs-Stromsignal-Erfassungsverfahren realisiert im Allgemeinen die Überwachung des Werkzeugstatus durch Sammeln der Leistung / des Stroms, die durch den Spindelmotor und andere Motoren fließt. Während des Schneidvorgangs spiegeln die Leistungs- und Stromsignale im Wesentlichen indirekt die Schneidkraftsignale wider. Der Zustand des Werkzeugs ändert sich und die

Schneidkraft ändert sich, was zwangsläufig zu einer Änderung des Drehmoments führt, so dass sich die auf die Hauptwelle wirkende Motorlast mit dieser ändert, sodass sich auch die durch den Motor fließende Leistung / der Strom entsprechend ändert. Die Leistungs- / Strommessung ist praktisch, ohne die Struktur der Werkzeugmaschine zu verändern und den Einfluss von Spänen, Öl, Vibrationen usw. in der Schneidumgebung zu vermeiden. Shao, H und andere haben ein Schnittkraftmodell erstellt und ein automatisches Schwellenwertkorrekturverfahren vorgeschlagen, das auf der durchschnittlichen Schnittleistung basiert und den Verschleiß der Werkzeugfläche unter variablen Schnittbedingungen überwachen kann³⁵. Salgado, DR usw. gingen von der Praktikabilität des Werkzeugzustandsüberwachungssystems aus, wobei die Kostenleistung unter Verwendung einer Kombination aus Stromsignalen und Tonsignalen berücksichtigt wurde³⁶. Das Leistungs-Strommethode ist jedoch dem Überwachungseffekt unter den Bedingungen der Feinbearbeitung, Mikrobearbeitung, kleinen Werkzeugen und des Schneidverbrauchs usw. unterlegen. Dies ist auch ein wichtiger Grund für die breite Anwendung dieses Verfahrens.

3.1.3.2 Vibrationssignal

Während des Schneidvorgangs werden aufgrund periodischer Änderungen der Schneidkraft Vibrationen erzeugt. Diese Vibrationen sind nur Vibrationen bei normaler Werkzeugbearbeitung. Wenn sich der Werkzeugzustand ändert (normalerweise stark abgenutzt oder beschädigt), entwickeln sie sich zu Vibrationen. Der Sensor dieser Erkennungsmethode ist einfach zu installieren, das Signal ist leicht zu zeichnen und das Testinstrument ist einfach. Das Signal wird jedoch leicht durch andere Vibrationen beeinflusst. FJ Alonso und andere schlugen ein Signalverarbeitungsverfahren vor, das eine Analyse von Singularspektrum und eine Clusteranalyse kombiniert, um die Schwingungssignale des Sammel- und Schneidprozesses zu analysieren. Dieses

Verfahren kann die Überwachung des Werkzeugstatusüberwachungssystems schnell und zuverlässig machen³⁷. Salgado, DR und andere verwendeten eine Analyse von Singularspektrum, um die Schwingungssignale während des Drehvorgangs zu analysieren, und extrahierten relevante Merkmale als Messung des Verschleißzustands der Werkzeugfläche des Drehwerkzeugs³⁸. Rmili, Wafaa usw. untersuchten den Verschleißzustand von Hochgeschwindigkeitsfräswerkzeugen unter Verwendung der Vibrationsbeschleunigungsmethode³⁹. Kalvoda, Tomas usw. sammeln Werkzeuge zur Beschleunigung der Werkzeugvibration, um Werkzeugverschleiß und Werkzeugversagen zu erkennen⁴⁰. Das Vibrationsverfahren wird jedoch ebenso wie die Leistungs- / Stromerfassung verwendet, um indirekt die Schneidkraft zu reflektieren, und die Empfindlichkeit ist nicht so hoch wie das Schneidverfahren.

3.2 Extraktionsmethode für Werkzeugstatusmerkmale

Die gesammelten Sensorsignale sind nicht stationär und zufällig und enthalten verschiedene Rauschinterferenzsignale. Es ist nicht möglich, diese Signale direkt für die Online-Werkzeugüberwachung zu verwenden. Die Signalverarbeitung ist erforderlich, um nützliche Merkmale zu extrahieren, die den Werkzeugstatus als nächsten Schritt des Werkzeugs widerspiegeln Statusklassifizierung. Grundlage für die Identifizierung. Im Allgemeinen Verfahren wie Zeitbereich, Frequenzbereich, und die Zeit-Frequenzbereich-Extraktion von Signalmerkmalen und Zeitsequenzanalyse des Signals wird oft verwendet.

3.2.1 Analyse von Zeitbereich und Frequenzbereich

Der Zeitbereich des Signals wird ausgedrückt als $x = x(t) \cdot \delta(t - \tau)dt$, und das

Impulssignal ist die Grundfunktion des Signals im Zeitbereich⁴¹. Das Zeitbereichssignal kann nicht direkt zum Identifizieren und Diagnostizieren des Werkzeugstatus verwendet werden, sondern zum Ausführen von Statistiken zu den Zeitbereichsmerkmalen. Zu den häufig verwendeten Zeitbereichsmerkmalen gehören Mittelwert, quadratischer Mittelwert, Varianz usw. Dann Senden Sie einige Parameter zum Vergleich und zur Statusbeurteilung.

Das Frequenzbereichsmerkmal ist das Merkmal, das durch die schnelle Fourier-Transformation des Signals erhalten wird, und die Fourier-Transformation erscheint normalerweise paarweise wie folgt:

$$\begin{cases} F(\omega) = \int f(t)e^{-j\omega t} dt \\ f(t) = \frac{1}{2\pi} \int F(\omega)e^{j\omega t} d\omega \end{cases} \quad (13)$$

Die Frequenzbereichseigenschaften des Signals umfassen Wertespektrum, Phasenspektrum, Leistungsspektrum und so weiter. Die Energie im empfindlichen Frequenzband des Signals wird häufig als Merkmal zur Überwachung des Werkzeugzustands verwendet.

