Zerspanbarkeit hat großen Einfluss:

Was heißt wirtschaftlich spanen?

Im ersten Teil dieses Beitrags haben wir unter anderem Kriterien vorgestellt, mit denen sich die Wirtschaftlichkeit eines Verfahrens oder einer Bearbeitungstechnologie zahlenmäßig beschreiben lässt. Die Zerspanbarkeit hat ebenfalls einen wesentlichen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit und soll deshalb im Mittelpunkt nachfolgender Betrachtungen stehen. Darüber hinaus werden noch Ansätze zur Rationalisierung einbezogen.

Einflüsse auf die Zerspanbarkeit

Der Werkstoff eines Bauteils wird zunächst in der Konstruktion bestimmt, um den funktionalen Anforderungen an ein Bauteil zu genügen. Mechanische Festigkeit unter statischen oder dynamischen Lasten, Härte und Verschleißfestigkeit eines Bauteils, seine Steifigkeit, sein Energieaufnahmevermögen sowie seine chemischen und thermischen Eigenschaften können hier maßgebend sein. Unter Wirtschaftlichkeitsaspekten ist allerdings die Zerspanbarkeit eines Werkstoffs von erstrangiger Bedeutung.

Bei Metallen hängt die Zerspanbarkeit ab von:

- der chemischen Zusammensetzung,
- dem Gefüge,
- der Erschmelzung,
- der Wärmebehandlung und
- der Randschicht des Rohteils.

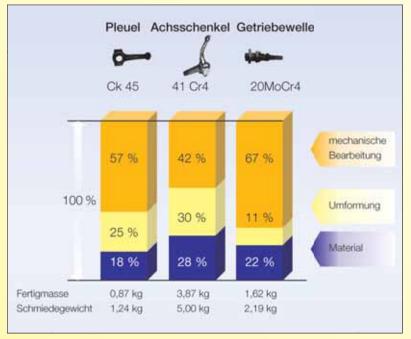


Bild 2: Herstellkosten von Serienteilen

Der im vorigen Heft erläuterte Zusammenhang der Herstellkosten K_H (Formel 1.1: $K_H = K_{mat} + K_F$) macht deutlich, in welcher Weise die Materialkosten K_{mat} und Bearbeitungskosten K_F komplementär sind; d. h. Einsparungen am Material und der Umformung auf Kosten der Zerspanbarkeit können sich durchaus negativ auf die Wirtschaftlichkeit auswirken. Daraus folgt, dass beim Einkauf von Materialien oder Rohteilen wie umgeformten Teilen fertigungstechnische Aspekte der nachfolgenden spanenden Bearbeitung berücksichtigt werden sollten. Es macht keinen Sinn, einen Euro am Schmiedeteil zu sparen, wenn dadurch drei Euro in der spanenden Bearbeitung zusätzlich aufgewandt werden müssen, wie man auch aus Bild 2 folgern kann.

Prüfen: Sind Bearbeitungskosten und Materialkosten gegenläufig?

Erheblichen Einfluss auf die Standzeit oder Standmenge eines spanenden Werkzeugs und damit auf die Wirtschaftlichkeit hat der Schneidstoff des aktiven Werkzeugteils über seinen Verschleiß. Zwar liegen in der Serienfertigung die direkt durch den Verschleiß verursachten Werkzeugkosten häufig nur in der Größenordnung von 1/10 der gesamten Fertigungskosten, aber die durch begrenzte Standzeiten oder Standmengen verantworteten Kosten können ein Mehrfaches der direkten Werkzeugkosten sein. Daraus folgt, dass die Schneidstoffe sorgfältig an die Bearbeitungsaufgabe angepasst werden müssen.

Nach den Formeln 1.7 bis 1.9 (siehe unten) gehen in die gesamte Belegungszeit T_B einer Fertigungsanlage für einen Auftrag neben den Hauptzeiten t_h die Nebenzeiten t_n und die Rüstzeiten t_r ein. Sämtliche Zeitanteile können erheblich durch die Art der Werkzeuge und ihrer Spannund Haltersysteme sowie durch die Maschinen und ihre Werkzeug-Speichersysteme beeinflusst werden.

$$T_{B} = t_{r} + t_{a} \qquad (1.7)$$

$$t_{e} = t_{g} + t_{v}$$
 (1.8)

$$t_{a} = t_{h} + t_{n} + t_{b}$$
 (1.9)

