

Interreg



EUROPÄISCHE
UNION

Österreich-Tschechische Republik

Europäischer Fonds für regionale Entwicklung



MASCHINENBAU

Maschinenbau 2



UNIVERSITY
OF APPLIED SCIENCES
UPPER AUSTRIA



EUROPÄISCHE UNION

INHALT

1. Kennzeichnung von technischen Materialien.....	3
1.1. Kennzeichnung von technischem Eisen.....	3
1.2. Kennzeichnung von Nichteisenmetallen	5
1.3. Kennzeichnung von nichtmetallischen Werkstoffen	6
1.4. Kurzübersicht über die technische Materialkennzeichnung	7
2. Physikalische Eigenschaften und Mechanismus der plastischen Verformung.....	8
2.1. Physikalische Eigenschaften	8
2.2. Chemische Eigenschaften	9
2.3. Mechanische Eigenschaften	10
2.4. Technologische Eigenschaften	10
2.5. Legierungen	10
2.5.1. Homogen:.....	11
2.5.2. Heterogen:.....	11
2.6. Kristallisation von Legierungen.....	12
3. Grundgrößen der plastischen Verformung.....	15
3.1. Grenzzustände der Materialien	15
3.2. Klassifizierung von Grenzzuständen	17
3.3. Spannungsrisskorrosion	18
3.4. Vorbeugung.....	20
4. Einfluss der Temperatur auf die plastischen Eigenschaften des Materials	21
4.1. Technologische Eigenschaften von Materialien	21
4.2. Spannung	21
4.3. Einwirkung von äußeren Kräften - Definition der Festigkeit.....	22
4.4. Elastische und plastische (dauerhafte) Verformung von Metallen.....	22
4.5. Auswirkungen von plastischen Verformungen.....	24
5. Klassifizierung der technologischen Umformprozesse.....	26
5.1. Scheren - Klassifizierung und Prinzip	28
5.2. Biegen - Klassifizierung und Prinzip	31
5.2.1. Biegen auf Biegepressen.....	32
5.2.2. Biegen auf Rollen.....	33
5.3. Zeichnung - Klassifizierung und Prinzip	34

5.4.	Spinnen und Extrudieren - Klassifizierung und Prinzip	35
5.5.	Freiformschmieden, Gesenkschmieden, Hammerschmieden, Pressenschmieden	38
5.5.1.	Freischmiedemaschinen	40
5.6.	Walzen - Klassifizierung und Prinzip.....	41

I. KENNZEICHNUNG VON TECHNISCHEN MATERIALIEN

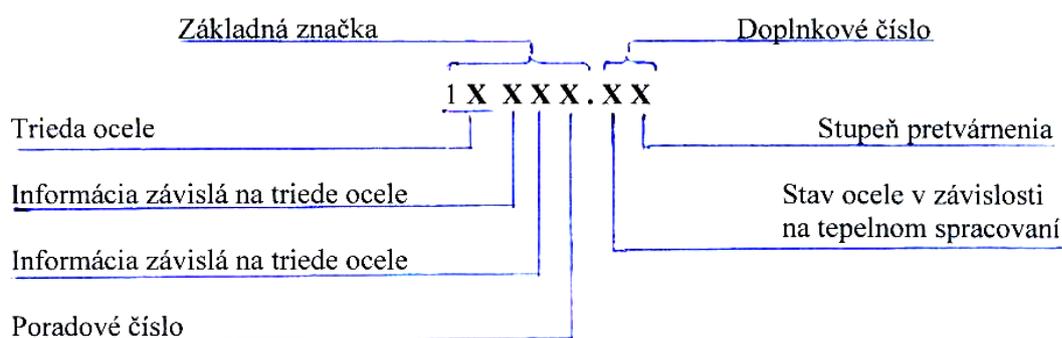
Metalle werden durch eine numerische Kennzeichnung nach der Norm STN 42 0002 gekennzeichnet, die jedoch nur vorübergehend ist. Es wurde bereits eine Kennzeichnung nach EN verwendet. Die numerische Markierung ist in der Bauteilzeichnung geschrieben, Liste der Details in der Konstruktion von Maschinenbaugruppen, sie wird auch im Geschäftsleben verwendet.

I.I. Kennzeichnung von technischem Eisen

Geformter Stahl:

Die Kennzeichnung besteht aus einer fünfstelligen und einer zweistelligen Zusatzmarkierung, die durch einen Punkt getrennt sind. Basierend auf der chemischen Zusammensetzung wird Stahl in Klassen eingeteilt. Die Kennzeichnung, die die Klasse angibt, sind die ersten beiden Ziffern der Grundmarkierung, getrennt durch eine Lücke zu den anderen Ziffern. Dies wird als Stahlklassenkennzeichnung bezeichnet.

Die Stahlklassenmarkierung beginnt immer mit 1, das Markierungsmuster ist wie folgt:



Legende: základná značka - Basismarke, doplnkové číslo - zusätzliche Nummer, trieda ocele - Stahlklasse, informácia závislá na triede ocele - Informationen je nach Stahlklasse, poradové číslo - Seriennummer, stupeň pretvárania - Verformungsgrad, stav ocele v závislosti na tepelnom spracovaní - Stahlzustand je nach Wärmebehandlung

Im Maschinenbaudiagramm wird die Bedeutung der einzelnen Ziffern im Detail erläutert.

Die Stahlklassen sind wie folgt:

10 + + + + + ohne garantierte chemische Zusammensetzung

Baustahl in gewohnter Qualität

11 + + + + + garantierter S- und P-Gehalt

12 + + + + Kohlenstoffstahl (für Einsatzhärten, Veredeln, Federstahl)

13 + + + + Legierung zum Einsatzhärten (Mn, Si, Mn-Si)

14 + + + + + zum Verfeinern (Cr, Mn-Cr, Si-Cr,

Baustahl Cr-Al, Cr-Mn-Si)

15 + + + + + Stahl zum Abschrecken (Cr-Mo, Cr-V, Mn-Cr-Mo,

verfeinert Mn-Cr-V, Cr-Mo-V, Cr-Mo-Al)

16 + + + + + zum Nitrieren (Ni, Cr-Ni, Cr-Ni, Cr-Ni-Mo, Ni-Cr-W)

17 + + + + + legiert mit hohem Anteil an Additiven korrosionsbeständige und feuerfeste Stähle

Hochtemperaturstahl

18 + + + + + zusätzliche Materialien, Sintermetalle

19 + + + + + Werkzeugstahl Kohlenstoff, Legierung, legierter Stahl für Werkzeuge, legierter Schnellarbeitsstahl

Die Bedeutung der beiden zweiten Ziffern hängt von der Stahlklasse ab. Die letzte Zahl stellt die wichtigen Eigenschaften dar (z.B.: 1 formbarer, 3 schweißbarer Stahl).

Die erste zusätzliche Ziffer gibt den Zustand, die Art der Wärmebehandlung an (z.B.: 1-normalisierter Stahl, 4 gehärteter Stahl, 6,7,8 verfeinert auf untere, obere und mittlere Festigkeit).

Die zweite zusätzliche Zahl gibt den Grad der Verformung an.

Beispiel: 11 523.11 12 061.4 19 436.4

Stahl zum Gießen:

Die Grundmarkierung ist eine 6-stellige Markierung. Die ersten beiden Ziffern sind 42, die metallurgische Gruppe. Es folgt eine Lücke. Die zweiten beiden Ziffern sind: **26 - Kohlenstoffstahl, 27,28,29 - legierter Stahl**, die Bedeutung der dritten beiden Ziffern hängt von der Art des Stahls ab. Die erste zusätzliche Zahl nach dem Punkt zeigt den Zustand an, die zweite die gewünschten Eigenschaften.

Beispiel: Kohlenstoff: 42 2650, legierter Stahl: 42 2712, 42 2815, 42 2931

Gusseisen:

Die Kennzeichnung von Gusseisen ist eine 6-stellige Zahl, die mit 42 beginnt. Die zweiten beiden Ziffern zeigen die Art des Gusseisens an:

- **Duktiles Gusseisen** - 23,
- **Graustich** - 24. Die dritte zweistellige Zahl gibt die niedrigste Zugfestigkeit bei ferritisch duktilem Gusseisen (in Zehntel MPa) an,
- **Temperguss**: die zweiten beiden Ziffern - 25, die dritten beiden Ziffern zeigen die niedrigste Duktilität (in %) im Falle von ferritischem Gusseisen und die niedrigste Zugfestigkeit im Falle von Perlitguss (in Zehntel MPa).

Beispiel: 42 2438, 42 2530.

1.2. Kennzeichnung von Nichteisenmetallen

Aluminium und seine Legierungen

Die Markierung besteht aus sechs Ziffern, wobei die ersten beiden Ziffern 42, die dritte Ziffer 4 sind, was eine Bezeichnung für Leichtmetalle ist.

- Die vierte Zahl: Gerade Zahl bezeichnet gebildete Legierungen, ungerade Zahl bezeichnet Legierungen zum Gießen.
- Die beiden Ziffern, bestehend aus der vierten und fünften Ziffer, kennzeichnen Leichtmetalle (z.B. Reinaluminium, Al Cu Mg, Al Mg-Legierungen, etc.).
- Die sechste Zahl ist die Seriennummer von Metall oder Legierung.
- Die zusätzliche zweistellige Zahl gibt den Zustand und die Qualität des geformten Materials an.

Bei Gusswerkstoffen gibt die erste zusätzliche Ziffer den Zustand nach der Gießwärmebehandlung an, die zweite zusätzliche Ziffer das Gießverfahren.

Beispiel: 42 4004, 42 4415.

Kupfer und seine Legierungen

Die Kennzeichnung besteht aus sechs Ziffern, wobei die ersten beiden Ziffern 42, die dritte Ziffer 3 sind, was eine Bezeichnung für Schwermetalle ist.

- Die vierte Zahl: Gerade Zahl bezeichnet gebildete Legierungen, ungerade Zahl bezeichnet Legierungen zum Gießen.
- Die zweistellige Zahl aus der vierten und fünften Zahl kennzeichnet Schwermetalle.
- Die sechste Zahl ist die Seriennummer von Metall oder Legierung.
- Eine zusätzliche zweistellige Zahl gibt den Zustand und die Qualität des geformten Materials an.

Im Falle von Gusswerkstoffen gibt die erste zusätzliche Zahl den Zustand nach der Wärmebehandlung des Gussteils an, die zweite zusätzliche Zahl gibt das Gießverfahren an.

Beispiel: 42 3016, 42 3256.

Ähnlich ist die Kennzeichnung bei Weichlote, bei denen die Schmelztemperatur die wichtigste Information ist. So ist beispielsweise das Lotmaterial für mit einer Schmelztemperatur von 183 °C als 42 3635 gekennzeichnet, für Silberlot mit einer Schmelztemperatur zwischen 650 und 810 °C als 42 3809. Weitere Informationen finden Sie im Kapitel Lote.

1.3. Kennzeichnung von nichtmetallischen Werkstoffen

Kennzeichnung von Gummi

Für Gummi wird eine 6-stellige Zahl verwendet, wobei die ersten beiden Ziffern 62 sind.

Beispiel:

62 2026 - für Schläuche, Unterlegscheiben, allgemeine Verwendung,
62 2314 - chemikalienbeständig.

Kennzeichnung von Kunststoffen

Kunststoffe sind mit einer 6-stelligen Nummer gekennzeichnet, wobei die ersten beiden Ziffern 64 sind.

