Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

VÁLCOVÁNÍ

(studijní opory)

učební text

prof. Ing. Ivo Schindler, CSc.
Ing. Stanislav Rusz,Ph.D.
Ing. Tomáš Kubina,Ph.D.

Ostrava 2014

POKYNY KE STUDIU

Prerekvizity

Pro studium tohoto předmětu se předpokládá úspěšné absolvování bakalářského studia příbuzného zaměření.

Cíle předmětu a výstupy z učení

Předat studentům širší teoretické znalosti o různých technologiích válcování i profilování a seznámit je detailně s českými laboratorními i provozními válcovnami ve srovnání s jinými válcovacími tratěmi ve světě.

Získané znalosti:

- student bude umět charakterizovat základní technologie válcování plochých i dlouhých výrobků (včetně trubek a ohýbaných profilů) a výrobní zařízení k tomu používaná
- student bude umět formulovat základní principy kalibrace válců pro výrobu tyčí různého průřezového tvaru

Získané dovednosti:

- student bude umět aplikovat své teoretické poznatky k návrhům optimalizace technologií válcování s cílem dosáhnout žádaného tvaru, rozměrů a vlastností vývalku
- student bude umět využít svých praktických zkušeností, nabytých v laboratorních podmínkách, k zefektivnění podmínek provozního válcování

Pro koho je předmět určen

Předmět je zařazen do magisterského studia oboru Moderní metalurgické technologie studijního programu Metalurgické inženýrství, ale může jej studovat i zájemce z kteréhokoliv jiného oboru, pokud splňuje požadované prerekvizity. Studijní opora se dělí na části, kapitoly, které odpovídají logickému děleni studované látky, ale nejsou stejně obsáhle. Předpokládaná doba ke studiu kapitoly se může výrazně lišit, proto jsou velké kapitoly děleny dále na číslované podkapitoly a těm odpovídá níže popsaná struktura.

Při studiu každé kapitoly doporučujeme následující postup:

Pečlivě si pročtěte celou kapitolu a pokuste se zapamatovat si důležité pojmy. Pro snadnější pochopení výkladu si nezapomeňte prohlédnout uvedené obrázky nebo schémata a grafy. Řešené příklady uvedené na konci kapitoly se pokuste samostatně vyřešit. V závěru každé kapitoly jsou shrnuty všechny důležité pojmy, které jste si měli osvojit. Pokud některým z nich nerozumíte, najděte si je ve výkladu kapitoly a prostudujte si je ještě jednou. Poctivě se snažte zodpovědět všechny otázky uvedené také na konci kapitoly.

Rozsah a obsahové zaměření individuálních prací studentů a způsob kontroly

- vypracování semestrálního projektu na zadané téma s využitím odborné literatury v cizím jazyku
- projekt bude zkontrolován vyučujícím do 14 dnů po odevzdání a výsledky budou studentům sděleny mailem
- absolvování zápočtového testu
- výsledky testu budou studentům sděleny po jeho absolvování

Způsob komunikace s vyučujícími:

Zásady komunikace studentů s vyučujícím budou jednoznačně objasněny v úvodu první přednášky. Případné nejasnosti tykající se výuky daného předmětu budou řešeny na konzultačních hodinách, jejichž termín bude se studenty dohodnut vždy ad hoc na příslušné přednášce.

Kontakt na přednášejícího: prof. Ivo Schindler
e-mail: ivo.schindler@vsb.cz
tel.: 596 995 215

Obsah

1. Sortiment válcovaných výrobků, základní technologie a způsoby válcování 3
1.1. Sortiment válcovaných výrobků 3
1.2. Základní technologie a způsoby válcování 5
2. Typy válcovacích stolic, dispozice a technologické vybavení válcovacích tratí 7
2.1. Typy válcovacích tratí 7
2.2. Dispozice a technologické vybavení válcovacích tratí 12
3. Teoretické aspekty podélného válcování 24
4. Výroba předvalků a návaznost válcování na plynulé odlévání 35
5. Ploché výrobky válcované za tepla a za studena 41
5.1. Tlusté plechy 41
5.2. Pásy válcované za tepla 46
5.3. Pásy válcované za studena 51
6. Predikce energosilových parametrů válcování a metody řízení rovinnosti plochého provalku 55
7. Válcování dlouhých výrobků 58
7.1. Válcování těžkých tvarových vývalků 58
7.2. Válcování hrubých, středních, jemných tvarových a tyčových vývalků 67
7.3. Válcování drátu 73
8. Kalibr – jeho druhy, části, geometrie a rozměrová charakteristika, neutrální osa kalibru. 80
9. Konstrukce základních kalibrů, charakteristika průměrů válců a životnost válců . 88
9.1. Konstrukce základních prodlužovacích kalibrů 88
9.2. Průměry válců 93
10. Styková plocha provalku se stěnami kalibru, šíření v kalibrech různého typu a životnost válce při zatížení. 99
10.1. Horní a spodní tlak 99
10.2. Umístění kalibru ve válci 100
10.3. Deformace kovu v kalibrech 102
10.4. Využití úběru pro výpočet kalibrace 105
10.5. Styková plocha 107
11. Obecné zákonitosti kalibračních řad a kalibrace tyčové oceli jednoduchých průřezových tvarů. 112
12. Základy kalibrace vybraných typů tvarových vývalků 119
13. Zakružování a tvarování plochých vývalků při výrobě ohýbaných profilů a svařovaných trubek. 128
13.1. Tenkostěnné profily 128
13.2. Technologie profilování 130
13.3. Tažení profilů 134
13.4. Lisování na ohraňovacích lisech 135
13.5. Výroba trubek se spojem v šroubovici 136
14. Metody výroby trubek 141
14.1. Druhy trubek 141
14.2. Výroba bezešvých trubek 142
14.3. Svařované trubky 156

1. Sortiment válcovaných výrobků, základní technologie a způsoby válcování

Čas ke studiu: 1 hodina

Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- Popsat sortiment válcovaných výrobků, jejich základní rozdělení do dvou skupin, popsat rozdíly mezi jednotlivými výrobky.
- Definovat základní technologie a způsoby válcování.

Výklad

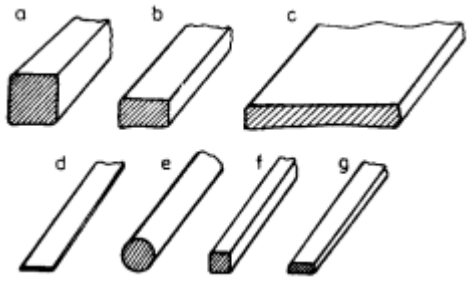
1.1. Sortiment válcovaných výrobků

Tvoří souhrn všech druhů výrobků válcoven, který se dělí do skupin podle charakteristických znaků a podle způsobů výroby. Charakteristickým znakem je profil, tedy geometrický tvar příčného, nebo hlavní určující rozměr, podle kterých definujeme výrobní rozměrový sortiment.

Podle technologie zpracování se sortiment válcoven dělí na dvě hlavní skupiny, a to na předvalky a výválky.

❑ Předvalky

Předvalky jsou výrobky předválcovacích tratí. Jsou především určené pro další zpracování na výválky ve válcovnách. Společnou charakteristikou všech výválků je jednoduchý geometrický tvar příčného průřezu (obrázek 1.1). Povolené jsou velké tvarové a rozměrové tolerance a hrubý a nerovný povrch. Při technologickým postupu válcování z ingotu se předvalky dělí na bloky, bramy, sochory a ploštiny. Plynulým odléváním můžeme nahradit válcování předvalků a přímo z tekutého kovu vyrobit polovýrobek určený na válcování výválků.

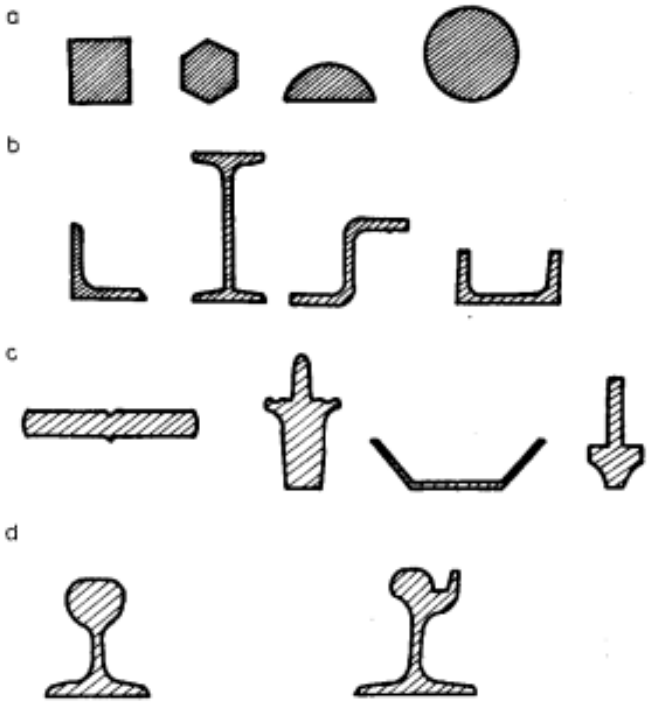


Obr. 1.1 Základní tvary předvalků – a) čtvercový blok, b) obdélníkový blok, c) brama, d) ploština, e) kruhový sochor, f) čtvercový sochor, g) plochý sochor

- **bloky** - přibližně čtvercový průřez, poměr stran do 1 : 1,4, rozsah □ > 140 mm
- **bramy** - obdélníkový průřez, poměr stran nad 1 : 1,4, v tloušťkách > 80 mm, šířkách < 2000 mm
- **sochory** - do 1 : 2, rozsah □ > 40 mm, **Ø** 90 ÷ 210 mm
- **ploštiny** – v tloušťkách 6 ÷ 36 mm, šířkách < 300 mm

❑ Výválky

Výválky jsou konečným produktem válcování. Výchozím materiálem pro výrobu výválků jsou předvalky, plynulé lité polotovary nebo ingoty. Oproti předválkům se vyznačují menší plochou průřezu, přesným tvarem a rozměrem, užšími tolerancemi, kvalitnějším povrchem a lepšími užitkovými vlastnostmi. Podle tvaru se výválky dělí na tyčové, tvarové, ploché, speciální a trubky (obr. 1.2).



Obr. 1.2 Základní typy výválků – a) tyčové, b) tvarové, c) tvarové na speciální účely, d) kolejnice

Charakteristickým znakem **tyčových výválků** je jejich jednoduchý geometrický tvar příčného průřezu. Kruhové tyče se válcují v širokém rozpětí průměrů – od 5,5 až do 210 mm. Zvláštní skupinu tvoří kruhová výztuž do betonu s podélným nebo žebrovými výstupky. Dále se vyrábějí tyče čtvercové, šestihranné, osmihranné, trojhranné, půlkruhové a další. Samostatnou skupinu tvoří **válcovaný drát** s malým průřezem jednoduchých tvarů. Nejrozmanitější skupinu co do tvarů, rozměrů a hmotností na běžný metr tvoří **tvarové výválky.**

Velmi významnou skupinu v našem hospodářství představují **ploché výválky**. Charakteristický znakem plochých výválků je jejich tloušťka a šířka. Rozdělujeme je na tlusté a tenké plechy, tlusté a tenké pásy válcované za tepla, pásy válcované za studena a folie. Do skupiny **speciálních výválků** zařazujeme železniční dvoukolí, mlecí koule, periodické profily. **Trubky** dělíme podle technologie výroby na bezešvé a svařované.

1.2. Základní technologie a způsoby válcování

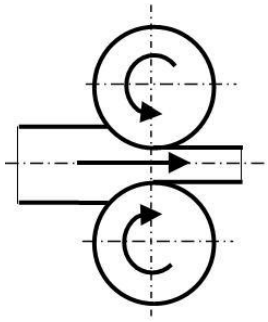
Válcováním rozumíme kontinuální proces, při kterém se tvářený materiál deformuje mezi otáčejícími se pracovními válci. Mezera mezi pracovními válci je menší, než vstupní výška materiálu. Podle směru, kterým válcovaný materiál prochází pracovními válci, podle uložení os válců vzhledem k válcovanému materiálu a podle průběhu deformace dělíme válcování na **podélné**, **příčné** a **kosé**.

Podélné válcování

Schéma podélného válcování je na obr. 1.3. Válce jsou poháněny ve smyslu šipek, vtáhnou kov mezi sebe a stlačují jej na výšku, přičemž se výválek výrazně prodlužuje a také dochází k menšímu našíření. Podélné válcování je jedním z nejrozšířenějších způsobu tváření kovů. Odhaduje se, že až 95 % veškeré vyrobené oceli je v průběhu výroby válcováno. Podle typu výválku rozlišujeme podélné válcování:

Podélné válcování na **hladkých válcích** – ploché výválky (plechy, pásy)

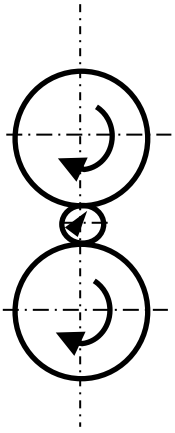
Podélné válcování na **kalibrovaných válcích** – tvarové výválky (kolejnice, štětovnice, tyče, profily, dráty)



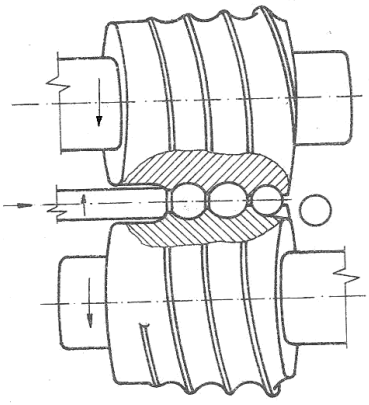
Obr. 1.3 Schéma podélného válcování

Příčné válcování

Schéma příčného válcování je na obr. 1.4. Charakteristické pro tento způsob válcování je, že osa výválku je rovnoběžná s osami válců. Válce se otáčejí stejným směrem. Provalek rotuje ve směru působení výsledných třecích sil v opačném smyslu než pracovní válce. Používá se např. k výrobě hřídelí nebo k válcování mlecích koulí (obr. 1.5).



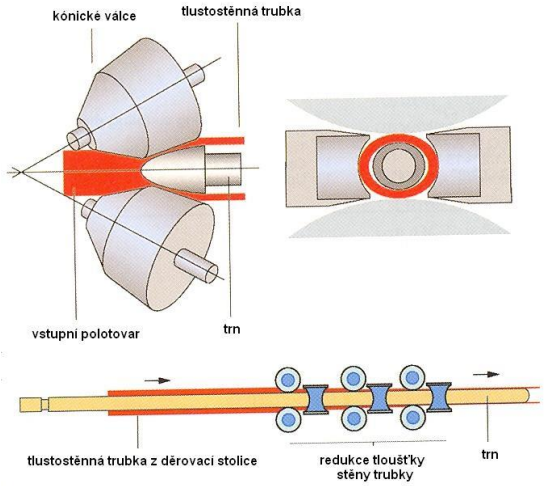
Obr. 1.4 Schéma příčného válcování



Obr. 1.5 Válcování mlecích koulí

Kosé válcování

Kosé válcování je zvláštním případem příčného válcování. Mechanismus plastické deformace je zde obdobný. Osy pracovních válců však nejsou rovnoběžné, ale mimoběžné. Provalek tak nejen rotuje, ale díky mimoběžnosti válců postupuje vpřed ve směru své podélné osy. Tento způsob válcování se využívá při válcování bezešvých trubek (obr. 1.6). Je to jeden z nejrozšířenějších způsobů výroby dutých polotovarů.



Obr. 1.6 Válcování na děrovací stolici (bezešvé trubky)

Shrnutí pojmů kapitoly

Předvalky – vývalky – tyčové vývalky – ploché vývalky – tvarové vývalky – drát – podélné válcování – příčné válcování – kosé válcování.

Otázky k probranému učivu

1.1. Jaký je rozdíl mezi předvalkem a vývalkem?

1.2. Umíte vyjmenovat alespoň 3 typy předvalků a vývalků?

1.3. Co je to válcování?

1.4. Jaké znáte typy válcování?

1.5. Jaký je rozdíl mezi podélným a příčným válcováním?

1.6. Dají se mlecí koule vyrobit válcováním? Pokud ano tak jakým způsobem?

1.7. K čemu se využívá kosé válcování?

Použitá literatura, kterou lze čerpat k dalšímu studiu

[1] KOLLEROVÁ, M., et al. Valcovanie. 1. vydání. Bratislava: Alfa, 1991. 576 s. ISBN 80-05-00729-9.