Haber, Rodolfo E et al. Untersuchten den Werkzeugverschleißzustand durch Hochgeschwindigkeitsschneideexperimente, sammelten Schnittkraft-, Vibrations- und AE-Signale und analysierten diese drei Signale im Zeitbereich und im Frequenzbereich. Die Ergebnisse zeigen, dass die Zeitbereichs- und Frequenzbereichseigenschaften dieser Signale die Änderungen des Werkzeugstatus widerspiegeln können, die als Grundlage für die Entwicklung eines neuen Zustandsüberwachungssystems im Hochgeschwindigkeitsbearbeitungsprozess dienen können⁴².

3.2.2 Analyse von Zeit-Frequenzbereich

Bei der Analyse instationärer Zufallssignale in der Praxis ist es häufig erforderlich, die Eigenschaften sowohl des Zeitbereichs als auch des Frequenzbereichs gleichzeitig zu kennen. Um dieses Ziel zu erreichen, muss das Zeit-Frequenz-Analyseverfahren verwendet werden. Technologie ist zu einer wichtigen Methode der Signalverarbeitung geworden. Unter den Methoden der Signal-Zeit-Frequenz-Domänen-Analyse zum Extrahieren von Merkmalen ist die Wavelet-Analyse eine häufig verwendete Methode. Wavelet-Analyse hat die Vorteile von Multi-Auflösung und eine gute Zeit-Frequenz-Positionierung, und ist geeignet für die Analyse von nichtstationären Zufallssignalen. Die Grundidee der Wavelet-Transformation besteht darin, das Signal auf einen Unterraum zu projizieren, der durch eine Reihe von zueinander orthogonalen Wavelet-Funktionen gebildet wird, um die Expansion des Signals auf verschiedenen Skalen zu bilden. Daher werden die Eigenschaften des Signals in verschiedenen Frequenzbändern extrahiert und die Zeitbereichseigenschaften des Signals in verschiedenen Maßstäben bleiben gleichzeitig erhalten⁴³.

4 Schnittkraftsignalverarbeitung und Extraktion von Merkmalen

Bei den Originaldaten des vom Sensor erfassten Schnittkraftsignals gibt es zwei Probleme: Zum einen ist die Datenmenge zu groß, was zum Aufzeichnen, Speichern und Berechnen unpraktisch ist, zum anderen, dass sie viele redundante Informationen enthält, die den tatsächlichen Zustand des Werkzeugs nicht effektiv wiedergeben kann. Daher kann es nicht direkt zur Überwachung und Diagnose des Werkzeugstatus verwendet werden. Um das Signal-Rausch-Verhältnis zu verbessern und verschiedene Kenngrößen zu extrahieren, die den Zustand des Werkzeugs widerspiegeln können, müssen geeignete Signalverarbeitungsverfahren angewendet werden, um eine Grundlage für die Diagnose des Werkzeugzustands bereitzustellen.

Angesichts der zufälligen und instationären Eigenschaften des gesammelten Signals werden Zeitbereichs - Analyseverfahren, Frequenzbereichs - Analyseverfahren und Zeit-Frequenzbereich - Analyseverfahren verwendet, um das Signal zu verarbeiten und die Schnittkraftkennlinien zu extrahieren, die den Zustand des Werkzeugs widerspiegeln. Durch Analyse der Empfindlichkeit jeder Merkmalsgröße gegenüber der Änderung des Werkzeugzustands und der Schnittparameter wird dann festgestellt, dass das Verhältnis einiger Schnittkraftmerkmalsgrößen in jeder Richtung die Eigenschaften der Unempfindlichkeit gegenüber der Änderung der Schnittparameter besser zeigt, aber empfindlicher auf den Werkzeugzustand Eine Methode zur Kennzahlkennzahl und umfassende Analyse und Optimierung der Kennzahl und Kennzahlkennzahl.

4.1 Zeitbereich - Analyse von Schnittkraft

Die Merkmalsextraktion im Zeitbereich dient dazu, dynamische Merkmalsindikatoren im Zeitbereich direkt aus dem Signal zu extrahieren⁴¹. Üblicherweise verwendete charakteristische Indikatoren im Zeitbereich sind: Mittelwert, quadratisches Mittel, Standardabweichung, Spitzenwert, Schiefe-Koeffizient, Wölbung-Koeffizient usw. Für zeitdiskrete Seriennummern x_1, x_2, \dots, x_N endlicher Länge sind die Definition und Beschreibung jedes Merkmals wie folgt:

1) Mittelwert

Der Mittelwert ist der Mittelwert der Signalamplitude, der die Stabilität des Signals beschreiben kann und den statischen Anteil der Signaländerung widerspiegelt. Seine Definitionsformel lautet:

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (14)$$

2) Quadratisches Mittel

Das Quadratische Mittel repräsentiert den Mittelwert der quadrierten Signalamplitude. Der quadratische Mittelwert des Signals ändert sich mit der Änderung des Werkzeugzustands.

$$X = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2 \quad (15)$$

3) Standardabweichung

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{X})^2} \quad (16)$$

4) Spitzenwert

Der Spitzenwert bezieht sich auf den momentanen Einzelspitzen-Maximalwert der

Wellenformamplitude des Schnittkraftsignals, der die Stärke des Signals widerspiegelt.

