

Fertigungstechnik für Wirtschaftsingenieure

Bearbeitet von
Reinhard Koether, Alexander Sauer

5., überarbeitete und erweiterte Auflage 2017. Buch. 492 S. Softcover

ISBN 978 3 446 44831 5

Format (B x L): 18 x 27 cm

[Weitere Fachgebiete > Technik > Produktionstechnik](#)

Zu [Leseprobe](#)

schnell und portofrei erhältlich bei

The logo for beck-shop.de features the text "beck-shop.de" in a bold, red, sans-serif font. Above the "i" in "shop" are three red dots of increasing size. Below the main text, the words "DIE FACHBUCHHANDLUNG" are written in a smaller, red, all-caps, sans-serif font.

beck-shop.de
DIE FACHBUCHHANDLUNG

Die Online-Fachbuchhandlung beck-shop.de ist spezialisiert auf Fachbücher, insbesondere Recht, Steuern und Wirtschaft. Im Sortiment finden Sie alle Medien (Bücher, Zeitschriften, CDs, eBooks, etc.) aller Verlage. Ergänzt wird das Programm durch Services wie Neuerscheinungsdienst oder Zusammenstellungen von Büchern zu Sonderpreisen. Der Shop führt mehr als 8 Millionen Produkte.

Musterlösungen zu Kontrollfragen

■ Lösungen Grundlagen

Antwort 14.1-1

- a) Ingenieurarbeit basiert auf naturwissenschaftlichen Erkenntnissen, die für die Technik nutzbar gemacht werden. Dazu wird ein mathematisches Modell erstellt, das mithilfe von mathematischen Verfahren gestaltet und optimiert wird. Wenn keine oder keine ausreichend genauen mathematischen Modelle und Berechnungsverfahren zu Verfügung stehen, wird durch Versuche die Funktion und Leistungsfähigkeit des technischen Systems überprüft, bevor es angewendet wird. Ingenieurarbeit basiert also auf Systembildung, mathematischen Berechnungen und Versuchen
- b)

Tabelle 1 Beispiele für Fertigungstechnik als Ingenieurarbeit

Kennzeichen Ingenieurarbeit	Beispiel 1	Beispiel 2
Systembildung	Kräfte am Schneidkeil beim Drehen	Umformarbeit bei Massivumformung
Berechnung	Berechnung der Schnittkraft	Berechnung der Umformarbeit
Versuch	Messung der Schnittkraft zur Untersuchung von Schwingungen	Untersuchung der Einflussgrößen auf den Umformwirkungsgrad

Antwort 14.1-2

a) Herstellungsprozess Drehteil

Tabelle 2 Herstellungsprozess des Beispieldrehteils

Herstellungsschritt	Hauptgruppe des Fertigungsverfahrens nach DIN 8580
Stahlherstellung (Hochofenprozess)	
Stranggießen der Stahlbrammen	Urformen
Walzen zu Rundstahl	Umformen
Sägen	Trennen
Fließpressen	Umformen
Außendreihen	Trennen
Ringfläche induktiv härten	Stoffeigenschaften ändern
Galvanisch beschichten (verchromen)	Beschichten

b) Die Hauptgruppe Fügen fehlt.

Antwort 14.1-3

a) Funktionsflächen:

- Dichtflächen
- Reibflächen, Bewegungsflächen (Lagerung)
- Fügeflächen (Passung)
- optische Flächen (Brechung, Reflexion von Teilen)

Funktionsflächen werden spanend bearbeitet, weil nur mit spanender Bearbeitung Genauigkeit (Form-, Lage und Maßtoleranz und Oberflächengüte (Rauheit)) erreicht werden kann. Die Dichtwirkung von zwei Teilen wird erreicht durch einen minimalen Spalt zwischen zwei Werkstücken (Form- und Maßgenauigkeit, Oberfläche) und geringe Reibung durch glatte Oberfläche (Rauheit). Gute Passung von zwei Teilen erreicht man durch hohe Form- und Maßgenauigkeit. Optische Eigenschaften werden durch Formgenauigkeit (Ebenheit, Rundheit), und glatte Oberflächen erreicht.

b) Spanende Fertigungsverfahren gehören zur Hauptgruppe Trennen.

c) Spanen mit geometrisch bestimmter Schneide und Spanen mit geometrisch unbestimmter Schneide

Antwort 14.1-4

- a) Die meisten Teile müssen an Funktionsflächen spanend bearbeitet werden, weil nur so Form-, Lage- und Maßtoleranz und Oberflächengüte zu erreichen sind. Außerdem sind spanende Herstellungsverfahren für kleine Stückzahlen wirtschaftlich, unabhängig von der Qualitätsanforderung, weil die fixen Kosten gering sind und die höheren variablen Kosten bei kleiner Produktionsstückzahl akzeptabel sind.
- b) Die Stückzahl umformender Werkzeugmaschinen wird kleiner sein als der 25%-Anteil am Produktionswert aller Werkzeugmaschinen. Aus folgenden Gründen ist eine durchschnittliche Umformmaschine teurer als eine durchschnittliche spanende Werkzeugmaschine:
 - hohe Kräfte, dadurch höhere Materialkosten pro Maschine und
 - geringe Stückzahlen (Sondermaschinenbau).

■ Lösungen Urformende Fertigungsverfahren – Gießen

Antwort 14.2-1

- a) Schritte von der Zeichnung des gegossenen Werkstücks zum fertigen Guss-Stück, (Abteilung, Frage b) in Klammern):
 - Werkstückzeichnung (Konstruktion)
 - Ergänzen der Werkstückkonstruktion um Angüsse, Lauf und Speiser (Konstruktion)
 - Herstellung von Modell und Kernen (Kernmacherei)
 - Einformen der Modelle in den unteren und oberen Formkasten (Formerei)
 - Schließen des Formkastens (Formerei)
 - Abgießen (Gießerei, Schmelze aus dem Schmelzbetrieb)
 - Abkühlen lassen (Gießerei)
 - Entformen, Sandkerne entfernen (Gussputzerei)
 - Abtrennen von Angüssen, Lauf und Speiser (Gussputzerei)
- b) Beim Strangguss können auch für Stahlwerkstoffe Kokillen verwendet werden, weil die relativ einfach geformte Strangguss-Kokille mit Wasser gekühlt werden kann.

Antwort 14.2-2

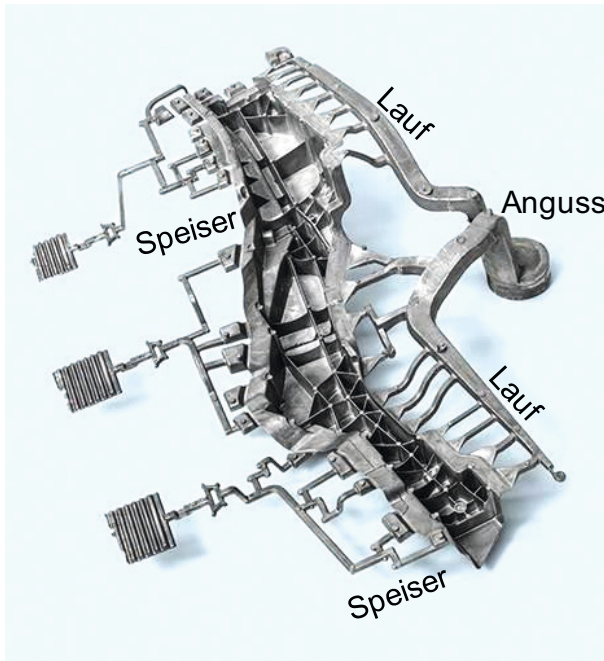


Bild 1 Druckgussteil mit Erläuterungen (Foto: Audi)

- a) Das abgebildete Teil wird durch Druckguss hergestellt. Begründung: Flächiges Teil, großer Anguss, auffällige Verrippung und filigrane Struktur.
- b) Hohlformen können durch Schieber (bewegliche Werkzeugteile) hergestellt werden.
- c) Die gießtechnisch notwendigen Geometrien sind in Bild 1 gekennzeichnet: Anguss, Lauf und Speiser sorgen für gute Formfüllung. Anguss: Hier wird die Schmelze in die Kokille gedrückt. Lauf: verteilt die Schmelze an die Form. Speiser: nimmt überschüssige Schmelze auf und füllt Schmelze nach, wenn nach Abkühlung und Erstarrung das Gussteil schwindet

Antwort 14.2-3

Verfahren zur Herstellung von Formen für den Stahlguss:

- Herstellung von Sandformen mit einem Modell, das in einem Formkasten mit Sand abgebildet wird (normaler Sandguss).
- Wachs ausschmelzen (Feinguss)
- Herstellung von Formmasken mit Maskenformverfahren (hohe Stückzahlen)
- 3-D Druck von Formmasken und Sandformen (sehr geringe Stückzahlen, Einzelfertigung, Prototypen).
- Einschließen eines verlorenen Modells mit Formsand im Lost-foam-Verfahren. (Serienfertigung)
- Herstellung von Kernen in Kernbüchsen, die auf einer Kernschießmaschine befüllt werden (ähnlich wie eine Kokille). (Serienfertigung).