Beispiel:

64 3211 - bearbeitbare harte Polyvinylchloridplatten,
64 7003 - Kunstleder auf Stoff oder anderem Textil.

1.4. Kurzübersicht über die technische Materialkennzeichnung

Stahl: eine fünfstellige Zahl, die immer mit 1 beginnt, die zweiten beiden Ziffern geben die Klasse an (von 10 bis 19). Es folgen ein Punkt und eine zusätzliche Zahl (der Zustand des Stahls).

Beispiel:

11500.4 19 436.6

Stahlguss: eine sechsstellige Zahl. Beginnend immer mit 42, den zweiten beiden Ziffern 26 - (am häufigsten), oder 27, 28, 29. Die zusätzliche Nummer wie bei Stahl.

Beispiel:

Kohlenstoffstahl - 42 2650, legierter Stahl - 42 2712, 42 2815, 42 2931.

Gusseisen:

Grauwurf - eine sechsstellige Zahl, die immer mit 42 beginnt, gefolgt von 24 oder 23.

Temperiert - eine sechsstellige Zahl, die immer mit 42 beginnt, gefolgt von 25.

Beispiel:

grau - 42 2438, gehärtet - 42 2530.

Aluminium und seine Legierungen: eine sechsstellige Zahl, die mit 42 beginnt, gefolgt von 4.

Beispiel:

42 4004, 42 4415.

Kupfer und seine Legierungen: eine 6-stellige Zahl, die mit 42 beginnt, gefolgt von 3.

Beispiel:

42 3016, 42 3256.

Gummi: eine 6-stellige Zahl, die mit 62 beginnt.

Beispiel:

62 2026, 62 2314

Kunststoffe: eine 6-stellige Zahl, die mit 64 beginnt.

Beispiel:

64 3211, 64 7003

2. PHYSIKALISCHE EIGENSCHAFTEN UND MECHANISMUS DER PLASTISCHEN VERFORMUNG

2.1. Physikalische Eigenschaften

Dichte: das Verhältnis von Masse m zu Volumen V eines homogenen Materials bei einer bestimmten Temperatur:

$$\rho = \frac{m}{V} \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

(6.1)

Die Schmelz: und Erstarrungstemperatur T [oC, oK] - die Temperatur, bei der das Material seinen Zustand ändert. Es ist wichtig für Gießerei, Galvanik, Schweißen, etc. Reinkristalline Materialien (nur 1 Element) weisen konstante Schmelz- und Erstarrungstemperaturen auf. Legierungen, Glas, Keramik haben einen bestimmten Bereich (Intervall) des Schmelzens und der Verfestigung.

Lineare und volumetrische Wärmeausdehnung: temperaturbedingte Längen- und Volumenänderung. Sie ist eine wichtige Größe für Gießereien, Schweißverbindungen usw.

Wärmeleitfähigkeit λ [Wm⁻¹K⁻¹] - es ist die Wärmemenge, die im stationären Zustand über eine Zeiteinheit zwischen zwei gegenüberliegenden Wänden eines Würfels mit einer 1-m-Kante verläuft, wenn die Differenz zwischen der Wandtemperatur 1o K beträgt. Der beste Wärmeleiter ist Silber (Ag). Die Leitfähigkeit anderer Materialien wird in % auf Silber angegeben (Cu - 94%, Al - 55%, Fe - 21%).

Elektrische Leitfähigkeit G [S] - die Fähigkeit des Materials, Strom zu leiten. Ein Leiter mit einem Widerstand von 1 Ω hat eine Leitfähigkeit von 1 S (Siemens). Anhand der Leitfähigkeit unterscheiden wir zwischen Leitern, Nichtleitern (Isolatoren) und Halbleitern (Selen, Germanium, Silizium, etc.). Die besten Leiter der Elektrizität sind Silber, Kupfer und Aluminium. Kupfer wird verwendet, um die Leitfähigkeit der Materialien mit anderen Metallen zu vergleichen.

Supraleitung ist eine Eigenschaft einiger Metalle, deren elektrischer Widerstand bei sehr niedrigen Temperaturen (nahe 0°K) auf einen nicht nachweisbaren Wert (fast ohne Widerstand) sinkt. Dies ist vor allem bei Gleichstrom und Halbleitern der Fall.

Spezifischer elektrischer Widerstand - ist der Widerstand eines Leiters mit einem Querschnitt von 1 mm² und einer Länge von 1 m. Der beste Isolator ist das Vakuum.

Magnetische Eigenschaften - charakterisieren das Verhalten von Metallen in einem Magnetfeld. Je nach Durchlässigkeit μ können die Materialien eingeteilt werden in:

- **Diamagnetische Materialien** - $\mu < 1$. Sie verstärken nicht die Wirkung des äußeren Magnetfeldes. Diese Materialien beinhalten H, Au, Ag, Sn, Pb, etc. und die meisten organischen Legierungen;
- **Paramagnetische Materialien** - $\mu > 1$, aber näher am 1. Dazu gehören Sauerstoff, Seltenerdelemente, Alkalimetalle, Aluminium, Platin, etc. Sie verstärken die Wirkung des äußeren Magnetfeldes leicht;
- **Ferromagnetische Materialien** - hohe μ abhängig von der Intensität des Magnetfeldes. Dazu gehören Fe, Ni, Co, Cr-Legierungen und Mn. Ferromagnetische Materialien sind:
 - **Magnetisch hart** - schwer zu magnetisieren x den Magnetismus auch nach Entfernung des Magnetfeldes beizubehalten (Permanentmagnete),
 - **Magnetisch weich** - leicht zu magnetisieren + leicht zu verlierender Magnetismus. Sie werden zur Erzeugung von Magnetkreisen in elektrischen Maschinen und Geräten eingesetzt.

2.2. Chemische Eigenschaften

Die Oberfläche von Metallteilen wird oft durch Umwelteinflüsse beschädigt. Dies wird als Korrosion bezeichnet, die jährlich bis zu 3 % des Metalls beschädigt. Die Korrosionsbeständigkeit wird in einer bestimmten Umgebung bestimmt - in der Natur oder im Labor.

Die Korrosionswirkung wird durch den Metallverlust pro 1 Stunde identifiziert. Es wird in g auf einem cm² angegeben [g cm⁻² h⁻¹].

Die Feuerwiderstandsfähigkeit wird bei höheren Temperaturen (über 600 °C) bestimmt. Sie steigt mit der Zugabe von Al, Cr, Si.

2.3. Mechanische Eigenschaften

Komponenten werden Zugbelastung, Druck, Verdrehung, Scherung und Biegung ausgesetzt. Um ihm zu widerstehen, muss das Material Eigenschaften wie Festigkeit, Härte, Flexibilität, Duktilität usw. aufweisen. Diese Materialien werden getestet, um festzustellen, ob sie die gewünschten Eigenschaften haben.

2.4. Technologische Eigenschaften

Das Material wird auf verschiedene Weise verarbeitet, die entsprechende Eigenschaften erfordern. Sie werden als technologische Eigenschaften bezeichnet, da auf ihrer Grundlage die Verarbeitungstechnologie gewählt wird oder umgekehrt - das Material passt sich der Verarbeitungstechnologie an. Duraluminium (AlCuMg) wird beispielsweise zur Herstellung von massiven, aber leichten Teilen verwendet. Für die Umformung darf das Material nicht starr sein, daher wird es so verarbeitet, dass es weich und dehnbar ist. Anschließend wird es verarbeitet und dann ausgehärtet. Zu den technologischen Eigenschaften gehören Duktilität, Zerspanbarkeit, Schweißbarkeit, Gießbarkeit.

2.5. Legierungen

Als technisch genutzte Metalle werden Legierungen betrachtet, da so genannte Reinelemente andere Elemente enthalten, die in ihnen aus den Ausgangsmaterialien während des Produktionsprozesses entstanden sind oder ihnen bewusst zugesetzt wurden. Legierungen sind somit Mehrkomponentenwerkstoffe, bei denen Metalle die dominierenden Elemente sind.

Die Komponente ist eine einzelne rein chemische Substanz, die einen Teil einer Legierung bildet.

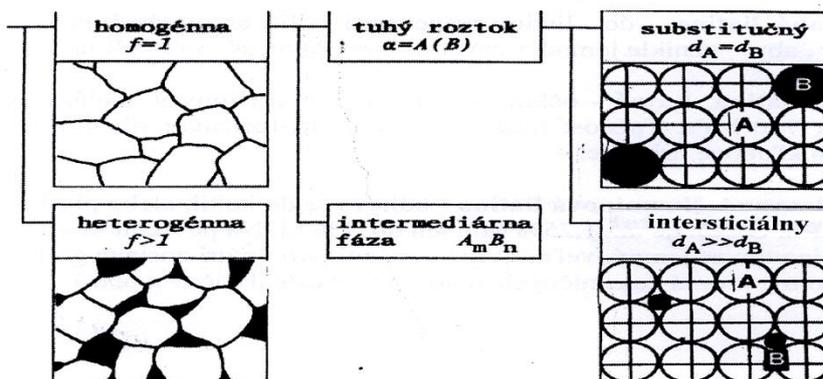
Komponenten von Legierungen interagieren miteinander. Je nach Interaktion unterscheiden wir zwischen den folgenden Legierungstypen:

2.5.1. Homogen:

- **Feste Lösung:** ist mit $\alpha = A(B)$ gekennzeichnet, was bedeutet, dass sich das Metall B in Metall A löst. Die Lösung ist entweder begrenzt oder unbegrenzt. Die Bildung von festen Lösungen kann wie folgt erfolgen:
 - Durch Substitution von Basismetall durch Atom des Additivs. Es wird im Gitter ersetzt. Diese Art von Lösung ist eine Ersatzlösung. Wenn die Substitution regelmäßig erfolgt, ist sie eine arrangierte feste Lösung,
 - Das Atom des Additivs wird zwischen den Atomen des Grundmetalls (in den Räumen des Gitters) hinzugefügt. Dies ist eine interstitielle Lösung;
- **Chemische Verbindung:** wenn die Atomzahl der in die Legierung eindringenden Elemente in ganzen Zahlen ausgedrückt werden kann und sich nicht ändern kann. Dies wird durch eine chemische Formel beschrieben.
- **Intermetallisch - Zwischenphase:** Basismetall mit Additiv schafft ein neues räumliches Gitter, in dem sich die Atome beider Substanzen gegenseitig ersetzen. Es bildet ein neues Material, das weder eine chemische Verbindung noch eine feste Lösung ist.

2.5.2. Heterogen:

wenn das zweite Material eine andere Kristallform aufweist, existieren beide nebeneinander in feinem Abstand, aber jedes hat eine eigene Form. Es ist eine heterogene Mischung (ähnlich wie z.B. Getreide und Mohn).



Die Arten des Legierungsgefüges sind in den Abbildungen 6.10 und 6.11 dargestellt.