[2] FABÍK, R. Tváření kovů. 1. vydání, VŠB-TU Ostrava, 2012. 333 s. ISBN 978-80-248-2572-4.

[3] ŽÍDEK, M., et. al. Tváření oceli. SNTL/Alfa. Praha 1988. 520 s.

2. Typy válcovacích stolic, dispozice a technologické vybavení válcovacích tratí

Čas ke studiu: 8 hodin

Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- Rozdělit válcovací tratě podle jednotlivých kritérii.
- Popsat válcovací trať a její příslušenství (stojany, pracovní válce, ložiska, nastavovací zařízení, vyvažovací, armaturu, zařízení na výměnu válců)

Výklad

2.1. Typy válcovacích tratí

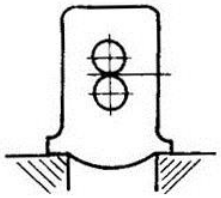
Válcovací tratě můžeme rozdělit podle:

- Konstrukce válcovacích stolic a počtu válců
- Druhu vývalků a průměru pracovních válců
- Způsobu otáčení válců
- Uspořádání válcovacích stolic

Konstrukce válcovacích stolic a počtu válců

Dvouválcové stolice – dua

Válcovací stolice tohoto druhu jsou nejrozšířenější. Mají dva vodorovně uložené válce (obr. 2.1). Válcovacím motorem jsou hnány buď oba válce (horní i spodní), nebo pouze jeden válec (obyčejně spodní a horní válec se otáčí vlivem tření o válcovaný provalek). Podle směru otáčení válců jsou stolice jednosměrné, nebo vratné — reverzní.

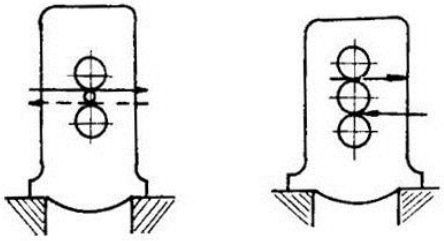


Obr. 2.1 Dvouválcová stolice

Tříválcové stolice – tria

Jsou to stolice se třemi vodorovně uloženými válci. Válce v těchto stolicích se otáčejí **stále jedním směrem**. Jsou značně rozšířeny, protože v těchto stolicích lze válcovat s větším počtem kalibrů než u stolic duo. Provalek se válcuje v jednom směru mezi spodním a středním válcem a v opačném směru mezi středním a horním válcem. U tria je poháněn přímo pevně uložený střední válec. Spodní a horní válec jsou poháněny převodem a zpravidla stavitelné. Slouží pro válcování tvarových vývalků a sochorů kalibrovanými válci.

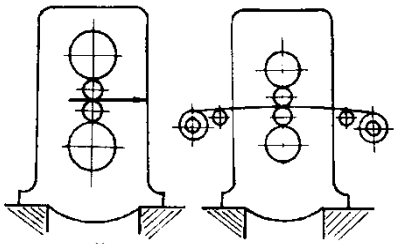
Pro válcování plechu se používá Lauthova tria (obr. 2.2). Tato stolice se liší od normálních stolic trio tím, že její střední válec má menší průměr než válec horní a spodní. Střední válec je vlečen a otáčí se pouze třením o válcovaný provalek a válec střídavě horní nebo spodní. Výhoda menšího průměru středního válce je v podpoře prodlužování provalku, ale nevýhodou zase je rychlejší opotřebení středního válce.



Obr. 2.2 Lauthovo trio a tříválcová stolice

Čtyřválcové – kvarta

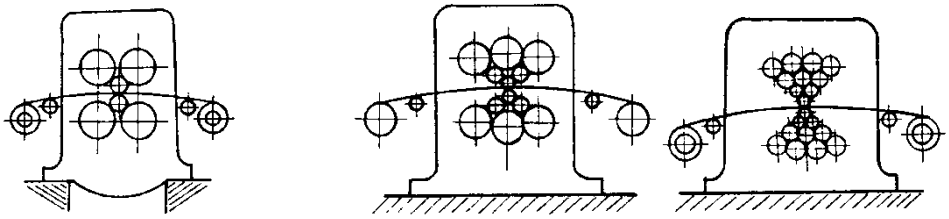
Pracovní stolice má čtyři vodorovné válce uložené v jedné svislé rovině (obr. 2.3). Dva válce (vnitřní) jsou pracovní a dva válce (vnější) jsou opěrné. Význam opěrných válců je v možnosti použít vyšších válcovacích sil a snížit průhyb pracovních válců. Malé průměry pracovních válců dovolují kromě většího prodloužení provalku i možnost dosáhnout příznivějších rozměrových odchylek tloušťky. Pracovní válce kvarto stolice jsou hnané, opěrné válce vlečené. Stolice kvarto se používá pro válcování plechu, pásové oceli za tepla i za studena. Používá se jako jednosměrná nebo vratná válcovací trať.



Obr. 2.3 Čtyřválcové stolice

Mnohoválcové

Skládá se s šesti, sedmi, dvanácti nebo dvaceti vodorovně uloženými válci (obr. 2.4). U všech uvedených stolic jsou vždy jen dva válce pracovní, ostatní opěrné. Poháněny bývají zpravidla pracovní válce a opěrné jsou vlečeny. Mnohoválcové stolice se používají pro válcování velmi tenkých plechů, pásů a fólií.

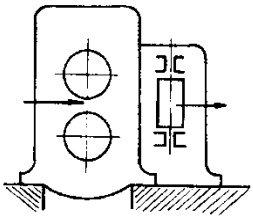


Obr. 2.4 Mnohoválcové stolice

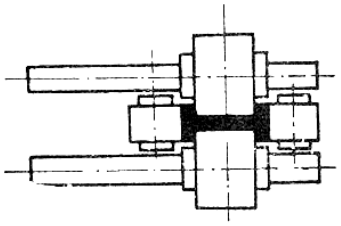
Univerzální

Tyto stolice mají kromě vodorovně uložených válců ještě válce uložené svisle, které jsou poháněny převodem kuželových ozubených kol (obr. 2.5). Svislé válce pěchují provalek z bočních stran, čímž se vytvoří boční stěny, přesné úhly a ostré hrany. Bývají uloženy z přední strany stolice, méně již ze zadní strany, ale také i z obou stran. Univerzální stolice se používají pro válcování bram, široké a

tvarové oceli. Pro válcování širokopřírubových nosníků jsou svislé válce uloženy ve stejné rovině s osami válců uložených vodorovně. Poháněné jsou pouze válce vodorovné (obr. 2.6).

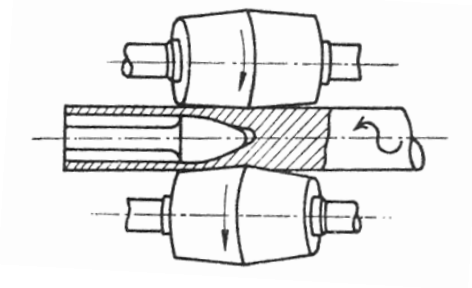


Obr. 2.5 Univerzální stolice



Obr. 2.6 Univerzální stolice pro válcování širokopřírubových nosníků

Speciálních konstrukcí
Mají šikmo uložené válce a používají se při výrobě bezešvých trubek (obr. 2.7).



Obr. 2.7 Speciální konstrukce

Speciální (válcování obručí, šroubů, mlecích koulí ...)

❑ Druhu vývalků a průměru pracovních válců

Válcovací tratě válcující předvalky

- **blokovna**
  těžké předvalkové tratě (z ingotů předvalky)
- **slabing**
  válcování bram
- **sochorové tratě**
  stolice pro válcování sochorů a ploštin

Válcovací tratě válcující hotové výrobky za tepla i za studena

a) Profilové tratě pro výrobu tyčových a tvarových vývalků
- těžké profilové tratě na válcování kolejnic, těžkých nosníků a štětovnic (Ø válců 700 až 950 mm)
- hrubé profilové tratě (Ø válců 500 až 650 mm)
- střední profilové tratě (Ø válců do 500 mm)
- jemné profilové tratě (Ø válců do 350 mm)
- drátovny

b) Válcovací tratě pro válcování plochých vývalků
- tratě pro válcování hrubých plechů a pancířů
- tratě pro válcování tenkých plechů
- tratě pro válcování pásů
- univerzální tratě válcující širokou ocel se svislými bočními stěnami a přesnými úhly (vybavené horizontálními i vertikálními válci)

c) Tratě pro válcování trubek (děrovací stolice, s poutnickými stolicemi, s automatikem)

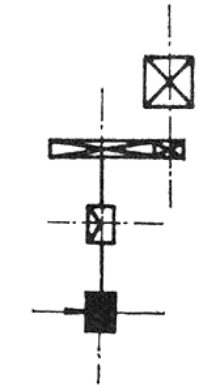
d) Válcovací tratě speciálních konstrukcí (vyrábějí obruče, mlecí koule aj.)

Tratě dle způsobu otáčení válců

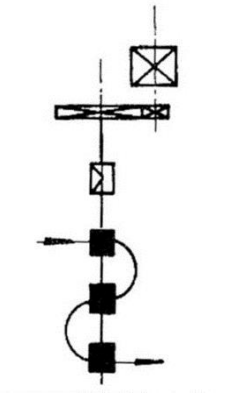
- **válcovací tratě jednosměrné** (např. válcování střední a jemné tvarové oceli, pásu)
- **válcovací tratě vratné (reverzní)** (např. válcování předvalků, těžkých tvarových výválků, tlustých plechů)

Uspořádání válcovacích stolic

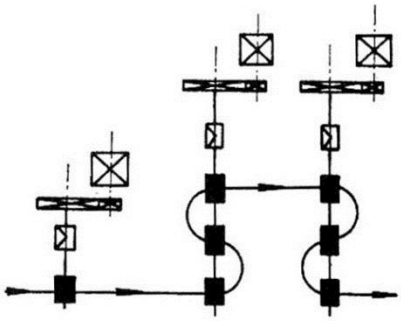
- válcovací tratě s jednou pracovní stolici (obr. 2.8)
- vícestolicové válcovací tratě s uspořádáním pracovních stolic v ose (obr. 2.9)
- válcovací tratě s otevřeným uspořádáním pracovních stolic ve třech pořadích (obr. 2.10)
- průběžná válcovací trať přesazená, šachovnicová (obr. 2.11)
- polospojitá trať
- spojitá trať (obr. 2.12)



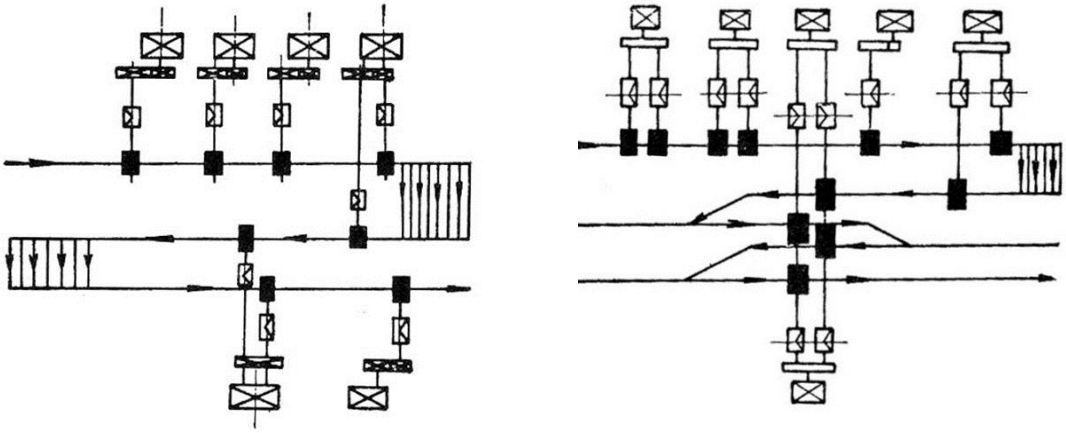
Obr. 2.8 Válcovací tratě s jednou pracovní stolici



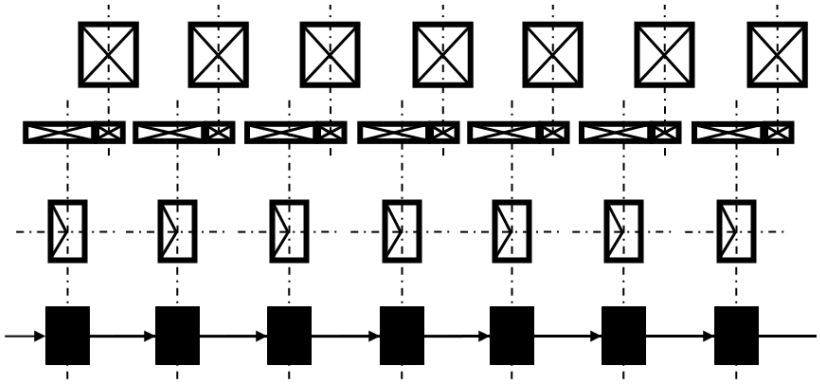
Obr. 2.9 Vícestolicové válcovací tratě s uspořádáním pracovních stolic v ose



Obr. 2.10 Válcovací tratě s otevřeným uspořádáním pracovních stolic ve třech pořadích



Obr. 2.11 Průběžná válcovací trať přesazená šachovnicová
(Cross-country mill, Zick-Zack Strasse)



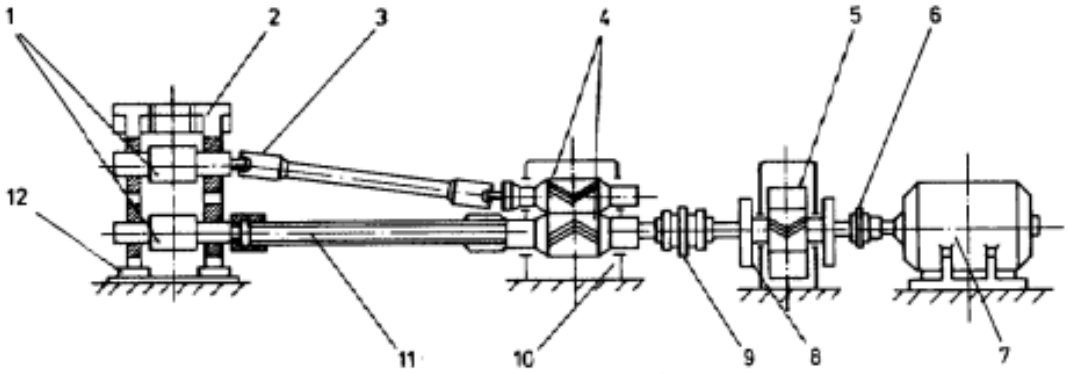
Obr. 2.12 Spojitá trať

2.2. Dispozice a technologické vybavení válcovacích tratí

- Válcovací trať a její příslušenství (stojany, pracovní válce, ložiska, nastavovací zařízení, vyvažovací, armatura, zařízení na výměnu válců)
- Zařízení na dopravu
- Ohřívací agregáty

❑ Základní zařízení válcovací stolice

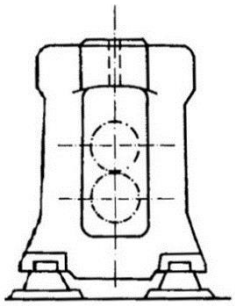
Základní zařízením válcovací tratě, která bezprostředně zabezpečuje vznik plastické deformace je válcovací stolice (Obr. 2.13)



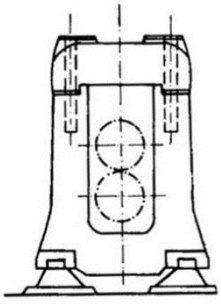
Obr. 2.13 Schéma hlavního zařízení válcovací tratě
1 – válce, 2 – stojany, 3 – objímky, 4 – ozubené válce, 5 – reduktor, 6 – pružná spojka, 7 – motor, 8 – setrvačník, 9 – hlavní spojka, 10 – stolice ozubených válců, 11 – vřetena, 12 – základové desky

Stojan
Stojan tvoří kostru válcovací stolice a zachycuje celkový tlak kovu na válce při válcování. Stojan musí být pevný a jeho konstrukce musí dovolovat snadnou a rychlou výměnu válců a snadný přístup ke všem částím stojanu i detailům stolice. Každá válcovací stolice má dva stojany, ve kterých jsou uloženy válce v ložiskách. V horní části stojanu jsou stavěcí šrouby, vyvažovací zařízení a jejich pohon.
Z konstrukčního hlediska rozlišujeme tyto stojany:

a) zavřený stojan – celý stojan je zhotoven z jednoho kusu (z pevnostního hlediska výhodnější) – obr. 2.14,
b) otevřený stojan – s oddělenou hlavou připojenou k stojanu šrouby (snadnější výměna válců) – obr. 2.15,
c) bezstojanová stolice – tuhá ložisková tělesa spojená tuhými klouby, předepjaté – omezen skok válců, konstrukčně menší a lehčí.