■ Lösungen Umformende Fertigungsverfahren

Antwort 14.3-1

a)

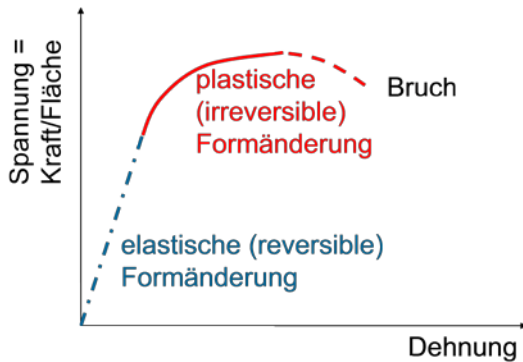


Bild 2 Spannungs-Dehnungs-Diagramms eines metallischen Werkstoffs

- b) Der Bereich der plastischen Formänderung wird für umformende Fertigungsverfahren genutzt.
- c) Eigenschaften umformender Fertigungsverfahren:
- Mehrstufige Bearbeitung, weil der Bereich der plastischen Formänderung begrenzt ist. Nach einer Verformung müssen im Werkstoff Fehlstellen ausheilen, bevor erneut verformt werden kann.
 - Hohe Kräfte für die Umformung, weil zunächst der Bereich der elastischen Formänderung überwunden werden muss, bevor das Werkstück plastisch verformt wird.
 - Hohe Festigkeit der Werkstücke nach der Umformung, weil mit zunehmender Verformung die Spannung (Kraft/Fläche) größer wird.
- d) Hohe fixe Kosten für teure Maschinen (die hohe Kräfte aufbringen müssen) und für teure Formwerkzeuge für mehrere Umformstufen. Geringe variable Kosten, weil kaum Material abgetrennt und verschrottet wird (Ausnahme Grat beim Gesenkformen) und weil die Umformung sehr schnell, in jeder Stufe in wenigen Sekunden abläuft. Kostentreiber sind Maschinen und Werkzeugkosten, die wiederum von der Anzahl der Umformstufen und von der Größe des Werkstücks abhängen.

Antwort 14.3-2

Tabelle 3 Umformkraft und Einflussgrößen

a) Einflussgröße auf die Umformkraft	b) Veränderung der Einflussgröße zur Verringerung der Umformkraft
Temperatur	Werkstück erwärmen
Umformgeschwindigkeit	langsamer umformen
Material	zähes, gut verformbares Material
Reibung (Formänderungswirkungsgrad)	Werkzeug schmieren
bereits erfolgte Umformung (Kaltverfestigung)	spannungsfrei glühen

Antwort 14.3-3

a) Umformmaschinen können die Energie zur Umformung

- arbeitsgebunden,
- kraftgebunden oder
- weggebunden

einwirken lassen.

b) Normalerweise werden zum Gesenkformen keine weggebundenen Maschinen (z.B. Kurbelpresse), eingesetzt, weil der Kraft-Weg-Verlauf ungünstig ist und nicht zum benötigten Kraftverlauf beim Gesenkformen (zunehmende Kraft mit zunehmender Verformung) passt.

Antwort 14.3-4

a) Durch Reckwalzen können Einzelwerkstücke massiv umgeformt werden.

b) Durch Gesenkformen können ähnliche Werkstücke wie durch Reckwalzen hergestellt werden.

Antwort 14.3-5

Tabelle 4 Vergleich Gesenkformen und Fließpressen

Kriterium	Gesenkformen	Fließpressen
Komplexität der Geometrie	sehr komplexe Geometrien, keine Hinterschneidungen	rotationssymmetrische Teile
Werkstückgröße/-gewicht	kleine bis sehr große Werkstücke	kleine und mittelgroße Werkstücke
mit/ohne Grat	mit Grat	ohne Grat

Antwort 14.3-6

Funktion des Grats beim Gesenkformen

- a) Der Grat verursacht fixe Kosten für Werkzeug und Maschine zum Abgraten. Außerdem verursacht der Grat variable Kosten bei den Energiekosten zum Erwärmen des Grats und bei den Materialkosten für den Grat
- b) Beim Umformen ohne Grat muss das Werkstückgewicht sehr genau bemessen werden, damit das Werkstück komplett ausgeformt wird, aber das Werkzeug nicht sprengt.
- c) Das Volumen vor und nach der Umformung muss gleich sein.
- d) Für die genaue Bemessung des Rohlings genügt eine genaue Länge der Sägeabschnitte nicht. Da der Querschnitt des Rohlings (Durchmesser) schwankt, muss die Länge des Rohlings entsprechend angepasst werden. Eine Einsparung der Abgratpresse und des Abgratwerkzeugs und Einsparungen von Material (Grat wird Schrott) können erzielt werden, wenn eine genaue Waage und eine Regeleinrichtung zur Bemessung des Rohlings installiert sind.
- e) Vorwärts- oder Rückwärts-Fließpressen

Antwort 14.3-7

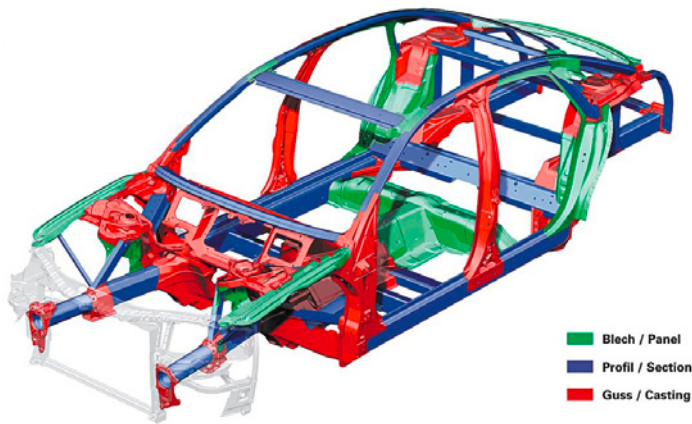


Bild 3 Spaceframe einer Automobilkarosserie. Blech: Tiefziehteil
Profil: Aluminium Strangpressprofil, Guss: Druckgussteil (Audi)

a) Skizze des Verfahrens Strangpressen

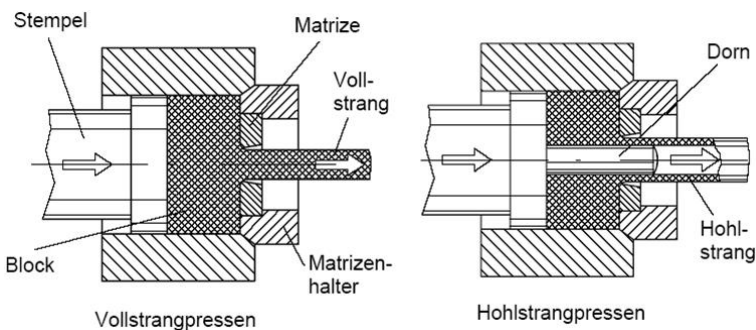
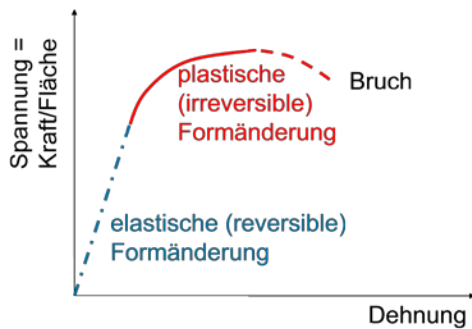


Bild 4 Vollstrang- und Hohlstrangpressen (schematisch) (Voestalpine)

- b) Wirtschaftliche Vorteile des Strangpressens sind die günstigen Werkzeugkosten, auch bei komplexen Querschnitten.
- c) Normalerweise werden Karosserieteile aus Blechzuschnitten tiefgezogen.
- d) Kostentreiber des Tiefziehens sind Werkzeugkosten: Für jedes Karosserieteil werden 5 bis 6 Umform- und Schnittwerkzeuge, bestehend aus Ober- und Unterwerkzeug mit Niederhalter benötigt.
- e) Tragende Strukturbauteile werden aus Strangpressprofilen hergestellt. Daher müssen wesentlich weniger Tiefziehteile, insbesondere im Bereich der nicht sichtbaren Strukturbauteile hergestellt werden. Die Werkzeugkosten sind damit sehr viel geringer als bei konventioneller Karosseriekonstruktion. Allerdings können die Strangpressprofile nicht so exakt an die Beanspruchung angepasst werden, wie Tiefziehteile, sodass die Materialkosten tendenziell erhöht werden.

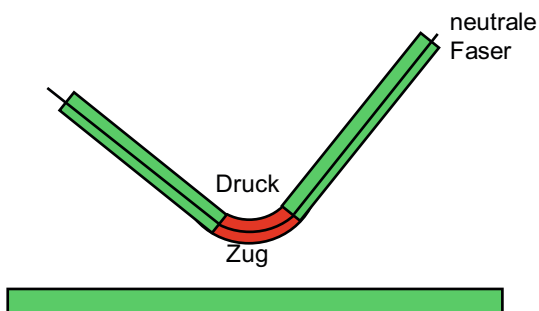
Antwort 14.3-8**Bild 5** Spannungs-Dehnungsdiagramm

Der plastische Anteil der Verformung wird bei dickem Blech größer, daher wird die Rückfederung beim Biegen von dicken Blechen kleiner.

