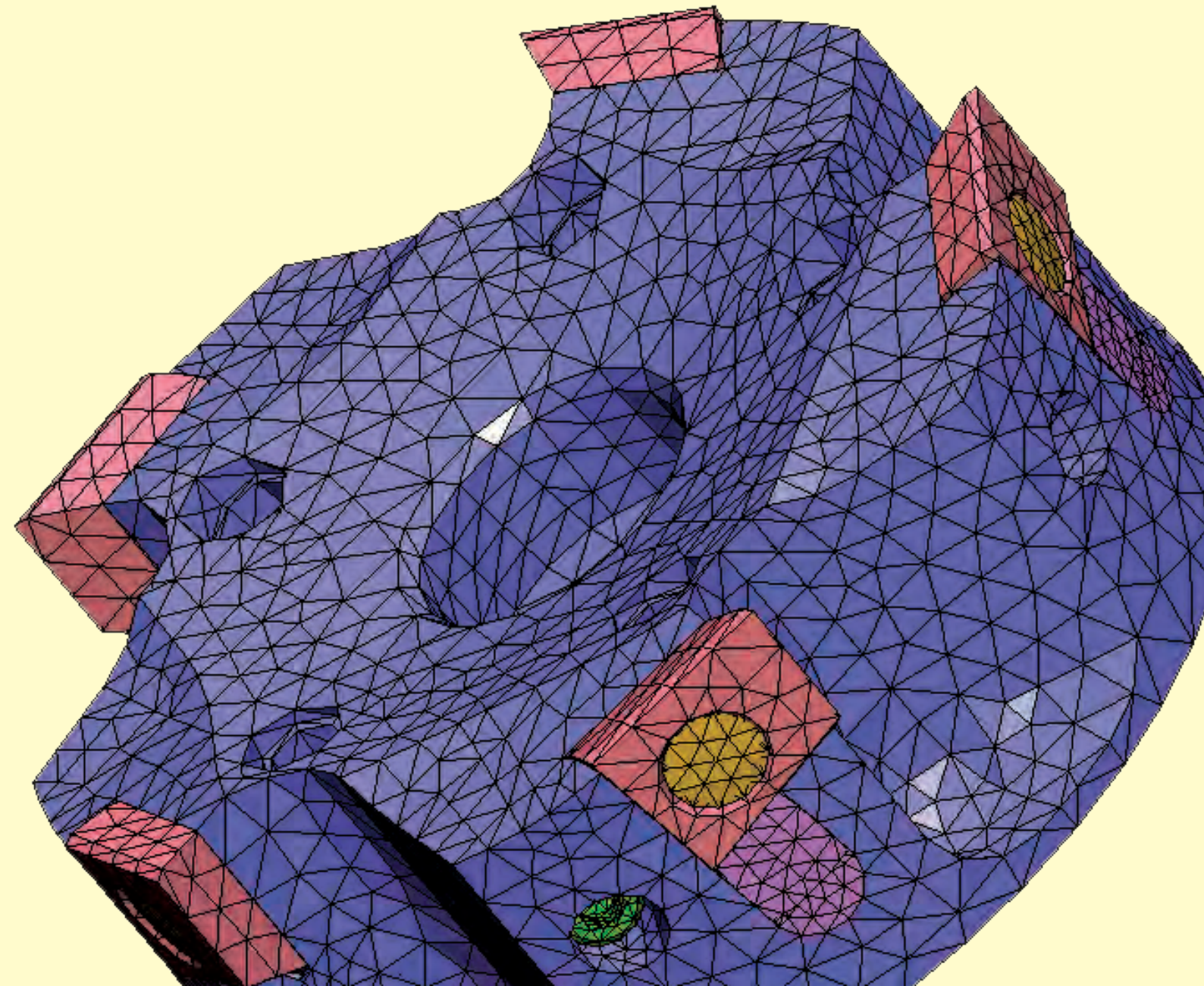
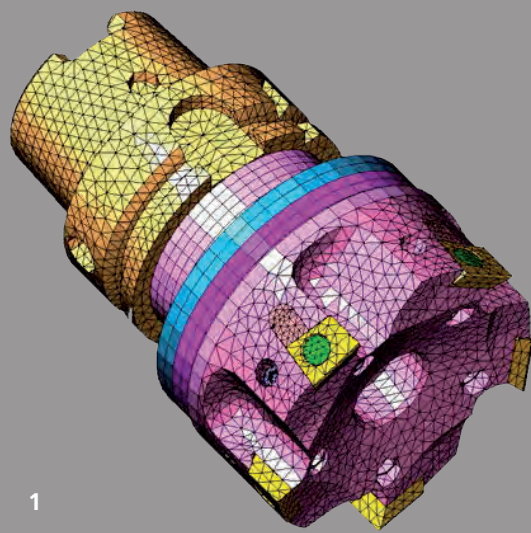
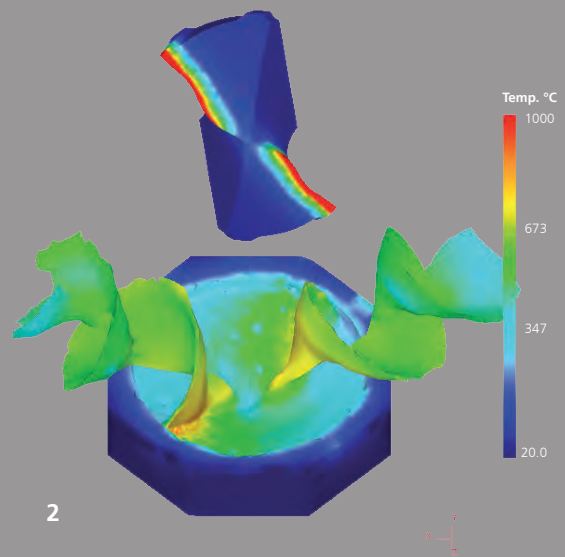