Legierungen: Abbildung 6.10 Arten der inneren Legierungsstruktur (f-Zahl der Phasen, d_A, d_B - Atomdurchmesser der Komponenten)

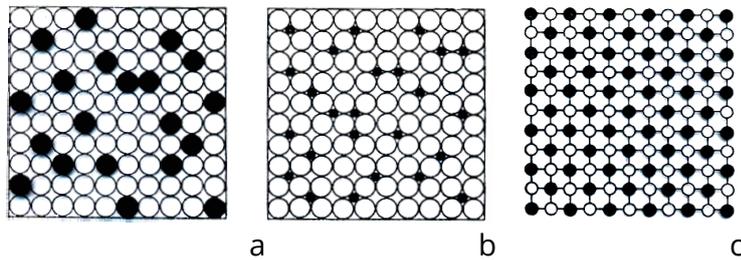


Abbildung 6.11 Feste Lösungen: a - substitutiv, b - interstitiell, c - angeordnete feste Lösung

2.6. Kristallisation von Legierungen

Wir unterscheiden zwischen drei Zuständen von Materialien - fest, flüssig und gasförmig. Hier werden wir uns nur mit dem festen und flüssigen Zustand befassen. Um einen flüssigen Zustand (Schmelze) zu erreichen, muss das Metall erwärmt werden: Atome schwingen, das Volumen nimmt zu, das spezifische Gewicht ist geringer. Wenn die Temperatur so ansteigt, dass die atomare Schwingung groß ist, verliert das Metall seinen Zusammenhalt, es schmilzt.

Hier wird die Dulong - Petit-Regel angewendet: Das Vielfache der spezifischen Wärme und des Atomgewichts entspricht ungefähr $6,2 \text{ cal/g } ^\circ\text{C}$. Das bedeutet, dass die Materialien mit hohem Atomgewicht (Au, Pt, Pb) eine geringe spezifische Wärme aufweisen.

Wie bereits erwähnt, verändert Wärme oft das Kristallgitter auch im festen Zustand - die Atome werden neu angeordnet. Man nennt es Überkristallisation: Es entsteht eine neue Modifikation, z.B. bei Eisen, Zinn (Zinnschädling) und anderen. Dieses Phänomen wird als Allotropie bezeichnet.

Die Schmelzabkühlung bewirkt ihre Verfestigung. Die Verfestigung ist der Prozess der Umwandlung des flüssigen Zustandes in den festen Zustand. Wenn sich das Material als Kristall verfestigt, spricht man von Kristallisation.

Primärkristallisationsprozess - es ist ein Übergang vom geschmolzenen Zustand in den festen Zustand. Dort werden die Gesetze der Thermodynamik angewendet. Die Übergänge erfolgen auf der Grundlage der Umwandlung der energetisch weniger effizienten Phase in eine effizientere Phase. Wenn die Festphase energetisch effizient ist, beginnt der Verfestigungsprozess...

Um den oben genannten Übergangsprozess vollständig zu verstehen, wird er im folgenden Kapitel näher beschrieben. Zunächst sollen einige neue Begriffe erwähnt werden:

Reine Metalle, eutektische Legierungen, chemische Verbindungen kristallisieren, d.h. erstarren bei konstanter Temperatur; sie schmelzen auch bei gleicher Temperatur. Andere Legierungen erstarren in einem Temperaturintervall.

Für die Kristallisation sind die folgenden Faktoren wichtig:

- **spontane Kristallisationsfähigkeit** (ergibt eine Anzahl von Kristallisationskeimen),
- **lineare Kristallisationsgeschwindigkeit** (drückt die Geschwindigkeit des Kristallwachstums aus).
- **Neben diesen Faktoren ist die Unterkühlung (Unterkühlung)** - eine geringere atomare Mobilität, die eher kollidiert, und so entsteht der Keim, der später wächst.

Die Größe der oben genannten Faktoren und ihre gegenseitige Beziehung beeinflussen die Rauheit der Struktur. Es wird auch durch Gießformen, Schüttelfrost, Impfung, Metallreinheit beeinflusst.

Wenn die Kerne direkt aus dem Basismetall stammen, spricht man von einer homogenen Keimbildung. Wir sagen, dass die Kristallisation spontan ist.

Wenn die Kerne auf anderen Materialien (Carbide, Oxide, Nitride, Graphit, Festmetalladditive, Impfmittel, Verunreinigungen usw.) gebildet werden und wachsen, spricht man von einer heterogenen Keimbildung.

Kerne treten nur bei einer bestimmten Temperatur auf, wenn die Temperatur höher ist, schmelzen die Kerne.

Im Gegensatz zu reinen Metallen umfasst die Kristallisation von Legierungen mehrere Prozesse:

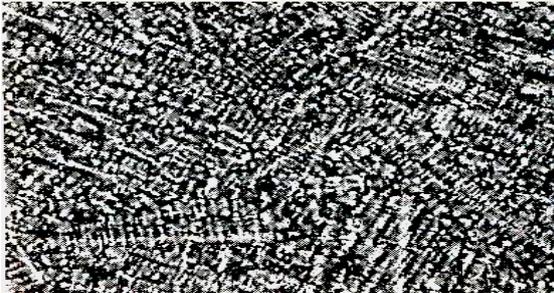
- aus einer homogenen Schmelze können mehrere Phasen kristallisieren,
- Die Kristallisation findet in einem bestimmten Temperaturbereich statt,
- Kristallisationsphase hat eine andere Zusammensetzung als die ursprüngliche homogene Phase.

Während der Kristallisation treten strukturelle Veränderungen auf, und es entstehen neue Phasen....

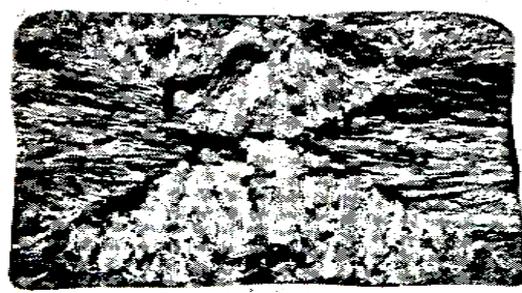
Phase - es ist ein homogener Teil eines Systems, das durch eine Oberflächenschnittstelle von anderen Teilen getrennt ist und die gleichen Eigenschaften, Strukturen und chemischen Zusammensetzungen aufweist (z.B. ist die Mischung aus Getreide und Mohn ein System als Ganzes, Mohn ist eine Phase, Getreide eine andere Phase). Die Phase kann eine homogene Substanz oder Dispersion sein.

Dispersion - es ist ein System, das mindestens zwei Arten von Stoffen enthält, wenn eine Substanz in der anderen dispergiert ist. Es handelt sich um ein heterogenes System von zwei oder mehr Phasen.

Während der Kristallisation findet eine Trans - Kristallisation statt - Bildung von Dendriten - baumartige Kristalle, Kristallisationsachsen (Abbildung 6.12a), Lunker, Mikrolunker (zwischen den Kristallen, wirken wie eine Kerbe Abbildung 6.12b).



a



b

Abbildung 6.12 Dendriten in Stahlguss - a, Kristallite in der Legierung Fe-Ni - b

3. GRUNDGRÖßEN DER PLASTISCHEN VERFORMUNG

3.1. Grenzzustände der Materialien

In den meisten Bereichen des Maschinenbaus haben sich die technischen Parameter von Maschinen und Geräten in den letzten Jahrzehnten erhöht (z.B. Arbeitsdruck, Temperatur, Drehzahl, Leistung, etc.), während ihr Gewicht pro Leistungseinheit abgenommen hat.

Grenzzustand - Definition

- Der Grenzzustand ist ein Materialzustand, wenn das Material seine Funktions- und Gebrauchseigenschaften durch die Wirkung der äußeren oder inneren Faktoren oder durch die kombinierte Wirkung der äußeren oder inneren Faktoren verliert, wenn sich die Funktions- und Gebrauchseigenschaften auf einem bestimmten Niveau ändern.
- Sprungwechsel im Materialzustand.

Die zweite Definition beschreibt den Grenzzustand als Verlust von Gebrauchseigenschaften und beinhaltet auch die Phänomene, die die funktionellen Eigenschaften der gegebenen Struktur nicht beeinflussen müssen, wie z.B. den Übergang vom ferromagnetischen in den paramagnetischen Zustand (Curie-Temperatur), polymorphe Transformationen, etc.

- Der Grenzzustand ist ein Zustand des Systems, der durch Bedingungen (Parameter) der Systemaktivität ausgedrückt wird, die bei Überschreitung einen vorübergehenden oder dauerhaften Ausfall der Systemfunktion verursachen. Der Systemgrenzzustand liegt zwischen dem Normal- und dem Fehlerzustand.
- Die dritte Definition definiert den Grenzzustand als Ort einer Schrittschnittstelle zwischen zwei Zuständen - anwendbar und nicht anwendbar.

Das Erreichen des Grenzzustandes hängt von der Dynamik der Schadensakkumulation ab, die eine Funktion eines substrukturellen und strukturellen Zustandes des Materials, der technologischen Eigenschaften der Produktion und der Konstruktionsbedingungen für die Verwendung eines Körpers ist, abhängig von der Größe und Art der Belastung, der Reaktion des Materials auf die Last und vor allem vom Zeitpunkt der Wirkung der Faktoren, die (einzeln oder gemeinsam) den Grenzzustand verursachen können.

- **Der Grad der materiellen Schäden** ist gekennzeichnet durch das Niveau der inneren Energie, vor allem an den Punkten ihrer Konzentration, oder durch den Anteil der Bereiche mit betroffener materieller Kohäsion aufgrund der Wirkung von externen oder internen Limit-Zustand-Faktoren.

- **Plastische Verformung** ist die Fähigkeit des Materials, seine Form und Abmessungen durch Einwirkung einer ausreichenden Belastung zu verändern, ohne seine Kristallstruktur zu verändern....
- **Lokale Materialschäden** sind irreversible Kohäsionsverluste, die in Volumen und Fläche begrenzt sind, was zu einer Trennung einer bestimmten Materialmenge, der Bildung eines oder mehrerer Risse oder einer Schicht mit anderen Gebrauchseigenschaften als der andere Teil des Materials führt.
- **Rissbildung** ist ein irreversibler Verlust der Kohäsion der Materialpartikel in einem Teil oder im gesamten Querschnitt.

Faktoren, die den Grenzzustand beeinflussen

- Struktur und Unterstruktur - Morphologie der einzelnen Phasen, Ausfällungen, Segregationen
- Produktionstechnologie - Eigenspannung nach der Umformung, Schweißnähte, Fehler
- Betriebsbedingungen (Umgebung) - Betriebsatmosphäre, Schmierung, Umdrehungen, Betriebsdauer
- Größe und Art der Beanspruchung - Größe, Richtung, statische Beanspruchung, Schlagbelastung
- Chemische Zusammensetzung
- Spannungsgeschwindigkeit - plastisches Instabilitätsphänomen
- Korrosion
- Zeit - Stressgeschichte
- Temperatur
- Multi-Faktor-Überlagerung

3.2. Klassifizierung von Grenzzuständen

Letzter Grenzzustand:

- **Verformung - Überschreitung der Spannungsgrenze**

Elastische Grenze,

- Übermäßige elastische Verformung (mikroplastische Verformung, makroplastische Verformung),
- Beschädigte elastische Stabilität,
- Verminderung der elastischen Verformung (Relaxation),

Plastische Verformungsgrenze

- Übermäßige plastische Verformung (kritisch)
- Beschädigte Kunststoffstabilität

- **Grenzzustand des Schadens (Rissbildung).**

Überlastung:

- zerbrechlich,
- formbar,

- Kriechverformung,
- Auswirkungen,
- Wärmeschockverformung,
- Korrosion,
- festgefahren,
- vorzeitig

Tragen,

- mechanisch $\varepsilon=f(\sigma)$,
- thermal $\varepsilon=f(T)$,
- thermomechanisch $\varepsilon=f(T, \sigma)$,
- creep $\varepsilon=f(T, \sigma, t)$.