Antwort 14.3-9

a) Verfahren zum Biegen von Blechen	b) Wirtschaftliche Stückzahl
Gesenkbiegen	Einzel- und Kleinserienfertigung
Schwenkbiegen	Einzel- und Kleinserienfertigung
Walzprofilieren	Großserien- und Massenfertigung
Rollbiegen, Knickbiegen	mittlere bis große Serien

- a) Die Umformkräfte beim Biegen sind relativ gering, weil nur wenig Material umgeformt wird: Das ebene Blech (unten) wird nur an der dunkel eingefärbten Stelle verformt. Oberhalb der neutralen Faser wird durch Druck umgeformt, unterhalb durch Zug. Das Blech ist relativ dünn, sodass die umgeformte Masse klein ist.

**Bild 6** Umformung beim Biegen

Antwort 14.3-10

Durch Tiefziehen lassen sich komplex geformte Blechteile herstellen

- a) Kostentreiber des Verfahrens Tiefziehen sind Maschinenkosten und Werkzeugkosten. Diese sind wiederum abhängig von der Größe der Tiefziehteile und von der Anzahl der benötigten Ziehstufen.
- b) Wichtige Verfahrensparameter beim Tiefziehen: Werkstoffeigenschaften, Ziehverhältnis, Reibung, Radien an Stempel und Matrize, Fluchtung von Stempel und Matrize, Genauigkeit des Ziehspalts und Niederhalterkraft.
- c) Wichtige Tiefziehfehler sind
 - Faltenbildung, verursacht durch zu geringe Niederhalterkraft, zu großes Ziehverhältnis und/oder einem zu großen Ziehspalt.
 - Bodenreißer, verursacht durch zu große Zugkräfte, die wiederum verursacht sein können durch zu große Reibung, zu geringe Schmierung, nicht fluchtender Stempel zur Matrize, zu enger Ziehspalt, zu großes Ziehverhältnis und/oder einen zu spröden Werkstoff.

Antwort 14.3-11

- a) Beim Tiefziehen werden mehrere Fertigungsstufen im Materialfluss verknüpft durch Bearbeiten des Blechstreifens im Folgeverbundwerkzeug oder durch Handhabung der einzelnen Blechteile mit einem Transfer in der Pressenstraße bzw. in der Großraumstufenpresse.
- b) Kleine Blechteile werden in Streifen gefertigt, größere Blechteile, z.B. die meisten Karosserieteile werden als Einzelteile tiefgezogen.
- c) Neben Tiefziehen sind in den Folgewerkzeugen Biegen und Scherscheiden in den Fertigungsablauf integriert.

Antwort 14.3-12

- a) Beispiele für Fließfertigung
 - in der Massivumformung:
 - Walzenstraße,
 - Drahtziehmaschine und
 - verkettete Schmiedepressen.
 - in der Blechumformung:
 - Großraumstufenpresse,
 - Folgeverbundwerkzeug und
 - Gesenk-Biegepresse mit CNC gesteuerten Anschlägen.
- b) Im gesamten Durchlauf muss der Volumensstrom [mm^3/s] konstant sein. Dazu müssen die Geschwindigkeiten an den einzelnen Drahtziehstufen exakt aufeinander abgestimmt sein.
- c) Blechstreifen, Oberwerkzeug und Unterwerkzeug müssen in jeder Station exakt positioniert sein.

- d) Typische Einrichtungen, um diese Toleranzen einzuhalten sind: Seitliche Führung des Blechstreifens, Anschlag für Vorschubbegrenzer, gefederter Suchstift, Säulenführungen. Ober- und Unterwerkzeug sind dabei exakt zueinander positioniert.

Antwort 14.3-13

- a) Pressenstraßen bzw. Großraumstufenpressen, Werkzeuglager, Blechlager (Coillager), Blechteilelager, Tryout Presse zur Werkzeugerprobung.
- b) Die Taktzeit einer Großraumstufenpresse beträgt ca. 3 Sekunden, die Taktzeit der Fließfertigung (Karosseriebau, Lackierung und Montage) ca. 1 Minute. Während eines Montagetaktes können daher ca. 20 Blechteile gefertigt werden. Da die Pressen und Presswerkzeuge extrem hohe Investitionen erfordern, wäre es sehr unwirtschaftlich, sie für z.B. 57 sec pro Montagetakt warten zu lassen. Also werden Blechteile losweise gefertigt, gelagert und dann Stück für Stück im Karosseriebau verbraucht.

■ Lösungen Spanende Fertigungsverfahren und Zerspanungstechnik

Antwort 14.4-1

- a) Schneidkeil, Winkel am Schneidkeil und die Schnittbewegung

- α Freiwinkel
 β Keilwinkel
 γ Spanwinkel

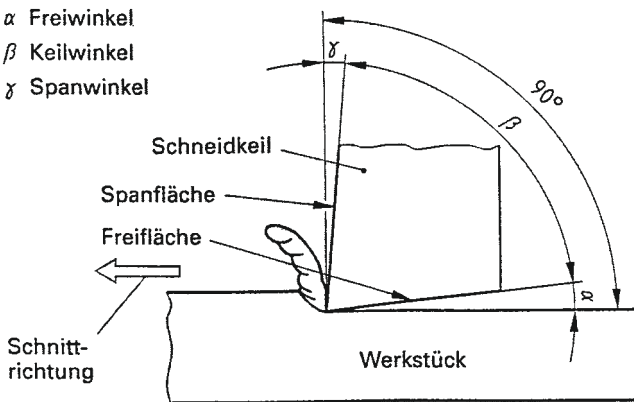


Bild 7 Winkel am Schneidkeil und die Schnittbewegung

- b) Benennung der Winkel ergibt sich aus dem Bild 7.
- c) Einfluss der Winkel auf den Zerspanungsprozess:
- Freiwinkel α ist der Winkel zwischen Freifläche und bearbeiteter Werkstückoberfläche.
 - Er verhindert ein verstärktes Reiben des Werkzeugs am Werkstück.
 - Ein größerer Freiwinkel α begünstigt das Ausbrechen der Schneidkante.
 - Ein kleiner Freiwinkel α verschlechtert die bearbeitete Werkstückoberfläche.

- Keilwinkel β ist der Winkel des in das Werkstück eindringenden Schneidkeils.
 - Je kleiner β ist, umso leichter dringt der Schneidkeil in den Werkstoff ein.
 - Je größer β ist, desto stabiler ist der Schneidkeil.
 - Ein großer Keilwinkel β verbessert die Ableitung der Zerspanungswärme von der Wirkstelle.
- Spanwinkel γ ist der Winkel zwischen Spanfläche und der senkrechten Ebene zur Schnitttrichtung.
 - Dieser beeinflusst vor allem die Spanbildung.
 - Ein großer Spanwinkel γ fördert die Fließspanbildung, erzeugt gute Oberflächen und kleine Schnittkräfte.
 - Ein kleiner oder negativer Spanwinkel γ (bei Negativ-Wendeschneidplatten) erzeugt meist Reißspanbildung und erhöht die Schnittkraft.

Antwort 14.4-2

Die Zerspankraft F setzt sich zusammen aus der vektoriellen Addition der Schnittkraft F_c , Vorschubkraft F_f , und der Passivkraft F_p .

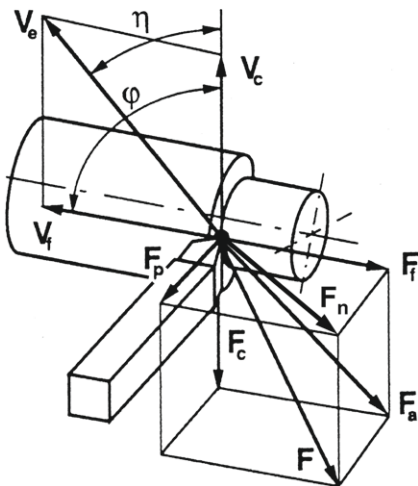


Bild 8 Zusammensetzung der Zerspankraft F beim Außendrehen

Antwort 14.4-3

Die Passivkraft F_p drängt das Werkstück in radialer Richtung vom Werkzeug weg. Dünne Werkstücke werden dadurch elastisch verbogen, sodass weniger Material abgespannt wird. Das Werkstück bleibt also dicker, als beabsichtigt und an der Maschine eingestellt.

Antwort 14.4-4

a) Die Zerspanungsleistung kann durch folgende Formel berechnet werden:

Zerspanungsleistung = Zerspanungskraft $\cdot$ Effektivgeschwindigkeit ($P_Z = F_Z \cdot v_e$).

Die Zerspankraft wird durch die vektorielle Addition von Schnittkraft, Vorschubkraft und Passivkraft berechnet. Ähnlich wie die Zerspankraft wird auch die Effektivge-

schwindigkeit aus der vektoriellen Addition von Vorschub- und Schnittgeschwindigkeit berechnet (vgl. Bild 8). Eine Passivgeschwindigkeit gibt es nicht. Entsprechend kann die Schnittleistung aus der Addition von Vorschubleistung und Schnittleistung berechnet werden.

