**Kľúčové pojmy**

* **Tvárnenie**: Proces, pri ktorom sa tvar a rozmery materiálu menia pôsobením vonkajších síl bez odstraňovania materiálu.
* **Plastická deformácia**: Trvalá zmena tvaru materiálu pod vplyvom vonkajších síl.
* **Objemové tvárnenie**: Zmena tvaru a rozmerov materiálu s podstatnou zmenou hrúbky.
* **Plošné tvárnenie**: Zmena tvaru a rozmerov materiálu bez podstatnej zmeny hrúbky.

**Typy tvárnenia**

1. **Objemové tvárnenie**
   * Ubíjanie a nabíjanie
   * Pretláčanie
   * Ťahanie (objemové)
   * Rotačné kovanie
   * Radiálne lisovanie
2. **Plošné tvárnenie**
   * Ťahanie
   * Tlačenie
   * Strihanie
   * Ohýbanie

**Detailné vysvetlenie jednotlivých procesov**

**Objemové tvárnenie**

**Ubíjanie a nabíjanie**

* **Ubíjanie**: Proces, pri ktorom sa materiál opakovane udiera, čím sa koncentruje a spevňuje. Príkladom je výroba matice.
* **Nabíjanie**: Podobné ako ubíjanie, ale používa sa viac úderov na postupné tvarovanie materiálu. Príkladom je výroba nitu alebo skrutky.

**Pretláčanie**

* **Dopredné pretláčanie**: Polotovar sa tlačí dopredu cez pretlačnicu pomocou pretlačníka. Výsledkom sú dlhé a tenké tvary.
  + **Príklad**: Výroba kovových rúr alebo drôtov.
* **Spätné pretláčanie**: Polotovar sa tlačí späť, čím sa vytvárajú duté tvary.
  + **Príklad**: Výroba nábojov pre kolesá.
* **Združené pretláčanie**: Kombinácia dopredného a spätného pretláčania, čo umožňuje vytváranie zložitejších tvarov.
  + **Príklad**: Výroba komplexných kovových súčiastok.
* **Stranové pretláčanie**: Polotovar sa tlačí do strany, čím sa formujú asymetrické tvary.
  + **Príklad**: Výroba niektorých automobilových dielov.
* **Vtláčanie**: Používa sa na vytváranie detailov na povrchu materiálu pomocou špeciálnych nástrojov.
  + **Príklad**: Výroba mincí alebo medailí.

**Ťahanie (objemové)**

* **Ťahanie**: Proces, pri ktorom sa materiál ťahá cez prievlak, čím sa vytvárajú valcové alebo duté tvary.
  + **Jednoduché ťahanie**: Ťahanie materiálu bez ďalších síl.
    - **Príklad**: Výroba valcových kovových tyčí.
  + **Ťahanie s protiťahom**: Používa sa protitahová sila na udržanie tvaru.
    - **Príklad**: Výroba tenkostenných rúrok.
  + **Stupňovité ťahanie**: Polotovar sa postupne ťahá cez viacero prievlakov.
    - **Príklad**: Výroba komplexných kovových profilov.

**Rotačné kovanie**

* **Rotačné kovanie**: Používa rotujúcu hlavu a zápustku na vytváranie tvarov prostredníctvom kovaním.
  + **Príklad**: Výroba kolesových ráfikov.

**Radiálne lisovanie**

* **Radiálne lisovanie**: Proces, kde sa materiál postupne lisuje radiálne pomocou špeciálnych lisovacích nástrojov.
  + **Príklad**: Výroba ozubených kolies.

**Plošné tvárnenie**

**Ťahanie**

* **Ťahanie**: Proces, pri ktorom sa plech tiahne cez formu do požadovaného tvaru.
  + **Ťahanie valcového výtvarku**: Polotovar sa tiahne cez formu, pričom sa používa pridržiavač na udržanie tvaru a zamedzenie tvorby vĺn.
    - **Príklad**: Výroba hlbokých plechových misiek.

**Tlačenie**

* **Tlačenie**: Proces, pri ktorom sa plech tvaruje pomocou lisovacích nástrojov.
  + **Konvenčné tlačenie**: Plech sa tvaruje bez zmeny hrúbky.
    - **Príklad**: Výroba kovových diskov.
  + **Tlačenie sklzom (šmykom)**: Tvarovanie plechu pomocou šmykových síl.
    - **Príklad**: Výroba kužeľových tvarov.
  + **Tlačenie rotačných polotovarov**: Tvarovanie valcových alebo rotačných tvarov.
    - **Príklad**: Výroba rúrok a valcov.