SIMULATION FÜR SPANENDE FERTIGUNGSPROZESSE





1



2

Die Weiterentwicklung von Produktionsverfahren und deren Leistungssteigerung sind wichtige Faktoren zum Erhalt und zur Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen. Die Entwicklung und Fertigung von Produkten soll kostengünstig und mit hoher Qualität erfolgen. Eine wesentliche Voraussetzung dafür ist die Beherrschung der Produktionsprozesse, wobei die spanende Fertigung einen bedeutenden Platz einnimmt.

Numerische Simulationsverfahren wie die Finite-Elemente-Methode (FEM) ermöglichen es, tief in komplexe Wirkzusammenhänge spanender Fertigungsverfahren einzudringen. Der fortschreitende Entwicklungsstand von Hard- und Software erlaubt dabei immer detailliertere Modelle. Eine enge Verbindung von Simulation und Experiment sichert die erforderliche Realitätsnähe.

Aktuelle Trends der spanabhebenden Präzisionsbearbeitung, die gegenwärtig auch am Fraunhofer IWU im Fokus stehen, sind Trockenbearbeitung, Hochgeschwindigkeitsbearbeitung (HSC) und Hochleistungsbearbeitung (HPC). Innovative Entwicklungen sind auch im Bereich der Near-Net-Shape-Fertigung sowie beim Einsatz neuer Werkstoffe und Werkstoffverbunde, Schneidstoffe und Schicht-Substrat-Systeme sowie bei Verfahrenskombinationen und -substitutionen zu verzeichnen. Weitere Untersuchungen gelten der Erzielung definierter Bauteileigenschaften durch Überlagerung von Wirkenergien wie Ultraschallschwingungen, Hochdruckkühlung oder fokussierte Laserstrahlen. Zunehmend treten Gesichtspunkte der umweltgerechten, energieeffizienten und ressourcenschonenden Bearbeitung in den Vordergrund.

Numerische Simulationen sind ein sehr effektives Mittel, um in Kombination mit einem Minimum an aufwändigen Versuchen Zusammenhänge und Tendenzen zu analysieren. Von Vorteil ist dabei die Möglichkeit, Gebiete und Vorgänge zu betrachten, die einer messtechnischen Charakterisierung aus räumlichen Gründen, wegen hoher mechanischer bzw. thermischer Belastungen oder durch extrem schnell ablaufende Prozesse nur schwer oder gar nicht zugänglich sind. Numerische Simulations-

rechnungen erlauben es auch, ins Innere von Werkstücken oder Werkzeugen »hineinzuschauen«. Sie sind selbst dann anwendbar, wenn hohe Kosten oder Sicherheits- und Arbeitsschutzprobleme experimentelle Untersuchungen erschweren oder unmöglich machen. Werkzeuge lassen sich so ohne Versuchsmuster in einem frühen Entwicklungsstadium untersuchen, um Schwachstellen und Verbesserungsmöglichkeiten zu finden.