Obr. 2.14 Zavřený stojan

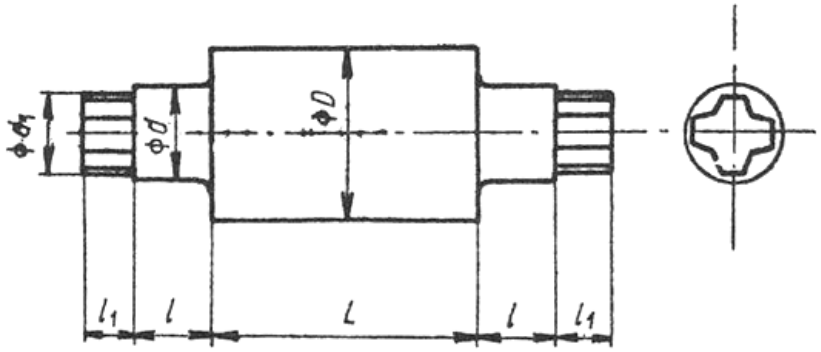


Obr. 2.15 Otevřený stojan

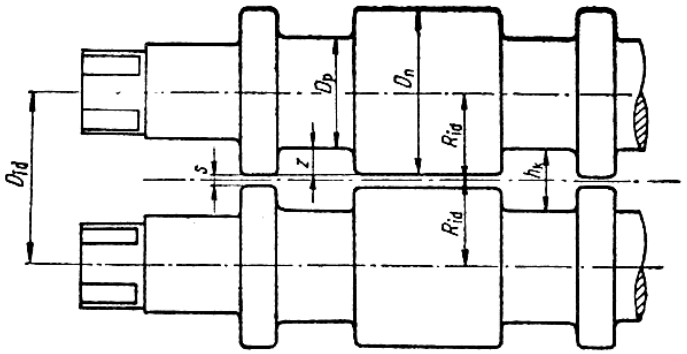
Válce

Válce jsou základní součásti válcovací stolice, mezi nimiž se kov plasticky deformuje. Zabezpečují požadovaný tvar, rozměr a povrchovou jakost válcovaného kovu. Přenášejí silové a momentové zatížení. Dělení:

- podle funkce dělíme válce na **pracovní** a **opěrné,**
- podle materiálu a technologie výroby na **litinové**, **ocelové lité**, **ocelové kované**, **složené**,
- podle technologie tváření na válce pro **válcování plochých výválků (hladké –** obr. 2.16), **kalibrované** (obr. 2.17) a **speciální**,
- podle umístění na **horizontální** a **vertikální**.



Obr. 2.16 Pracovní válec hladký



Obr. 2.17 Kalibrované válce

Pracovní válec se skládá ze tří částí:

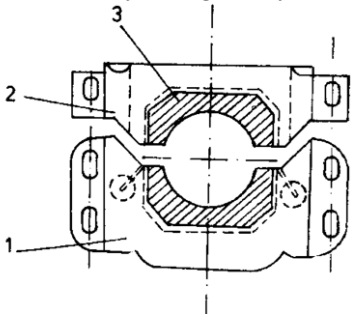
1) pracovní část neboli těla válce (charakterizován průměrem D a délkou L), kterým je válcovaný kov tvářen
2) opěrné části, tj. čepu, který udržuje válec ve stojanu stolice
3) spojovací části neboli růžice, která spojuje válec přes další zařízení s hlavním hřídelem elektromotoru.

Tělo válce, je nejdůležitější částí pracovního válce, neboť pracuje za nejtěžších podmínek, za vysokých teplot a tlaků, nejvíce je podrobeno rázům apod. Musí mít vysokou pevnost, tvrdý povrch k zachycení značných nárazů a tlaků od válcovaného kovu, odolnost proti opotřebení a odolnost vůči vysokým teplotám válcovaného kovu. Čep musí být odolný vůči opotřebení, vysoké teplotě a namáhání v krutu a ohybu, růžice odolná vůči kroucení a rázům.

Ložiska

Ložiska slouží k přesnému uložení čepů válců jak v rovině vodorovné, tak i svislé. Ve válcovnách se používají:

- *ložiska kluzná* (obr. 2.18)
  (mají pánve z umělých organických látek a dosahují koeficientu tření od 0,02 do 0,1).



1-ložiskové těleso,
2-příklop,
3-pánve

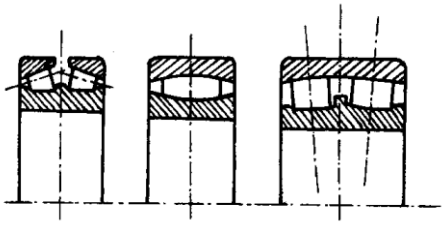
Obr. 2.18 Kluzné ložisko

- *ložiska s valivým třením* (obr. 2.19)
  (nízký koeficient tření od 0,001 do 0,003).

Vyznačují se malým opotřebením, a tím i velkou přesností válcovaného materiálu

- *pouzdrové ložiska s kapalinovým třením*

dosahují podobný součinitel tření jako valivé ložiska, jejich rozměry jsou menší, opotřebení je nepatrné a pružné deformace jsou zanedbatelné.



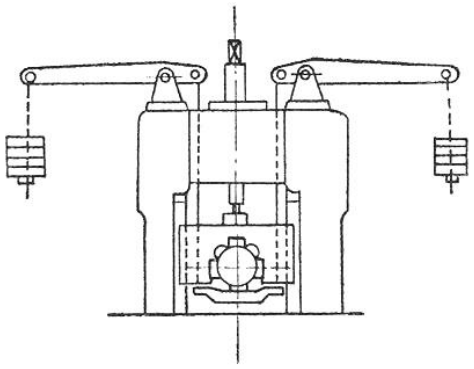
Obr. 2.19 Ložisko s valivým třením

Stavěcí a vyvažovací zařízení

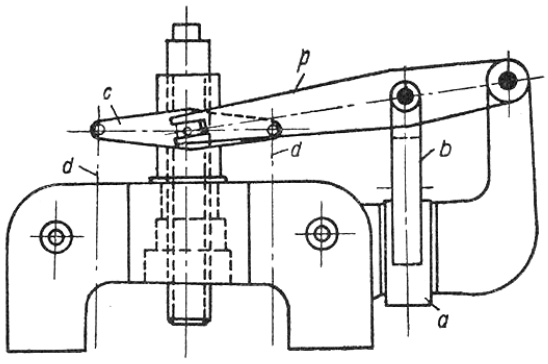
Technologie výroby různých vývalků vyžaduje změnu vzájemné polohy válců, a to buď při seřizování válcovací trati, nebo při vlastním stavění válců před jednotlivými průchody. Změnu vzájemné polohy válců dosáhneme pomocí stavěcího a vyvažovacího zařízení. Různé druhy stavění válců vidíme na obr. 2.20 a 2.21.

Stavěním válců ve svislém směru je určena mezera mezi válci, a tím je určen i úběr.

- Stavění válců v ose – vymezení boční vůle.
- Stavění musí být přesné s co nejmenšími časovými ztrátami.
- Horní válec nesmí po průchodu kovu válci poklesnout – proto musí být i s uložením trvale vyvážen. **Vyvážení** je nutné proto, aby se zabránilo rázům a opotřebení tlakového šroubu a matice.

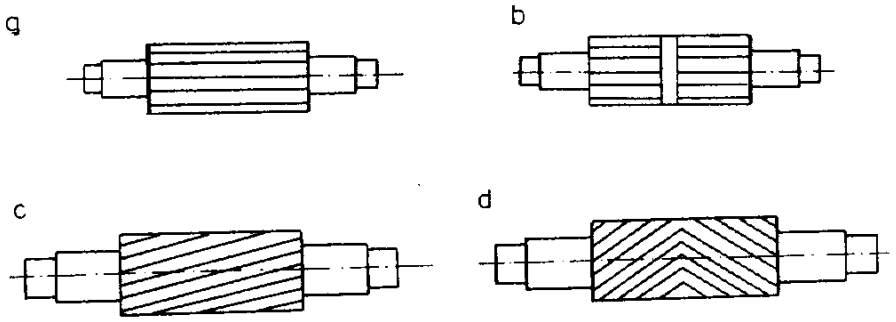


Obr. 2.20 Stavění protizávažím



Obr. 2.21 Stavění hydraulické

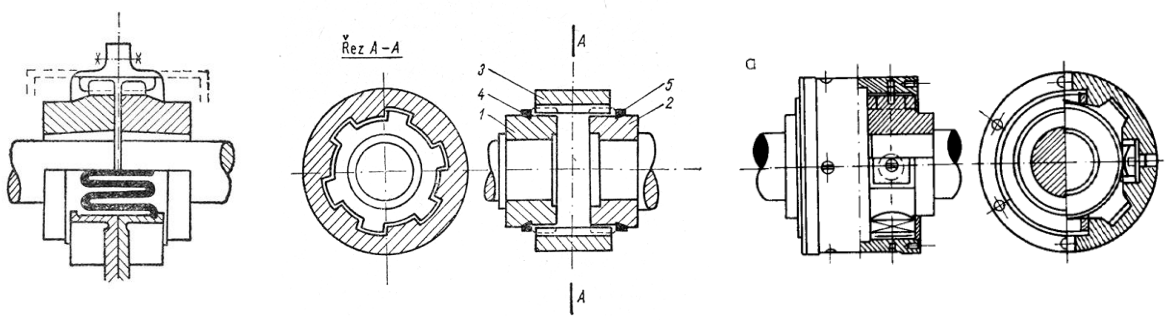
Stolice ozubených válců a reduktory
Stolice ozubených válců přenášejí krouticí moment hřídele hnacího motoru na pracovní válec. Ozubené válce různých druhů stolic se vzájemně liší pouze rozměry a druhem ozubení. Svým tvarem připomínají válce pracovní. Nejsou to obyčejná ozubená kola, nýbrž mají ložiskový i spojkový čep jako válec pracovní. (obr. 2.22)



Obr. 2.22 Ozubené válce (a - rovné ozubení, b - rovné přesazené, c – šikmé, d – šípové)

Reduktory
Reduktory mění počet otáček hlavního motoru na požadované otáčky válců (zvýšení krouticího momentu). Mohou být jednostupňové, dvojstupňové a trojstupňové. Převodový poměr každého stupně může být 4 až 6.

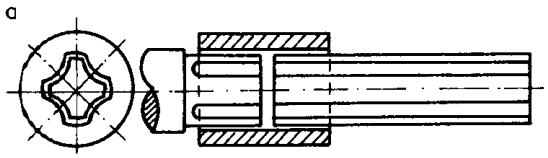
Spojky
Spojky slouží k přenášení krouticího momentu hnacího motoru na pracovní válce. Jejich úlohou je tlumit válcovací nárazy a zamezit jejích přenos na elektromotor. Některé druhy spojek vidíme na obr. 2.23.



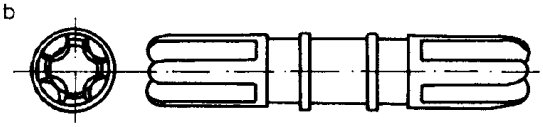
Spojka Bibbi Hlavní Ortmanova spojka Hlavní Schloemannova spojka
Obr. 2.23 Některé druhy spojek

Pohony
Pohon válcovací stolice se skládá z hlavního pohonu motoru s regulačním systémem, z ozubených převodů a spojovacích prvků. Kromě toho plynulou práci stolice zabezpečují pomocné mechanismy vybavené samostatnými elektromotory s příslušnou regulací. Vzhledem ke zvyšující se hmotností rozvalků, válcovací rychlostí, nároky na přesnost a snižování spotřeby energie třeba volit elektrické pohony tak, aby se při provozu mohla využit řídicí a výpočetní technika.

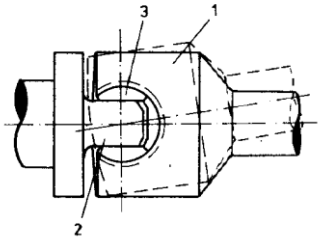
Vřetena a objímky
Vřetena jsou ocelové kované hřídele, které spojují čepy pracovních válců s čepy ozubených válců a tím umožňují přenášení krouticího momentu (obr. 2.24). Kromě toho umožňují osové vychýlení podle polohy hnacího válce.
Objímky můžou být rovné nebo osazené. Objímky kromě toho, že spojují vřetena, mají i úlohu pojistky v případě extrémního zatížení stolice.



- vřeteno s rovnou růžicí



- vřeteno se zaoblenou růžicí



- vidlicový kloub univerzálního vřetena

Obr. 2.24 Některé druhy vřeten

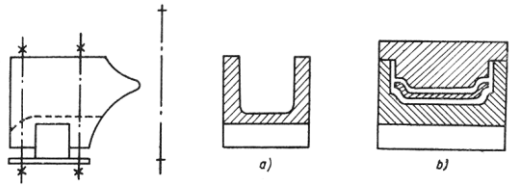
❑ Armatura válcovacích stolice

Armaturou válcovací stolice se nazývá pomocné zařízení, umístěné přímo na stolicí, sloužící pro správné zavedení a vyvedení válcovaného materiálu do válců a z válců nebo pro automatické převedení provalku od kalibru ke kalibru téže stolice nebo stolice další.

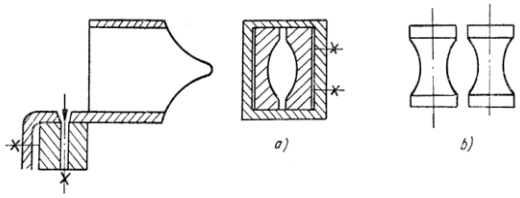
- vběhové válcovací armatury
  (vodítka, stoly, otevřené a uzavřené skříně, zkrutná pouzdra)
- výběhové válcovací armatury
  (jednoduché a tvarové stěrače)
- převáděče

Úkolem armatury válcovací stolice je usnadnit správné zavedení provalku do kalibru a jeho vyvedení, umožnit použití větších válcovacích rychlostí.

Vodítka
Vodítka slouží k správnému usměrnění provalku při jeho vstupu do kalibru pracovních válců a k jeho bezpečnému vyvedení na straně výběhové (obr. 2.25 a 2.26).
Aby se zabránilo tomu, že se provalek při výběhu z válců ohýbá nahoru nebo dolů a nabaluje se na válec, používá se tzv. **stěračů.** Pro uložení stěračů je rozhodující, pracuje-li stolice s horním nebo spodním tlakem, tj. má-li válcovaný kov snahu natočit se na spodní nebo horní válec (obr. 2.27).



otevřená vběhová skříň

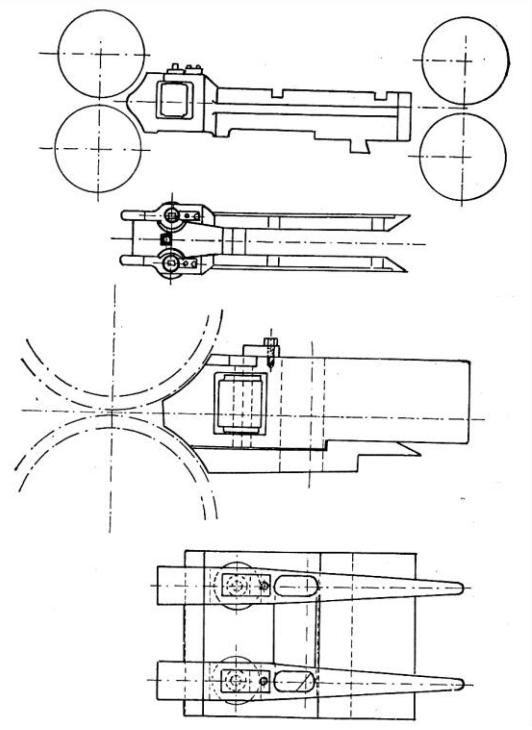


uzavřená skříň

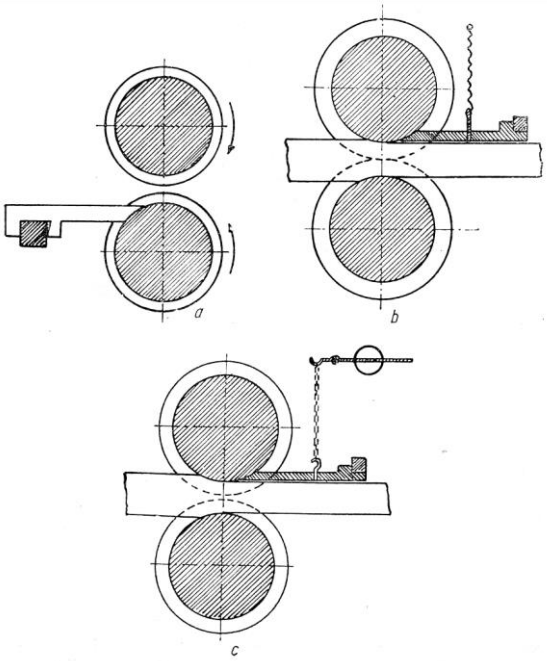
vběhová vodítka

vodítka na laboratorní trati Tandem

Obr. 2.25 Vodítka



Obr. 2.26 Válečková vběhová vodítka



Obr. 2.27 Způsoby upevnění stěrače

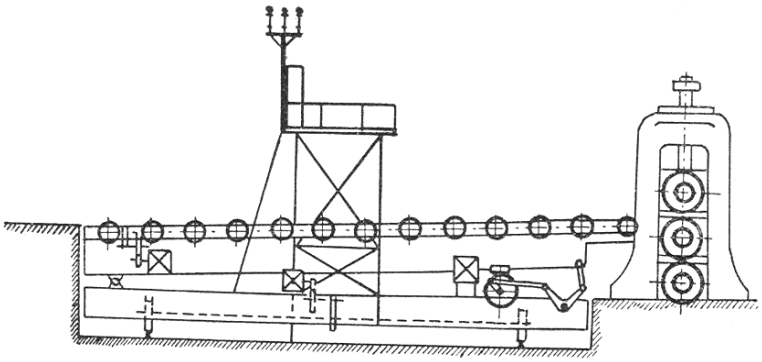
Převaděče

Úkolem převaděče je otočení konce provalku po výstupu z válců o 180° a jeho zavedení do kalibru další stolice. Někdy převaděče plní i úlohu zkrutného pouzdra.