**Strihanie**

* **Strihanie**: Proces, pri ktorom sa materiál oddeľuje pomocou špeciálnych strihacích nástrojov.
  + **Jemné strihanie**: Presné oddelenie materiálu.
    - **Príklad**: Výroba jemných kovových súčiastok.
  + **Hrubé strihanie**: Hrubé delenie materiálu.
    - **Príklad**: Predpríprava kovových plechov na ďalšie spracovanie.

**Ohýbanie**

* **Ohýbanie**: Proces, pri ktorom sa materiál tvaruje do požadovaného uhla alebo tvaru.
  + **Ohýbanie ručné**: Manuálna sila sa používa na ohýbanie materiálu.
    - **Príklad**: Malé opravy kovových dielov.
  + **Ohýbanie na lisoch**: Používajú sa lisy na vytvorenie ohybov.
    - **Príklad**: Výroba kovových konzol.
  + **Ohýbanie na valcoch**: Valce tvarujú materiál do zakriveného tvaru.
    - **Príklad**: Výroba kovových rúr.

**Dôležité vzorce a parametre**

* **Ťahová medzera**:

𝑡=𝑑−(𝑑𝑘𝑐)*t*=*d*−(*kcd*​)

kde 𝑑*d* je priemer prievlaku, 𝑘𝑐*kc* je koeficient ťahania.

* **Polomer ohybu**:

𝑟=𝐸𝑠2𝜖𝑚𝑎𝑥*r*=2*ϵmax*​*Es*​

kde 𝑟*r* je polomer ohybu, 𝐸*E* je modul pružnosti, 𝑠*s* je hrúbka materiálu, 𝜖𝑚𝑎𝑥*ϵmax*​ je maximálne napätie.

* **Stupeň ťahania**:

𝑚=𝐷𝑑*m*=*dD*​

kde 𝐷*D* je počiatočný priemer polotovaru, 𝑑*d* je finálny priemer výtvaroku.

**Tvárnenie podľa teploty a typu**

**Tvárnenie za studena**

**Plošné tvárnenie za studena**

* **Ťahanie za studena**: Polotovary sa ťahajú cez prievlaky, čím sa zmenšuje hrúbka plechu.
  + **Príklad**: Výroba plechových misiek alebo hlbokých plechových dielov.
* **Lisovanie za studena**: Používa sa na tvorbu jemných detailov na plechu.
  + **Príklad**: Výroba automobilových dielov.
* **Strihanie za studena**: Presné delenie plechu pomocou strihacích nástrojov.
  + **Príklad**: Výroba výsekových dielov.
* **Ohýbanie za studena**: Ručné alebo strojové ohýbanie plechu.
  + **Príklad**: Výroba kovových konzol.

**Objemové tvárnenie za studena**

* **Rotačné kovanie za studena**: Výroba zložitých tvarov pomocou rotačného pohybu.
  + **Príklad**: Výroba kolesových ráfikov.
* **Ťahanie drôtov**: Polotovary sa ťahajú cez postupne menšie prievlaky.
  + **Príklad**: Výroba kovových drôtov.
* **Objemové lisovanie za studena**: Výroba dielov pomocou tlaku a úderov.
  + **Príklad**: Výroba kovových spojok.

**Tvárnenie za tepla**

**Plošné tvárnenie za tepla**

* **Valcovanie za tepla**: Zmenšovanie hrúbky a tvarovanie plechov pri vysokej teplote.
  + **Príklad**: Výroba oceľových plechov.
* **Ohýbanie za tepla**: Ohýbanie plechu pri vysokej teplote pre dosiahnutie požadovaných tvarov.
  + **Príklad**: Výroba ohýbaných profilov.

**Objemové tvárnenie za tepla**

* **Kovanie za tepla**: Tvarovanie kovov údermi alebo tlakom pri vysokej teplote.
  + **Príklad**: Výroba nástrojov a zbraní.
* **Extrudovanie za tepla**: Tvorba dlhých prútov a profilov tlačením materiálu cez tvarovaciu formu pri vysokej teplote.
  + **Príklad**: Výroba hliníkových profilov.
* **Ťahanie rúr za tepla**: Tvorba dlhých dutých tvarov.
  + **Príklad**: Výroba veľkých kovových rúr.