- b) Für die Berechnung der Zerspanungsleistung wird näherungsweise die Schnittleistung verwendet, weil die Vorschubgeschwindigkeit im Vergleich zur Schnittgeschwindigkeit sehr klein ist und auch die Vorschubkraft im Vergleich zur Schnittkraft klein ist, dann ist die Vorschubleistung $P_f = F_f \cdot v_f$ im Vergleich zur Schnittleistung **sehr** klein. Sie trägt nur unwesentlich zur Zerspanungsleistung bei und kann daher in der Berechnung vernachlässigt werden.

Antwort 14.4-5

Tabelle 5 Fünf Zerspanungsparameter, die die Oberflächenrauheit eines Drehwerkstücks beeinflussen.

a) Einflussgröße	Wirkungsweise	b) Veränderung zur Verbesserung der Oberfläche
Vorschub f	Tiefe und Abstand der Rillen im Drehwerkstück	kleiner Vorschub pro Umdrehung
Spanwinkel γ	Spanbildung	großer Spanwinkel für Fließspan
Eckenradius r	Tiefe der Rillen im Drehwerkstück	großer Eckenradius
Eckenwinkel ε	Tiefe der Rillen im Drehwerkstück	großer Eckenwinkel
Schnitttiefe a_p	Schnittkraft F_c wächst proportional mit der Schnitttiefe und dem Vorschub f ; je größer die Schnittkraft, desto größer die Gefahr von Schwingungen und Rattermarken auf dem Werkstück	kleinere Schnitttiefe für kleinere Schnittkraft

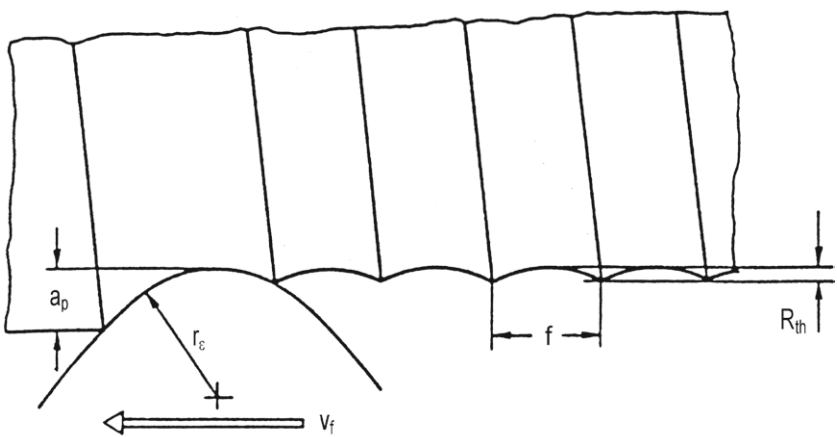


Bild 9 Einfluss von Vorschub und Eckenradius auf die Rautiefe R_{th}

Antwort 14.4-6

- a) Eine Negativ-Wendeschneidplatte hat einen Keilwinkel $\beta = 90^\circ$. Da der Freiwinkel $\alpha > 0^\circ$ sein muss und da außerdem $\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ$ sind, muss $\gamma < 0^\circ$, also negativ sein.

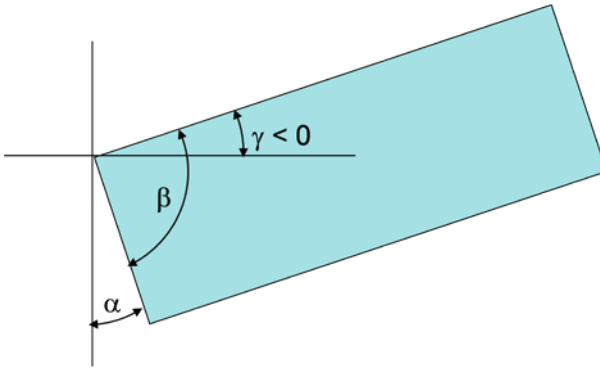


Bild 10 Skizze einer Negativ-Wendeschneidplatte

- b) Eine quadratische Wendeschneidplatte hat vier Schneiden an der Oberseite. Da der Keilwinkel $\beta = 90^\circ$ ist, kann die Platte gewendet werden. Die vorherige Unterseite, jetzt Oberseite kann wieder mit 4 Schneiden und Keilwinkel $\beta = 90^\circ$ eingesetzt werden. Insgesamt stehen also 8 Schneiden zur Verfügung.
- c) Für das Schlichten werden gewählt: Freiwinkel α groß, z.B. 8° bis 12° , Keilwinkel β klein, z.B. 58° bis 77° , Spanwinkel γ groß, z.B. 5° bis 20°

Antwort 14.4-7

Tabelle 6 Schneidstoffe, aufsteigend sortiert nach zunehmender Härte und zunehmender wirtschaftlichen Schnittgeschwindigkeit

a) Schneidstoff	c) Beispiel-Anwendung
Hochleistungs-Schnellarbeitsstahl HSS	Bohrer
Hartmetall unbeschichtet	Fräser
Hartmetall beschichtet	Drehmeißel
Nitrid-Keramik	Schleifscheibe
Oxid-Keramik	Schleifscheibe
cubisches Bornitrid CBN	Schleifscheibe
polykristalliner Diamant PKD	Schleifscheibe

- a) Wendplatten aus einem zähen Grundwerkstoff werden mit einer harten, abriebfesten Schicht beschichtet, um einen besseren Kompromiss zwischen Härte und Zähigkeit zu erreichen und so dem idealen Schneidstoff näher zu kommen.

Antwort 14.4-8

- a) Der Verschleiß von spanenden Werkzeugen wird beeinflusst durch: Schnittgeschwindigkeit, Schneidstoff, Werkstoff, Kühlung, Schmierung und Bearbeitungsverfahren (unterbrochener Schnitt?).
- b) Mit verschiedenen Schnittgeschwindigkeiten werden unter sonst gleichen Bedingungen (Werkstoff, Schneidstoff, Maschine, Kühlung, Vorschub, Schnitttiefe, Verschleißmarkenbreite etc.) für verschiedene Schnittgeschwindigkeiten die zugehörigen Standzeiten und damit Standzeiten ermittelt. Die Werte für Schnittgeschwindigkeiten und Standzeiten werden zunächst logarithmiert. Aus den Wertepaaren aus $\log(\text{Schnittgeschwindigkeit})$ und $\log(\text{Standzeit})$ werden dann in einer Regression der funktionale Zusammenhang ermittelt. Aus der Regressionsgeraden werden schließlich die Parameter C (= Schnittgeschwindigkeit, für die die Standzeit $T = 1$ ist) und k (= Steigung der Standzeitgerade) errechnet.
- c) Durch Werkzeugverschleiß nehmen die Schnittkraft und damit die Schnittleistung um ca. 30 % zu.
- d) Qualitätsprobleme durch Werkzeugverschleiß können auftreten. Das Ergebnis sind schlechtere Oberflächen und höhere Zerspankräfte. Letztere führen zu höherer Passivkraft, wodurch es zur Durchbiegung der Welle und damit zu schlechter Maßgenauigkeit kommt. Außerdem: Abnutzung an der Freifläche, Schneidkantenversatz, abnehmende Maßgenauigkeit mit zunehmender Bearbeitung.

Antwort 14.4-9

- a) Auswirkung einer Aufbauschneide auf die Qualität des Werkstücks: schlechte Oberfläche durch raue Schneide und höhere Schnitttiefe durch überstehende Aufbauschneide. Dadurch treten Maßfehler auf und die Schnittkraft ist erhöht.
- b) Qualitätsprobleme durch Verschleiß: Schlechtere Oberfläche, höhere Zerspankraft führt zu höherer Passivkraft, dadurch Durchbiegung der Welle und schlechter Maßgenauigkeit. Weitere Effekte: Abnutzung an der Freifläche, Schneidkantenversatz und abnehmende Maßgenauigkeit.

Antwort 14.4-10

- a) Die zeitoptimale Standzeit wird für die Engpassmaschine verwendet. Die kostenoptimale Standzeit besteht für alle Maschinen, die keinen Engpass darstellen.
- b) Als Kostenarten werden bei der Berechnung der kostenoptimalen Standzeit berücksichtigt: Maschinenkosten (Maschinenstundensatz), Lohnkosten und Werkzeugkosten.
- c) Zur Berechnung der kostenoptimalen Standzeit wird nur die Schnittgeschwindigkeit verändert. Auswirkungen sind
 - Veränderung der Hauptzeit,
 - Veränderung des Verschleißes und damit veränderte Anzahl der Werkzeugwechsel und Zeit für Werkzeugwechsel sowie
 - veränderte Werkzeugkosten.

d) Die Hauptnutzungszeit wird weiterhin beeinflusst durch:

- Schnittaufteilung (Konsequenzen: Bearbeitungsweg, Schnitttiefe, Schnittkraft),
- Vorschub (Konsequenzen: Schnittkraft, Spanbildung und Oberfläche),
- Kühlung und Schmierung (Konsequenz: anders Verschleißverhalten)
- Wahl des Werkzeugs (Größe des Werkzeugs, Größe der bearbeiteten Fläche und andere Verschleißbedingungen, andere Werkzeugkosten),
- Anzahl Werkzeuge, die gleichzeitig im Eingriff sind.