- **Lokaler Schaden:**

Von Volumen durch:

- Wasserstoff,
- Interkristalline Korrosion,
- Flüssigmetall,
- Schweißen,
- Strahlung,
- Schwellung,
- Energiefelder

Von der Oberfläche durch:

- Haftung,
- Abrieb,
- Erosion,
- Kavitation,
- Kontakt,
- Vibration,
- Korrosion,
- Hitze,
- Extraktion,
- Energiestrahlen.

- **Zustände der Gebrauchstauglichkeitsgrenzen:**

- Übermäßige Auslenkung.
- Größe des dynamischen Verhaltens.
- Verlust der Stabilität der Position.
- Vibrationen, Geräusche

3.3. Spannungsrisskorrosion

Es ist eine der Formen der Korrosion, die durch die gleichzeitige Einwirkung von Korrosion und Spannung verursacht wird (Tabelle 7.1). Die Korrosionswirkung ist in einem solchen Fall intensiver als unter der Bedingung einer getrennten Wirkung beider Faktoren. Korrosionsrisse treten auf, wenn die folgenden drei Bedingungen erfüllt sind:

- korrosive Umgebung,
- rissanfälliges Material,
- Vorhandensein einer bestimmten Zugspannungskomponente.

Die Rissanfälligkeit wird durch metallurgische (chemische Zusammensetzung des Metalls, Eigenspannung, Verformungsgrad, Vorhandensein von Inhomogenität) und elektrochemische Faktoren (elektrochemisches Potenzial, Passivierbarkeit der Metalle, Charakter der korrosiven Umgebung) beeinflusst.

Korrosionsrisse (siehe Abbildungen 7.3 und 7.4) können interkristallin oder transkristallin sein. Beim Korrosionsriss werden die Risse oft durch vorhandene Oberflächenfehler wie Nuten oder Rillen nach der Bearbeitung oder scharfe Kanten ausgelöst.

Tabelle 7.1 Kombination von Metallen und Umgebung, in der Korrosionsrisse auftreten.

Al-Mg, Al-Cu-Mg, Al-Mg-Zn	meerwasser
Cu-Al, Cu-Zn-Ni, Cu-Sn	Ammoniak
Kohlenstoffstahl	Heiße Lösungen von Nitraten, Carbonaten und Hydroxiden
austenitischer rostfreier Stahl	Konzentrierte heiße Chloridlösungen, chlorhaltige Dämpfe
Titan und seine Legierungen	10% HCl
Nickel und seine Legierungen	Lösungen von NaOH und KOH bei 130°C



Abbildung 7.3 Korrosionsrissebildung

Legende: korózne trhliny - Korrosionsrisse, korodujúci Material - korrodierendes Material



Abbildung 7.4 Mikrofotografie von Korrosionsrissen

Durch die Veränderung des chemischen und mechanischen Abbaus kommt es zu einem Sprungwachstum der Rissbildung. Die chemische Reaktion an der Vorderseite des Risses beschleunigt seine Ausbreitung und die Spannungsakkumulation an der Vorderseite des Risses erhöht die Reaktionsfähigkeit dieses Ortes. Daraus ergibt sich die Synergie der beiden aktiven Prozesse.

3.4. Vorbeugung

- Untersuchung des Materials und seiner Reaktionen auf verschiedene Strukturelemente und technologische Prozesse - Einfluss von Schweißnähten, Kerben, Schwingungen, Spannungen, energetischer Verarbeitung etc.
- Die Wahl des richtigen Materials - die richtige Kombination von Materialeigenschaften für die jeweilige Belastung und Umgebung.
- Verbesserung der Konstruktionslösungen und der Stressbestimmungsprozesse an einzelnen Stellen der Struktur.
- Verfolgen Sie die technologischen Produktionsprozesse.
- Korrekte Installation.
- Korrekte Funktion - Schmierung, Temperatur, keine Überlastung.
- Wartung und regelmäßige Inspektion von Geräten, Konstruktionen oder Systemen - Rissprüfung (Flugzeuge, Brücken)
- Von Herstellern geprüfte Produkte
- Zerstörungsfreie Prüfung - Prüfung der hergestellten Komponenten vor dem Einsatz im Betrieb und während des Betriebs, z.B. Inspektion von Rohren, Schaufeln von Flugzeugtriebwerken, Hohlräumen in Schweißnähten, etc.
- Aus Fehlern der Vergangenheit lernen - die Ursachen von Arbeitsunfällen finden und Maßnahmen ergreifen, um ähnliche Probleme in der Zukunft zu vermeiden.

4. EINFLUSS DER TEMPERATUR AUF DIE PLASTISCHEN EIGENSCHAFTEN DES MATERIALS

4.1. Technologische Eigenschaften von Materialien

- **Formbarkeit** - Fähigkeit des Materials, seine Form durch Einwirkung äußerer Kräfte zu verändern, ohne die Integrität zu beeinträchtigen.
- **Schweißbarkeit** - es ist die Materialfähigkeit, eine Schweißverbindung in der gewünschten Qualität herzustellen.
- **Gießbarkeit** - Satz von Eigenschaften, die das gießfähige Material charakterisieren.
- **Zerspanbarkeit** - eine Reihe von Eigenschaften, die sich auf die Leichtigkeit und die Ergebnisse der Bearbeitung des Ausgangsmaterials beziehen.

4.2. Spannung

Definition: das Verhältnis von Kraft und Querschnitt

Die Spannung entsteht im Querschnitt durch die Einwirkung von Außenkräften auf den Körper (Bild 8.1).

$$\delta = \frac{F}{S_0} = \left[\frac{N}{mm^2} \right] [Mpa]$$

$$F_N = F \cdot \cos \alpha$$

$$F_S = F \cdot \sin \alpha$$

$$\delta = \frac{F_N}{S_1}$$

$$\tau = \frac{F_S}{S_1}$$

Wo:

F_N - Normalkomponente

F_S - Scherkomponente

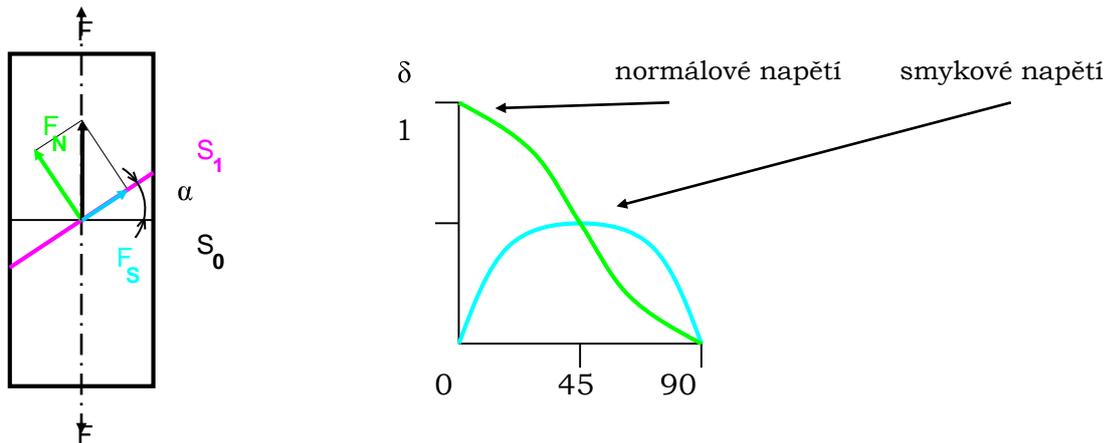


Abbildung 8.1 Entstehung und Verlauf der Spannung

4.3. Einwirkung von äußeren Kräften - Definition der Festigkeit

Festigkeit - die Fähigkeit des Materials, die Last zu tragen. Die Bruchfestigkeit ist die Spannung, unter der das Material beschädigt wird - getrennt in zwei Teile.

$$R_m = \frac{F_{\max}}{S_0} \text{ [Mpa]} \quad (8.2)$$

4.4. Elastische und plastische (dauerhafte) Verformung von Metallen

Verformung - Form- und Maßänderung durch Einwirkung von Außenkräften (Bild 8.2)

Elastische Verformung

- **Das Material kehrt in seine ursprüngliche Form zurück, nachdem die äußere Last nicht mehr wirkt.**
- Sie tritt auf, wenn die Atome durch die Einwirkung äußerer Kräfte im Kristallgitter von ihren Gleichgewichtspunkten um einen Abstand von weniger als der Hälfte des

Gitterparameters abweichen. Nach dem Entfernen der Last kehren die Atome in ihre Ausgangsposition zurück.

Plastische (permanente) Verformung

- Wenn die äußere Last nicht mehr wirkt, gibt es noch eine gewisse Verformung in Abhängigkeit von der Größe der Belastungskraft.
- Sie tritt auf, wenn die Atome um einen größeren Abstand als der Gitterparameter aus ihrer Gleichgewichtsposition abgelenkt werden, wodurch sie nach dem Entfernen der Last nicht in ihre Ausgangsposition zurückkehren können.

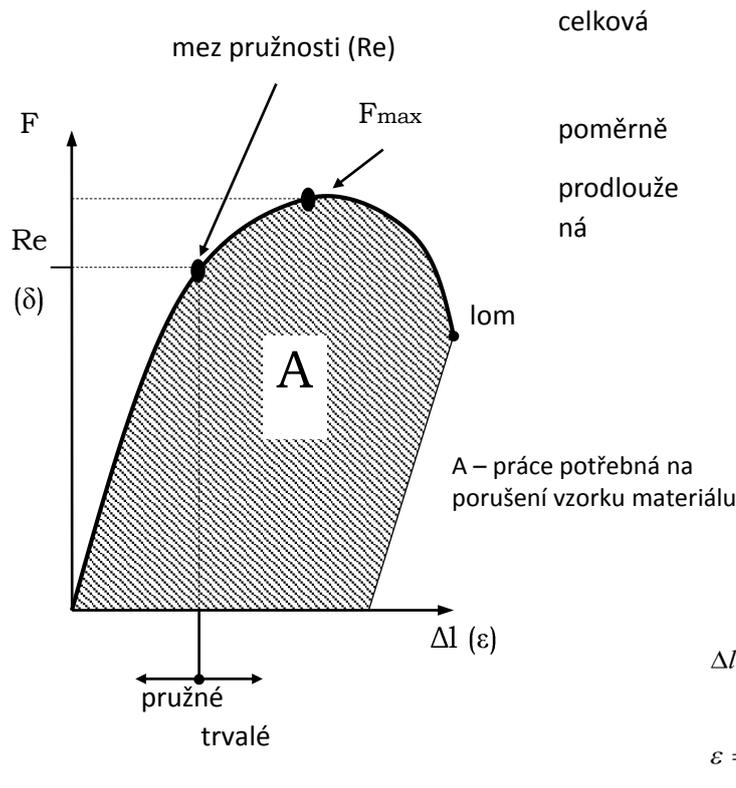


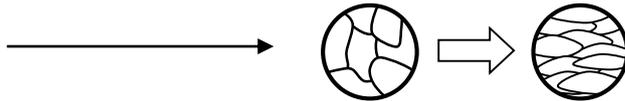
Abbildung 8.2 Elastische und plastische Verformung

Mechanismus der plastischen Verformung:

- Durch Rutschen (Rutschebene, Rutschrichtung)
- Durch Zwillingmontage

4.5. Auswirkungen von plastischen Verformungen

- Materialverstärkung
- Bildung der Verformungstextur
- Anisotropie der mechanischen Eigenschaften
- Erhöhung der Fehlerzahl



Beseitigung von Auswirkungen plastischer Verformungen

- Durch Erwärmung des Materials: Basierend auf der Materialtemperatur sprechen wir von einer Gitterrückgewinnung. Ergebnis: Teilweise Wiederherstellung der Eigenschaften, Abbau von Spannungen.