❑ Pomocná zařízení válcovacích tratí

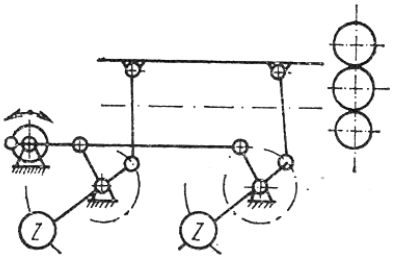
Dopravní zařízení a hranidla

- **Zařízení pro dopravu podélnou** (válečkové dopravníky, podávací válečky, narážecí a výtlačné zařízení, zarážky)
- **Zařízení pro dopravu příčnou** (manipulátory, pojízdné stoly (obr. 2.28), vlečníky, odsunovače, skluznice se zarážkami)

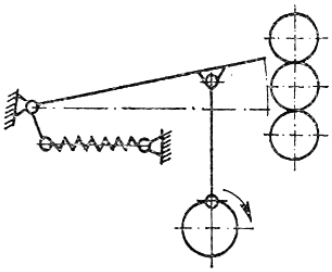


Obr. 2.28 Pojízdný stůl

- **Zařízení pro zvedání a spouštění** - zvedací (obr. 2.29) a kyvné stoly (obr. 2.30)

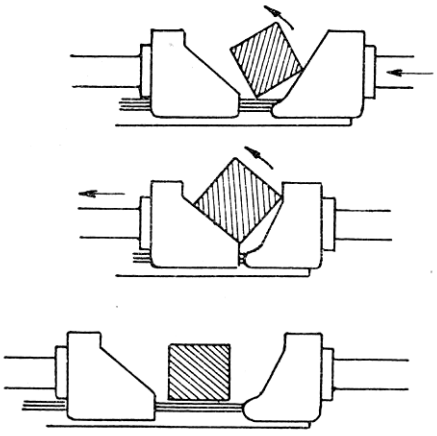


Obr. 2.29 Schéma zvedacího stolu

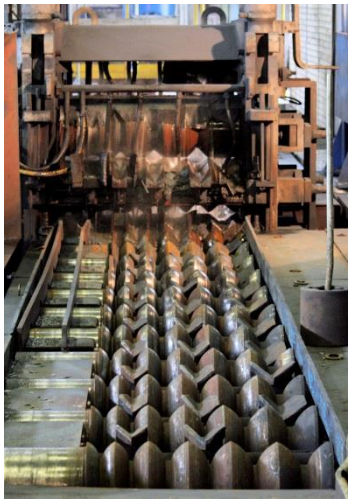


Obr. 2.30 Schéma kyvného stolu

- **Zařízení pro hranění** - slouží k otáčení provalku o určitý úhel kolem jeho podélné osy (obr. 2.31 a 2.32)



Obr. 2.31 Greyovo hranicí zařízení

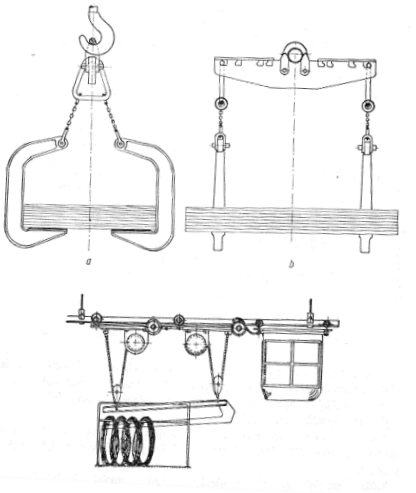


Obr. 2.32 Válečkový dopravník + hranění

- **Chladicí lože** - zařízení, na kterém vývalky chladnou a zároveň se posunují až k dopravníku, který je odnáší na úpravnu (obr. 2.33).

Obr. 2.33 Chladníky

- **Zařízení pro dopravu svazků a svitku a pro odstraňování odřezků** - svazky a svitky se dopravují většinou jeřáby při použití speciálních závěsů (obr. 2.34).

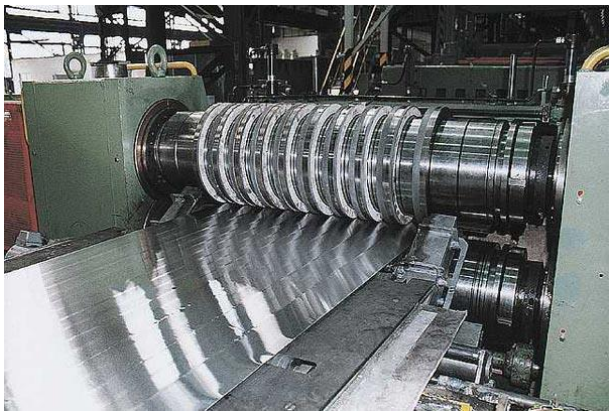


Obr. 2.34 Závěsy pro dopravu svazků a svitků

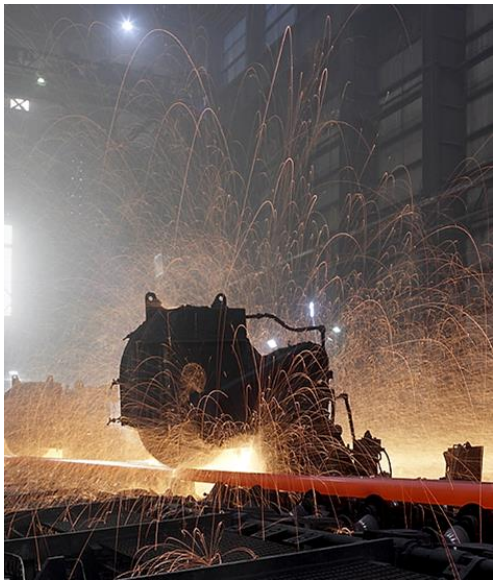
Úpravenské stroje

- **Nůžky a pily** (obr. 2.35 - 2.39)

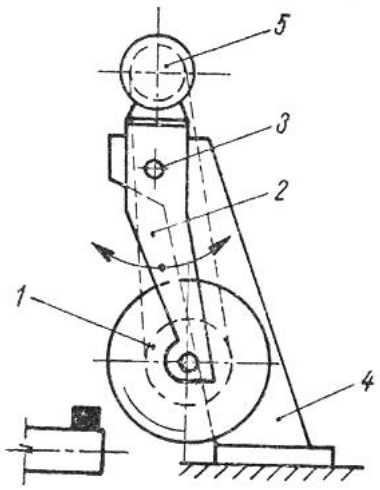
Obr. 2.35 Podélná dělicí linka



Obr. 2.36 Podélné dělicí nůžky



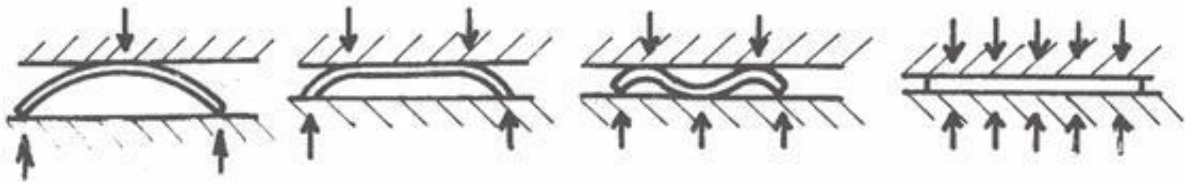
Obr. 2.37 Pila kotoučová



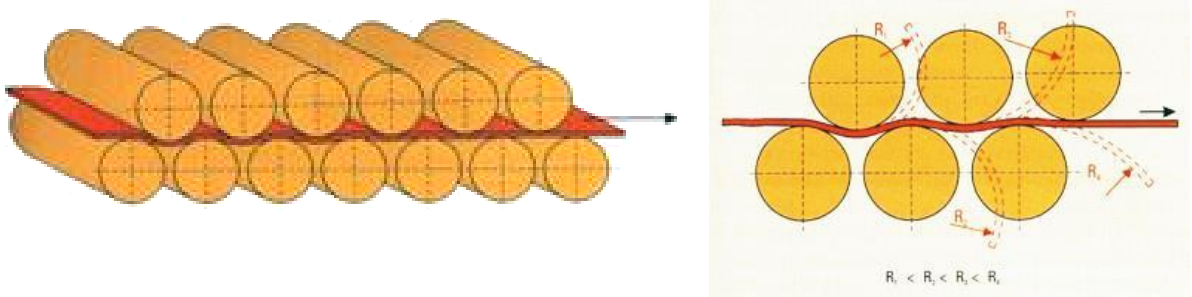
Obr. 2.38 Pila kyvadlová

Obr. 2.39 Letmé nůžky

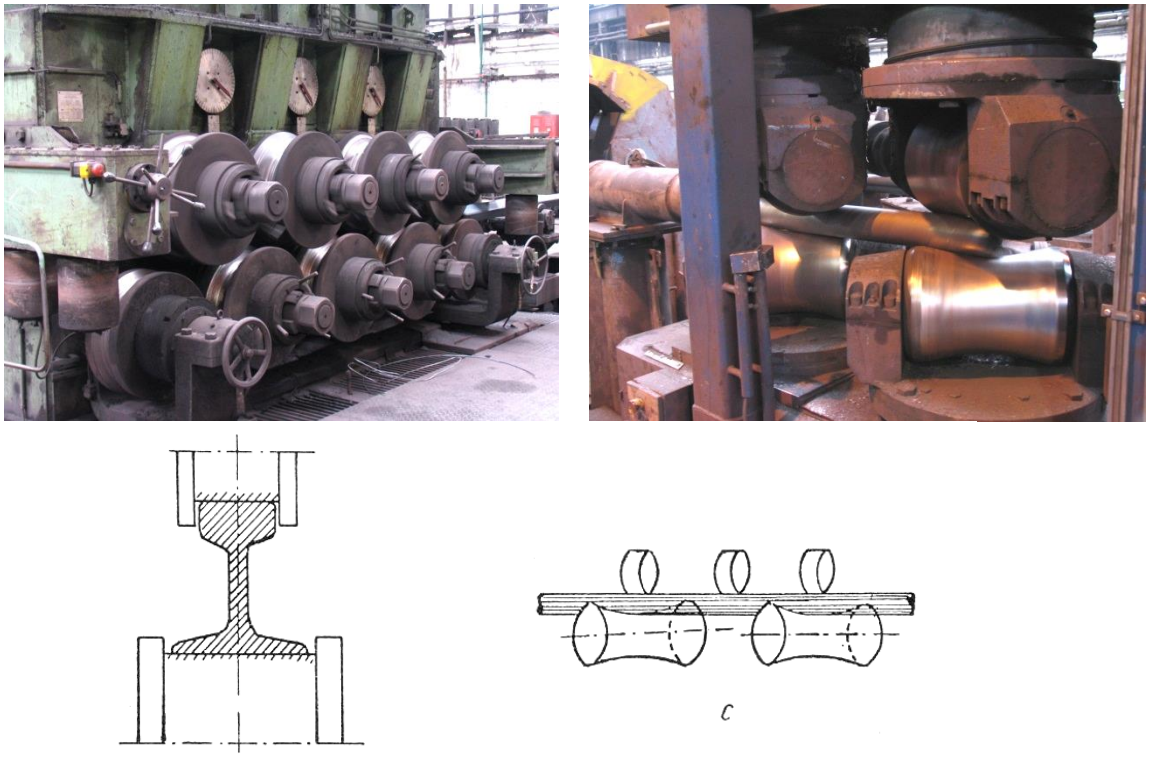
- **Rovnací zařízení** (obr. 2.40 - 2.42)



Obr. 2.40 Rovnání tlakem mezi rovnými deskami

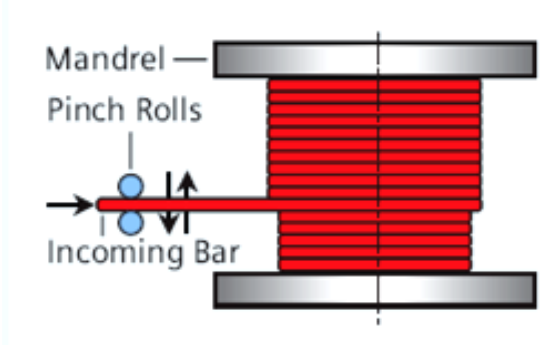


Obr. 2.41 Rovnání plechů válcováním

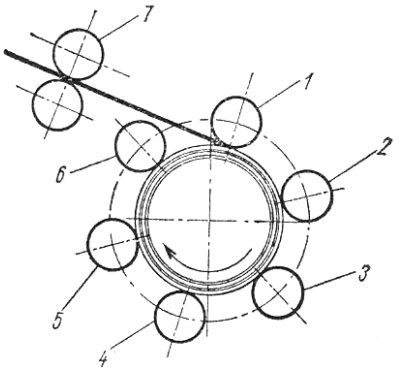


Obr. 2.42 Válečkové rovnací stroje

- **Navíjecí a svinovací zařízení** (obr. 2.43 - 2.46)



Obr. 2.43 Navíjecí zařízení



Obr. 2.44 Schéma svinovacího zařízení

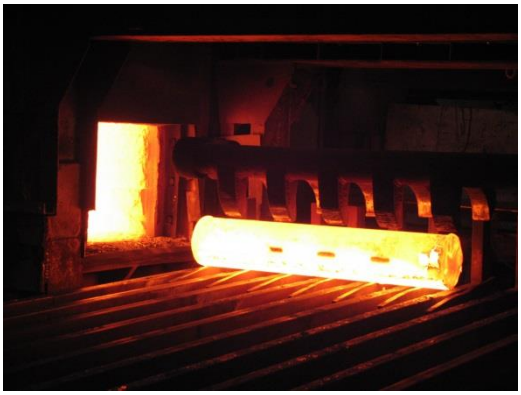
Obr. 2.45 Zařízení pro lisování a vázaní svitků drátu

Obr. 2.46 Navíječky (za studena, za tepla, pecní)

Pece pro ohřev materiálu ve válcovnách

- hlubinné – blokovny
- narážecí = strkací (pro ohřev bram, bloků, sochorů) - obr. 2.47
- krokové (lépe řiditelné než narážecí)
- karuselové a pokulovací (rourovny – kruhové sochory) - obr. 2.48
- tunelové (např. před kalibrací trubek)

Obr. 2.47 Narážecí pec



Obr. 2.48 Karuselová pec

Shrnutí pojmů kapitoly

Rozdělení podle konstrukce válcovacích stolic a počtu válců – druhu vývalků a průměru pracovních válců – způsobu otáčení válců – uspořádání válcovacích stolic,
válcovací trať – stojany, pracovní válce, ložiska, nastavovací zařízení, vyvažovací, armatura, zařízení na výměnu válců – zařízení na dopravu – pece.