Die Definition lautet:

$$X_p = E(\max|x_i|) \quad (17)$$

5) Schiefe-Koeffizient

Der Schiefe-Koeffizient gibt den Grad der Abweichung der Signalwahrscheinlichkeitsdichtefunktion von der Standardnormalverteilung an und spiegelt die Asymmetrie der Signalamplitudenverteilung um ihren idealen Mittelwert wider.

$$C_w = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{x_i - \bar{X}}{\sigma_x} \right)^3 \quad (18)$$

6) Wölbung - Koeffizient

Der Wölbung - Koeffizient beschreibt die Steilheit der Spitze der Signalwahrscheinlichkeitsdichtefunktion und spiegelt die Größe der Aufprallenergie des Signals. Die Definition lautet:

$$C_q = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{x_i - \bar{X}}{\sigma_x} \right)^4 \quad (19)$$

4.2 Frequenzbereich - Analyse von Schnittkraft

Die in der allgemeinen Technik gesammelten Signale werden meist im Zeitbereich analysiert. Um mehr über die Informationen im Signal aus den gemessenen Signalen zu erfahren, ist häufig eine Frequenzbereichsanalyse erforderlich. Die Frequenzbereichsanalyse ist ein Verfahren zum Transformieren des Signals vom Zeitbereich in den Frequenzbereich zur Analyse. Das Ziel der Frequenzbereichsanalyse besteht darin, komplexe Zeitbereichswellenformen durch Fourier-Transformation in Sinuswellen unterschiedlicher Frequenzen zu zerlegen, um

die Signalfrequenzverteilungsstruktur und Amplituden- und Phasenspektrum jeder Sinuswellenform zu erhalten^{41, 43}. Entsprechend der Charakteristik des Schnittkraftsignals umfasst die häufig verwendete Frequenzbereichsanalyse die Analyse des Amplitudenspektrums, des Phasenspektrums und des Leistungsspektrums.

4.2.1 Analyse von Amplitudenspektrum und Phasenspektrum

Führe eine Fourier-Reihenentwicklung des Signals durch, wenn die Periode $T \rightarrow \infty$:

$$x(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} C_n e^{jn\omega t} = \int_{-\infty}^{\infty} X(\omega) e^{jn\omega t} d\omega \quad (20)$$

Integralform einführen:

$$\begin{cases} x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} X(\omega) e^{j\omega t} d\omega \\ X(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-j\omega t} dt \end{cases} \quad (21)$$

Gleichung 21 wird als Fourier-Transformationspaar bezeichnet, wobei $X(\omega)$ ausgedrückt werden kann als

$$X(\omega) = |X(\omega)| e^{j\varphi(\omega)} \quad (22)$$

$$\begin{cases} |X(\omega)| = \sqrt{\text{Re}^2[X(\omega)] + \text{Im}^2[X(\omega)]} \\ \varphi(\omega) = \tan^{-1} \frac{\text{Im}(X(\omega))}{\text{Re}(X(\omega))} \end{cases} \quad (23)$$

$|X(\omega)|$ ist die Amplitudenfunktion des Signals $x(t)$, die Beziehung zwischen $|X(\omega)|$ und ω ist die spektrale Amplitudendichte des Signals $x(t)$; $\varphi(\omega)$ ist die Phasenfunktion des Signals; die Beziehung zwischen $\varphi(\omega)$ und ω ist die spektrale Phasendichte von Signal $x(t)$, das nach Formel 232323232323 erhaltene

Spektrogramm heißt Amplitudenspektrum bzw. Phasenspektrum.

4.2.2 Leistungsspektrum

In der Signalanalyse und -verarbeitung kann die Leistungsdichte verwendet werden, um die Frequenzverteilung des Signals zu charakterisieren. Die spektrale Leistungsdichte wird in die Eigenleistungs-Spektraldichtefunktion und die Kreuzleistungs-Spektraldichtefunktion unterteilt.

Die eigene Dichte von Leistungsspektrum stellt eine Beschreibung der Energie- oder Leistungsverteilung des Signals im Frequenzbereich dar. Sie kann durch Fourier-Transformation erhalten werden.

Gegeben sind die Signale x und y , nach Wiener-Chintschin-Theorem:

$$\begin{cases} S_{xx}(f) = \int_{-\infty}^{\infty} R_{xx}(\tau) e^{-j2\pi f\tau} d\tau \\ S_{yy}(f) = \int_{-\infty}^{\infty} R_{yy}(\tau) e^{-j2\pi f\tau} d\tau \\ S_{xy} = \int_{-\infty}^{\infty} R_{xy}(\tau) e^{-j2\pi f\tau} d\tau \end{cases} \quad (24)$$

R_{xx} , R_{yy} und R_{xy} sind die Eigenleistungs-Spektraldichtefunktion und Kreuzleistungs-Spektraldichtefunktion des Signals $x(t)$ bzw. $y(t)$. An ihnen wird eine Fourier-Transformation durchgeführt, um die Eigenleistungs-Spektraldichtefunktion $S_{xx}(f)$, $S_{yy}(f)$ und die Kreuzleistungs-Spektraldichtefunktion S_{xy} zu erhalten. $S_{xx}(f)$ und $S_{yy}(f)$ bestimmen die Energieverteilung des Signals $x(t)$ und $y(t)$ und können verwendet werden, um die Frequenzverteilung des Signals zu beschreiben, S_{xy} kann verwendet werden, um die Phaseninformation des Signals auszudrücken.