Erwärmen auf die Temperatur $T < T_{\text{rekr}}$. $T_{\text{rekr}} = 0,35 - 0,4 T_{\text{av}}$ (8.3)

- Durch Rekristallisation

Erwärmen auf die Temperatur $T > T_{\text{rekr}}$.

Diese Effekte werden durch Rekristallisationsglühen beseitigt. Die Rekristallisationsverformung von Körnern zu unverformten Körnern beseitigt die Auswirkungen der plastischen Verformung vollständig.

Die Warmumformung erfolgt in fester Lösung γ (Austenit), da sie ein Gitter K12 aufweist, das sich durch eine gute Umformbarkeit auszeichnet. Ist die Anfangstemperatur der Umformung hoch, reduziert sie die Austenitfestigkeit bei intensiver Rekristallisation von verformten austenitischen Körnern. Um eine bestimmte Verformung zu erreichen, ist eine geringere Energiemenge erforderlich als bei niedrigeren Temperaturen. Die Umformtemperatur ist jedoch auf 100 - 200°C unter der Solidustemperatur begrenzt, um eine Kornverdickung oder "Verbrennung" des Stahls zu vermeiden. Die Umformung muss bei subeutektoiden Stählen auf die Temperatur von A_{r3} und bei supereutektoiden Stählen auf A_{r1} abgeschlossen sein. Bei den Temperaturen von A_{r3} oder A_{r1} überwiegt der Verformungsprozess gegenüber dem Rekristallisationsprozess; nach dem Abkühlen bilden die Umformtemperaturen eine feinkörnige Struktur. Bei supereutektoiden Stählen bewirkt das Umformen (bei den Temperaturen zwischen A_{cm} und A_{r1}) das Schleifen des sekundären Zementitgitters und erhöht damit die Verformungseigenschaften (Duktilität, Kontraktion) dieser Legierung. Für die Umformtemperaturen siehe Abbildung 8.3.

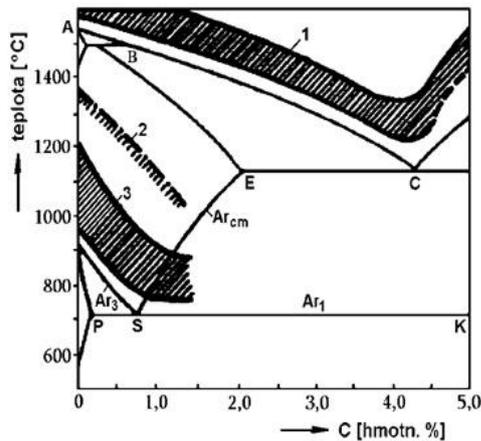


Abb. 8.3 Charakteristische Temperaturen im Fe - C - Diagramm

1) Gießtemperaturen, 2) obere Schmiedetemperaturen, 3) Umformtemperaturen

Wärmebehandlung. Das Fe-C-Diagramm ist besonders wichtig für die Prozesse der Wärmebehandlung, die es ermöglichen, die Materialeigenschaften in einem größeren Bereich zu verändern. Gemäß den kritischen Temperaturen von A₁, A₃, A_m werden Glühen, Abschrecken und Temperaturen von Phasenänderungen bestimmt. Das Diagramm ermöglicht es auch, die resultierenden Strukturen nach der Wärmebehandlung zu bestimmen.

Die oben genannten Beispiele sowie weitere Anwendungen wie die Auswahl der Temperaturen für die einzelnen Arten der chemischen und thermischen Behandlung, der thermisch-mechanischen Behandlung usw. zeigen, dass die Fe-C-Gleichgewichtsdiagramme sehr wertvolle Informationen zur Erreichung optimaler Eigenschaften von Fe-C-Legierungen liefern.

5. KLASSIFIZIERUNG DER TECHNOLOGISCHEN UMFORMPROZESSE

Das Umformen ist ein technologischer Prozess, bei dem die Form des Ausgangsmaterials durch ein Formwerkzeug ohne Spanabnahme verändert wird. Die Umformung ist eine fortschrittliche Produktionstechnologie. Die Progressivität der Umformung besteht hauptsächlich in einem reduzierten Verbrauch von Ausgangsmaterial für die Herstellung der Komponenten oder der Struktur, in der Verbesserung der mechanischen Eigenschaften des Ausgangsmaterials in kurzer Zeit, in hoher Produktivität, in der Möglichkeit, Teile für das Endprodukt herzustellen, und in der vollständigen Automatisierung der zusätzlichen Operationen und Aktionen.

Rohling ist ein durch Umformen hergestelltes Produkt, unabhängig von der Art des Umformvorgangs.

Je nach Art, Form des Ausgangsmaterials und Querschnittsänderung (Dicke) wird die Umformung **in Blech- und Massenumformung unterteilt**.

- Die Blechumformung ist ein Prozess, bei dem die erforderliche Änderung ohne wesentliche Änderung der Dicke des Ausgangsmaterials (meist Weißblech) erreicht wird.
- Die Schüttgutumformung ist ein Prozess, bei dem die erforderliche Formänderung durch Änderung des Querschnitts (der Dicke) des Ausgangsmaterials erreicht wird.

Technologische Umformprozesse können klassifiziert werden durch:

- Verwendete Temperatur
- Thermischer Effekt
- Erreichter Verformungsgrad

Klassifizierung der Umformung nach verwendeter Temperatur:

Bei der Umformung verändern sich die plastischen Eigenschaften von Reinmetallen und Legierungen durch Temperatureinwirkung, d.h. ihre Beständigkeit gegen die dauerhafte Formänderung. Bei hohen Temperaturen werden die plastischen Eigenschaften der meisten Metalle und ihrer Legierungen verbessert.

Die plastische Verformung, die bei technologischen Kaltumformprozessen auftritt, bewirkt eine Veränderung der mechanischen, physikalischen und chemischen Eigenschaften von Metall. Die mit diesen Veränderungen verbundenen Phänomene werden allgemein als Verstärkung bezeichnet. Je nachdem, ob die Umformung bei Temperaturen über oder unter der Rekristallisationstemperatur stattfindet, lassen sich technologische Umformprozesse unterteilen:

- Kaltumformung
- Warmumformung

Unter **Kaltumformung** versteht man eine technologische Materialbearbeitung, bei der die Materialtemperatur unter der Rekristallisationstemperatur liegt. Das bedeutet, dass die durch die Umformung verursachte Verstärkung des Materials weitgehend erhalten bleibt. Die Kaltverformung erfolgt bei Temperaturen unter $T \leq 0,3 \cdot T_{tav}$, wobei die Temperaturen in K angegeben sind.

Die Kaltumformung wird hauptsächlich eingesetzt:

- Erzielung einer glänzenden und glatten Oberfläche des Produkts, wie z.B. beim Walzen von Blechen, Bändern, Draht- und Stangenzug usw.
- Erreichen der genauen Abmessungen des Produkts (Extrudieren, Drahtziehen, Tiefziehen, etc.).
- Erhöhung der Festigkeit und Härte des geformten Materials
- Für nicht rekristallisierbare Legierungen
- Für die Materialien, bei denen eine Warmumformung nicht möglich ist, da die Oberfläche des Materials so groß ist, dass es aufgrund seines geringen Querschnitts schnell abkühlt.
- Für die kostengünstige und schnelle Herstellung von Bauteilen in zufriedenstellender Qualität.

Die **Kaltverformung** erhöht die Festigkeit und Härte des Materials und reduziert gleichzeitig seine Duktilität, was ein Beweis für die Materialplastizität ist. Dies führt zu Strukturverformung und Anisotropie der mechanischen Eigenschaften.

Unter **Warmumformung** versteht man das Umformen bei Temperaturen, bei denen die Rekristallisation so schnell erfolgt, dass die durch den Umformprozess verursachte Verfestigung während oder unmittelbar nach dem Umformen verschwindet. Die Warmumformung erfolgt bei Temperaturen, die über der Rekristallisationstemperatur liegen. Warmumformprozesse umfassen die Prozesse, die bei Temperaturen über $0,7 \cdot T_{tav}$ auftreten.

Beim Warmumformen laufen zwei Prozesse gleichzeitig ab: Zerstörung (Verformung) und Rekristallisation.

Klassifizierung der Umformung durch thermische Einwirkung

Abhängig von der Wärmemenge, die zur Erhöhung der Temperatur des geformten Metalls genutzt wird, lassen sich Umformprozesse unterteilen:

- **isotherm** - die erzeugte Wärme befindet sich in der Umgebung, die Temperatur des Rohlings ändert sich nicht.

- **adiabatisch** - die gesamte erzeugte Wärme bleibt im gebildeten Metall, seine Temperatur steigt.
- **polytrop** - die erzeugte Wärme befindet sich teilweise in der Umgebung und bleibt teilweise im gebildeten Metall. Diese Art von Prozessen ist in der Praxis die häufigste.

Klassifizierung der Umformung durch die Verformung:

Durch das Verhältnis zwischen der freien Oberfläche des geformten Materials und dem werkzeugberührenden Material lassen sich die technologischen Umformprozesse in drei Gruppen einteilen:

- die freie Oberfläche ist größer als die Oberfläche, die mit dem Werkzeug in Berührung kommt (Freiformschmieden).
- die freie Oberfläche des geformten Materials ist ungefähr gleich groß wie das Material in Kontakt mit dem Werkzeug (Schmieden in offenen Matrizen).
- die freie Oberfläche des geformten Materials kleiner ist als die Oberfläche in Kontakt mit dem Werkzeug (Schmieden im geschlossenen Gesenkschmieden, Extrusion).

5.1. Scheren - Klassifizierung und Prinzip

Das Scheren ist einer der am häufigsten verwendeten Arbeitsschritte im Maschinenbau, sei es bei der Herstellung von Halbzeugen zur Herstellung von Fertigrohlingen oder als Hilfsoperation bei der Herstellung von Maschinenbauerzeugnissen. Das Scheren ist ein Vorgang, bei dem ein Teil des Materials schrittweise oder unmittelbar durch ein Scherwerkzeug getrennt wird.

Zu den grundlegenden Scheroperationen gehören:

- Stanzen (Löcher machen)
- Beschnitt (Trennung von unnötigem Material)
- Ausschneiden (Ausschneiden eines Teils des Materials)
- Überschneidung (Teilweiser Verschnitt des Materials)
- Stechhilfe (Teilschnitt des Materials)
- Rasur (um präzisere Formen zu erreichen)
- Feinschneiden (Feinschneiden)
- eintauchend

Scheren in Scherwerkzeugen:

Es ist die am weitesten verbreitete Methode zur Herstellung von Rohlingen. Zu den Grundoperationen gehören das Stanzen und Stanzes.

Die Schermatrix ist ein Stanzwerkzeug - Werkzeug zur Herstellung von Rohlingen einer bestimmten Form und Abmessung (Bild 9.1).