Otázky k probranému učivu

2.1. Jaké jsou kritéria pro rozdělení válcovacích tratí?

2.2. Jaké znáte typy válcovacích stolic, vezmete-li v úvahu jejich konstrukci a počet válců.

2.3. Jaký je základní rozdíl mezi jednosměrným a vratným (reverzním) válcováním?

2.4. Jaký je rozdíl mezi spojitou a průběžnou válcovací tratí?

2.5. Jaké jsou základní zařízení válcovací stolice?

2.6. Jaké znáte typy stojanů válcovacích stolic?

2.7. Jaký je rozdíl mezi pracovními a opěrnými válci?

2.8. Z jakého materiálu mohou být pracovní válce?

2.9. Jaké znáte typy pracovních válců?

2.10. Jaká je funkce stavěcího a vyvažovacího zařízení?

2.11. K čemu slouží reduktory u válcovacích stolic?

2.12. Proč se mezi vřeteno a hřídel hnacího motoru montují spojky?

2.13. Co patří mezi armatury válcovacích stolic?

2.14. K jakému účelu slouží zařízení pro hranění?

2.15. Dokážete vyjmenovat alespoň 3 typy pecí používaných pro ohřev materiálu ve válcovnách?

Použitá literatura, kterou lze čerpat k dalšímu studiu

[1] KOLLEROVÁ, M., et al. *Valcovanie*. 1. vydání. Bratislava: Alfa, 1991. 576 s. ISBN 80-05-00729-9.

[2] GINZBURG, V. B. *Steel-Rolling Technology : Theory and Practice*. New York : Marcel Dekker, 1989.

[3] ZAROŠČINSKIJ, M. L. *Válcování oceli*. Technicko-vědecké vydavatelství, Praha 1952, 408 s.

3. Teoretické aspekty podélného válcování

Čas ke studiu: 8 hodin

Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

Definovat pásmo deformace, záběrové schopnosti válců, rychlostní poměry v pásmu deformace, předstih, deformační rychlost, šíření, válcovací sílu, válcovací moment, tvářecí faktor a ploštění válců.

Výklad

Pásmo deformace

Podélné válcování je spojitý tvářecí pochod, při němž otáčející se válce vtahují polotovar do válcovací mezery a zde jej stlačují. Tyto děje neprobíhají v daném okamžiku v celém objemu tvářeného polotovaru, ale pouze v jeho vymezené části – v **pásmu deformace.** Pásmo deformace je definováno délkou a střední šířkou (viz. **obr. 3.1.**).

Pásmo deformace

- vstupní rovina AA_1
- výstupní rovina BB_1
- záběrový oblouk AB a A_1B_1

Délka pásma deformace

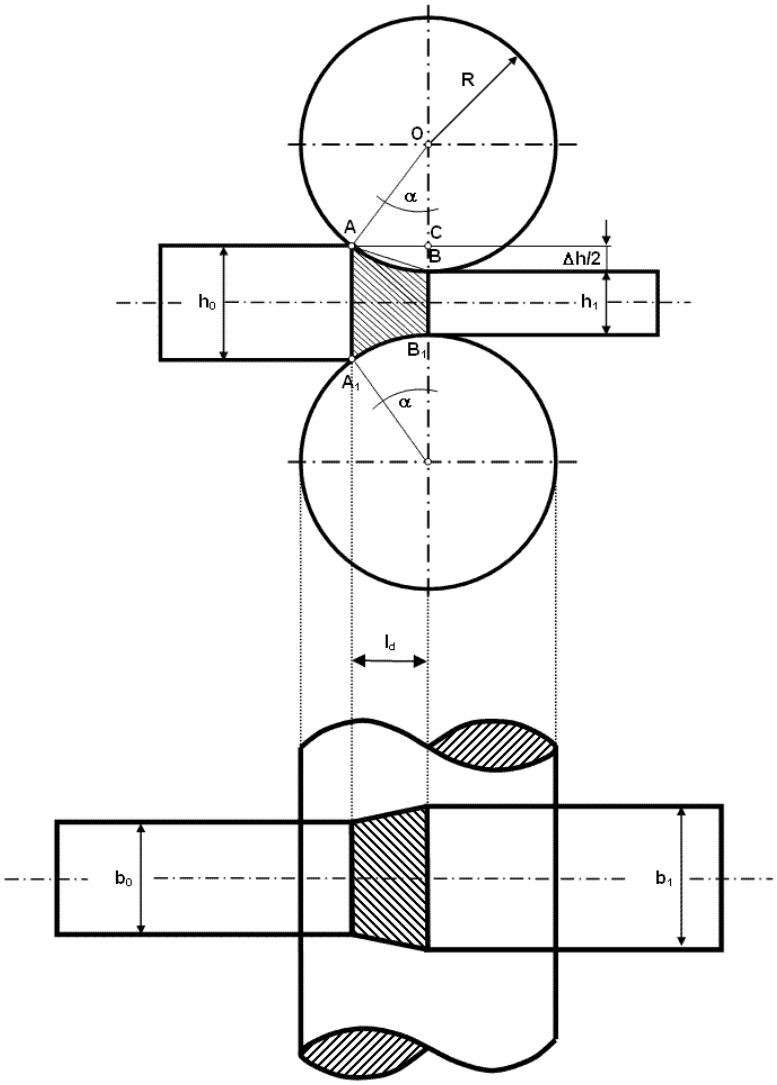
Hledáme délku odvěsny AC pravoúhlého trojúhelníka ACO. Kde:

$$\overline{OA} = R; \quad \overline{OC} = R - \frac{\Delta h}{2} \tag{3.1}$$

$$l_d = \overline{AC} = \sqrt{R^2 - \left(R - \frac{\Delta h}{2}\right)^2} = \sqrt{R^2 - R^2 + 2 \cdot R \cdot \frac{\Delta h}{2} - \frac{\Delta h^2}{4}} = \sqrt{R \cdot \Delta h - \frac{\Delta h^2}{4}} \approx \sqrt{R \cdot \Delta h} \tag{3.2}$$

Střední šířka pásma deformace

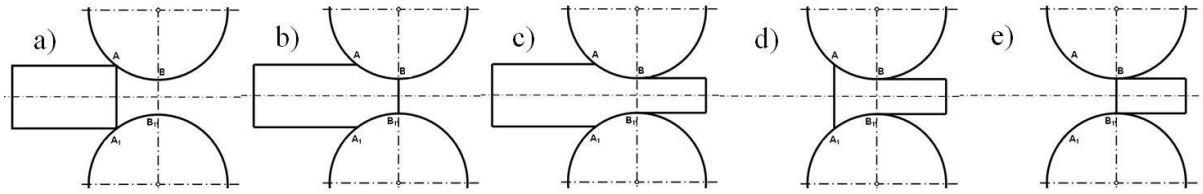
$$b_s = \frac{b_1 + b_0}{2} \tag{3.3}$$



Obr. 3.1 Schéma podélného válcování

❑ Záběrová schopnost válců

Proces válcování můžeme rozdělit do tří stádií (viz. obr. 3.2). V prvním stádium začíná v okamžiku dotyku provalku s válci v bodech AA_1 a končí při vstupu předního konce provalku do roviny výstupu BB_1. Ve druhém stádiu se parametry pásma deformace nemění, hovoříme o ustáleném procesu válcování. Třetí stádium začíná vstupem zadního konce provalku do roviny vstupu AA_1 a končí výstupem provalku z válců.



Obr. 3.2 Stádia podélného válcování: 1. stádium a) až b), 2. stádium c), 3. stádium d) až e)

Podmínkou pro uskutečnění válcovacího procesu je uchopení kovu válci. Při dotyku provalku s válci budou působit na stykových plochách normálové síly N a v jejich důsledku tečné třecí síly T (obr. 3.3).

$$T = N \cdot \mu \qquad (3.4)$$

Třecí úhel β:

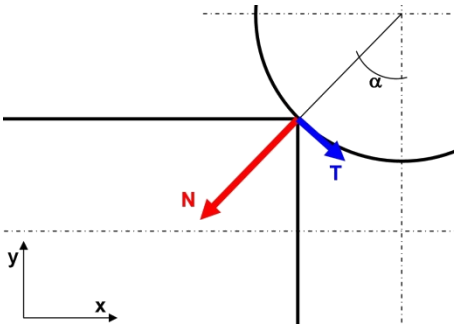
$$tg\beta = \mu \qquad (3.5)$$

x-ová složka normálové síly N_x:

$$N_x = N \cdot \sin\alpha \qquad (3.6)$$

x-ová složka tečné síly T_x:

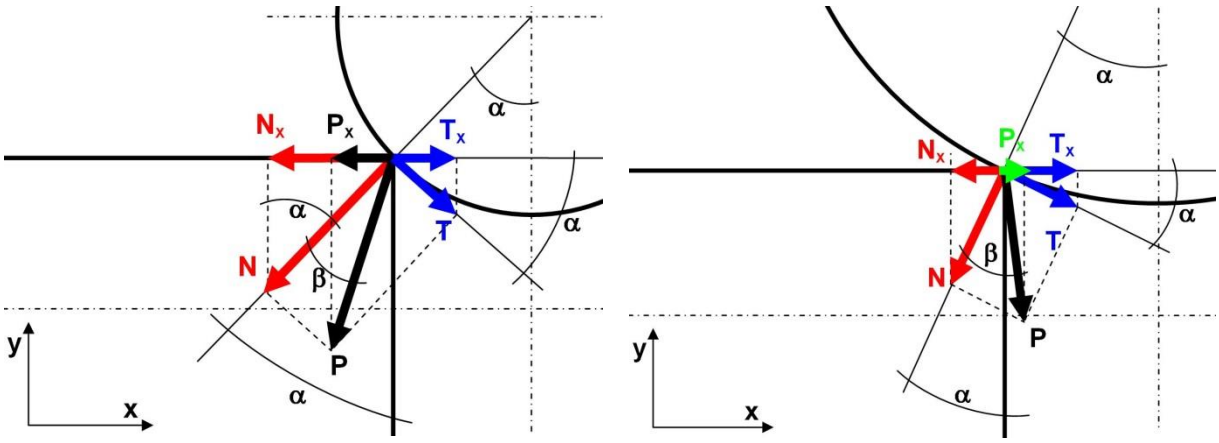
$$T_x = T \cdot \cos\alpha \qquad (3.7)$$



Obr. 3.3 Síly působící na provalek při kontaktu s válci

Můžou nastat 3 případy:

- záběr nenastane $N_x > T_x; \quad \alpha > \beta$ (obr. 3.4 vlevo)
- záběr nenastane $N_x = T_x; \quad \alpha = \beta$ (rovnováha)
- záběr nastane $N_x < T_x; \quad \alpha < \beta$ (obr. 3.4 vpravo)



záběr nenastane záběr nastane

Obr. 3.4 Rozklad sil, při válcování na hladkých válcích

Platilo pro rovnovážné podmínky. Možnosti pozitivního ovlivnění – např. přídavnou silou, nebo rozjezdem provalku na dopravníku.

Po překonání počátečních problémů se zvětší styková plocha provalku s válci a záběrové podmínky se zlepší.

❑ Rychlostní poměry v pásmu deformace

V ustáleném stadiu válcování se plně uplatňuje zákon kontinuity (pro spojité válcování), podle něhož:

$$S_0 \cdot v_0 = S_1 \cdot v_1 = S_2 \cdot v_2 = \ldots S_n \cdot v_n = konst \qquad (3.8)$$

kde S_n je příčný plošný obsah v n-tém průchodu,
S_0 a S_1 jsou plošné obsahy příčných průřezů provalku vedené pásmem deformace ve vstupní a výstupní rovině,
v_n – střední výstupní rychlost kovu v n-tém průchodu,
v_0 a v_1 jsou střední vodorovné rychlosti provalku ve vstupní a výstupní rovině.

Vzhledem k tomu, že průřez vývalku se zmenšuje, rychlost vývalku se musí zvětšovat a z toho vyplývá, že i při konstantní rychlosti válců v_v se bude měnit vzájemný vztah mezi rychlostí provalku a rychlostí válců. Z obvodové rychlosti válců je nutno v kterémkoliv místě záběrového oblouku vyčlenit její vodorovnou složku:

$$v_{v,x} = v_v \cdot \cos\varphi \qquad (3.9)$$

Svislá rovina, kde se kvalitativně mění vzájemný vztah rychlostí v_p a $v_{v,x}$, jakož i směr třecí síly, se nazývá **neutrální rovina** (obr. 3.5).

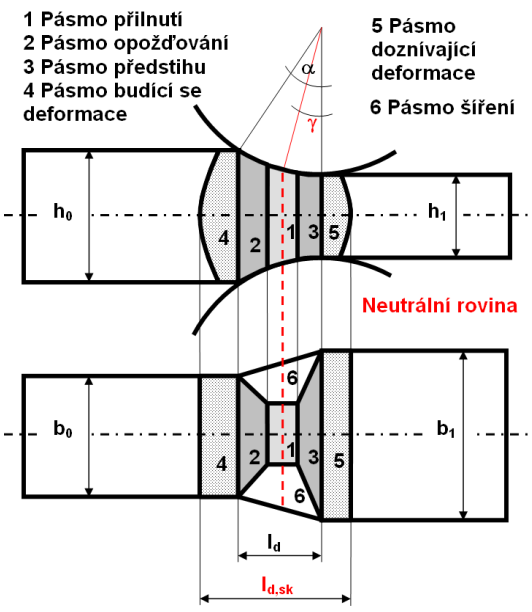
Neutrální rovina - její poloha je určena neutrálním úhlem γ. Jestliže vodorovnou rychlost provalku v neutrální rovině označíme $v_{p,\gamma}$, pak:

$$v_{p,\gamma} = v_v \cdot \cos\gamma \qquad (3.10)$$

Při válcování za tepla dochází k vyrovnání rychlostí v širším pásmu okolo neutrální roviny - v **oblasti přilnutí**.

Na počátku záběru je střední vodorovná rychlost provalku $v_{p,x}$ menší než vodorovný průmět obvodové rychlosti válců $v_{v,x}$

$$v_{p,x} < v_v \cdot \cos\varphi \qquad (3.11)$$



Obr. 3.5 Oblasti pásma deformace

Takže provalek se pohybuje relativně proti směru válcování, kdežto vodorovná složka třecí síly působí ve směru válcování. Tato část pásma deformace se nazývá oblast **opožďování**.

Pro výstupní rovinu bude platit:

$$v_{p,x} > v_v \cdot \cos\varphi \qquad (3.12)$$

Takže provalek se pohybuje relativně ve směru válcování, kdežto vodorovná složka třecí síly působí proti směru válcování. Tato část pásma deformace se nazývá oblast **předstihu**.

Oblasti **budící** se a **doznívající deformace** postihují nesporný vliv tuhých konců na deformační děje v pásmu deformace, čímž prodlužují jeho délku za jeho geometrické hranice, hovoříme pak o skutečné délce pásma deformace $l_{d,sk}$.

❑ Předstih při válcování

Při válcování může být za určitých podmínek výstupní rychlost provalku větší než obvodová rychlost válců. Znalost předstihu je důležitá pro spojité válcování.

$$s = \frac{v_1 - v_{obv}}{v_{obv}} \cdot 100 \qquad (3.13)$$

kde v_1 je výstupní rychlost provalku,
v_{obv} – obvodová rychlost válců.

❑ Deformační rychlost

Deformační rychlost obecně vyjadřuje změnu poměrné nebo skutečné deformace podle času. Okamžitá deformační rychlost

$$\dot{e} = \frac{de}{dt} \qquad (3.14)$$

Střední deformační rychlost

$$\bar{\dot{e}} = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{v_v}{l_d} \cdot ln \frac{h_0}{h_1} \qquad (3.15)$$

❑ Šíření

Příčný tok kovu v mezeře válců způsobuje zvětšení (výjimečně i zmenšení) šířky provalku a nazývá se šíření. Při válcování se vyskytují tři druhy šíření, a to volné, omezené a nucené.
Průběh a velikost šíření při válcování ovlivňují složitým způsobem činitelé mechaničtí (v, e, $\dot{e}$) geometričtí (h_0, h_1, b_0, l_d, D, α) a fyzikální (μ, T, M). Současné působení mechanických, geometrických a fyzikálních činitelů má vliv na výsledný stav napjatosti a charakter změn podélné a příčné deformace.
Dostaneme-li při výstupu z válcovací mezery provalek s obecným tvarem bočních ploch, pak obvykle určujeme střední šířkovou deformaci ze vztahu

$$\ln \frac{b_{1s}}{b_{0s}} = \ln \frac{S_1 \cdot h_{0\,max}}{S_0 \cdot h_{1\,max}} \qquad (3.16)$$

kde S_0, S_1 je vstupní, výstupní příčný průřez provalku [mm^2],
h_{0max}, h_{1max} - vstupní, výstupní maximální výška provalku [mm].