Prozesssimulation Spanen

Ein wesentliches Anwendungsgebiet der Simulation spanender Fertigungsverfahren ist die Ermittlung des Einflusses von Prozessparametern und der Schneidengeometrie des Werkzeugs auf

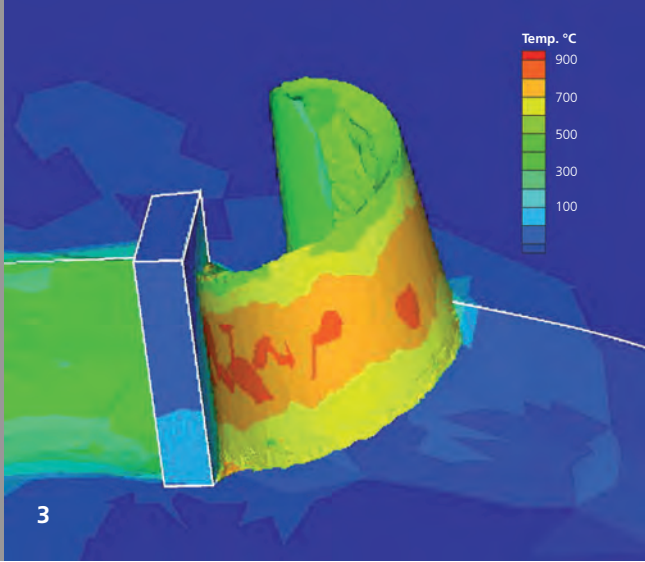
- Werkzeugbelastung und Verschleiß,
- Spanformen und Spanbruch sowie
- Gratbildung und -vermeidung.

Untersucht werden kann ein breites Spektrum verschiedener Werkstoffe, darunter Metalle und Nichtmetalle oder homogene Materialien und Verbundwerkstoffe verschiedenster Art. Da der Spanbildungsvorgang sehr komplex ist, kommt Grundlagenuntersuchungen und der Kopplung mit experimentellen Stichversuchen eine große Bedeutung zu, um Modelle zu verifizieren und Modellparameter zu bestimmen. Auch wenn auf Zerspanungsversuche noch nicht verzichtet werden kann, so lässt sich die Anzahl der notwendigen Versuche durch vorherige Berechnungen doch deutlich einschränken.

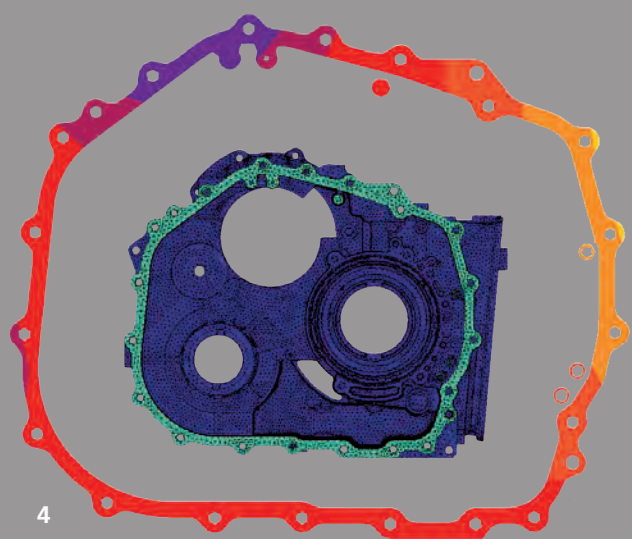
Simulation bei der Entwicklung spanender Werkzeuge

Ziel ist dabei die material- und beanspruchungsgerechte Werkzeuggestaltung. Bei der Präzisionsbearbeitung müssen üblicherweise Genauigkeiten im Bereich weniger Mikrometer und besser erreicht werden. Verformungen in dieser Größenordnung treten bereits bei relativ geringen Zerspankräften oder durch thermische Verformungen auf.

Im Vordergrund stehen komplexe modular aufgebaute Zerspanungswerkzeuge der Hochleistungs- und Präzisionsbearbeitung. Beanspruchungen und Verformungen von Komponenten derartiger Werkzeuge sind mit konventionellen



3



4

Bemessungsgleichungen nicht mehr in der erforderlichen Genauigkeit bestimmbar. Komplexe Berechnungsmodelle auf der Basis der FEM berücksichtigen dagegen auch Nichtlinearitäten auf Grund von Relativbewegungen einzelner Bauteile, beispielsweise an Klemm- und Verstellmechanismen wie bei Schneidplattensitzen oder Trennstellen. Simulationen machen das Zusammenspiel der Komponenten transparent und liefern Hinweise auf Schwachstellen und Verbesserungsmöglichkeiten. Auch die Wirkung von Spannkraften und der Einfluss diverser Materialkombinationen lassen sich betrachten. Mechanisch-thermisch gekoppelte Berechnungen berücksichtigen die frei werdende Prozesswärme ebenso wie deren Ausbreitung im Werkzeug und weiter in die Spindelaufnahme. In dynamischen Simulationen wird das Schwingungsverhalten von Werkzeugen und Werkstücken analysiert. Daraus lassen sich Aussagen über kritische Bearbeitungssituationen ableiten.