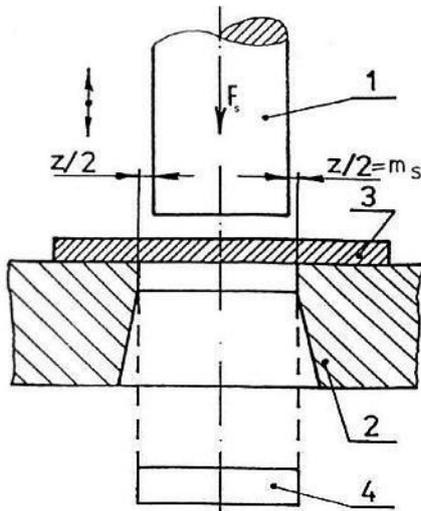


Abbildung 1 Scherwerkzeug, z - Scherspalt, m_s - Klingenspalt, 1. Scherstempel, 2. Scherwerkzeug, 3. geschertes Material (Blechband), 4. geschertes Material (blank)

Der Prozess des Scherprozesses kann in drei grundlegende Phasen unterteilt werden:

- **Elastische Verformung** - zu Beginn der Einwirkung des Stanzwerkzeugs auf das Material tritt eine elastische Verformung im Material auf, bis die Spannung an der Scherstellen die Streckgrenze R_e erreicht. Diese Stufe beträgt 5 - 10 % der Materialstärke.
- **Plastische Verformung** - nach Überschreitung der maximalen Streckgrenze an der Scherstellen wird die Spannung bis zur maximalen Scherfestigkeit erhöht. Diese Stufe ist die 10 - 25 % der Materialstärke.
- **Bruch** - wenn die Scherfestigkeit überschritten wird, entstehen mikroskopische und makroskopische Risse im Material, die zur Trennung der Materialteile führen.

Die Scherung kann heiß oder kalt sein. Das Kaltscheren wird für weiche Materialien und Bleche eingesetzt. Das Warmscheren wird für stärkere Materialien mit höherer Dicke eingesetzt. Das Scheren kann mit: parallelen Messern, schrägen Messern, Kreismessern oder in Schermatrizen durchgeführt werden.

Scherwerkzeuge:

einfache Schermatrix (Abbildung 3)

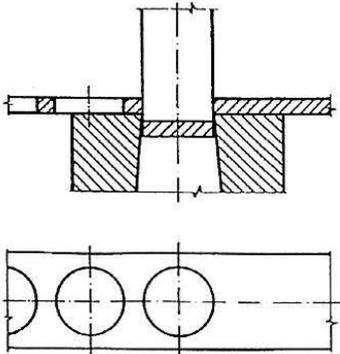


Abbildung 3 Einfache Schermatrix

kombinierte Schermatrix (Abbildung 4)

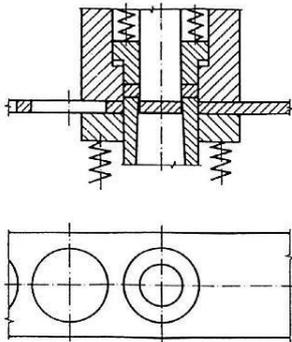


Abbildung 4 Kombinierte Schermatrix

Folgeverbundwerkzeug (Abbildung 5)

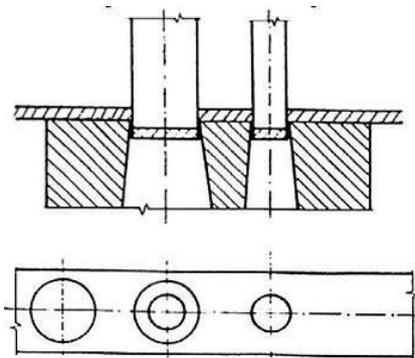


Abbildung 5 Folgeverbundwerkzeug

Verbundwerkzeug (Abbildung 6)

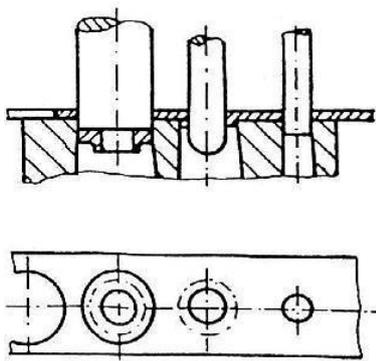


Abbildung 6 Verbund-Scherwerkzeug

5.2. Biegen - Klassifizierung und Prinzip

Das Biegen ist ein technologischer Prozess, bei dem die Form eines Halbzeugs durch die Einwirkung des durch ein Kräftepaar verursachten Biegemoments dauerhaft verändert wird. Das Biegen ist ein Verfahren, bei dem die gewünschte Form ohne wesentliche Änderung des Materialquerschnitts vorliegt und daher in die Blechumformung einbezogen wird.

Das Ausgangsmaterial sind Platten, Stäbe, Profile.

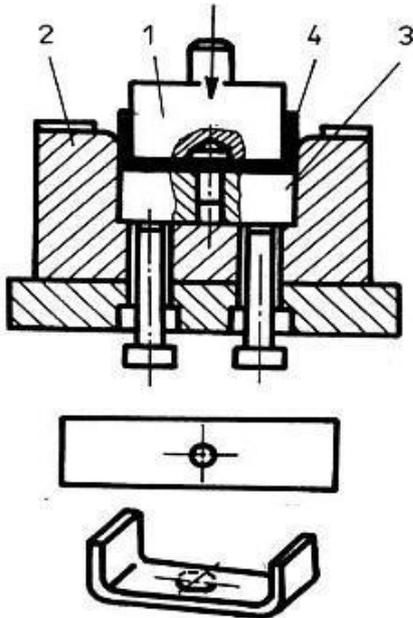
Die Bewegung wird von einer Verstärkung des Materials begleitet, die seine Festigkeitseigenschaften und damit auch die Eigenschaften des Biegeteils verändert. Dies führt zu einer Gewichtsreduzierung der Maschineneinheiten.

Abhängig von der Bewegung des Werkzeugs zum Material kann das Biegen in zwei Grundgruppen unterteilt werden:

- **Biegen auf der Biegepresse** - das Material wird in einer Biegeform, einer Biegemaschine, gebogen, deren beweglicher Teil lineare Bewegungen ausführt.
- **Biegen auf Biegerollen** - als Werkzeug werden die Rollen verwendet, die eine Drehbewegung ausführen.

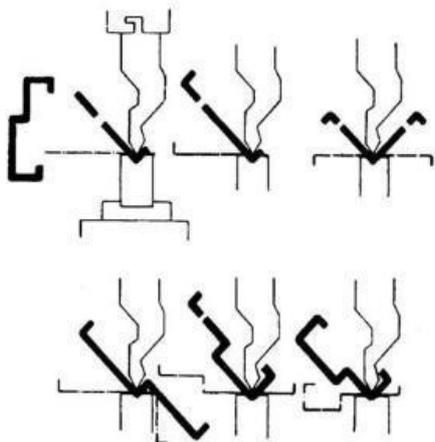
5.2.1. Biegen auf Biegepressen

Biegen - die Richtung der Bewegung des beweglichen Teils ist die gleiche wie die Richtung der Achse des Winkels, der durch die Schulter des gebogenen Objekts gebildet wird, die Biegelinie ist normalerweise kürzer als die Biegeschulter - Abbildung 7.



Stempel, 2. Matrize, 3. Auswerfer, 4. Biegepresse

Bremsbiegen - der Prozess der Herstellung verschiedener Profile durch progressives Biegen. Die Biegelinie ist in der Regel länger als die Biegeschultern - Abbildung 8.



Walzenbiegen - es wird Druck auf das Material ausgeübt, was zu einer Bewegung des Blechs auf der gekrümmten Oberfläche der starren Backe führt. Die resultierende Form kann somit mit verschiedenen Werkzeugen mit unterschiedlicher Wirkung auf das Material erreicht werden - Abbildung 9.

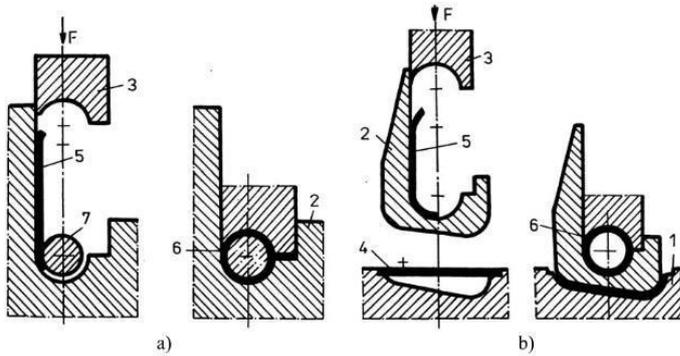


Abbildung 9 Walzenbiegen

1,2 - Matrize, 3 - Stempel, 4,5,6, - gebogenes Pressen, 7 - Dorn

Eindeckrahmen - wird zur Verstärkung der Kanten der Presse oder zur Vorbereitung einer Verbindung verwendet.

Kleben - Einwirken auf vorgeformte gebogene Flansche erzeugt eine starre Verbindung.

5.2.2. Biegen auf Rollen

Bei dieser Art von Biegen ändert sich der Punkt der plastischen Verformung allmählich. Anhand der Position der Biegeebene zu den Walzenachsen unterscheiden wir die folgenden Verfahren (siehe Abbildungen 10 und 11):

- **Querwalzen** - die Biegeebene liegt senkrecht zur Walzenachse.
- **Längswalzen** - die Biegeebene durchläuft die Achsen von zwei Walzen mit einem bestimmten Profil.

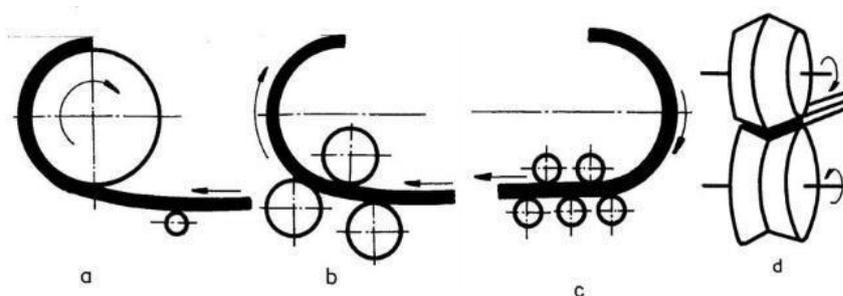


Abbildung 10 Walzenbiegen

a - Wickeln, b - Walzenbiegen, c - Richten, d - Längswalzen

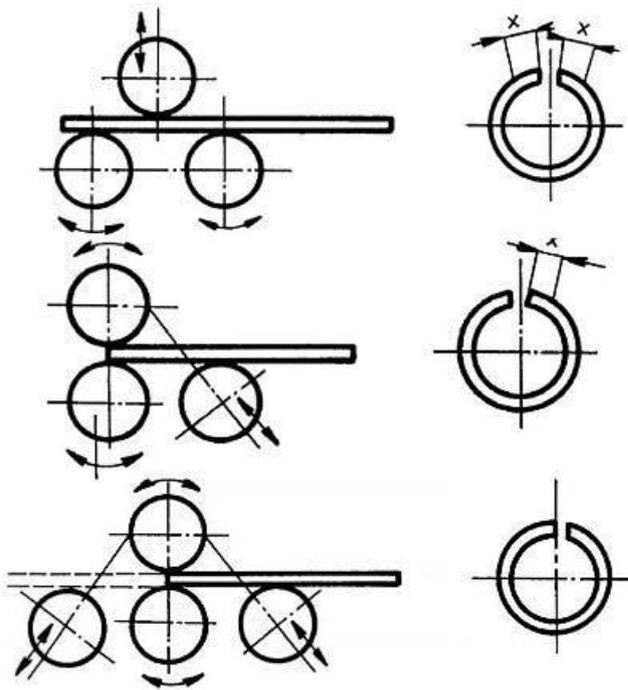


Bild 11 Walzenbiegemaschinen

Dreirollen symmetrisch, 2. Dreirollen asymmetrisch, 3. Vierrollen symmetrisch, 3.