T_B = Belegungszeit

t_a = Grundzeit

t, = Rüstzeit

t_a = m · t_e = Ausführungszeit eines Auftrags

t, = Verteilzeit

t_h = Hauptzeit

m = Losgröße

t_n = Nebenzeit

t_b = Ruhezeit



Seit einiger Zeit sind die durch die Kühlschmierung von spanenden Prozessen verursachten Kosten in den Fokus gerückt [BYRS93]. Mit zentralen Kühlschmierstoffsystemen, wie sie in der Serienfertigung eingesetzt werden, können durchaus nennenswerte Kostenanteile an den Fertigungskosten verbunden sein (Bild 3). Das Ergebnis von Untersuchungen in der Automobilindustrie hat dazu geführt, dass ein erheblicher Entwicklungsfokus auf die Trockenbearbeitung und die Mindermengenkühlschmierung gelegt wurde. Derart große Kostenanteile, wie sie in Bild 3 wiedergegeben sind, werden allerdings von zuliefernden Serienherstellern -insbesondere kleineren und mittleren Betrieben - nicht annähernd in gleicher Höhe errechnet. Dort werden die Kosten für Kühlschmierstoffe im Bereich von weniger als 3 % gesehen.

Ansätze zur Rationalisierung

Werkstücke werden in aller Regel in einer Folge von Arbeitsvorgängen oder Fertigungsstufen hergestellt. Rationalisierungsüberlegungen zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit und/oder der Qualität sollten daher nicht nur an einzelnen Arbeitsvorgängen oder Fertigungsstufen ansetzen, sondern auf ein Gesamtoptimum über alle Stufen der Fertigung zielen. Dabei kann nach drei grundsätzlichen Alternativen in der Prozesskette gesucht werden: nach Adaption, Substitution und/oder Integration (A-S-I-Methode) [TÖNS87, TÖNS01] (Bild 4).

Adaption ist die günstige Abstimmung aufeinander folgender Prozesse wie die Abstimmung der Rohteil-

Kurz & bündig: Der Werkstoff eines Bauteils wird zunächst in der Konstruktion bestimmt, um den funktionalen Anforderungen an ein Bauteil zu genügen. Mechanische Festigkeit unter statischen oder dynamischen Lasten, Härte und Verschleißfestigkeit eines Bauteils, seine Steifigkeit, sein Energieaufnahmevermögen und seine chemischen sowie thermischen Eigenschaften können hier maßgebend sein. Unter Wirtschaftlichkeitsaspekten ist allerdings die Zerspanbarkeit eines Werkstoffs von erstrangiger Bedeutung.

herstellung durch Schmieden und die anschließende spanende Bearbeitung. Jedes Fertigungsverfahren hat einen Katalog von Formen und Formelementen, die mit ihm einfach und kostengünstig herzustellen sind, und andere Formen, die nur mit größerem Aufwand gefertigt werden können. So sind z. B. durch Schmieden tiefe, steile Flanken aufwendig zu erzeugen, bei der anschließenden spanenden Bearbeitung bedeutet eine stärkere Konizität (konische Kontur – d. R.) dagegen kaum Schwierigkeiten. Auch für die Einhaltung enger Toleranzen bei der Vorformung, z. B. durch Umformen, ist jeweils zu prüfen, ob der dadurch verursachte Aufwand mit Rücksicht auf die folgenden Prozesse zu rechtfertigen ist.

Die Entwicklung von Maschinen oder Werkzeugen oder geänderte Kostenstrukturen können Anlass für

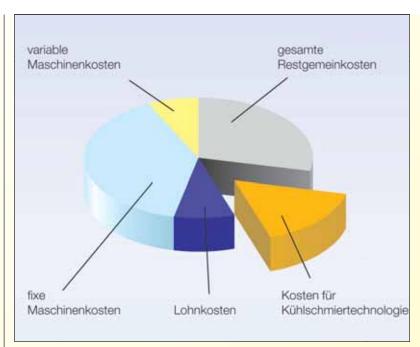


Bild 3: Kostengliederung für Kühlschmierstoffe (nach Byrne, Scholta)

die Substitution eines Fertigungsverfahrens sein. Ein klassisches Beispiel ist das Hochgeschwindigkeitsfräsen im Formenbau etwa bei der Gesenkherstellung, das in weiten Bereichen die Bankarbeit – also die manuelle Nacharbeit von Fräsrillen – abgelöst hat. Das Hochgeschwindigkeitsfräsen hat auch das Senkerodieren (auch Funkenerosion genannt) in den Fällen weitgehend abgelöst, wo es geometrisch möglich ist; denn das Senkerodieren kann neben möglichen Produktivitätsnachteilen auch Probleme bei der Entsorgung des Erodierschlamms aufweisen.