Eine diskrete Fourier-Verarbeitung wird an dem k -ten Abtastdatensatz durchgeführt,

der die Länge L des Prozesses in den Zufallssignalen $\{x(t)\}$ und $\{y(t)\}$ darstellt.

$$\begin{cases} X_{k,T}(f) = \int_0^T x_{k,T}(t) e^{-j2\pi ft} dt \\ Y_{k,T}(f) = \int_0^T y_{k,T}(t) e^{-j2\pi ft} dt \end{cases} \quad (25)$$

Führt man dann die Konjugationsoperation durch, um die spektrale Dichtefunktion zu erhalten

$$\begin{cases} G_{xx}(f) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{2}{T} E[X_{k,T}^*(f) X_{k,T}(f)] \\ G_{yy}(f) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{2}{T} E[Y_{k,T}^*(f) Y_{k,T}(f)] \end{cases} \quad (26)$$

E repräsentiert den durchschnittlichen Betrieb von Probe A.

Nach der parsevalschen Gleichung:

$$\int_{-\infty}^{\infty} x^2(t) d(t) = \int_{-\infty}^{\infty} |X(f)|^2 df \quad (27)$$

Gleichung 27 wird auch Energiegleichung genannt, die zeigt, dass der Zeit-Frequenz-Umwandlungsprozess dem Energieerhaltungssatz gehorcht. Denn die glatte Leistung des Signals in diesem Zeitbereich ist:

$$P_{av} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} x^2(t) dt = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-\infty}^{\infty} x^2(f) dt \quad (28)$$

Die Beziehung zwischen der Leistungsspektraldichtefunktion und der Amplitudenspektraldichtefunktion ist:

$$G_{xx}(f) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{2}{T} |X^2(f)|, f \geq 0 \quad (29)$$

$G_{xx}(f)$ stellt die Frequenzverteilung des Signals dar. Dieses Merkmal ähnelt dem Amplitudenspektrum $|X(f)|$, aber die Eigenschaften der Frequenzverteilung des

Eigenleistungsspektrums sind im Vergleich zum Amplitudenspektrum deutlicher.

4.3 Zeit-Frequenz-Analyse von Schnittkraft

Die auf der Fourier-Transformation des Signals basierende Frequenzbereichsanalyse kann die Amplitudeneigenschaften des Signals bei verschiedenen Frequenzen ermitteln. Aber diese Art der Transformation ist eine Art globale Transformation, und es werden die globalen statistischen Eigenschaften des Signals erhalten. Sie kann die Eigenschaften des Signals im Zeitbereich und im Frequenzbereich nicht gleichzeitig widerspiegeln und ist geeignet für die Verarbeitung stationärer Signale. In der Ingenieurpraxis sind jedoch viele Signale instationär und zufällig, und ihre Statistiken stellen zeitvariable Funktionen dar. Zu diesem Zeitpunkt interessieren sich die Menschen mehr für die Veränderungen des Signalspektrums im Laufe der Zeit. Aus diesem Grund ist es erforderlich, eine gemeinsame Funktion zu verwenden, die die Eigenschaften des Signals im Zeitbereich und im Frequenzbereich ausdrücken kann, die als Zeit-Frequenz-Darstellung des Signals bezeichnet wird. Üblicherweise verwendete lineare Zeit-Frequenz-Transformationen umfassen: Kurzzeit-Fourier-Transformation, Gabor-Transformation, Wavelet-Transformation und Wavelet-Paketzerlegung usw. Diese Verfahren wurden auf die mechanische Fehlerdiagnose angewendet.

4.3.1 Wavelet-Analyse

Die Wavelet-Transformation ist ein sehr effektives und weit verbreitetes nichtstationäres Signalverarbeitungswerkzeug, das in den letzten Jahren entwickelt wurde^{44, 45}. Die Wavelet-Transformation hat den Haltepunkt der Multi-Resolution-Analyse (Multi-Resolution-Analysis). Die Definition und Merkmalsextraktion der

Wavelet-Transformation werden unten eingeführt^{33, 43, 46, 47}.

1) Definition der Wavelet-Transformation

Die Wavelet-Transformation besteht darin, zunächst eine bestimmte grundlegende Wavelet-Funktion oder Mutter-Wavelet-Funktion $\varphi(t)$ nach b zu verschieben und sie dann mit dem zu analysierenden Signal $x(t)$ unter verschiedenen Skalen a zu integrieren.

$$WT_x(a, b) = |a|^{-1/2} \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \varphi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt = \langle x, \varphi_{a,b} \rangle, a \neq 0 \quad (30)$$

und $\varphi_{a,b} = |a|^{-1/2} \varphi\left(\frac{t-b}{a}\right)$.

Die Wavelet-Transformation umfasst eine kontinuierliche Wavelet-Transformation (CWT) und eine diskrete Wavelet-Transformation (DWT). In Formel 30 sind sowohl a als auch b stetige Variablen, daher wird diese Formel als kontinuierliche Wavelet-Transformation bezeichnet. Da die kontinuierliche Wavelet-Transformation eine größere Redundanz aufweist, wird die diskrete Wavelet-Transformation häufig in praktischen Anwendungen verwendet, um ihre Parameter zu dezentralisieren. Die diskrete Wavelet-Transformation wird auch Wavelet-Zerlegung genannt.

Normalerweise nimmt man $b = \frac{k}{2^j}, a = \frac{1}{2^j}; j, k \in \mathbb{Z}$. Und dann:

$$\varphi_{a,b}(t) = \varphi_{\frac{1}{2^j}, \frac{k}{2^j}}(t) = 2^{j/2} \varphi(2^j t - k) \quad (31)$$

Das Transformationsformular lautet:

$$WT_x\left(\frac{1}{2^j}, \frac{k}{2^j}\right) = \langle x, \varphi_{j,k} \rangle \quad (32)$$

Nach der Wavelet-Zerlegung wird das Signal schließlich in eine Reihe von Detailwerten und Näherungswerten zerlegt, nämlich

$$x(t) = \sum_{i=1}^{i=j} D_i(t) + A_j(t) \quad (33)$$

Von diesen repräsentieren $D_i(t)$ und $A_j(t)$ jeweils den detaillierten Wert und den ungefähren Wert des Signals und repräsentieren jeweils die Hochfrequenz- und Niederfrequenzkomponenten des Signals.