Antwort 14.4-11

Ein Drehteil soll von Rohdurchmesser $D = 70$ mm in einem Schnitt auf Durchmesser $d = 64$ mm abgedreht werden.

a) Schnitttiefe = (Durchmesser Rohteil - Durchmesser Fertigteil) / 2 = $(70 - 64) / 2 = 3$

b) Hauptnutzungszeit t_h für folgende Schnittwerte: maximale Schnittgeschwindigkeit $v_c = 100$ m/min beim Durchmesser D , Bearbeitungsweg inkl. Sicherheitsabstände für Anstellen und Überlauf $L_{ges} = 110$ mm, Vorschub $f = 0,375$ mm/U

$$\begin{aligned} \text{Drehzahl } n &= v_c \cdot 1000 / (D \cdot \pi) \text{ [m/min} \cdot \text{mm/m /mm]} &= 100 \cdot 1000 / (70 \cdot \pi) \\ & &= 454,96 \text{ 1/min} \end{aligned}$$

$$v_f = f \cdot n = 0,375 \cdot 454,96 \text{ [mm} \cdot \text{1/min]} = 170,60 \text{ mm/min}$$

$$t_h = L \cdot v_f = 110 \cdot 170,60 \text{ [mm/mm/min]} = 0,645 \text{ min}$$

c) Wenn die maximale Schnitttiefe nur 2 mm betragen darf, sind 2 Schnitte notwendig. Der Bearbeitungsweg L verdoppelt sich. Damit verdoppelt sich auch die Hauptnutzungszeit t_h .

Antwort 14.4-12

a) Qualitätskriterien einer Bohrung sind Form (Rundheit, Parallelität), Lage, Maß (Durchmesser) und Oberfläche.

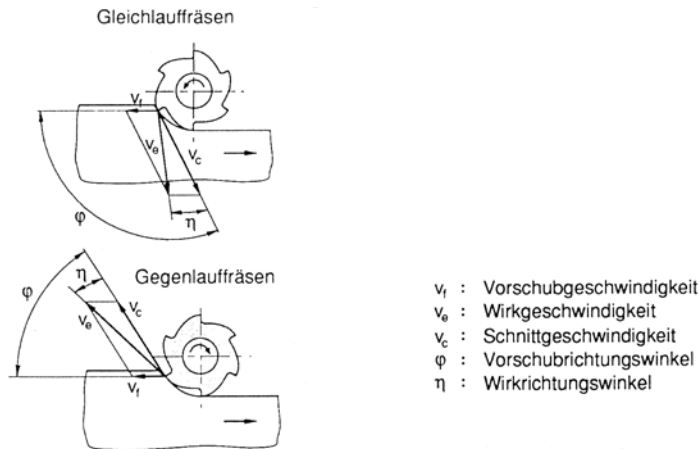
b) Einhaltung der Qualitätskriterien

- Lage: durch Zentrieren
- Form: durch Vorbohren, Aufbohren, Schleifen, Honen
- Durchmesser und Oberfläche: durch Reiben, Schleifen, Honen

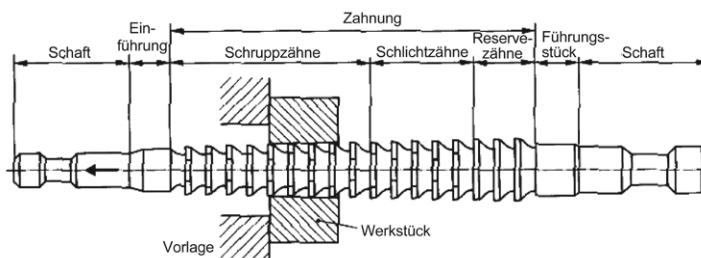
c) Verfahren der Spanung mit geometrisch unbestimmter Schneide, die die Qualität der Bohrung verbessern:

- Schleifen kann Lage, Form, Durchmesser und Oberfläche verbessern;
- Honen kann nur Form, Durchmesser und Oberfläche verbessern, nicht jedoch die Lage, weil das Honwerkzeug in der Bohrung geführt wird.

d) Eine Innenschleifmaschine erfordert hohe Investitionen und verursacht deshalb hohe Fixkosten für präzise Führung von Werkzeug und Werkstück sowie für Antrieb und Hochgeschwindigkeitslagerung der Schleifspindel. Honen dagegen ist mit einem Handwerkzeug oder einfachen Maschinen möglich. Die einfache Honmaschine bietet nur die Spannung des Werkstücks und den Antrieb des Honwerkzeugs. Da das Werkzeug kardänisch gelagert ist, muss die Lage des Werkstücks und des Werkzeugs nicht genau bestimmt werden.

Antwort 14.4-13**Bild 11** Gleich- und Gegenlauffräsen

- a) Gleichlauffräsen: Schnittrichtung von „dick nach dünn“
 Gegenlauffräsen Schnittrichtung von „dünn nach dick“
- b) Normalerweise wird Gleichlauffräsen gewählt, weil die Schneide weniger über die Werkstückoberfläche reibt. Dadurch wird die Oberfläche besser und das Werkzeug verschleißt weniger.
- c) Gegenlauffräsen wird eingesetzt
- bei harter Guss- oder Schmiedehaut (Gefügeveränderung an der Werkstückoberfläche durch Abkühlung) und
 - wenn nur eine Fräsmaschine mit nicht spielfreiem Tischantrieb zur Verfügung steht.

Antwort 14.4-14**Bild 12** Räumwerkzeug für Innenräumen

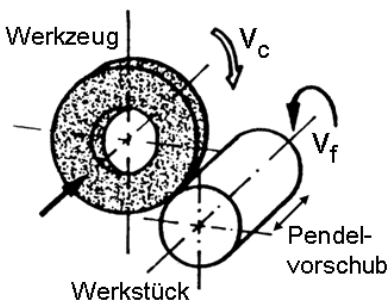
- a) Das skizzierte Werkzeug ist eine Räumnadel (oder Räumwerkzeug) für das Innenräumen von Bohrungen.
- b) Die Bezeichnungen der verschiedenen Werkzeugelemente ergeben sich aus der Skizze.

c) Elemente des Werkzeugs und deren Funktion:

- Schaft: Angriff der Zange zur Übertragung der Zugkraft
- Einführung: zentrierte Positionierung der Räumnadel in der Bohrung
- Schrappzähne: Schneiden zum Schrappen (Vorbearbeitung)
- Schlichtzähne: Schneiden zum Schlichten (Fertigbearbeitung)
- Reservezähne: Schneiden nicht im Eingriff. Mit jedem Nachschliff werden die Durchmesser der Schrapp- und Schlichtzähne allerdings kleiner. Bei jedem Nachschliff wird daher ein zusätzlicher Reservezahn zum Schlichtzahn und erzeugt das Endmaß und die Endform des Werkstücks.
- Führungsstück: führt die Räumnadel in der bearbeiteten Bohrung.
- Schaft: Angriff der Zange, die die Räumnadel zurückführt.
- Vorlage: Anlagefläche des Werkstücks. Da sich beim Innenräumen die Räumnadel in der Bohrung zentriert, muss das Werkstück nicht fest gespannt werden.

Antwort 14.4-15

- a) Skizze des Außenrundschleifens mit Schnittbewegung (im Uhrzeigersinn) und Vorschubbewegung (gegen den Uhrzeigersinn) in Bild 13. Die Schnittbewegung wird durch die Schleifscheibe erzeugt. Der Drehvorschub des Werkstücks sorgt dafür, dass der gesamte Umfang des Werkstücks bearbeitet wird. Der Längsvorschub (Pendelvorschub) wird entweder durch die Schleifscheibe oder durch das Werkstück ausgeführt und stellt sicher, dass die gewünschte Werkstücklänge bearbeitet wird

**Bild 13** Außenrundschleifen

- b) Werkstückspannungen für das Außenrundschleifen sind Spannung zwischen Spitzen oder spitzenloses Rundschleifen
- c) Spitzenloses Rundschleifen lässt sich leichter automatisieren, weil zum Werkstückwechsel die Werkstücke nur aus einem Magazin auf ein Lineal aufgelegt werden oder durch Schwerkraft auf das Lineal nachrutschen.
- d) Nachteile oder Einschränkungen des spitzenlosen Rundschleifens: am einfachsten ist das Durchlaufverfahren zu automatisieren: Die Werkstücke laufen dabei nur an der Schleifscheibe vorbei. Dies ist jedoch nur bei zylindrischen Werkstücken möglich, deren größter Durchmesser die zu schleifende Fläche darstellt. Einstiche oder Kegelflächen können so nicht geschliffen werden.