Vstupuje-li již do válců provalek s proměnným tvarem bočních ploch a vystupuje-li z válcovací mezery rovněž s proměnným tvarem bočních ploch, pak hodnoty b_{0max}, b_{1max}, popřípadě b_{0s}, b_{1s} je nutno experimentálně zjistit vždy pro daný případ válcování.

V závislosti na druhu a způsobu válcování lze tedy vypočítat všechny tři přírůstky šířkových deformací Δb_{max}, Δb_s a Δb_{styk} :

$\Delta b_{max} = b_{1max} - b_0$ (přírůstek max. šířky) (3.17)

$\Delta b_s = b_{1s} - b_0$ (přírůstek střední šířky) (3.18)

$\Delta b_{styk} = b_{1styk} - b_0$ (přírůstek stykové plochy provalku) (3.19)

V mezeře hladkých válců se obvykle zjednodušeně předpokládá lineární přírůstek šířky stykové plochy provalku s válci. Střední hodnota této šířky b_s se stanovuje ze vztahu

$$b_s = \frac{b_0 + b_1}{2} \tag{3.20}$$

a tedy horizontální průmět stykové plochy

$$S_h = b_s \cdot l_d \tag{3.21}$$

Pro výpočty šíření při válcování tlustých provalků s volným šířením se používají tyto vybrané vzorce v podmínkách předvalkových trati:

Gubkinův vzorec

$$\frac{\Delta b}{\Delta h} = \frac{\mu}{\sqrt{2}} \cdot \left(\frac{D}{h_0}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(\frac{\Delta h}{h_0}\right)^{\frac{1}{2}} - \frac{1}{2}\frac{\Delta h}{h_0} + \frac{\mu}{\sqrt{2}}\left(\frac{D}{h_0}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(\frac{\Delta h}{h_0}\right)^{\frac{3}{2}} - \frac{1}{2}\left(\frac{\Delta h}{h_0}\right)^2 \tag{3.22}$$

Bachtinovův vzorec

$$\frac{\Delta b}{\Delta h} = 0{,}407 \cdot \left(\frac{D}{h_0}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(\frac{\Delta h}{h_0}\right)^{\frac{1}{2}} - 0{,}287\,\mu\frac{\Delta h}{h_0} \tag{3.23}$$

Smirnovův vzorec

$$\frac{\Delta b}{\Delta h} = \mu \cdot \left(\frac{D}{h_0}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(\frac{\Delta h}{h_0}\right)^{\frac{1}{2}} - \frac{1}{2}\frac{\Delta h}{h_0} + \mu \cdot \left(\frac{D}{h_0}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(\frac{\Delta h}{h_0}\right)^{\frac{3}{2}} - \frac{1}{2}\left(\frac{\Delta h}{h_0}\right)^2 \tag{3.24}$$

Tarnovského vzorec

$$\frac{\Delta b}{\Delta h} = \frac{0{,}61}{\sqrt{2}} \cdot \left(\frac{D}{h_0}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(\frac{\Delta h}{h_0}\right)^{\frac{1}{2}} - 0{,}05 \tag{3.25}$$

kde D je průměr válců [mm],

μ - koeficient tření (výpočet se provádí podle EKELUNDOVA vztahu(5)),

Δb - absolutní šíření, $\Delta b = b_1 - b_0$ [mm],

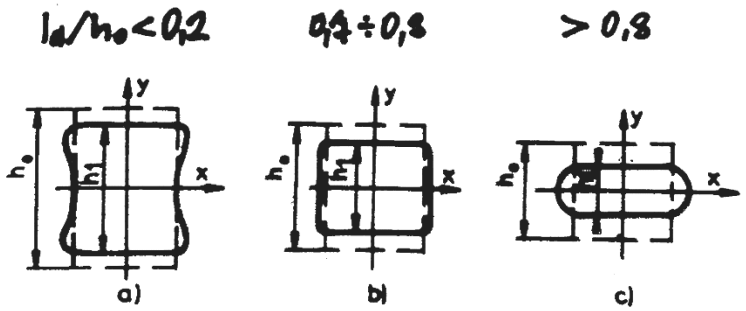
Δh - absolutní úběr [mm].

Míru šíření v závislosti na chemickém složení materiálu lze pro danou teplotu tváření určit například dle následujícího vzorce, který byl odvozen v Ústavu modelování a řízení tvářecích procesů na Katedře tváření kovů:

$$\begin{aligned}\frac{\Delta b}{\Delta h}(950°C) = {} & 0.5143 + 0.0561 \cdot C - 0.0120 \cdot Mn + 0.0312 \cdot Si + 0.0192 \cdot Cr - 0.6931 \cdot N - 3.4313 \cdot P + \\ & + 0.5912 \cdot S - 0.1400 \cdot Cu + 0.0399 \cdot Ni - 0.2552 \cdot Al - 0.1234 \cdot Mo + 17.0206 \cdot W - \\ & - 0.0579 \cdot V - 0.7188 \cdot Ti - 4.4571 \cdot B + 17.8213 \cdot Ca - 11.3084 \cdot Nb\end{aligned} \tag{3.26}$$

Obsah jednotlivých prvků je v této rovnici uváděn v hm. %. Rovnice (3.26) byla získána válcováním cca 30 typů ocelí na hladkých ocelových válcích laboratorní válcovací stolice K350 v konfiguraci kvarto.

Charakteristické případy pronikání plastické deformace po výšce průřezu a vliv průměru hladkých pracovních válců na šíření můžeme vidět na obrázcích 3.6 a 3.7.



Obr. 3.6 Charakteristické případy pronikání plastické deformace po výšce průřezu:
a) výšková deformace neproniká až do středu výšky průřezu
b) výšková deformace zasahuje střední vrstvy
c) ve středních vrstvách je max. výšková deformace

Obr. 3.7 Vliv průměru hladkých pracovních válců na šíření
a) výchozí klínovitý vzorek délky 150 mm s frézovanými vruby (bokorys)
b) klínovitý vzorek po válcování (válce o průměru 140 mm – půdorys)
c) klínovitý vzorek po válcování (válce o průměru 64 mm – půdorys)

❑ Válcovací síla

Válcovací síla je definována jako vertikální složka výsledné přítlačné síly válcovaného kovu na pracovní válce. Je určena jako součet elementárních vertikálních sil vyvolaných radiálními a tangenciálními napěťovými složkami.
Válcovací sílu lze vypočítat jako součin středního přirozeného deformačního odporu (SPDO) σ_{ps}, středního tvářecího faktoru Q_{Fv} a stykové plochy provalku s pracovní části válce S_h.

$$F_V = \sigma_{ps} \cdot Q_{F_V} \cdot S_h \tag{3.27}$$

kde F_V je válcovací síla [kN],
σ_{ps} - střední přirozený deformační odpor [MPa],
S_h - horizontální průmět stykové plochy provalku s pracovní částí válce [mm^2],
Q_{Fv} - střední tvářecí faktor.

Při válcování plochých výválků s malou konečnou tloušťkou je nutné počítat s ploštěním válců, a tedy se zvětšením hodnoty l_d a se šířením materiálu ve válcovací mezeře. Při válcování v kalibrech se hodnota stykové plochy určuje vzhledem k použité kalibrační řadě, velikosti šíření a geometrii kalibru.

Mezi hlavní činitele ovlivňující velikost patří:

- energosilové parametry (válcovací síla, krouticí moment a výkon pohonu),
- maximální záběrové schopnosti válců - pro zajištění spolehlivého záběru musí platit:

$$\Delta h_{\max} \le R_{\min} \alpha_{0,\max}^2 \tag{3.28}$$

kde $R_{\min}$ je minimální poloměr válců s uvažováním přesoustružení válců [mm],
$\alpha_{0,\max}$ - maximální záběrový úhel [°],

- mezní tvařitelnost ocelí za tepla,
- dosažení požadovaného strukturního stavu a vlastnosti,
- dosažení minimálních tloušťkových rozdílů v příčném a podélném průřezu plechu a maximální rovinnost.

V současných podmínkách je rozhodující kontrola energosilových parametrů a velký důraz je kladen na rozměrovou přesnost výválků.
Při výpočtu a kontrole energosilových parametrů se stanoví postupně:

- střední přirozený deformační odpor σ_{ps},
- válcovací síla F_v,
- krouticí moment M_k,
- výkon pohonu P.

Tvářecí faktor

Tvářecí faktor Q_{Fv} charakterizuje vliv středního napětí působícího na stykové ploše válcovaného kovu s válcem v pásmu deformace na velikost válcovací síly. Hodnota Q_{Fv} je závislá na tvaru a geometrii provalku ve válcovací mezeře, na deformačních podmínkách a podmínkách tření mezi provalkem a pracovními válci. Pro podmínky při válcování plochých výválků se tvářecí faktor vyjadřuje jako funkce

$$Q_{Fv} = f_1\left(\frac{l_d}{h_s}; \frac{b_0}{h_0}; \frac{\Delta h}{h_0}; \mu\right) \tag{3.29}$$

kde l_d/h_s je geometrický faktor,
l_d - délka pásma deformace [mm],
h_s - střední výška provalku $h_s = (h_0+h_1)/2$ [mm],
h_0; b_0 - počáteční výška a šířka materiálu [mm],
h_1; b_1 - výška a šířka po válcování [mm],
μ - součinitel tření při válcování,
$\Delta h = h_0 - h_1$ [mm].

Geometrický faktor v sobě zahrnuje geometrii válců a nastavení válcovací mezery a je vyjadřován:

$$\frac{l_d}{h_s} = \frac{2 \cdot \sqrt{R \cdot (h_0 - h_1)}}{h_0 + h_1} \tag{3.30}$$

kde R - poloměr válce [mm].

Pro podmínky válcování v symetrických kalibrech není na funkční vyjádření tvářecího faktoru Q_{Fv} jednotný názor. Rozdíly jsou zejména ve vyjádření geometrických faktorů.

$$Q_{Fv} = f_2\left(\frac{l_s}{h_{ss}}; \frac{b_{0\max}}{h_{0s}}; \frac{\Delta h_s}{h_{0s}}; \mu\right) \tag{3.31}$$

Geometrický faktor l_s/h_{ss} lze vyjádřit vztahem

$$\frac{l_s}{h_{ss}} = \frac{2 \cdot \sqrt{R_{sp} \cdot (h_{0s} - h_{1s})}}{h_{0s} + h_{1s}} \tag{3.32}$$

Třecí podmínky ve válcovací mezeře jsou ovlivňovány drsností a tvrdostí pracovních válců, povrchem zokujeného povrchu provalku, teplotou provalku, rychlostí válcování a dalšími faktory. U vyhodnocování pro konkrétní válcovací stolici předpokládáme, že hodnota součinitele tření μ je v průběhu válcování konstantní a lze ji zanést přímo do hodnoty válcovacího faktoru Q_{Fv}. Cílem je vyhledání optimální funkce vyjadřující vhodnou závislost tvářecího faktoru Q_{Fv} na podmínkách tváření.

❑ Válcovací moment

Válcovací moment je hlavní částí základního momentu M_z a zajišťuje proces deformace materiálu ve válcovací mezeře. Válcovací moment je převáděn z kroutícího momentu motoru přes vřeteno na pracovní válce. Obecně je velikost válcovacího momentu závislá na velikosti deformačního odporu, který klade provalek v procesu válcování pracovním válcům při jeho pohybu ve směru válcování. V praxi existují dva empirické vztahy pro určení hodnoty válcovacího momentu M_V [kN·m]. První ve tvaru:

$$M_V = F_t \cdot R = \tau_s \cdot S_h \cdot R = \sigma_{ps} \cdot Q_M \cdot S_h \cdot R \qquad (3.33)$$

kde R je střední pracovní poloměr [mm],
F_t - třecí síla [kN],
τ_s - střední def. odpor tvářeného kovu ve směru tečny k pracovnímu válci [MPa],
Q_M - střední tvářecí faktor pro určení válcovacího momentu.

Druhý vztah lze vyjádřit ve tvaru:

$$M_V = F \cdot a = F \cdot \psi_1 \cdot l_d = F \cdot \psi_1 \cdot \sqrt{R \cdot \Delta h} \qquad (3.34)$$

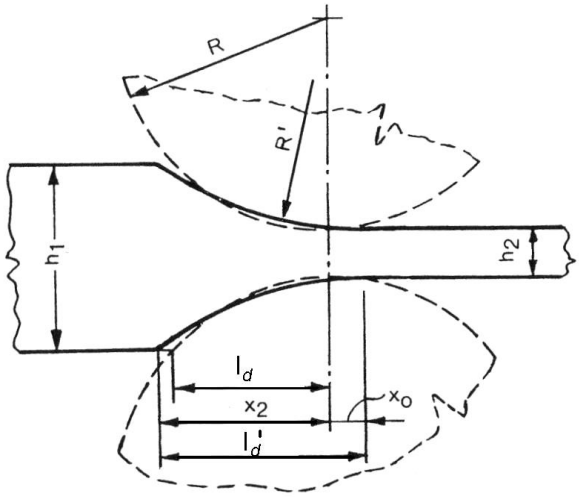
kde F je přítlačná síla [kN],
a - rameno výsledné přítlačné síly [m],
ψ_1 - součinitel charakterizující poměr ramena přítlačné síly a průmětu délky záběrového oblouku $\psi_1 = a/l_d$.

❑ Ploštění válců

Jelikož všechny válce jsou pružné, dochází také k deformaci válců během tváření. Hlavní podstatu této deformace ukazuje obr. 3.8, kde tvar tuhého válce s poloměrem R je porovnán s ploštěným válcem o poloměru R'.

Hlavní důsledky ploštění válců jsou:

- oblouk kontaktní plochy ve srovnání s tuhým válcem je prodloužený
- plochy vstupu a výstupu jsou posunuty z osy válců



Obr. 3.8 Geometrické vztahy při pružném zploštění válců

Pro poloměr zploštělého válce R' platí následují vztah:

$$R' = R \cdot \left(1 + e\frac{F_v}{b \cdot \Delta h}\right) \tag{3.35}$$

$$R' = R \cdot \left(1 + \frac{16 \cdot \left(1 - \nu^2\right)}{\pi E} \cdot \frac{F_v}{b \cdot \Delta h}\right) \tag{3.36}$$

kde R je poloměr válce [mm],
F_v - válcovací síla [N],
e - elastická konstanta [MPa^{-1}],
E - modul pružnosti v tlaku [MPa],
b - šířka provalku [mm].
ν - 0,3 (Poissonovo číslo).

Řešené úlohy

Příklad 3.1

Při válcování na blokovně o průměru válců D = 1 100 mm se provedl průchod s absolutním úběrem Δh = 120 mm. Stanovte záběrový úhel a délku pásma deformace podle přibližného a přesného vzorce. Vyjádřete procentuální rozdíl. Rozhodněte, zda lze v technologické praxi počítat podle přibližného vzorce.

♦ Řešení

Pro výpočet úhlu záběru použijeme následující rovnici:

$$\alpha = arccos\left(1 - \frac{\Delta h}{D}\right) = arccos\left(1 - \frac{120}{1100}\right) = 27°00'44''$$

Délku pásma deformace vypočteme z přibližného a přesného vztahu:

$$l_d = \sqrt{R \cdot \Delta h} = \sqrt{550 \cdot 120} = 256{,}9\ mm$$

$$l_d = \sqrt{R \cdot \Delta h - \frac{\Delta h^2}{4}} = \sqrt{550 \cdot 120 - \frac{120^2}{4}} = 249{,}8\ mm$$

Procentuální chybu pak určíme jednoduše pomocí trojčlenky:

100%.....249,8 mm

x% ……256,9 mm

$$x = \frac{256{,}9}{249{,}8} \cdot 100 = 102{,}84\%$$

Chyba při použití přibližného vzorce v tomto případě představuje 2,84 % a tento přibližný vzorec lze aplikovat i v technologické praxi.