2) Auswahl der Wavelet-Basisfunktion

Die Wahl einer geeigneten Wavelet-Basisfunktion hat einen wichtigen Einfluss auf die Wirkung und Effizienz der Wavelet-Transformation. Die Wahl einer geeigneten Wavelet-Basisfunktion ist einer der Hot Spots im Bereich der Wavelet-Transformationsforschung, aber es gibt derzeit keine perfekte Lösung. In praktischen Anwendungen wird oft aufgrund von Erfahrungen oder Analysen eine geeignete Wavelet-Basisfunktion ausgewählt.

a) Haar Wavelet

Haar-Wavelet ist das einfachste Wavelet, das 1909 vom Mathematiker Haar vorgeschlagen wurde. Sein mathematischer Ausdruck ist:

$$\varphi(t) = \begin{cases} 1 & 0 \leq x \leq 1/2 \\ -1 & \frac{1}{2} \leq x < 1 \\ 0 & \text{andere Situation} \end{cases} \quad (34)$$

Das Haar-Wavelet ist einfach und leicht zu implementieren, aber seine Lokalität im Frequenzbereich ist schlecht, so dass es in vielen praktischen Anwendungen keine guten Ergebnisse erzielen kann und seine Leistung als grundlegendes Wavelet nicht ideal ist.

b) Daubechies Wavelet-Systeme

Daubechies Wavelet wird als dbN abgekürzt, wobei „db“ das Präfix des Wavelet-Namens ist und „N“ die Ordnung des Waveletes darstellt. Wenn N=1, ist es äquivalent zum Haar-Wavelet, und es gibt keine eindeutigen analytischen Ausdrücke für die

anderen Serien von Wavelets. Bei $N=1$ entspricht sie der unstetigen Skalierungsfunktion und Wavelet-Funktion, bei $N=2$ entspricht sie der kontinuierlichen Skalierungsfunktion und Wavelet-Funktion, aber zu diesem Zeitpunkt hat die Funktion noch keine stetige Ableitungsfunktion, d nicht glatt, wenn $N =$ Bei 3 Uhr entspricht dies der kontinuierlichen Skalierungsfunktion und der Wavelet-Funktion, und die Funktionen haben Ableitungsfunktionen. Im Allgemeinen weisen die Skalierungsfunktion und die Wavelet-Funktion eine bessere Glätte auf, wenn N zunimmt. Diese Eigenschaft des Daubechies-Wavelet-Systems macht es den Anforderungen einer breiteren Palette von Anwendungen zu erfüllen.

c) Morlet-Wavelet

Der Funktionsausdruck von Morlet-Wavelet lautet:

$$\varphi(t) = C e^{-t^2/2} \cos 5x \quad (35)$$

Das Morlet-Wavelet ist ein komplexes Wavelet. Nachdem das Morlet-Wavelet als Wavelet-Basisfunktion für die Wavelet-Zerlegung verwendet wurde, können Informationen wie Signalamplitude und -phase extrahiert werden, die die Lokalität des Signals besser darstellen können. Es wird im Allgemeinen verwendet für komplexe Signalanalysen. in.

3) Extraktion von Signalmerkmalen basierend auf Wavelet-Zerlegung

Wählt man gemäß bestimmten Regeln die geeignete Wavelet-Basisfunktion und führen Sie eine Wavelet-Zerlegung des Signals durch, und die Wavelet-Koeffizienten jedes Frequenzbands können erhalten werden. Die Wavelet-Koeffizienten werden bis zu einem gewissen Grad verarbeitet, und dann kann der charakteristische Vektor des Signals erhalten werden. Die Hauptwege zum Erhalten von Eigenvektoren durch die Operation von Wavelet-Koeffizienten sind: direktes Verwenden von Wavelet-

Koeffizienten als Merkmale, Verwenden von Wavelet-Koeffizienten-Statistiken als Merkmalen und Verwenden der Wavelet-Koeffizienten-Energieverteilung als Merkmale.

a) Wavelet-Koeffizient als Merkmal

Nach der Zerlegung des Signals durch Wavelet erhält man eine Reihe von Wavelet-Approximationskoeffizienten und Detailkoeffizienten mit unterschiedlichen Zerlegungsmaßstäben, die die Eigenschaften des Signals im Frequenzband zur Haltezeit charakterisieren und daher als Merkmal verwendet werden können Satz des Signals. Die Dimension der Wavelet-Koeffizienten kann durch Anpassen der Größe der Zerlegungsschicht angepasst werden, um die richtige Menge an Merkmalsdaten zu erreichen. Es wird allgemein angenommen, dass, wenn die Zeitbereichswellenform des Signals relativ regelmäßig ist, der Wavelet-Koeffizient direkt als das Merkmal verwendet werden kann. Wenn sich die Signalwellenform stark ändert, wird die Genauigkeit der Fehlervorhersage unter Verwendung des Wavelet-Koeffizienten als das Merkmal stark reduziert. Das Verfahren der direkten Verwendung von Wavelet-Koeffizienten als Merkmale ist theoretisch klar, aber die durch dieses Verfahren erhaltenen Merkmale haben eine schlechte Rauschunterdrückungsfähigkeit.