Die Integration von Fertigungsstufen verkürzt die Arbeitsvorgangsfolge und ist häufig mit direkten Kosteneinsparungen, jedenfalls aber verkürzten Durchlaufzeiten

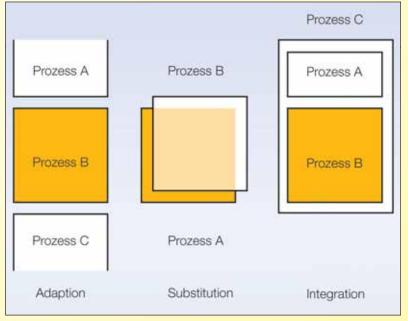
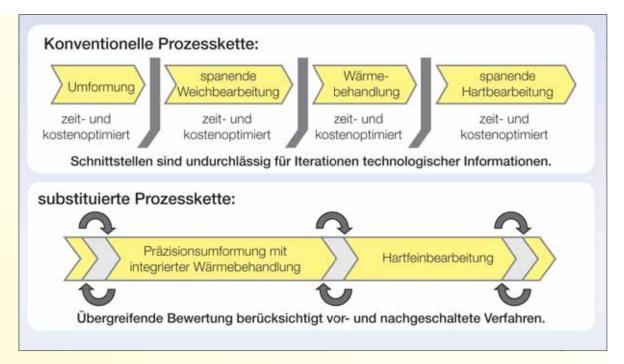


Bild 4: ASI-Methode zur Rationalisierung



Bild 5: Prozesskettenoptimierung



durch eine Fertigung und mit verringertem Steuerungsaufwand, also mit geringeren indirekten Kosten, verbunden. Die Komplettbearbeitung von Werkstücken auf mehrachsigen Drehmaschinen oder Bearbeitungszentren ist ein aktuelles Beispiel für diesen Integrationsansatz. In neuerer Zeit werden noch weitergehende Ansätze verfolgt, die ein Gesamtoptimum einer ganzen Prozesskette zum Ziel haben [BRAN08].

In Bild 5 sind eine konventionelle und eine durch mehrfache Substitution und Integration gewonnene, stark verkürzte Prozesskette schematisch dargestellt. Die zitierte Methode wurde am Beispiel einer Zahnradfertigung validiert (überprüft – d. R.). Der Erfolg dieses speziellen Ansatzes beruht auf der Substitution von Umform- und spanenden Weichbearbeitungsvorgängen durch eine Kombination des Präzisionsschmiedens, bei dem die Verzahnung ausgeprägt wird, und innovativen Hartbearbeitungen durch Drehen und Schleifen.

Zur Rationalisierung vor- und nachgelagerte Prozesse betrachten!

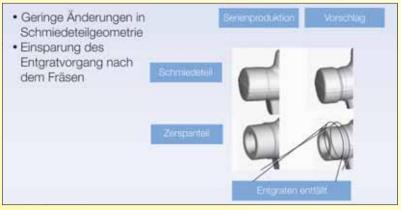


Bild 6: Optimierung eines Schmiedeteils (nach Hirschvogel Komponenten, Schongau)

Testfragen zum Text:

- (1) Von welchen Kriterien hängt die Zerspanbarkeit von Metallen ganz wesentlich ab?
- (2) Rationalisierungsüberlegungen zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit und/ oder der Qualität sollten nicht nur an einzelnen Arbeitsvorgängen oder Fertigungsstufen ansetzen, sondern auf ein Gesamtoptimum über alle Stufen der Fertigung zielen. Nach welchen drei grundsätzlichen Alternativen in der Prozesskette kann dabei gesucht werden?

In der Konstruktionspraxis folgt die Methode Design for Machining dem eben erläuterten Ansatz der Adaption aufeinanderfolgender Prozesse. In aller Regel schließt sich an die umformtechnische Herstellung eines Formteils eine spanende Bearbeitung an. Die Abstimmung zwischen diesen Fertigungsprozessen kann interessante Rationalisierungseffekte enthalten.

