

## 2 Stand der Technik

### *State of the art*

Die Werkzeugschnittstelle bildet die Verbindung zwischen dem Werkzeug und der Hauptspindel von Werkzeugmaschinen. Die von der Maschine erzeugten Kräfte und Momente werden von der Hauptspindel über die Werkzeugschnittstelle an das Zerspanwerkzeug übertragen und in den Zerspanprozess eingeleitet. Als direktes Bindeglied zwischen der Werkzeugmaschine und dem Werkzeug beeinflusst die Werkzeugschnittstelle unmittelbar die Leistungsfähigkeit und Qualität des Bearbeitungsprozesses. Zur Durchführung unterschiedlicher Bearbeitungsaufgaben muss die Werkzeugschnittstelle darüber hinaus den automatischen oder manuellen Wechsel des Bearbeitungswerkzeugs ermöglichen.

In Abschnitt 2.1 wird der Aufbau einer typischen Hauptspindel einer Fräsmaschine erläutert. Es folgt eine kurze Vorstellung der Grundlagen des Fräsprozesses (Abschnitt 2.2). Zur Abschätzung der auf die Hauptspindel wirkenden Kräfte wird in diesem Kapitel eine etablierte Methodik zur Berechnung von Schnittkräften vorgestellt. Abschnitt 2.3 stellt die heute genormten und gängigen Werkzeugschnittstellen, die Chronologie und ihren konstruktiven Aufbau vor. Anschließend wird ein Überblick über gängige Spannprinzipien für Werkzeugschnittstellen gegeben (Abschnitt 2.4). Auf Grundlage der in Abschnitt 2.5 dargestellten bisherigen Ansätze und Methoden zur Untersuchung und Charakterisierung von Werkzeugschnittstellen werden aktuelle Defizite der Untersuchungsmethoden aufgezeigt und der Handlungsbedarf abgeleitet.

### 2.1 Hauptspindeln von Werkzeugmaschinen

#### *Main spindles of machine tools*

Die Hauptspindel einer Fräsmaschine spielt durch ihre Lage direkt im Kraftfluss zwischen Prozess und Maschinenstruktur eine zentrale Rolle bei der spanenden Werkstückbearbeitung. Sie sorgt für die Führung des Werkzeugs und stellt das Antriebsmoment in Form einer rotierenden Hauptbewegung zur Verfügung. Für die Leistungsfähigkeit einer Werkzeugmaschine ist neben der Fertigungsgenauigkeit das Zeitspanvolumen die wichtigste Kenngröße. Hierbei haben die Leistungsparameter des Spindel systems, wie maximale Spindeldrehzahl, das zur Verfügung stehende Drehmoment sowie die Steifigkeit und Dämpfungseigenschaften einen entscheidenden Einfluss und stellen bei vielen Anwendungen den leistungsbegrenzenden Faktor dar. [KREI08; ROSS13]

Hauptspindeln werden bezüglich ihrer konstruktiven Ausführung in direktgetriebene Motorspindeln und indirekt getriebene (fremdgetriebene) Systeme unterteilt. Bei Motorspindeln ist der Antrieb integraler Bestandteil des Spindel systems und befindet sich direkt zwischen den vorderen und hinteren Spindellagerpaketen. Der Rotor ist üblicherweise auf die Spindelwelle geschumpft, während sich der Stator im Spindel-



axial auf den Kegel des Werkzeugs wirken [NIEM05]. Die hierzu erforderliche Spannkraft wird üblicherweise mittels eines Federpakets bereitgestellt und über eine Zugstange an den Spannsatz weitergeleitet. Je nach Art der verwendeten Werkzeug-schnittstelle wird die Kraft über den Spannsatz in das Werkzeug eingeleitet und das Werkzeug folglich axial in die Werkzeugaufnahme eingezogen.

Zum Lösen des Werkzeugs ist eine der Federkraft entgegengesetzte Kraft erforderlich. Hierzu kommt meist ein hydraulischer oder pneumatischer Lösezyylinder zum Einsatz, der die Zugstange gegen die Kraft des Federpakets drückt und den Spannsatz entlastet. Wird der Spannsatz über den Punkt der Entlastung des Werkzeugs hinaus axial weiter verfahren, wird das Werkzeug aus der Aufnahme mechanisch ausgestoßen. Zur Überwachung des Spannzustandes werden üblicherweise Wegsensoren eingesetzt, welche die axiale Position der Zugstange erfassen. Es kommt meist ein berührungsloses System zum Einsatz, welches zur Realisierung eines kompakten Bauraums als Radialsensor in Verbindung mit einem Kegel ausgeführt wird. Hierdurch lassen sich die relevanten Spannzustände (gespannt mit Werkzeug, gespannt ohne Werkzeug oder gelöst) erfassen.

Zur Kühlung und Schmierung des Bearbeitungsprozesses kann das Werkzeug von innen mit Kühlschmierstoff versorgt werden. Der Kühlschmierstoff wird über die Drehdurchführung an die hohlgebohrte Zugstange übergeben und kann somit durch den Spannsatz in das Werkzeug eingeleitet werden.

## 2.2 Grundlagen des Fräsprozesses

### *Fundamentals of milling process*

Das Fräsen ist ein spanabhebendes Fertigungsverfahren mit kreisförmiger Schnittbewegung zur Erzeugung von Werkstückoberflächen. Üblicherweise kommen mehrzahnige Werkzeuge, sogenannte Fräser, zum Einsatz. Die Schnittbewegung verläuft senkrecht oder vereinzelt auch schräg zur Drehachse des Werkzeugs.

Nach DIN 8589-3 werden die Fräsverfahren nach erzeugter Oberfläche, Werkzeugform und Kinematik unterteilt in [DIN03c]:

- Planfräsen
- Rundfräsen
- Schraubfräsen
- Wälzfräsen
- Profilfräsen
- Formfräsen

Wird während des Fräsprozesses die Werkstückoberfläche von der Stirnseite des Werkzeugs mit der Nebenschneide erzeugt, so spricht man vom Stirnfräsen (**Bild 2.2**). Die Schnitttiefe wird als  $a_p$  und der Vorschub als  $f_z$  bezeichnet.