b) Statistik von Wavelet-Koeffizienten als Features

Einige statistische Informationen von Wavelet-Koeffizienten unter verschiedenen Zerlegungsskalen können als Merkmale verwendet werden, wie Extremwert, Durchschnittswert, Varianz und absoluter Durchschnittswert. Einige Statistiken sind einfach zu berechnen, und die mit dieser Methode konstruierte Merkmalsdimension ist gering, so dass die nachfolgende Modellbildung und Zustandserkennung einen geringen Rechenaufwand und schnell haben kann.

c) Wavelet-Koeffizienten-Energieverteilung als Merkmal

Das Energiemerkmale des Wavelet-Koeffizienten umfasst die Amplitude, Frequenz und

andere Eigenschaften des Signals. Es ist die inhärente Eigenschaft des Signals und spiegelt die niederfrequente Komponente des Signals wider. Der Wavelet-Koeffizient stellt die ungefähre Information des Signals dar, und das Wavelet Koeffizient der Hochfrequenzkomponente repräsentiert die detaillierte Information des Signals. Berechnen Sie die Summe der Quadrate der Wavelet-Koeffizienten jeder Schicht, und dann kann die Energie in jedem Frequenzband erhalten werden. Die Energie jedes Frequenzbandes wird normiert und der charakteristische Vektor kann erhalten werden. Nachdem das Originalsignal durch Wavelet zerlegt wurde, beträgt die Energie jedes Frequenzbandsignals:

$$E_j = \sum_{k=1}^N x_k^2, (j = 1, 2 \dots J) \quad (36)$$

Von diesen ist x der Wavelet-Koeffizient, N ist die Anzahl der Wavelet-Koeffizienten in jedem Frequenzband und J ist die Anzahl der Zerlegungsfrequenzbänder des ursprünglichen Schwingungssignals.

Die Gesamtenergie beträgt:

$$E = \sum_{j=1}^J E_j \quad (37)$$

Der charakteristische Vektor ist:

$$W = \left[\frac{E_1}{E}, \frac{E_2}{E}, \dots, \frac{E_J}{E} \right] \quad (38)$$

4.3.2 Wavelet-Packet-Transformation

Die Wavelet-Pakettransformation, auch Wavelet-Paketzerlegung genannt, unterscheidet sich von der Wavelet-Transformation dadurch, dass sie das Signal feiner

teilt und sowohl der Hochfrequenz- als auch der Niederfrequenzbereich des Signals geteilt werden. Daher ist dieses Analyseverfahren ein lokales Zeit-Frequenz-Analyseverfahren, das das Signal aus den Hoch- und Niederfrequenzbereichen besser analysieren kann. Es überwindet die Nachteile der schlechten Auflösung der Wavelet-Transformation im Hochfrequenzbereich. Es ist präziser als Wavelet Analyse.

1) Definition und Eigenschaften von Wavelet-Paketen

Die der Funktion entsprechende Gleichung:

$$\begin{cases} u_{2n}(t) = \sqrt{2} \sum_{k \in \mathbb{Z}} h(k) u_n(2t - k) \\ u_{2n+1}(t) = \sqrt{2} \sum_{k \in \mathbb{Z}} g(k) u_n(2t - k) \end{cases} \quad (39)$$

und $g(k) = (-1)^k h(1 - k)$. Bei $n=0$ gibt es:

$$\begin{cases} u_0(t) = \sum_{k \in \mathbb{Z}} h_k u_0(2t - k) \\ u_1(t) = \sum_{k \in \mathbb{Z}} g_k u_0(2t - k) \end{cases} \quad (40)$$

Für eine gegebene orthogonale Skalierungsfunktion $\Phi(x)$ und ihre entsprechende orthogonale Wavelet-Funktion $\varphi(x)$ gibt es:

$$\begin{cases} \Phi(x) = \sum_{k \in \mathbb{Z}} h_k \Phi(2t - k) & \{h_k\}_{k \in \mathbb{Z}} \in l^2 \\ \varphi(x) = \sum_{k \in \mathbb{Z}} g_k \Phi(2t - k) & \{g_k\}_{k \in \mathbb{Z}} \in l^2 \end{cases} \quad (41)$$

2) Algorithmus zur Zerlegung von Wavelet-Paketen

Berechnet man $\{d_i^{j+1,n}\}$ und $\{d_i^{j,2n}\}$ aus $\{d_i^{j,2n+1}\}$, um zu erhalten:

$$\begin{cases} d_i^{j,2n+1} = \sum_k b_{k-2i} d_k^{j+1,n} \\ d_i^{j,2n} = \sum_k a_{k-2i} d_k^{j+1,n} \end{cases} \quad (42)$$

3) Rekonstruktionsalgorithmus für Wavelet-Pakete

Berechnet man $\{d_i^{j,2n}\}$ und $\{d_i^{j,2n+1}\}$ aus $\{d_i^{j+1,n}\}$, um zu erhalten:

$$d_i^{j+1,n} = \sum_k [h_{i-2k} d_k^{j,2n} + g_{i-2k} d_k^{j,2n+1}] \quad (43)$$

5 Zusammenfassung

Gegenwärtig sind CNC-Werkzeugmaschinen in nationalen Schlüsselindustrien wie Luft- und Raumfahrt, Automobilen und Schiffen weit verbreitet. Mit der Umsetzung nationaler Strategien wie der intelligenten Fertigung werden Unternehmen immer abhängiger von CNC-Werkzeugmaschinen. Aber auch die Zuverlässigkeit, Fehlerdiagnose und Vorhersage von CNC-Werkzeugmaschinen wird von Wissenschaftlern im In- und Ausland intensiv beachtet. Unter ihnen haben bei der Präzisionsüberwachung von CNC-Werkzeugmaschinen die eingehende Untersuchung der schnellen Erkennung von CNC-Werkzeugmaschinenfehlern, die Fehleridentifikation und die Genauigkeitsbewertungsmethoden zur Fehlerkompensation einen wichtigen praktischen Wert; gleichzeitig bei der Fehlerdiagnose von CNC-Werkzeugmaschinen und Frühwarnung, künstliche Intelligenz, Big Data, Material Networking und andere Technologien werden eingesetzt, und die Durchbrüche bei den oben genannten Technologien sind von großer Bedeutung, um den langfristigen gesunden Betrieb von CNC-Werkzeugmaschinen zu gewährleisten.