■ Lösungen Fügende Fertigungsverfahren

Antwort 14.5-1

- a) „Wannenlage“ beim Schweißen bedeutet, dass die Schweißnaht horizontal liegt und die Schweißstücke die Schweißnaht so begrenzen, dass möglichst das Schweißbad (Schmelze) nicht abläuft.
- b) Da Schweißen die Verbindung von zwei Werkstücken in flüssigem oder plastischem Zustand an der Fugestelle ist, darf der flüssige Werkstoff nicht ablaufen oder abtropfen. Die Wannenlage sorgt dafür, dass der flüssige Werkstoff an der Fugestelle bleibt und beim Erstarren des Werkstoffs die Teile verbindet.
- c) Die Konsequenz der Forderung nach der Wannenlage ist, dass die Schweißvorrichtung die Position der Schweißnaht anpassen kann. Dazu ist in der Regel eine Dreh- und Kippbewegung durch eine entsprechende Vorrichtung erforderlich.

Antwort 14.5-2

- a) Nachteile von Punktschweißverbindungen gegenüber anderen Schweißverbindungen sind:
 - geringe Festigkeit durch punktuelle Verbindung
 - keine dichte Schweißnaht und
 - die Schweißstelle muss von beiden Seiten für die Schweißelektroden zugänglich sein.
- b) Folgende Parameter beeinflussen das Punktschweißen: Druck, Spannung, Stromstärke, Zeitdauer für Druck und Stromfluss.
- c) Der Druck kann durch Kraftsensoren überwacht werden. Häufig wird der Druck indirekt überwacht, indem die Medien zur Aufbringung der Kraft überwacht werden, z.B. der Luftdruck bei einer pneumatischen Schweißzange. Spannung und Stromfluss werden durch elektrische Messgeräte überwacht und die Zeit durch eine Uhr.
- d) Gründe, warum im Karosseriebau für Kfz- Karosserien Punktschweißen so häufig eingesetzt wird:
 - einfach zu überwachende Schweißverbindung durch einfach zu messende Schweißparameter,
 - mit Industrierobotern einfach zu automatisieren,
 - zum Ausschweißen ist keine Wannenlage erforderlich, weil das aufgeschmolzene Volumen je Schweißpunkt klein ist,
 - daher sind keine Vorrichtungen nach der Heftvorrichtung nötig.
- e) Gründe, warum Punktschweißen durch andere Fügeverfahren substituiert wird:
 - Um Gewicht zu sparen, werden tragende Teile von Karosserien aus verschiedenen Materialien gefügt, z.B. Stahlblech unterschiedlicher Qualität und Stärke, Aluminiumblech, Aluminium Druckguss Teile.
 - Außenhautteile werden als lackierte Kunststoffteile angebaut, z.B. Stoßfänger, Kotflügel vorne oder Klappen.

- Flächige Verbindungen bieten höhere Festigkeit und unterstützen daher den Leichtbau (z. B. Kleben, Lötten oder Laserschweißen).
- Punktschweißen stört die Oberfläche und ist daher für Sichtflächen ungeeignet.
- Vormontierte aber tragende Karosserie-Module mit Einbauten oder lackierten Oberflächen sind zu fügen, z. B. Dachmodul.
- Die Reparatur von Punktschweißverbindungen ist aufwendig. Die vorderen Kotflügel werden daher meistens verschraubt.

Antwort 14.5-3

- a) Parameter für eine qualitätssichere Verschraubung sind das Anzugsmoment und der Drehwinkel
- b) Beispiel einer fehlerhaften Verschraubung, obwohl einer dieser Parameter in Ordnung ist:
- Drehwinkel: Die Schraube wird in ein beschädigtes Gewinde eingedreht; der Drehwinkel ist erreicht, aber die Schraube hält nicht.
 - Anzugsmoment: Die Schraube wird schräg angesetzt, sodass das Anzugsmoment erreicht wird, bevor die Schraube eingedreht ist.
- c) Antriebe und Energieversorgung handgeführter Schrauber (Tabelle 7):

Tabelle 7 Antrieb und Energieversorgung von handgeführten Schraubern

Antrieb	Energieversorgung	Vorteile	Nachteile
Elektromotor	Akku	keine Behinderung durch Kabel	geringes Anzugsmoment geringe Genauigkeit
Elektromotor	Netzstrom (Kabel)	hohes Anzugsmoment sehr hohe Genauigkeit auch für Sicherheitsverschraubung	hohe Investition Behinderung durch Kabel
Luftmotor	Druckluftschlauch	sehr hohes Anzugsmoment bei Schlagschraubern geringe Investition	geringe Genauigkeit Behinderung durch Schlauch

■ Lösungen Beschichten

Antwort 14.6-1

- a) Beabsichtigte Wirkung elektrostatischer Lackierung: Durch die unterschiedliche Ladung von Lackteilchen und zu beschichtender Oberfläche wird der Lack an die Oberfläche gezogen und haftet besser als ohne elektrostatische Aufladung. Durch den Verlauf der Feldlinien können sogar Lackierschatten beschichtet werden.
- b) Nebenwirkungen und Grenzen elektrostatischer Lackierung: Dichte Feldlinien an Kanten führen zu einem zu starken Schichtauftrag mit der Gefahr von Läuferrissen. Hohlräume werden durch den Faraday-Effekt abgeschirmt, es bildet sich dort kein elektrisches Feld, sodass Hohlräume schlecht beschichtet werden. Gegenüber nicht leitenden Materialien bildet sich kein elektrisches Feld aus.
- c) Auftragstechnik elektrostatischer Lackierung: Druckluftzerstäubung, Airless-Spritzen, Zerstäuben mit Rotationszerstäuber

Antwort 14.6-2

- a) PVD-Beschichtung findet im Vakuum statt, weil hier die Verdampfungstemperatur des Beschichtungswerkstoffs geringer ist als bei Normaldruck. Außerdem wird so verhindert, dass die schichtbildenden Atome mit den Atomen des Umgebungsgases kollidieren.
- b) Um Papier mit Metall aus der Dampfphase zu beschichten, z.B. für Etiketten von Getränkeflaschen wird das Metall mit einer Widerstandsheizung aufgeheizt und verdampft. Das Vakuum isoliert die Heizung vom beschichteten Werkstoff. Das verdampfte Metall schlägt sich am beschichteten Werkstoff nieder und kondensiert. Damit das heiße Metall den Werkstoff (hier das Papier) nicht verbrennt, wird der Werkstoff gekühlt. Bei der Beschichtung von Papier läuft die Papierbahn über eine gekühlte Walze.

Antwort 14.6-3

- a) Verfahren zur galvanischen Beschichtung:
 - Galvanisieren: Das Werkstück ist die Kathode, in einer Metallsalzlösung befindet sich die Anode. Wird das Werkstück in die Metallsalzlösung getaucht und eine elektrische Spannung angelegt, bildet sich ein elektrisches Feld in der Metallsalzlösung. Längs der Feldlinien wandern positiv geladen Metallionen zum Werkstück und werden dort zu neutralen Metallatomen reduziert.
 - Oxidieren: Das Werkstück ist die Anode (positiver Pol) in einem Säurebad. Säure wird mit dem negativen Pol einer Gleichspannungsquelle verbunden. Durch die Spannung werden sauerstoffhaltige Anionen gebildet, die sich am Werkstück absetzen und an der Oberfläche zu Metalloxid oxidieren.
 - Elektrolytische Tauchabscheidung: Ein Werkstück aus unedlem Metall wird in eine Metallsalzlösung eines edleren Metalls getaucht. Vom Werkstück gehen dabei positive Metallionen in Lösung, am Werkstück ist Elektronenüberschuss. Wegen dieses Elektronenüberschusses werden Metallionen des edleren Metalls auf der Werkstückoberfläche abgeschieden.

- b) Die wesentlichen Teile einer Anlage zur galvanischen Beschichtung sind im Bild 14 dargestellt. Zusätzlich enthält die Beschichtungsanlage Fördertechnik zum Versetzen der Gestelle mit Werkstücken zwischen den Bädern und einen Bereich zum auf- und abhängen der Werkstücke auf die Gestelle.

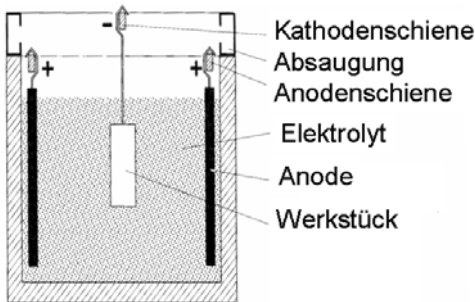


Bild 14 Aufbau eines galvanischen Bades
(Sautter)

- c) Praktische Probleme der galvanischen Beschichtung ergeben sich aus der Absicherung gegen Umweltschäden. Da Reinigungs-, Spül- und Beschichtungschemikalien (z.B. Säuren, Laugen und Metallsalzlösungen) in großen Bädern gehandhabt werden, muss sichergestellt sein, dass keine Chemikalien in das Abwasser oder in die Umwelt gelangen können. Außerdem können bei der Beschichtung Dämpfe und Gase entstehen, die abgesaugt, gefiltert und neutralisiert werden müssen, bevor sie in die Umwelt entlassen werden.
- d) Kostentreiber einer galvanischen Beschichtung ist daher die Investition für die Beschichtungsanlagen mit der entsprechenden Absicherung.