Schicht-Substrat-Optimierung

Zunehmend wird die Anwendung von Verschleißschutzbeschichtungen auch bei Umformwerkzeugen angestrebt. Die dort wirkenden kombinierten Beanspruchungen durch hohe Kontaktdrücke und Reibschubspannungen machen eine beanspruchungs- und beschichtungsgerechte Auslegung unter Berücksichtigung der Werkzeuggeometrie und Eigenschaften der Schicht-Substrat-Kombination besonders wichtig.

Die Beurteilung und Bewertung der mechanischen und thermischen Stabilität von Schicht-Substrat-Verbunden ist ein weiteres Einsatzgebiet numerischer Simulationen. Auch zur Erlangung relevanter Materialkenngrößen, insbesondere von Versagensparametern, sind Simulationen nützlich. Mehrere Forschungsprojekte am Fraunhofer IWU beschäftigen sich daher mit der Simulation von Prüfverfahren zur Charakterisierung von Werkstoffparametern und der Modellierung des Schädigungsverhaltens von Schichten (Schichtablösung, Rissbildung). Dabei werden Simulationsrechnungen in Kombination mit speziellen Versuchen auch zur Bestimmung unbekannter Versagensparameter eingesetzt.

Ein typisches Einsatzbeispiel ist die Optimierung der Schichtdicke, um die gewünschte Festigkeit zu erreichen und kritische Spannungskonzentrationen im Schicht-Substrat-Interface zu vermeiden.

Fertigungsbedingte Bauteilverformung und Optimierung von Prozessfolgen

Während der spanenden Bearbeitung wirken sowohl mechanische als auch thermische Belastungen, speziell bei der Trockenbearbeitung, auf Werkzeug und Werkstück ein und führen zu unerwünschten Abweichungen von der Sollkontur. Die Kompensation fertigungsbedingter Verformungen erfordert in der Regel einen zeit- und materialaufwändigen Einfahrprozess. Dieser kann durch Simulationen wesentlich reduziert werden. Als Randbedingungen für die Bauteilsimulation dienen Kräfte und Temperaturfelder aus Analysen des Zerspanprozesses. Die Kenntnis des prozessbedingten Bauteilverzugs ermöglicht – die Auswahl günstiger Zerspanungsparameter und Prozessfolgen, – die Bestimmung von Daten zur Fehlerkompensation sowie – die Optimierung der Bauteilspannung.

Mit diesen Zielrichtungen werden Simulationen in aktuellen Projekten am Fraunhofer IWU auch zur Entwicklung und Optimierung adaptiver Klemmsysteme, beispielsweise unter Nutzung piezoelektrischer Komponenten, eingesetzt. Dadurch wird eine prozessabhängig optimale Bauteilaufspannung mit minimierten Maßabweichungen möglich.

- 1 FE-Modell eines Fräswerkzeugs
- 2 Simulation des Bohrens in 42CrMo4
- 3 Spannbildung beim Planfräsen von TiAl6V4
- 4 Prozessbedingte Verformung eines Gehäusebauteils beim Planfräsen

Herausgeber

Fraunhofer-Institut für
Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU
Reichenhainer Straße 88
09126 Chemnitz

Telefon +49 371 5397-0
Fax +49 371 5397-1404
info@iwu.fraunhofer.de
www.iwu.fraunhofer.de

Institutsleiter

**Wissenschaftsbereich Werkzeugmaschinen,
Produktionssysteme und Zerspanungstechnik**
Prof. Dr.-Ing. Matthias Putz
Telefon +49 371 5397-1349
matthias.putz@iwu.fraunhofer.de

Abteilung Zerspanungstechnologie

Dr.-Ing. Gerhard Schmidt
Telefon +49 371 5397-1856
Fax +49 371 5397-6-1856
gerhard.schmidt@iwu.fraunhofer.de