5.3. Zeichnung - Klassifizierung und Prinzip

Das Zeichnen ist ein technologischer Prozess, bei dem aus einem Blech ein räumlicher (Hohl-)Körper einer einfachen oder komplexen Form erzeugt wird. Das nach der Zeichnung hergestellte Produkt wird als gezogenes Produkt bezeichnet. Das gezogene Produkt kann für einen oder mehrere Arbeitsgänge (je nach Größe und Form) hergestellt werden. Die Verformung eines planaren Objekts in einen Hohlkörper erfolgt in Ziehmaschinen / Ziehwerkzeug, bestehend aus Ziehstempel, Ziehmatrize, Rohling (Abbildung 12).

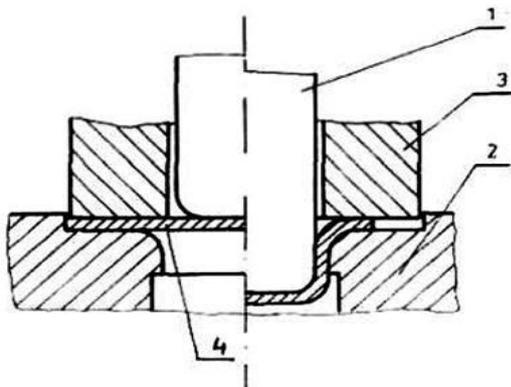


Abb. 12 Ziehmaschine

1. Ziehstempel, 2. Ziehmatrize, 3. Blechhalter, 4. gezogenes Blech

Das Ziehen ist ein häufig angewandtes technologisches Verfahren zur Herstellung von Bauteilen mit komplexer Form, starr, mit minimalem Gewicht. Es ist ein sehr produktiver Prozess.

Das Ziehen wird zur Herstellung von Komponenten verwendet, die in allen Bereichen des menschlichen Lebens verwendet werden, z.B. Küchenbehälter aus Metall, Verpackungen für Kühlschränke, Waschmaschinen, Öfen. In der Automobilindustrie wird es für die Herstellung aller Passagiere und Karosserieteile verwendet. Die Zeichnung als technologische Operation wird für die Herstellung von Teilen von Flugzeugen, Schiffen, Spielzeug, Lebensmittelindustrie, Elektrotechnik usw. verwendet.

Ziehmaschinen haben ein spezifisches Design. Gezogenes Blech muss gehalten werden, daher muss die Maschine über zwei Führungsblöcke verfügen - Zeichnen und Halten.

Klassifizierung der Zeichnung

- gewöhnliche Zeichnung
- Dünnwand-Zeichnung
- Umkehrziehen
- Sicken (Erhöhung der Steifigkeit des Objekts durch Zeichnen flacher Vertiefungen)
- Dehnen (Naben bilden oder zylindrische Wände für Gewinde)
- Erweiterung (Vergrößerung des Umfangs)
- Einschnürung (Reduzierung des Umfangs)
- Strecken mit einem Ziehwerkzeug (Formen einfacher Produkte größerer Abmessungen aus Blech, das an den Enden eingespannt ist. Das Blech wird durch die Bewegung eines Stempels gedehnt).

5.4. Spinnen und Extrudieren - Klassifizierung und Prinzip

Das Spinnen, manchmal auch Metallspinnen oder Drehen genannt, ist ein Umformprozess, bei dem sich ein Blech um die Drehachse dreht und durch Einwirkung des Spinnwerkzeugs von der Mitte zum Rand des rotierenden Halbzeugs bewegt wird. Das Produkt wird als Druckguss bezeichnet. Das Metalldrücken ist eine kombinierte Biegung mit Verformung unter Rotation. Das Biegen unter Rotation mit zusätzlichem Druck auf ein kleines Volumen erzeugt eine lokale plastische Verformung und erhöht die Verformbarkeit.

Obwohl das Tiefziehen ein anspruchsvolles Verfahren ist, ist das Spinnen aufgrund seiner Vorteile und Flexibilität ein geeignetes technologisches Produktionsverfahren. Aufgrund der Möglichkeit, in der Serienproduktion eingesetzt zu werden, ist das Spinnen bei kleinen und mittleren Unternehmen wirtschaftlicher - Abbildung 13.

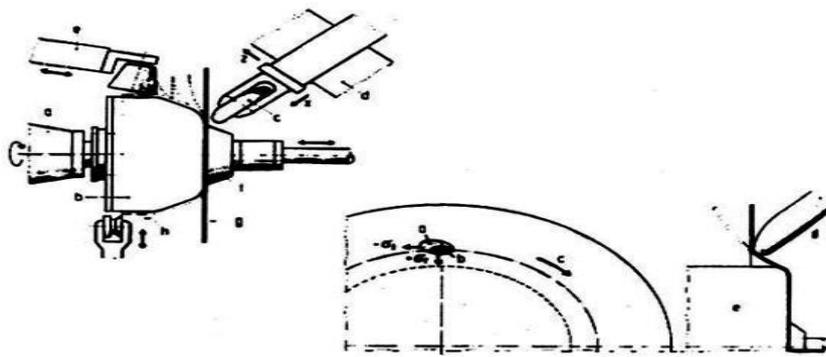


Abbildung 13 Spinnen mit mehr Spinnvorgängen

Die Materialverformung beim Spinnen ergibt sich aus dem Verhältnis von Clipping D_0 zum Innendurchmesser der Presse d und wird berechnet als $K=D_0/d$

Die folgenden Arbeitsschritte werden bei der Herstellung von Containern angewendet:

- **Drehen**, das eine planare Scheibe in einen hohlen Behälter verwandelt. Ein Teil davon ist nur verjüngt oder verbreitert.
- **Dickenreduzierung beim Spinnen:** Das Ausgangshalbfabrikat ist ein gezogenes Produkt oder ein durch Metallspinnvlies hergestelltes Produkt.
- **Walzenpolieren von Fertigprodukten durch Mehroperationszeichnung.**
- **Beschnitt**
- **Flashing** (zur Erhöhung der Steifigkeit) und zur Verstärkung der Kanten beim Pressen.

Die Extrusion ist eine grundlegende Operation der Massenumformung und wird zur Herstellung der komplexesten Formen eingesetzt. Im Maschinenbau wird in der Regel die Kaltfließpresstechnik eingesetzt. Die resultierende Form des Bauteils wird mit einem Werkzeug hergestellt, das aus einer Matrize und einem Stempel besteht.

Die für den auf das Metall wirkenden Extruder erforderliche Formkraft wird durch Strangpressen erzeugt. Das geformte Produkt wird bei einer normalen Temperatur der Umgebung verarbeitet. Dies wird als Kaltextrusion bezeichnet. Während des Extrusionsprozesses wird jedoch durch den hohen Druck bei hoher Geschwindigkeit Wärme im Bauteil erzeugt (bis zu 200°C). Trotz dieser Temperatur, die unter der Rekristallisationstemperatur liegt, wird dies als Kaltumformung bezeichnet. Es erhöht die Härte und Steifigkeit des geformten Metalls, während die Duktilität abnimmt.

Die Extrusion kann zu einer hohen plastischen Verformung führen, ohne die Integrität des Materials zu beeinträchtigen, obwohl die Extrusion unter Spannung mit vorherrschender Druckbelastung erfolgt.

Grundlegende Extrusionsmethoden:

Rückwärtsextrusion

Beim Rückwärtsstrangpressen fließt das Material entgegen der Richtung der Stempelbewegung. Das Halbzeug füllt zunächst den unteren Hohlraum der Matrize. Der Boden ist entweder geschlossen oder mit einem Auswerfer darin. Der Stempel dringt in das Produkt ein und erzeugt einen Hohlraum

mit einer gewünschten Bodendicke. Das überschüssige Material fließt durch den Spalt zwischen einem Stempel und einer Matrize. Die Rückwärtsextrusion wird zur Herstellung von Behältern und Gehäusen (Shells) eingesetzt.

Vorwärtsextrusion

Beim Vorstrangpressen wird das Halbzeug in eine Matrize eingeführt und in Richtung der Stempelbewegung geschoben. Der Stempel schließt die Öffnung in seiner Bewegung in die Matrize und das Material fließt in Richtung der Stempelbewegung. Die resultierende Form des Produkts wird durch die Form der Matrize und die Tiefe, in die der Stempel in die Matrize eindringt, bestimmt. Dieses Verfahren wird zur Herstellung der Produkte mit einem nicht festen Querschnitt verwendet Abbildung 14.

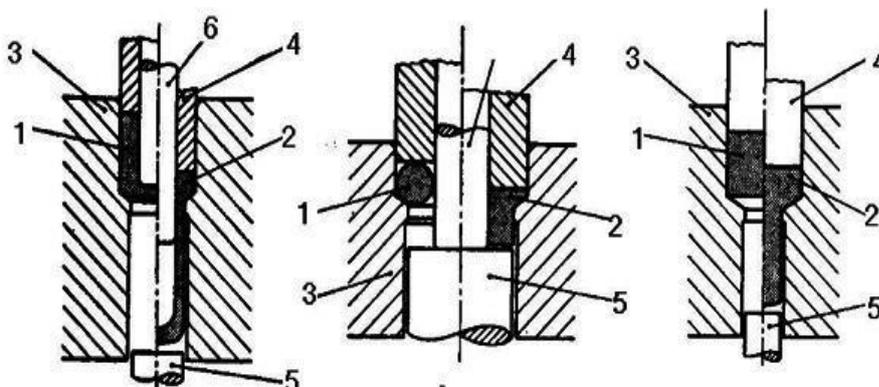


Abbildung 14 Vorwärtsextrusion

Ausgangsprodukt, 2. resultierende Produktform, 3. Matrize, 4. Stempel, 5. Auswerfer, 6. Dorn

Kombinierte Extrusion

Die kombinierte Extrusion ist eine Kombination aus Vorwärts- und Rückwärtsextrusion. Das Material bewegt sich sowohl in als auch entgegen der Bewegungsrichtung des Stempels. Die Verformung an der Unterseite der Matrize muss kleiner sein als im oberen Teil, der vom Stempel extrudiert wird, sonst würde der Boden nicht mit dem Material gefüllt.

Seitenextrusion

Die Seitenextrusion erfolgt in einer geteilten Düse, so dass es möglich ist, das Produkt aus der Düse zu entnehmen. Durch die von Ober- und Unterstempel entwickelte Presse dringt das Material in den Spalt senkrecht zur Wirkrichtung des Stempels ein. Dieses Verfahren wird zur Herstellung der Komponenten mit Vorsprüngen um den Produktumfang verwendet.

Sinken

Das Senken wird zur Herstellung von funktionellen Werkzeugkavitäten verwendet, um den Hohlraum herzustellen und seine Lebensdauer zu erhöhen. Es wird am häufigsten für die Herstellung von Prägewerkzeugen verwendet.