■ Lösungen Werkzeugmaschinen

Antwort 14.7-1

- a) Werkzeugmaschinen und Werkzeuge bestimmen (neben anderen Faktoren) die Qualität und die Kosten der hergestellten Werkstücke und der hergestellten Formwerkzeuge. Damit haben die Werkzeugmaschinen großen Einfluss auf die Wettbewerbsfähigkeit der Automobilindustrie.
- b) Asiatische Automobilhersteller sind wichtige Wettbewerber auf den internationalen Automobilmärkten, insbesondere den stark wachsenden Märkten in China, Indien und Ostasien. Wenn asiatische Investoren deutsche Werkzeugmaschinenhersteller übernehmen, ist die Sorge, dass der Knowhow- und Qualitätsvorsprung der deutschen Automobilindustrie verloren geht, weil asiatische Eigentümer Zugriff auf die Fähigkeiten deutscher Maschinenhersteller bekommen und in der Folge auch die asiatischen Automobilhersteller. Weitere Bedenken bestehen beim Schutz von geistigem Eigentum: Wenn Werkzeugmaschinenhersteller zusammen mit deutschen Automobilkunden eine Fertigungslösung entwickeln, könnten Produkt- und Planungsinformationen an asiatische Wettbewerber des deutschen Automobilunternehmens weitergereicht werden.

Antwort 14.7-2

- a) Wichtige Anforderungen an Werkzeugmaschinen sind: Hohe Steifigkeit (keine Verformung bei hohen Bearbeitungskräften), gute Schwingungsdämpfung, hohe Genauigkeit, wirtschaftliche Herstellung, gute Zugänglichkeit.
- b) Typische konstruktive Lösungen, die diese Anforderungen besonders gut erfüllen sind:
- Gestellbaustoff: z. B. Stahl: besonders steif, Polymerbeton: besonders schwingungsdämpfend
 - Gestellgeometrie: z. B. Portalbauweise: besonders steif, C-Gestell (von der Seite) und Bettkonstruktion (von oben): besonders gut zugänglich.
 - Führung: gute Dämpfung: Hydrostatische oder hydrodynamische Führung, geringe Reibung, hohe Genauigkeit: Wälzführung oder hydrostatische Führung, besonders wirtschaftlich: Wälzführung (Zulieferteil), hydrodynamische Führung.
 - Hauptantrieb: Drehstrom-Asynchron-Motor (Kurzschlussläufer) mit Drehzahlverstellung über Verstellung der Erregerfrequenz
 - Die Wirtschaftlichkeit ist gegeben, weil keine Verschleißteile (außer den Wellenlagern) eingesetzt werden.
 - Nebenantrieb: Drehstrom-Synchronmotor, Dauermagnete im Rotor zeichnen sich aus durch schnelles Beschleunigen durch geringe Induktivität (keine Spule im Rotor) und schlanke Bauweise (geringes Trägheitsmoment) und die Drehzahlverstellung durch Frequenzverstellung im Erregerfeld. Die Wirtschaftlichkeit ist gegeben, da keine Verschleißteile (außer den Wellenlagern) eingesetzt werden.

Antwort 14.7-3

- a) Konstruktive Maßnahmen, um Ungenauigkeit durch Wärmedehnung einer Werkzeugmaschine zu reduzieren:
- Gestellbaustoff mit geringer Wärmedehnung verwenden (Polymerbeton, Guss) und Erwärmung der Maschine möglichst vermeiden durch:
 - Anordnung der Motoren außerhalb der Maschine (Antrieb der Hauptspindel z. B. durch Riementrieb),
 - aktive Kühlung der Motoren (Ventilator oder Flüssigkeitskühlung) und
 - schnelle Entfernung der Späne vom Maschinenbett (Schrägbettmaschine, Abspülen durch Kühl-Schmiermittel).
 - weitere Maßnahme: Bearbeitung mit Kühlmittel.
- b) Ungenauigkeiten durch Wärmedehnung lassen sich reduzieren oder vermeiden, wenn die Maschine durch ständigen Betrieb in möglichst konstanter Temperatur gehalten wird. Dazu kann ggf. die Werkzeugmaschine vor der Bearbeitung warm laufen. Außerdem sollte für konstante, kontrollierte Umgebungstemperatur gesorgt werden, z. B. durch eine klimatisierte Werkstatt.

Antwort 14.7-4

- a) Hochgeschwindigkeitsspindeln ($n > 20\,000\text{ 1/min}$) werden für rotierende Werkzeuge mit kleinen Durchmessern, die hohe Schnittgeschwindigkeiten erlauben, benötigt. Beispiele sind Innenschleifen oder Formfräsen mit Werkzeugen aus beschichtetem Hartmetall.
- b) Bei Hochgeschwindigkeitslagerung mit Wälzlagern kann die Fliehkraft der Wälzkörper zu groß werden. Außerdem besteht die Gefahr, dass die Wälzkörper anfangen zu schwingen.
- c) Hydrodynamische oder hydrostatische Lager basieren auf Flüssigkeitsreibung. Flüssigkeitsreibung wächst jedoch stark mit der Geschwindigkeit. Die Flüssigkeitsreibung ist bei hoher Geschwindigkeit deshalb zu hoch (vgl. Stribeck-Kurve).
- d) Wälzlager für Hochgeschwindigkeitsspindeln haben leichte Wälzkörper, z. B. aus Keramikwerkstoffen, damit die Fliehkraft klein bleibt. Die Wälzkörper sind außerdem klein, damit sie leicht sind und damit die Eigenfrequenz hoch ist, sodass die Erregerschwingungen der Wälzkörper unterhalb der Resonanzfrequenz bleiben. Außerdem sind diese Lager gekapselt und für ihre Lebensdauer geschmiert, damit genau die richtige Menge Schmiermittel verwendet wird.
- e) Die Schneidstoffe für Hochgeschwindigkeitsbearbeitung sind besonders hart und verschleißfest.
- f) Da bei konstantem Vorschub/Zahn die Vorschubgeschwindigkeit proportional mit der Schnittgeschwindigkeit wächst, ist bei Hochgeschwindigkeitsbearbeitung auch die Vorschubgeschwindigkeit hoch. Da die Kontur auch bei schnellem Vorschub sicher abgefahren werden muss, muss der Vorschubantrieb hochdynamisch sein, also den Tisch oder Schlitten schnell abbremsen und beschleunigen können. Außerdem muss die Steuerung eine hohe Anzahl Regelzyklen pro Sekunde ausführen, damit die Lage des Werkzeugs sehr schnell nachgeregelt werden kann.
- g) Die hohen Drehzahlen verursachen auch bei kleiner Unwucht große Kräfte. Außerdem kann die Spannkraft nachlassen, wenn die Spannbacken durch die Fliehkraft vom Werkzeug abgezogen werden. Die Werkzeugspannung bei Hochgeschwindigkeitsbearbeitung muss das Werkzeug also exakt zentrieren und selbst möglichst keine Unwucht erzeugen.

Antwort 14.7-5**Tabelle 8** Translationsgetriebe für Pressen

a) Translationsgetriebe	b) Vorteile	c) kraft-, weg- oder arbeitsgebundene Presse	d) Bearbeitungsverfahren	e) Beispielwerkstück
Gewindespindel mit Spindel-mutter	genaue Längsbewegung, große Untersetzung	arbeitsgebunden (mit Schwungrad), kraftgebunden (mit Torquemotor)	Gesenkformen (Schwungrad), Tiefziehen (Torquemotor)	Schaltgabel (Gesenkformen); Karosserieteil (Tiefziehen)
Kniehebel	große Öffnung, hohe Last im unteren Totpunkt, geringe Geschwindigkeit im unteren Totpunkt	weggebunden	Prägen, Tiefziehen	Münzen, Karosserieteil
Kurbel und Excenter	schnelle Bewegungsumkehr, hohe Drehzahl	weggebunden	Biegen und Blechschneiden	Blechteile in hohen Stückzahlen
Zahnrad mit Zahnstange	lange Wege bei kleinem Bauraum	kraftgebunden	Handhabung über lange Strecken (Portalroboter)	Handhaben von Behältern
Hydraulikkolben und Hydraulikzylinder	hohe Kräfte, einfache Steuerung von Kraft und Weg	kraftgebunden	Fließpressen, Tiefziehen	rotationssymmetrisches Fahrzeugteil, Karosserie-Außenhaut-Teil
Pneumatikkolben und Pneumatikzylinder	einfache Bauweise, Druckluft einfach verfügbar und handhabbar	kraftgebunden	Fügen, z. B. Kleben oder Punktschweißen	verklebte Teile (Klebepresse) punktgeschweißte Teile (Punktschweißzange)

■ Lösungen CNC-Steuerung

Antwort 14.8-1

Normalerweise wird der Programm-Nullpunkt beim Werkstück-Nullpunkt gewählt. Die notwendige Koordinatentransformation aus dem Programmierer-System in das Maschinen-System ist das Festlegen des Programm-Nullpunkts im Bearbeitungsraum der Maschine. Dazu muss der Maschinenbediener den Programm-Nullpunkt anfahren oder eingeben. Zur physischen Bestimmung des Programm-Nullpunkts im Bearbeitungsraum müssen die Werkstückkanten angetastet werden, deren Schnittpunkt den Programm-Nullpunkt bilden. Sofern eine Werkstückspannung mit definierter Werkstücklage (z.B. eine Spannvorrichtung) verwendet wird, kann das Werkstück auch in definierter Lage eingespannt werden und ein vorab bestimmter Programm-Nullpunkt aufgerufen werden.