**Tvárnenie za polotepla**

**Plošné tvárnenie za polotepla**

* **Poloteplé valcovanie**: Kombinácia výhod valcovania za studena a tepla.
  + **Príklad**: Výroba plechových výrobkov s lepšími mechanickými vlastnosťami.
* **Poloteplé lisovanie**: Tvarovanie plechu pri mierne zvýšených teplotách.
  + **Príklad**: Výroba plechových dielov so zložitými tvarmi.

**Objemové tvárnenie za polotepla**

* **Poloteplé ťahanie**: Znižovanie hrúbky a tvarovanie materiálu pri mierne zvýšených teplotách.
  + **Príklad**: Výroba kovových profilov s vyššou presnosťou a lepšími vlastnosťami.
* **Poloteplé extrudovanie**: Tvorba tvarov pri teplotách nižších ako pri typickom extrudovaní za tepla.
  + **Príklad**: Výroba komplexných hliníkových profilov.

**Prehľadné rozdelenie typov tvárnenia podľa teploty a typu:**

| **Typ tvárnenia** | **Plošné procesy** | **Objemové procesy** | **Výhody** | **Nevýhody** |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Za studena** | Ťahanie plechov, lisovanie, strihanie, ohýbanie | Rotačné kovanie, ťahanie drôtov, objemové lisovanie | Vysoká pevnosť a presnosť, hladký povrch | Obmedzená tvárnosť, vyššie náklady na náradie |
| **Za tepla** | Valcovanie, ohýbanie | Kovanie, extrudovanie, ťahanie rúr | Vysoká tvárnosť, možnosť tvarovania veľkých dielov | Nižšia presnosť, drsnejší povrch, vyššie energetické náklady |
| **Za polotepla** | Poloteplé valcovanie, poloteplé lisovanie | Poloteplé ťahanie, poloteplé extrudovanie | Kombinácia výhod tvárnenia za studena a tepla | Kompromis medzi výhodami a nevýhodami, možné vyššie náklady na náradie a energiu |

**1. Materiály a ich vlastnosti**

**Mechanické vlastnosti materiálov:**

* **Pevnosť**: Maximálne napätie, ktoré materiál vydrží pred zlyhaním.
* **Tvárnosť**: Schopnosť materiálu podstúpiť plastickú deformáciu bez praskania.
* **Tvrdosť**: Odolnosť materiálu proti povrchovému opotrebeniu.
* **Tuhosť**: Odolnosť materiálu proti elastickej deformácii.

**2. Teória plastickej deformácie**

**Základné princípy:**

* **Hookov zákon**: Popisuje elastickú deformáciu, kde napätie je priamo úmerné deformácii.
* **Teória plasticity**: Popisuje správanie materiálov po prekročení medze pružnosti a prechod do plastickej deformácie.

**Napätie a deformácia:**

* **Napätie (σ)**: Sila pôsobiaca na jednotku plochy (σ = F/A).
* **Deformácia (ε)**: Zmena rozmerov materiálu v dôsledku pôsobenia napätia (ε = ΔL/L).

**3. Teplotné efekty**

* **Rekryštalizácia**: Proces, pri ktorom sa obnovujú zrnité štruktúry materiálu po deformácii.
* **Kalorimetria**: Meranie tepla a štúdium teplotných efektov počas tvárnenia.
* **Teplotné závislosti mechanických vlastností**: Ako teplota ovplyvňuje pevnosť, tvárnosť a ďalšie vlastnosti materiálov.

**4. Špecifické procesy tvárnenia**

**Plošné tvárnenie**

**Ťahanie**

* **Princípy ťahania plechov**: Polotovar sa ťahá cez formu pomocou ťažníka a pridržiavača.
* **Defekty pri ťahaní**: Vlnitosť, trhliny, nejednotné hrúbky.

**Strihanie**

* **Jemné strihanie**: Vysokopresné delenie plechov.
* **Hrubé strihanie**: Používa sa na prípravu polotovarov.

**Ohýbanie**

* **Základné typy ohýbania**: U-ohýbanie, V-ohýbanie, ohýbanie na valcoch.
* **Odpruženie pri ohýbaní**: Elastický návrat materiálu po uvoľnení sily.

**Objemové tvárnenie**

**Kovanie**

* **Ručné kovanie**: Tradičný proces pomocou kladiva a nákova.
* **Strojové kovanie**: Používa mechanické alebo hydraulické kladivá.

**Extrudovanie**

* **Priame extrudovanie**: Materiál sa tlačí priamo cez tvarovaciu formu.
* **Nepriame extrudovanie**: Forma sa pohybuje voči materiálu, čo znižuje trenie.