5.5. Freiformschmieden, Gesenkschmieden, Hammerschmieden, Pressenschmieden

Das Freiformschmieden ist eine technologische Operation, bei der versucht wird, ein Halbzeug zu wechseln, um die erforderlichen Abmessungen und Formen zu erreichen.

Die Freischmiedearbeiten gliedern sich in **Hand- und Maschinenschmieden**. Das manuelle Schmieden erfolgt auf dem Amboss mit handgeschmiedeten Werkzeugen. Das Material wird in einer Schmiede oder in kleineren Öfen erwärmt. Das Handschmieden wird heute kaum noch eingesetzt (nur noch für kleine Reparaturen und künstlerisches Schmieden). Das maschinelle Schmieden erfolgt mit Hämmern oder Pressen.

Für das Freischmieden werden Hämmer verwendet. Für Schmiedeprodukte mit höherem Stößelgewicht werden hydraulische Pressen eingesetzt. Als Halbprodukt wird ein gewalztes Material oder ein Block verwendet.

Der technologische Prozess der Herstellung von Schmiedeteilen durch Freiformschmieden ist sehr variabel und oft sehr komplex. Es umfasst eine Reihe von kombinierten Schmiedeoperationen. Die grundlegenden Freischmiedeoperationen umfassen: Stampfen, Verjüngung, Treten, Offset-Schmieden, Stanzen, Schneiden und Biegen.

Rammen - es bezieht sich auf die Kompression des geformten Materials bei gleichzeitiger Verringerung seiner Höhe und Vergrößerung des Querschnitts senkrecht zur Richtung der Kompression (Abbildung 15).

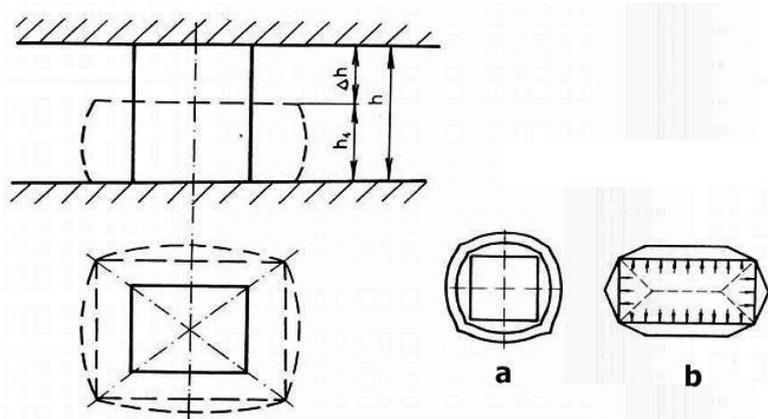


Bild 15 Freies Schmieden - Stampfen und Querschnittsänderung beim Stampfen
 a - quadratischer Querschnitt, b - rechteckiger Querschnitt

Verjüngung - es handelt sich um einen Schmiedevorgang, bei dem die Länge des Halbzeugs vergrößert und gleichzeitig der Querschnitt verringert wird.

Schritt - ist ein Schmiedevorgang, bei dem ein plötzlicher Übergang eines Teils des Schmiedens in ein anderes Teil bei gleichzeitiger Änderung des Querschnitts erzeugt wird. Zum Einziehen werden flache oder geformte Stempel verwendet.

Offset-Schmieden - es ist ein Vorgang, bei dem ein Teil des Schmiedens entweder in einer oder zwei Ebenen gegeneinander versetzt wird.

Stanzen - ist ein Schmiedevorgang, bei dem durch das Einpressen eines Dorns in ein Halbzeug ein Loch erzeugt wird. Der Querschnitt des Stempels (Dorns) entspricht der gewünschten Form der Bohrung. Der Stempel kann voll oder hohl sein.

Schneiden - ist ein Schmiedevorgang, der das halbfertige Produkt in zwei Teile trennt oder das überschüssige Material vom Schmieden trennt. Das Schneidwerkzeug (Fräser) wird in das Material gedrückt und bewirkt so eine Trennung des Materials. Der Meißel kann gerade oder geformt sein.

Biegen - beim Freiformschmieden wird das Biegen in Stempeln oder durch Einklemmen des Produkts zwischen den Stempeln durchgeführt und das freie Ende wird mit einem Kran, Hebel oder einer Kette gebogen.

5.5.1. Freischmiedemaschinen

In Industrieanlagen werden am häufigsten Maschinen zum Freischmieden eingesetzt, wie z.B. Drucklufthammer, Dampfhammer und hydraulische Schmiedepressen.

Das Gesenkschmieden zeichnet sich durch einen gerichteten Metallfluss in einem zweiseitigen Gesenkhohlraum aus. Das Ausgangsprodukt wird in den unteren Teil der Matrize eingeführt. Aufgrund der Energie der Umformmaschine bewegt sich ein Matrizenteil gegen das andere und das Material füllt den Matrizenhohlraum. Wenn der Hohlraum gefüllt ist, wird die Matrize geschlossen und das Material in die gewünschte Form gebracht.

Matrizen für das Schmieden:

- Öffnen Sie mit einem Spalt zwischen dem oberen und unteren Teil in der Trennebene (mit einer Blindnut entlang des Umfangs des Hohlraums).
- Geschlossen ohne Anschlussnut, entspricht das Volumen des Ausgangsmaterials dem Volumen des Schmiedeteils.

Die Füllung des Hohlraums wird durch die Geschwindigkeit der Verformung in Abhängigkeit vom Typ des verwendeten Werkzeugs beeinflusst. Die Schlagwirkung von Hämmern bewirkt eine hohe Geschwindigkeit des Materialflusses in Richtung des Aufpralls und die statische Kraft der Presse bewirkt eine bessere Füllung der Hohlräume in Richtung senkrecht zur Kraft. Diese Unterschiede beeinflussen die Wahl der Umformmaschine und des Schmiedevorgangs für ein bestimmtes Bauteil (Abbildung 16).

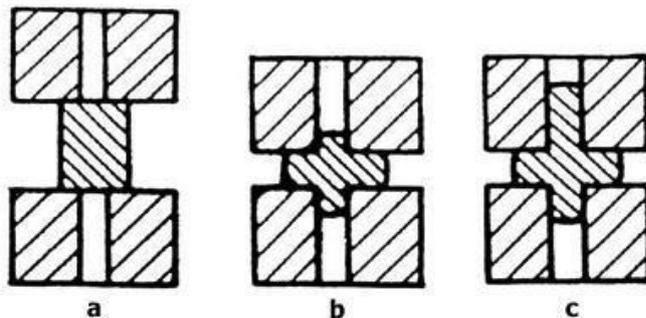


Abbildung 16 Füllen des Matrizenhohlraums
Vor der Umformung b- Pressschmieden, c- Hammerschmieden

Die Blindnut wird zum Auffangen des überschüssigen Materials und zur Regelung der Presse im Hohlraum verwendet. Wenn der Hohlraum gefüllt ist, wird das überschüssige Material in die Anschlussnut geschoben. Die Menge des Metalls (Flashen) hängt von der Menge des Metalls in der Kavität und von der Beziehung zwischen dem Längsschnitt des Hohlraums und dem Rohling ab. Dies bestimmt den Charakter der Hohlraumfüllung.

Beim Füllen des Hohlraums durch Hämmern ist der Eindeckrahmen kleiner als beim Ab-senken (Bild 17).

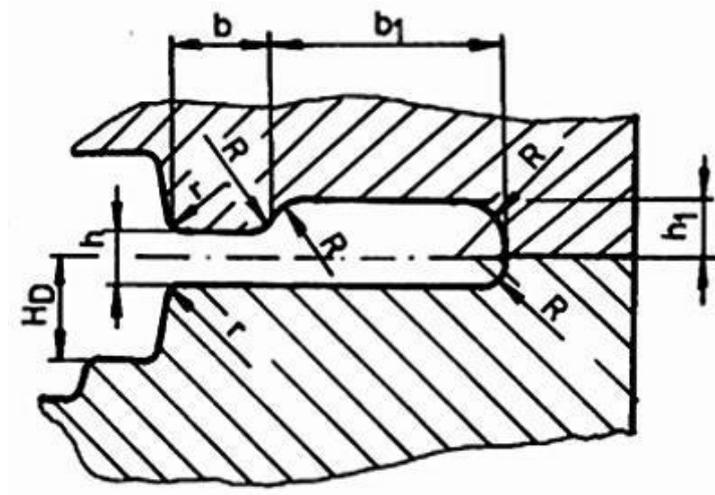


Abbildung 17 Blindnut

5.6. Walzen - Klassifizierung und Prinzip

Das Walzen im Maschinenbau wird zur Herstellung von flachen Rohlingen und fertigen Schmiedeteilen mit wiederholtem Querschnitt (z.B. schwarze Werkzeuge, Ringe mit verschiedenen Durchmessern, etc.) eingesetzt.

Walzen von Ringen

Ringe mit großem Durchmesser werden durch lose Umformung auf dem Dorn oder durch Walzen

hergestellt. Die Walztechnologie für Ringe wird in der Warm- und Kaltumformung eingesetzt. Diese Technologie eignet sich für die Massenproduktion und Serienproduktion, da die Kosten für Einzweckwalzen hoch sind (Bild 18).

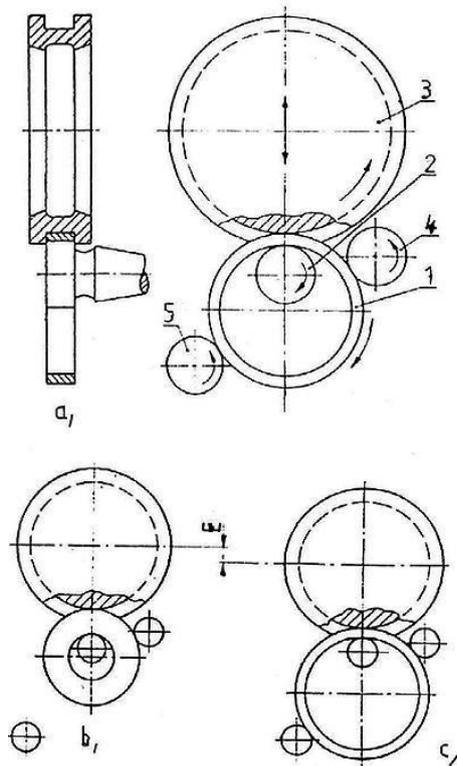


Abbildung 18 Walzen von Ringen

Das Ausgangsmaterial ist ein Rohr oder Knüppel, der gehämmert, gesenkgeschmiedet, gestanz und anschließend gewalzt wird. Der Ring wird dann auf den Stützzylinder (2) gelegt und über den Vorschubzylinder (3) wird das Material bei gleichzeitiger Drehung geschoben und reduziert. Die Ringführung wird durch die Zylinder (2, 4 und 5) gesichert. Wenn die erforderlichen Parameter erreicht sind, stoppt der Steuerzylinder (5) den Zylinderhub (3). Das Walzen wird zur Herstellung von Ringen mit einem Durchmesser von 2500 mm verwendet.

Vorteile dieser Technologie:

Die Bearbeitungszugaben sind geringer und damit der Materialverbrauch reduziert, die Bearbeitungszeit kürzer und der Verbrauch von Energie und Werkzeugen geringer. Erhöht die Tragfähigkeit von Lagern und anderem (um fast 40 %).