Ein hervorragendes Beispiel für dieses Vorgehen gibt Bild 6 durch Auslegung der letzten Gravur im Schmiedegesenk derart, dass die anschließend durch

Lösungen:

'uo

teils. (2) Adaption, Substitution und/oder Integrati-

Der chemischen Zusammensetzung, dem Gefüge, der Erschmelzung, der Wärmebehandlung und der Randschicht des Roh-



Spanen zu bearbeitende Fläche freigestellt wird. Damit lassen sich zwei Vorteile erreichen: Zum einen kann der Zapfen mit höherem Vorschub überdreht werden, weil am Vorschubende nicht in Materialanhäufung hineingefahren wird. Zum anderen wird durch den Ein- und Auslauf der spanend erzeugten Zylinderfläche in eine sich kegelig verjüngende Fläche das nach dem Spanen sonst notwendige Entgraten entbehrlich.

Text und Bilder: Unbearbeiteter Nachdruck aus EX-TRA-Info "Massivumformteile wirtschaftlich spanen" des Industrieverbands Massivumformung e.V. mit freundlicher Genehmigung des Autors Prof. Hans Kurt Tönshoff und der Infostelle Industrieverband Massivumformung e.V. Die 122 Seiten umfassende Publikation kann auch als PDF-Datei von der Internetseite www.metalform. de (Rubriken "Branche" → "Know-how-Paket" → "Veröffentlichungen") geladen werden.

Literatur:

[BYRS93] – Byrne, G., Scholta, E.: Environmental Clean Machining Processes – A Strategic Approach. Annals of the CIRP 42 (1993) 1, p. 471–474. [TÖNS87] – Tönshoff, H. K.: Processing alternatives for cost reduction. Ann. CIRP 36 (1987) p. 445–447. [TÖNS01] – Tönshoff, H. K.: Übersicht über die Fertigungsverfahren. Dubbel 20 (2001), S. 3. [BRAN08] – Brandes, A.: Positionierung technologischer Schnittstellen. Dr.-Ing. Diss. Leibniz Univ. Hannover 2008.



Lasertechnologie verringert Reibungsverluste

Durch Reibung wird viel Energie verschenkt. Automotoren zum Beispiel könnten mehr Kraft übertragen, wenn es keine Reibungsverluste in Ventilen, Lagern und Zylinderköpfen gäbe. Materialforscher an der Universität des Saarlandes und dem Material Engineering Center Saarland (MECS) haben deshalb nach eigenen Angaben eine Lasertechnologie entwickelt, mit der man die Oberflächen von Materialien präzise bearbeiten und dadurch reibungsärmer gestalten kann.

Dabei handelt es sich um die so genannte Laserinterferenz-Technologie, bei der mehrere gebündelte
Laserstrahlen auf das Material gerichtet werden. Dabei
überlagern sich die Laserstrahlen nach dem gleichen
Prinzip wie etwa Wasserwellen. Dadurch kann man
den Angaben zufolge auf einen Schlag auf der Fläche
eines Quadratzentimeters äußerst präzise Muster in der
Größenordnung von wenigen Nanometern erzeugen.
"Die Hitze trifft ganz punktuell auf die Oberfläche. Wir
können auf einem Zehntel der Breite eines Haares zum
Beispiel Wolfram mit fast 4.000 Grad Celsius schmelzen.
Direkt daneben, also etwa fünf Tausendstel Millimeter

weiter, bleibt das Material praktisch unverändert", erläutert Carsten Gachot, Leiter der Lasergruppe an der Universität des Saarlandes. Durch die extreme Hitze des Laserstrahls wird die Oberfläche in ihrer Topographie verändert, es entstehen winzig kleine Vertiefungen und Erhebungen. "Die Laserstrahlen kann man aber auch dazu benutzen, um die innere Struktur des Materials in einer nur hauchdünnen Schicht zu verändern", skizziert Carsten Gachot das Prinzip des neuen Verfahrens.

Die mit den Laserstrahlen erzeugten Muster sollen den Materialoberflächen ganz bestimmte Eigenschaften verleihen. Diese können beispielsweise so modelliert werden, dass sie sich im Flüssigkeitsstrom als besonders reibungsarm erweisen. Die Technologie lässt sich außerdem dafür verwenden, um winzige Ausbuchtungen für Schmieröl-Vorräte auf den Oberflächen zu erzeugen. Im Vergleich zu anderen Verfahren sei die Lasertechnologie für Unternehmen sehr effektiv, da sie die Produktion beschleunige und keine weiteren Zusatzstoffe benötige.

Text: Universität des Saarlandes/idw