**5. Nástroje a vybavenie**

* **Formy a prievlaky**: Používajú sa na tvarovanie materiálu.
* **Lisovacie stroje**: Mechanické, hydraulické a pneumatické lisy.
* **Valcovacie stroje**: Valce na zmenšovanie hrúbky plechov alebo pásov.

**6. Kontrola kvality**

* **NDT (Nedestruktívne testovanie)**: Metódy ako ultrazvuk, röntgen, magnetická rezonančná spektroskopia na kontrolu kvality bez poškodenia materiálu.
* **Destruktívne testovanie**: Zlomenie, ťahanie, tvrdosť, aby sa zistili mechanické vlastnosti materiálu.

**7. Príklady z praxe a aplikácie**

* **Automobilový priemysel**: Tvárnenie dielov karosérií, rámov a iných súčiastok.
* **Letecký priemysel**: Tvorba ľahkých a pevných konštrukčných prvkov.
* **Strojárstvo**: Výroba komponentov pre stroje a zariadenia.

**8. Výhody a nevýhody jednotlivých metód**

* **Výhody**: Vyššia pevnosť, lepšia kvalita povrchu, presnosť tvaru.
* **Nevýhody**: Vyššie náklady na vybavenie, potreba presného nastavenia, vyššie energetické náklady pri tvárnení za tepla.

### Polotovary na tvárnenie

* 1. **Ingoty:**
     + **Opis:** Ingoty sú odliatky s hmotnosťou od 0,1 až 300 ton, s rôznymi prierezmi, ako sú štvorhranné, obdĺžnikové, kruhové alebo mnohouholníkové.
     + **Použitie:** Používajú sa ako východiskový materiál pre ďalšie tvárnenie, ako je valcovanie alebo kovanie.
  2. **Predvalky:**
     + **Opis:** Predvalky sú polotovary vyrobené z ingotov valcovaním za tepla. Majú po celej dĺžke konštantný prierez.
     + **Použitie:** Používajú sa na ďalšie spracovanie, ako je valcovanie na menšie prierezy alebo ďalšie tvárniace operácie.
  3. **Vývalky:**
     + **Opis:** Vývalky sú polotovary vyrobené valcovaním za tepla. Môžu mať rôzne tvary a prierezy, ako sú tyče, pásky, plechy a drôty.
     + **Použitie:** Používajú sa ako polotovary pri výrobe výtvarkov voľným alebo zápustkovým kovaním, pretláčaním a podobne.
  4. **Predkovky:**
     + **Opis:** Predkovky sú polovýrobky vyrobené z vývalkov, ktoré majú približne tvar finálnych výrobkov. Vyrábajú sa voľným kovaním, zápustkovým kovaním a valcovaním na kovačských valcoch.
     + **Použitie:** Používajú sa na ďalšie spracovanie a dokončovanie do finálnych tvarov.

### Typy tvárniacich procesov podľa tepelného efektu

* 1. **Izotermické tvárnenie:**
     + **Opis:** Pri izotermickom tvárnení všetko teplo, ktoré sa vyvinie počas procesu, sa odvádza do okolia. Teplota tvárnených materiálov sa nemení, pretože deformácia je dostatočne pomalá, aby sa teplo mohlo odovzdať do okolia.
     + **Použitie:** Typické pre procesy, kde je potrebná stála teplota a kde teplo produkované pri tvárnení neovplyvňuje materiál.
  2. **Adiabatické tvárnenie:**
     + **Opis:** Pri adiabatickom tvárnení všetko teplo, ktoré sa vyvinie počas procesu, zostáva v materiáli a spotrebuje sa na zvýšenie jeho teploty. Proces je veľmi rýchly, takže teplo nemá čas sa odviesť do okolia.
     + **Použitie:** Používa sa pri veľmi rýchlych tvárniacich operáciách, kde sa teplota materiálu výrazne zvyšuje v dôsledku rýchlosti procesu.
  3. **Polytropické tvárnenie:**
     + **Opis:** Pri polytropickom tvárnení časť tepla, ktoré sa vyvinie počas procesu, sa odvádza do okolia a časť zostáva v materiáli a spotrebuje sa na zvýšenie jeho teploty. Tento typ tvárnenia je charakteristický pre vysokorýchlostné tvárnenie, kde sa veľké množstvo energie premení na teplo a len časť sa odvedie do okolia.
     + **Použitie:** Typické pre vysokorýchlostné tvárniace operácie, kde rýchlosť procesu generuje veľké množstvo tepla.