Das Verständnis des Fehlergesetzes von CNC-Werkzeugmaschinen bedarf weiterer Forschung. Da die Verbesserung der Genauigkeit von Werkzeugmaschinen ein ewiges Thema ist, um eine hochpräzise Fertigung zu erreichen, stellt sie im Bereich der mechanischen Fertigung seit jeher ein allgemeines Anliegen dar. Es gibt verschiedene Faktoren, die den Fehler von CNC-Werkzeugmaschinen beeinflussen, einschließlich externer Umweltfaktoren, wie sowie die eigene Schnittkraft, Schnitttemperatur usw. Der Einfluss nichtlinearer Kennlinien. Daher bedarf die Etablierung genauer Fehlermodelle in CNC-Werkzeugmaschinen weiterer Forschung.

Quellenverzeichnis

1. 乐可锡, 全永昕, 周桂如, 朱均平, 张民杰, 精密机床加工过程监控技术及其现状与动向 %J 机械科学与技术. **1994**, (03), 113-116.
2. Liang, S. Y.; Hecker, R. L.; Landers, R. G. J. J. M. S. E., Machining process monitoring and control: the state-of-the-art. **2004**, 126 (2), 297-310.
3. Teti, R.; Jemielniak, K.; O'Donnell, G.; Dornfeld, D., Advanced monitoring of machining operations. *CIRP Annals* **2010**, 59 (2), 717-739.
4. 罗振璧; 杨世明; 郑力; 汪劲松; 张伯鹏; 徐家球, 刀具磨/破损监控仪的研究 %J 机械工艺师. **1996**, (05), 4-6.
5. 罗振璧; 徐家球; 张跃军; 张伯鹏, 切削过程刀具监视与声发射(AE)车削监视仪的研制 %J 组合机床与自动化加工技术. **1990**, (01), 31-35+50.
6. Fu, P.; Hope, A.; King, G. In *A neurofuzzy pattern recognition algorithm and its application in tool condition monitoring process*, ICSP'98. 1998 Fourth International Conference on Signal Processing (Cat. No. 98TH8344), IEEE: 1998; pp 1193-1196.
7. Xiaoli, L.; Zhejun, Y. J. W., Tool wear monitoring with wavelet packet transform—fuzzy clustering method. **1998**, 219 (2), 145-154.
8. Pujana, J.; Arrazola, P.; Villar, J. J. J. o. m. p. t., In-process high-speed photography applied to orthogonal turning. **2008**, 202 (1-3), 475-485.
9. Chen, L.; Bender, P.; Renton, P.; El-Wardany, T. J. C. A., Integrated virtual manufacturing systems for process optimisation and monitoring. **2002**, 51 (1), 409-412.
10. Axinte, D. J. I. J. o. M. T.; Manufacture, An experimental analysis of damped coupled vibrations in broaching. **2007**, 47 (14), 2182-2188.
11. Siddhpura, M.; Paurobally, R. J. I. J. o. M. t.; manufacture, A review of chatter vibration research in turning. **2012**, 61, 27-47.
12. Kuljanic, E.; Sortino, M.; Totis, G. J. J. o. S.; Vibration, Multisensor approaches for chatter detection in milling. **2008**, 312 (4-5), 672-693.
13. Berger, B.; Minis, I.; Harley, J.; Rokni, M.; Papadopoulos, M. J. J. o. S.; Vibration, Wavelet based cutting state identification. **1998**, 213 (5), 813-827.
14. Govekar, E.; Gradišek, J.; Grabec, I. J. U., Analysis of acoustic emission signals and monitoring of machining processes. **2000**, 38 (1-8),

598-603.

15. Yoon, M.; Chin, D. J. P. o. t. I. o. M. E., Part B: Journal of Engineering Manufacture, Cutting force monitoring in the endmilling operation for chatter detection. **2005**, 219 (6), 455-465.

16. Tangjitsitcharoen, S. J. J. o. M. P. T., In-process monitoring and detection of chip formation and chatter for CNC turning. **2009**, 209 (10), 4682-4688.

17. Chang, C.-F.; Chen, J.-J. J. M., Vibration monitoring of motorized spindles using spectral analysis techniques. **2009**, 19 (5), 726-734.

18. Brecher, C.; Esser, M.; Witt, S. J. C. a., Interaction of manufacturing process and machine tool. **2009**, 58 (2), 588-607.

19. 陆剑中, 孙家宁, 金属切削原理与刀具. 2011.

20. 史德峰. 置氢钛合金 TC4 高速切削刀具磨损有限元仿真分析. 硕士, 南京航空航天大学, 2010.

21. Li, B. J. I. J. o. R. M.; Materials, H., A review of tool wear estimation using theoretical analysis and numerical simulation technologies. **2012**, 35, 143-151.

22. 关山; 康晓峰, 在线金属切削刀具磨损状态监测研究的回顾与展望 I : 监测信号的选择 %J 机床与液压. **2010**, 38 (11), 127-132.