Antwort 14.8-2

Programmiererleichterungen einer normalen CNC-Steuerung und eingesparte Zeiten:

- Die einfache Programmierung schwieriger Konturen, z.B. von Kreisbögen spart die Zeit für Herstellung, Überprüfung und Nacharbeit solcher schwierigen Konturen.
- Die einfache Programmänderung durch Textverarbeitungsfunktionen spart Zeit beim Testen und Anpassen der Programme.
- Zyklen sparen Programmierzeit und die Zeit zur Überprüfung, Korrektur und Anpassung der Programme.
- Die grafische Simulation vereinfacht die Überprüfung, Korrektur und Anpassung der Programme.
- Die hohe Genauigkeit der Wegmess-Systeme spart Zeit für Kontrolle und Nacharbeit.

Antwort 14.8-3

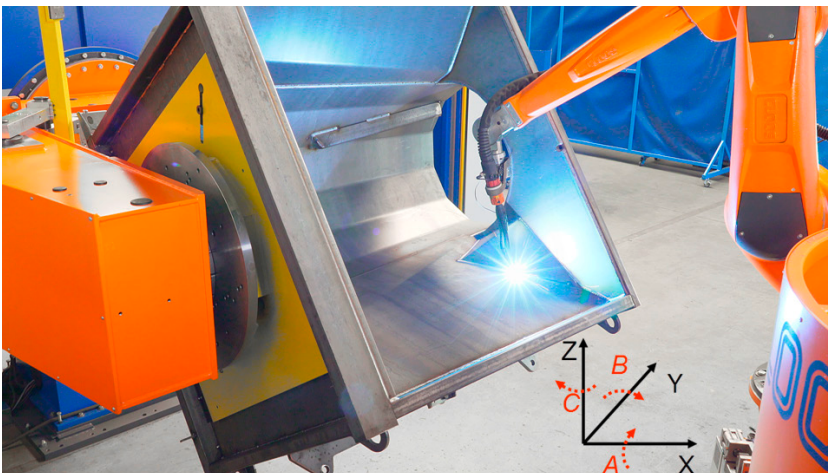


Bild 15 Schweißroboter mit gesteuerten Achsen (Foto: Cloos)

- a) Die Roboterhand mit dem Schweißbrenner muss in 6 Achsen gesteuert werden. Die Drehachsen A, B und C sind notwendig, damit der Schweißbrenner immer richtig zur Schweißnaht positioniert werden kann.
- b) Die Skizze der gesteuerten Achsen ist in Bild 15 eingezeichnet.
- c) Außerdem muss die Schweißvorrichtung gedreht und gekippt werden können, damit die Schweißnaht in Wannenlage gehalten werden kann.
- d) Aufwand für eine gesteuerte Achse:
 - Lagerung (Drehachse) oder Führung (Längsachse),
 - Antrieb,
 - Winkel- (Drehachse) oder Längsmesssystem (Längsachse),
 - Steuerungsrechner,
 - Lageregler.

■ Lösungen Verfahrensvergleiche

Antwort 14.9-1

- a) Der Grat beim Druckguss entsteht durch austretendes Material an der Dichtstelle der beiden Werkzeughälften. Der Grat, der als dünner Flimmergrat entsteht, ist unerwünscht. Bei gut abgestimmten Werkzeugen dichtet die Fläche zwischen den beiden Formhälften gut ab und der Grat wird vermieden.
- b) Der Grat beim Gesenkformen ist Teil des Fertigungsverfahrens. Der Grat nimmt an allen Seiten überschüssiges Material auf und ermöglicht damit eine einfache Sichtkontrolle, ob das Formstück gut und gleichmäßig ausgeformt wurde. Außerdem gleicht der Grat Variationen beim Zumessen des Rohmaterials aus.
- c) Der Grat von Gussteilen entsteht durch Werkzeugverschleiß. Er ist unterschiedlich dick und groß. Beim automatischen Entgraten kann daher kein kraftgesteuertes Verfahren eingesetzt werden, weil mal mehr, mal weniger Material abzutrennen ist. Da der Grat außerdem an verschiedenen Stellen entsteht, muss ein Entgratwerkzeug genau dem Verlauf der Soll-Kontur folgen. Die Schnittkraft schwankt mit der Stärke und Größe des Grats stark, sodass häufig das Entgraten länger dauert als die Taktzeit der Druckgussmaschine.

Antwort 14.9-2

Tabelle 9 Fertigungsverfahren zur Herstellung von Kochgeschirr aus Stahl
(z. B. Töpfe, Pfannen)

a) Fertigungsverfahren	a) Hauptgruppe nach DIN 8580	c) Vorteile	c) Nachteile	d) Stückzahlbereich
Gießen	Urformen	gute Gebrauchseigenschaften durch große Masse, geringe Werkzeugkosten, freie Gestaltung der Form	hohe Materialkosten hohe Energiekosten anstrengender Gebrauch durch hohes Gewicht	mittlere Stückzahlen (hoher Preis)
Tiefziehen	Umformen	gute Maßhaltigkeit, glatte Oberfläche, geringe Materialkosten,	hohe Werkzeugkosten hohe Wärmekapazität nur durch zusätzliche Bauteile (Sandwichboden) Anbauteile nötig (z. B. Griffe)	hohe Stückzahlen (hohe Produktivität)
Drücken	Umformen	flexible Formgebung, flexible Materialauswahl (z. B. Edelstahl), geringe Werkzeugkosten	einfachere Formen (z. B. Wok) nur rotationssymmetrische Formen, Anbauteile nötig (z. B. Griffe)	kleine Stückzahlen, Designstücke (geringe Werkzeugkosten)

Antwort 14.9-3**Tabelle 10** Alternative Fertigungsverfahren zur Herstellung eines U-Profils

a)	Fertigungsverfahren 1 Walzen	Fertigungsverfahren 2 Walzprofilieren	Fertigungsverfahren 3 Biegen
b) Stichworte	Massivumformen mit rotierenden Werkzeugen auf einer Walzenstraße, typischerweise im Stahlwerk, anschließend Sägen in gewünschter Länge	Umformen eines Blechstreifens der gewünschten breite mit rotierenden Werkzeugen, die direkt hintereinander angeordnet sind, anschließend Sägen in gewünschter Länge	Zuschnitt des ebenen Blechs in gewünschter Länge und Breite, dann Blechumformen des Einzelteils auf einer Abkantpresse in zwei Biegungen
c) Rohmaterial	Gewalzter Stab	Blech z. B. 3 mm stark	Blech z. B. 3 mm stark
Genauigkeit	Warmwalzen: mittel, Einschränkungen: Genauigkeit des Profilquerschnitts, Materialansammlung an den Kanten	mittel, Einschränkung: Parallelität der Schenkel wegen der Rückfederung	mittel, Einschränkung: Parallelität der Schenkel wegen der Rückfederung
Werkzeugkosten	sehr hoch wegen hoher Kräfte und mehrstufiger Umformung	hoch wegen mehrstufiger Umformung	gering, Standard Biegewerkzeug
Umformkräfte	sehr hoch wegen Verformung in allen drei Dimensionen	gering, nur im Bereich der Biegeradien wird umgeformt	gering, nur im Bereich der Biegeradien wird umgeformt
Stückzeit	gering (Massenfertigung)	gering (Massenfertigung)	hoch (Einzelfertigung)

Antwort 14.9-4**Tabelle 11** Verfahrensvergleich Laserstrahlschneiden – Senkerodieren

	Laserstrahlschneiden	Senkerodieren
physikalischer Effekt der Trennung	thermisches Aufschmelzen des Materials an definierter Stelle	thermisches Aufschmelzen des Materials an definierter Stelle
typische Werkstücke	ebene Blechteile, bei Führung des Schneidkopfes mit Roboter auch Zuschnitt geformter Teile	Formeinsätze von Formwerkzeugen für z.B. Tiefziehen, Druckguss oder Kunststoff-Spritzguss
bearbeitete Werkstückfläche	Schnittkante	Oberfläche des Werkstücks
Material des Werkzeugs	Werkzeug ist der Laserstrahl	Graphit- oder Kupfer-Elektrode
Aufwand für Werkzeug	keiner	Elektrode muss in der gewünschten Form gefräst werden (Negativ-Form der Soll-Geometrie im erodierten Werkstück)
Stückzeit	gering (Sekunden)	sehr lang (Stunden)
typische Stückzahlen	Einzel- bis Kleinserienfertigung	nur einzelne Werkstücke