Shrnutí pojmů kapitoly

Pásmo deformace – záběrové schopnosti válců – předstih – deformační rychlost – šíření – válcovací síla – válcovací moment – tvářecí faktor – ploštění válců.

Otázky k probranému učivu

3.1. Co jsou to záběrové schopnosti válců?

3.2. Co je předstih při válcování?

3.3. Co je to deformační rychlost? Jakou má jednotku?

3.4. Co vyjadřuje šíření materiálu při válcování?

3.5. Jaké jsou 3 druhy šíření?

3.6. Kteří činitelé mají zásadní vliv na velikost šíření?

3.7. Jak je definována válcovací síla?

3.8. Co charakterizuje tvářecí faktor?

3.9. Na čem závisí hodnota tvářecího faktoru?

3.10. Co je to válcovací moment?

3.11. Jaké jsou hlavní důsledky ploštění válců?

Použitá literatura, kterou lze čerpat k dalšímu studiu

[1] KOLLEROVÁ, M., et al. *Valcovanie*. 1. vydání. Bratislava: Alfa, 1991. 576 s. ISBN 80-05-00729-9.

[2] GINZBURG, V. B. *Steel-Rolling Technology : Theory and Practice*. New York : Marcel Dekker, 1989.

4. Výroba předvalků a návaznost válcování na plynulé odlévání

Čas ke studiu: 3 hodin

Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

popsat výrobu předvalků, výhody a nevýhody plynulé litých polotovarů ...

Výklad

Výchozí materiál ve válcovnách

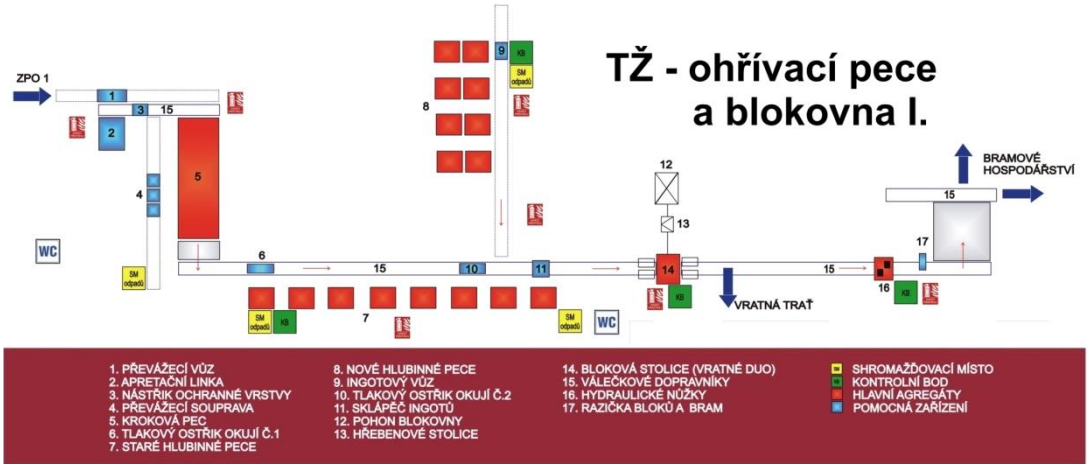
1) **litý** – ingoty, plynulé lité předlitky (PLP), odstředivě lité duté ingoty, tlakově lité bramy, práškové materiály a další
2) **předvalky** – válcované za tepla

Výroba předvalků

- **blokovna**
  těžké předvalkové tratě, válcuje bloky čtvercového průřezu, popř. i bramy do ↔ 1200 mm, ohřev v hlubinných pecí, vratné duo (masivní manipulátory), oblina + kalibry, hranění. Schéma blokovny v Třineckých železárnách je na obr. 4.1.

- **slabing**
  válcování bram, vodorovné i svislé válce, hladké, na stojato odstranit úkosy, pak na plocho (už se nepoužívá – nahrazeno kontilitím)

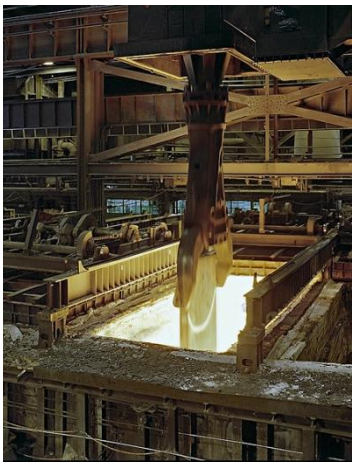
- **sochorové tratě**
  stolice pro válcování sochorů a ploštin, moderní – spojité, kalibrace (skříňové, kosočtverec – čtverec, oval – čtverec, oval – kruh)



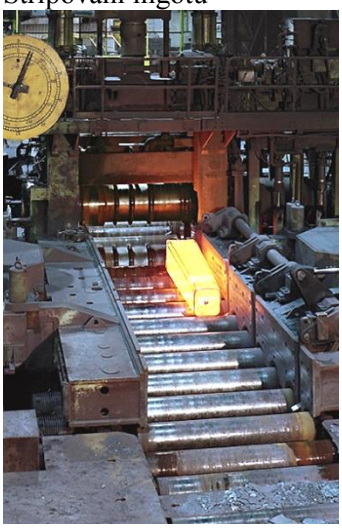
Obr. 4.1 Blokovna v Třineckých železárnách

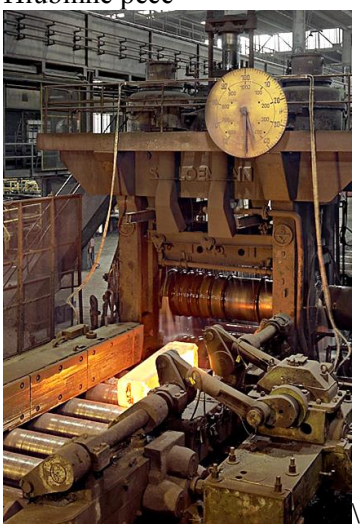
Předválkové tratě jsou jednostolicové nebo dvoustolicové v tandemovém uspořádání se stolicí duo, popř. trio (starší tratě). V současné době mají blokovny válce s průměry 1200 a 1300 mm, popř. až 1350 mm. Ingoty se ohřívají v hlubinných pecích. Jedna hlubinná pec má zpravidla 4 komory pro 6 až 8 ingotů. Válcování ingotů vyžaduje využití horních teplot ohřevu, které zajišťují větší svařitelnost a dosažení vyšších doválcovacích teplot. Postup válcování z ingotů na blokovně znázorňují fotografie na obr. 4.2.

Stripování ingotu



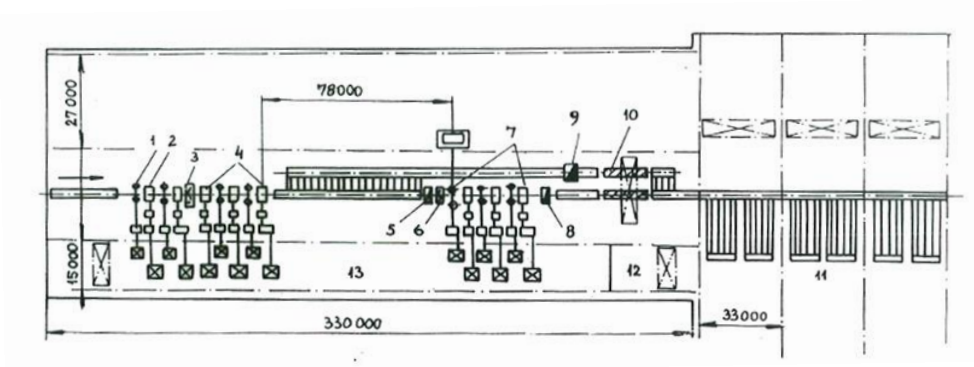
Hlubinné pece





Obr. 4.2 Válcování ingotu na blokovně

Sochorové tratě pracují zpravidla jako jednotářové tratě, umístěné přímo za blokovnou v uspořádání: otevřeném, polospojitém nebo spojitém (např. obr. 4.3).



Obr. 4.3 Dispozice spojité sochorové tratě o třech pořadích

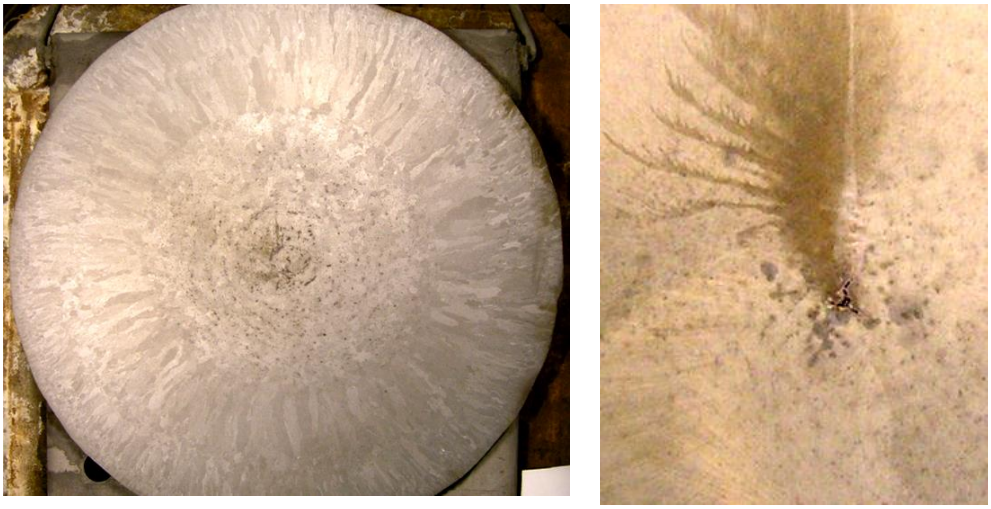
❑ Plynulé lití polotovarů (PLP; kontislitky)

Dnes nejpoužívanější pro výrobu válcovenských polotovarů

Přednosti plynulého lití oproti ingotové cestě:
- produktivita,
- úspora materiálu 10 až 15 %,
- úspora palivové energie,
- úspora výrobních nákladů a investičních nákladů
- úspora pracovních sil,
- zlepšení povrchové a vnitřní jakosti a homogenity.

Nevýhody plynulého lití:
- středové vycezeniny a pórovitost (obr. 4.4 a 4.5), jejichž tlakové zavaření vyžaduje určitý stupeň přitváření,
- rozměrově a tvarově omezený sortiment plynule litých předlitků (PLP),
- vesměs nedostačující licí rychlost vzhledem k požadovaným vstupním rychlostech spojitých tratí.

Obr. 4.4 Makrostruktura plynule lité bramy tl. 150 mm
(transformátorová ocel se 3 % Si)



osové ředliny osová trhlina

Obr. 4.5 Kruhový kontislitek Ø 535 mm

V současné době se plynule odlévá velmi široký sortiment ocelí. Kromě běžných druhů uhlíkových a slabě legovaných ocelí se odlévají i ocelí mikrolegované, křemíkové, korozivzdorné, žárupevné, žáruvzdorné atd.

Zařízení pro plynulé odlévání (ZPO)

Jde o přímé spojení plynulého lití na ZPO s pevnými krystalizátory a o válcování hotových výrobků. Tento postup je limitován značnými rozdíly mezi výstupní rychlostí PLP a minimální vstupní rychlostí hotovních válcovacích tratí.
Poněvadž na ZPO s pevnými krystalizátory je obtížné zvětšení licí rychlosti na 6 až 7 $m \cdot min^{-1}$, zařazují se mezi ZPO a válcovací trať vysokoredukční tvářecí stroje. Některé z nich, např. planetové stolice Sendzimir nebo Platzer, mohou při prodloužení v jednom průchodu vyválcovat hotový vývalek (pás). Výhledově by se rozměry a tvary PLP přiblížit hotovým výrobkům.

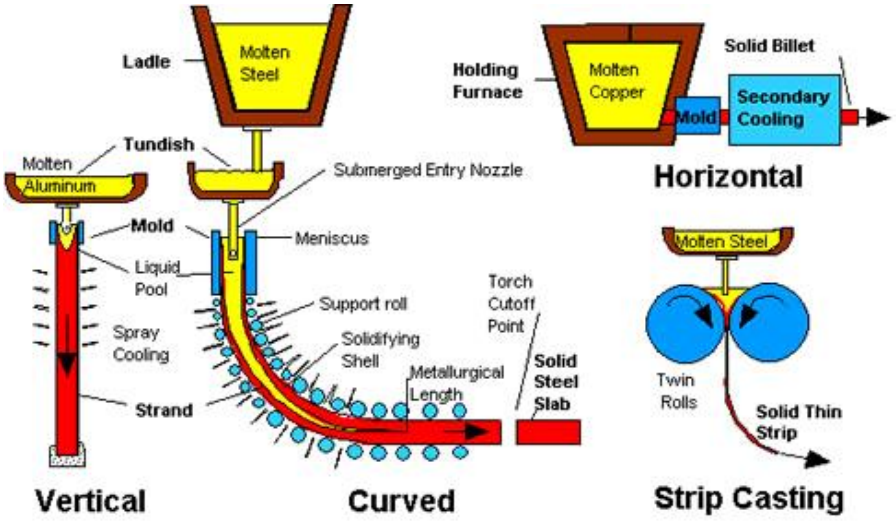
Požadované menší rozměry PLP a zároveň větší licí rychlosti zajišťuje vývoj a zavedení nové generace ZPO s pohyblivými krystalizátory. Fotografie kontislitku a příklady klasických a nových typů ZPO jsou na obr. 4.6 – 4.9.

Plynule lité bramy

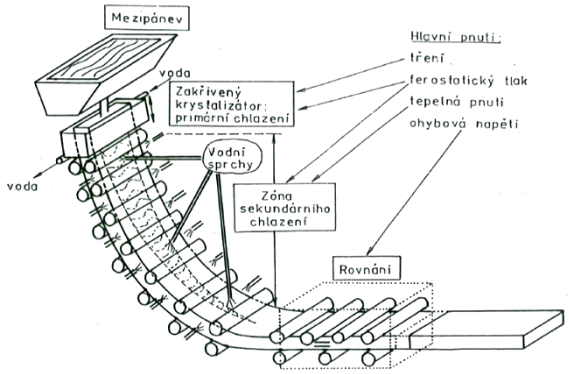
Kontislitky kruhového průřezu

Sochorové kontilití

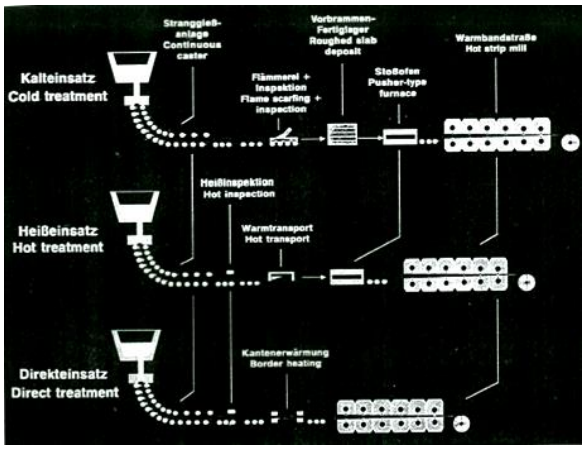
Obr. 4.6 Plynulé lité polotovary

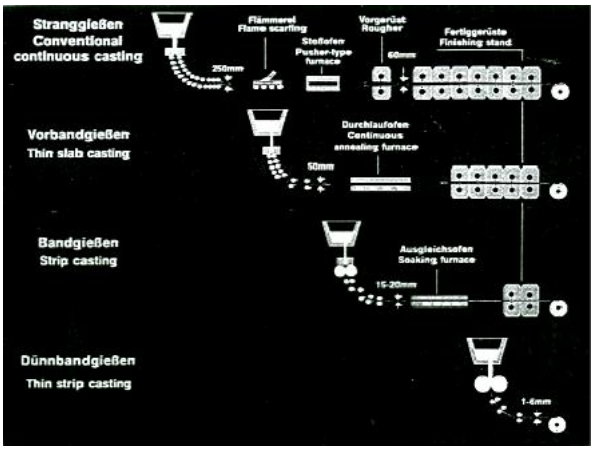


Obr. 4.7 Různé technologie plynulého odlévání oceli a neželezných kovů



Obr. 4.8 Bramového plynulé lití s ohybem předlitku





Obr. 4.9 Plynulé lití tenkých bram a pásů

❑ Ingoty

Rozměry, tvar a hmotnost ingotů závisí na účelu jejich použití a na chemickém složení oceli. Průřez ingotu je:

- *čtvercový* pro válcování předvalků, tvarové oceli, úzkých a částečně širokých pásů, univerzální ploché oceli a bezešvých trubek;
- *obdélníkový* pro válcování plochých vývalků, tj. tlustých plechů a tenkých plechů, širokých pásů a univerzální ploché oceli větších šířek;
- *kruhový* pro válcování bezešvých trubek
- *mnohoúhelníkový* většinou pro předkovky a výkovky.
-

Platí obecná zásada, že jakostnější a náročnější ocel se odlévá do ingotů o menší hmotnosti a větším úkosu. Do ingotů největších hmotností se odlévají uhlíkové oceli s obsahem uhlíku do 0,3 %.