23. Nouri, M.; Fussell, B. K.; Ziniti, B. L.; Linder, E. J. I. J. o. M. T.; Manufacture, Real-time tool wear monitoring in milling using a cutting condition independent method. **2015**, 89, 1-13.

24. Choudhury, S.; Rath, S. J. J. o. M. P. T., In-process tool wear estimation in milling using cutting force model. **2000**, 99 (1-3), 113-119.

25. 李劲松; 陈鼎昌, 基于铣削力的刀具磨损监控研究 %J 北京航空航天大学学报. **1998**, (05), 77-80.

26. 郑建明; 李言; 李鹏阳; 洪伟; 肖继明; 袁启龙, 基于切削力信号时域频域特征融合的刀具磨损监测 %J 机械与电子. **2001**, (03), 46-48.

27. 高宏力. 切削加工过程中刀具磨损的智能监测技术研究. 博士, 西南交通大学, 2005.

28. Byrne, G.; Dornfeld, D.; Denkena, B. J. C. A., Advancing cutting technology. **2003**, 52 (2), 483-507.

29. Albrecht, A.; Park, S. S.; Altintas, Y.; Pritschow, G. J. I. J. o. M. T.; Manufacture, High frequency bandwidth cutting force measurement in milling using capacitance displacement sensors. **2005**, 45 (9), 993-1008.

30. Scruby, C. B. J. J. o. P. E. S. I., An introduction to acoustic emission. **1987**, 20 (8), 946.

31. Li, X. J. I. J. o. M. T.; Manufacture, A brief review: acoustic emission method for tool wear monitoring during turning. **2002**, 42 (2), 157-165.

32. Jemielniak, K. J. U., Some aspects of AE application in tool condition monitoring. **2000**, *38* (1-8), 604-608.
33. 关山. 基于声发射信号多特征分析与融合的刀具磨损分类与预测技术. 博士, 吉林大学, 2011.
34. 谢剑峰. 基于声发射的铣刀破损监测研究. 硕士, 上海交通大学, 2011.
35. Shao, H.; Wang, H.; Zhao, X. J. I. J. o. M. T.; *Manufacture*, A cutting power model for tool wear monitoring in milling. **2004**, *44* (14), 1503-1509.
36. Salgado, D.; Alonso, F. J. I. J. o. M. T.; *Manufacture*, An approach based on current and sound signals for in-process tool wear monitoring. **2007**, *47* (14), 2140-2152.
37. Alonso, F.; Salgado, D. J. M. S.; *Processing, S.*, Analysis of the structure of vibration signals for tool wear detection. **2008**, *22* (3), 735-748.
38. Salgado, D.; Alonso, F. J. J. o. M. P. T., Tool wear detection in turning operations using singular spectrum analysis. **2006**, *171* (3), 451-458.
39. Rmili, W.; Ouahabi, A.; Serra, R.; Leroy, R. J. M., An automatic system based on vibratory analysis for cutting tool wear monitoring. **2016**, *77*, 117-123.
40. Kalvoda, T.; Hwang, Y.-R. J. I. J. o. M. T.; *Manufacture*, A cutter tool monitoring in machining process using Hilbert–Huang transform. **2010**, *50* (5), 495-501.
41. Lyons, R. G., *Understanding digital signal processing, 3/E*. Pearson Education India: 2004.
42. Haber, R. E.; Jiménez, J. E.; Peres, C. R.; Alique, J. R. J. S.; *Physical, A. A.*, An investigation of tool-wear monitoring in a high-speed machining process. **2004**, *116* (3), 539-545.
43. 张德丰, *MATLAB 小波分析*. 机械工业出版社: 2012.
44. 于明月; 陈果; 李成刚; 冯国全; *航空动力学报*, 王. J., 基于小波包分析和支持向量机的转静碰摩部位识别. **2013**, *28* (1).
45. 韩亚利; *装备制造技术*, 陈. J., 基于小波分析的数控刀具状态在线监控系统. **2009**, *7*.
46. 谢剑峰; 王海丽, 基于声发射的铣刀破损信号特征的提取与优化 %J *组合机床与自动化加工技术*. **2011**, (05), 14-17.
47. 任振华. 基于振动信号的 PCB 微钻刀具磨损状态监测研究. 上海: 上海交通大学, 2012.

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

<p>Abb. 2-1 Wechselwirkungen zwischen Prozess und Werkzeugmaschine¹⁸</p>	<p>Teti, R.; Jemielniak, K.; O'Donnell, G.; Dornfeld, D., Advanced monitoring of machining operations. <i>CIRP Annals</i> 2010, 59 (2), 717-739.</p>
<p>Abb. 2-2 Verschleißmechanismus in der Metallzerspanung²¹</p>	<p>Albrecht, A.; Park, S. S.; Altintas, Y.; Pritschow, G. J. I. J. o. M. T.; Manufacture, High frequency bandwidth cutting force measurement in milling using capacitance displacement sensors. 2005, 45 (9), 993-1008</p>
<p>Abb. 3-1 Messbare Phänomene für die Online-Sensorüberwachung³</p>	<p>Teti, R.; Jemielniak, K.; O'Donnell, G.; Dornfeld, D., Advanced monitoring of machining operations. <i>CIRP Annals</i> 2010, 59 (2), 717-739.</p>
<p>Abb. 3-2 Integrierte Kraftsensoren in der Motorspindel²⁹</p>	<p>Albrecht, A.; Park, S. S.; Altintas, Y.; Pritschow, G. J. I. J. o. M. T.; Manufacture, High frequency bandwidth cutting force measurement in milling using capacitance displacement sensors. 2005, 45 (9), 993-1008.</p>