Shrnutí pojmů kapitoly

Ingoty – plynulé lité předlitky (PLP) – předvalky – blokovna – slabing – sochorové tratě

Otázky k probranému učivu

4.1. Jaké jsou předvalkové tratě?

4.2. V jakých pecích se ohřívají ingoty před válcováním?

4.3. Jaké jsou výhody plynulého lití?

4.4. Jaké jsou nevýhody plynulého lití?

4.5. Jaké je rozdělení ingotů podle jejich průřezu?

4.6. Co myslíte, co má lepší povrchovou a vnitřní jakost - ingot a nebo plynule litý předlitek?

4.7. Používají se v dnešní době ještě ingoty?

Použitá literatura, kterou lze čerpat k dalšímu studiu

[1] KOLLEROVÁ, M., et al. *Valcovanie.* 1. vydání. Bratislava: Alfa, 1991. 576 s. ISBN 80-05-00729-9.

[2] GINZBURG, V. B. *Steel-Rolling Technology : Theory and Practice*. New York : Marcel Dekker, 1989.

5. Ploché výrobky válcované za tepla a za studena

Čas ke studiu: 8 hodin

Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

Popsat výrobu tlustých plechů a pásů válcované za tepla a za studena.

Získá přehled o výrobních podnicích v našem regionu a jejich výrobním sortimentu.

Výklad

5.1. Tlusté plechy

Ploché vývalky, které mají po celé délce plný průřez. Hranicí mezi tlustými a tenkými plechy je **tloušťka 3 mm**. Šířka až 5 m, maximální tloušťka až 100 mm.

Výchozí polotovary – bramové ingoty (až 100 tun), plynule lité bramy, válcované nebo kované bramy. Ohřev v průběžných krokových či narážecích pecích (obr.5.1).
Válcují se zejména na **jednostolicových** (méně dvoustolicových aj.) – obr. 5.2 a 5.3, **vratných tratích** (**kvarto** či duo stolice). Možnost navalcovat šířku, otočit rozvalek o 90° a dovalcovat délku (omezení anizotropie).

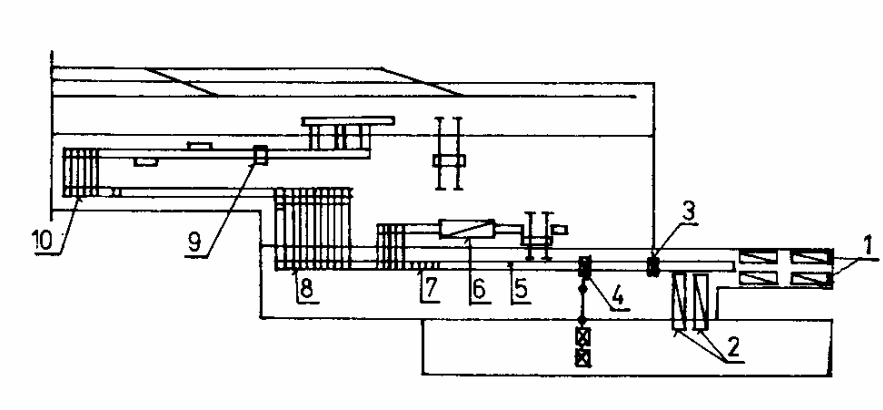
Brama po ohřevu v krokové peci

Rozvalek z bramy na plechotrati kvarto

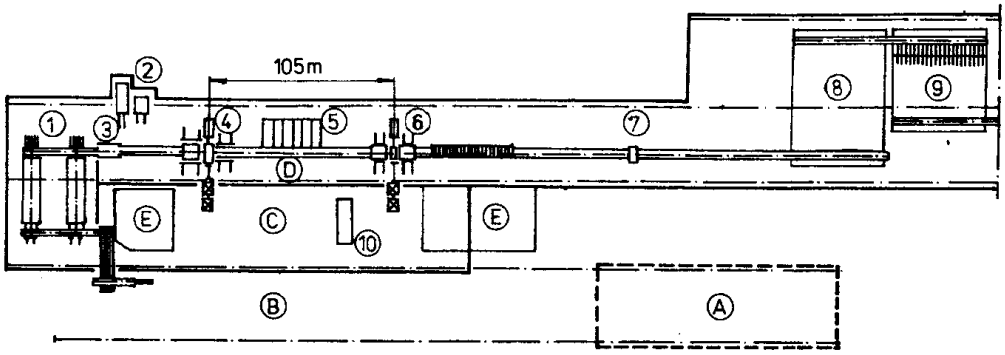
Výsledná tabule tlustého plechu

Kvarto 3,5 (Vítkovice)

Obr. 5.1 Průběh výroby tlustého plechu



Obr. 5.2 Schéma jednostolicové válcovací tratě pro válcování tlustých plechů
1-komorové ohřívací pece, 2-strkací ohřívací pece, 3-lamač okují, 4-stolice kvarto, 5-válečkový dopravník, 6-pec pro tepelné zpracování, 7-rovnací stroje, 8-chladicí lože, 9-nůžky, 10-vlečník



Obr. 5.3 Schéma dvoustolicové tratě 5,5 – 4,8 pro válcování tlustých plechů
1-strkací pece, 2-vozové pece, 3-lamač okují, 4- 5,5 m stolice kvarto, 5-dopravní zařízení, 6- 4,8 m stolice kvarto, 7-rovnačka za tepla, 8-chladicí lože, 9-kontrolní lože, 10-soustružna válců,

Válcovací stolice jsou vybaveny dvěma nezávislými **systémy stavění**: elektromechanické hrubé stavění mezi průchody a jemné hydraulické stavění během průchodu. Podmínkou dlouhé životnosti je účinné **chlazení válců**.
Válcování plechů je spojeno s různými úpravenskými zařízeními (pro zrychlené ochlazování, chladicí lože, zařízení pro dělení a pece pro tepelné zpracování). Vhodné spojení s **TMZ (řízeným válcováním a ochlazováním**) → ovládání teplot, deformací → cílem je řídit strukturní procesy → jemnější zrno → lepší mechanické vlastnosti.

❑ Kvarto 3,5 Evraz Vítkovice Steel, a.s.

Vstupním materiálem pro válcování na Kvartu 3,5 jsou většinou bramy z vlastního kontilití, které jsou ohřívány v narážecích pecích. Rozměry bram:

- tloušťka: 100 - 250 mm,
- šířka: 800 - 1 580 mm,
- délka: 1 700 - 3 100 mm.

Nejkratší délka bramy je omezena roztečí nosných skluznic a nejdelší světlou šířkou pece.
Každá pec má dvě pecní řady, ale jinou konstrukci, systém řízení i jiné výkonostní a technologické parametry ohřevu.

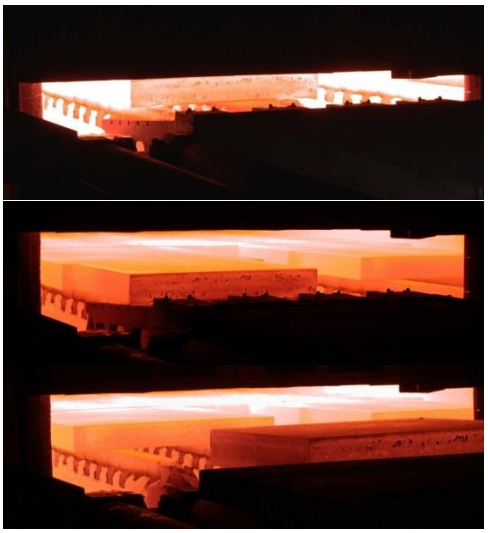
Sázení a ohřev bram v narážecích pecích

Jsou dvě možnosti sázení bram :

- sázení bram ze skladu (obr. 5.4) 3,5 Kvarto - bramy jsou uloženy na skladě a jsou odsazeny do pecí podle předem připraveného sázecího plánu,
- sázení bram přímou cestou - bramy jsou dopravovány z výběhového úseku ZPO jen po nutném vychlazení a jsou odsazeny do narážecích pecí. Bramy mají zpravidla vyšší teplotu, která závisí na době vychlazování a dopravy.

Ohřev v narážecích pecích se provádí tak, aby nedošlo při ohřevu k poškození bram. Bramy jsou podle jakosti rozděleny do skupin, každá skupina má jinou strategii ohřevu. Skupiny oceli jsou označeny číslicemi 1 - 9. Jednotlivé oceli jsou přiřazeny do skupin ohřevu v systému SŘHV (Systém řízem hutní výroby). Tepelný režim pecí je řízen procesním počítačem ORS (Ofen rechner system) v závislosti na tempu válcování tak, že je zaručen ohřev na předepsanou teplotu a rovnoměrné prohřátí bram. Oceli běžných jakostí jsou ohřívány na průměrnou teplotu bramy 1 220 °C (při tloušťce vývalku do 6,4 mm na 1 250 °C - rychlejší ochlazování při válcování). Legované, mikrolegované a výšeuhlíkové oceli jsou ohřívány na průměrnou teplotu bramy 1 250 °C (větší deformační odpor při tváření- více úběrů a tím rychlejší ochlazování).

Obr. 5.4 Sklad bram



Obr. 5.5 Sekvence vytahování bram z pece

Vytahování bram z narážecích pecí

Na základě signálu od procesního počítače válcovací stolice (PRG) nebo signálu od operátora, se z odpovídající řady pece vytahuje ohřátá brama pomocí vytahovacího zařízení (obr. 5.5). Brama se pokládá do osy zastavené sekce valníku za pecí. Po uložení bramy na valník se brama dopravuje k hydraulickému odokujovači.

Při konvenčním válcování (KV) nebo teplotně kontrolovaném válcování (TKV), kdy nepatrné snížení teploty bramy před válcováním nemá podstatný vliv se signál na vytahování bramy z pece vydává tak, aby brama byla dopravena na sekci valníku za odokujovačem s určitým malým časovým předstihem. Odtud se pak brama dopravuje před válcovací stolici, jakmile je válcovací stolice uvolněna.

Při řízeném válcování (ŘV, TM) se signál na vytahování bramy z pece vydává tak, aby byl dodržen pevný rytmus válcování skupiny bram a nová brama mohla být dopravena ke stolici bez zdržení. Oscilace na sekci valníku (za odokujovačem) se provádí rychlostí ±0.15 $m.s^{-1}$, aby se zamezilo místnímu ochlazení bramy a přehřátí válečků.

Hydraulický odokujovač bram

V hydraulickém odokujovaci se odstraňují primární okuje z horního a spodního povrchu bram vodou o tlaku 23 MPa (na tryskách). V závislosti na tloušťce bramy se plynule nastavuje odpovídající vzdálenost horních trysek od povrchu bram. Spodní trysky jsou napevno pod úrovní valnic. Tloušťka bramy je zadávána systémem řízení odokujovače buď z ORS nebo manuálně z kabiny operátora. Po průchodu odokujovačem se brama:

- dopravuje přiváděcím valníkem k válcovací stolici, nebo
- osciluje na sekci valníku za odokujovačem.

Základní technické parametry válcovací stolice 3,5 Kvarto

Válcovací stolice má čtyři válce: dva pracovní a dva opěrné.

- Pracovní válce (obr. 5.6). - průměr max. 1 005 mm
  - průměr min. 940 mm.
  - délka těla válce 3 500 mm.
- Opěrné válce (obr. 5.7). - průměr max. 1 900 mm
  - průměr min. 1 750 mm.

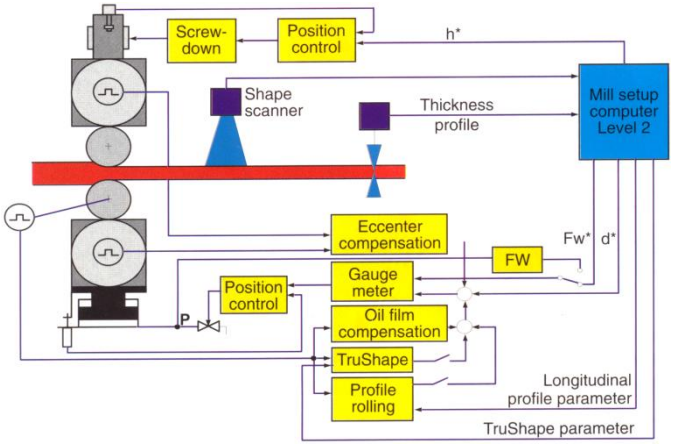
Obr. 5.6 Pár pracovních válců s ložisky připravený k výměně

Obr. 5.7 Opěrné válce, vepředu odstrojený válec, vzadu válec s ložisky a chladícími tryskami

Stolice K3,5 je zobrazena na obr. 5.8. Tlaková schopnost stolice (maximální hodnota válcovací síly včetně dynamických špiček, působící ve válcovací mezeře, na kterou je válcovací stolice dimenzována, a která nesmí být při normálním provozu překročena) je 62 MN.

Obr. 5.8 Stolice K3,5 - pohled z boku a z velína

Nastavování válcovací mezery zajišťuje hrubé stavění (elektromechanické) a jemné stavění (hydraulické). Hydraulické válce AGC: jsou to hydraulické písty, které jsou uloženy do vybrání v dolních příčlích válcovacích stojanů pod ložiskovými tělesy opěrného válce. Vyrovnávají odskoky válců (při teplotních rozdílech v jednotlivých částech vývalku - tam kde je materiál chladnější tak více přitlačí) a fungují jako spodní jemné stavění (obr. 5.9).



Obr. 5.9 Automatický systém stavění válcovací mezery

Chlazení pracovních válců: segmentový systém chlazením, které zároveň slouží k ovlivňování teplotní roztažnosti pracovních válců. Segmentové chlazení je rozděleno do tří zón po délce těla válce (kraj - střed - kraj). Hydraulické odokujování na stolici: hydraulický ostřik se provádí vždy ve směru proti vstupu válcovaného materiálu mezi válce. Horní trysky se nastavují současně se zdvihem horního kompletu válců, takže není zapotřebí jejich výškové nastavování. Spodní trysky jsou stacionární. Protiohyb pracovních válců: jsou využívány hydraulické válce pro přítlak pracovních válců k opěrným.

Technologické měření

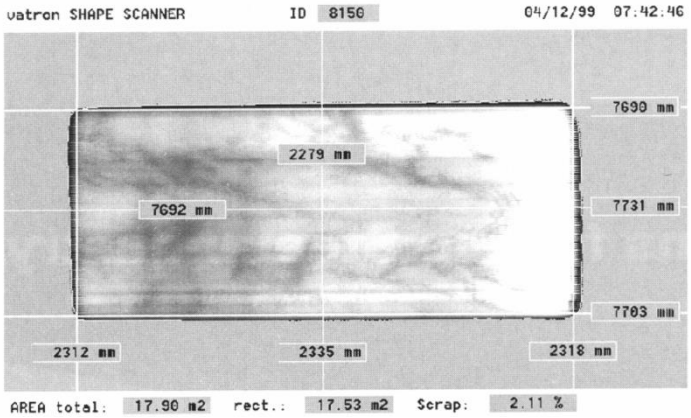
Skutečná **tloušťka** hotového výválku se měří u každého výválku po posledním průchodu pomocí bezkontaktního měřiče tloušťky se třemi hlavami. Měření tloušťky je prováděno za pohybu výválku uprostřed plechu a současně cca 150 mm od obou okrajů výválku tak, aby nebyl narušován plynulý průběh válcování. Při měření tloušťky je automaticky kompenzován vliv teploty a chemického složení oceli.

Šířka výválku se měří pravítky nebo měřičem tvaru.

Měření **teploty** bram a rozvalků se provádí před a za válcovací stolicí pyrometry.

Měření **tvaru** válcovaného materiálu (obr. 5.10) válcovaný materiál je opticky měřen pomocí měřice tvaru (Shape Scanner). Měřič tvaru je umístěn kolmo nad točnicí na výstupní straně stolice nad jeřábovou dráhou. Tvar válcovaného materiálu je zobrazen opticky na senzorové ploše. Přitom se pro příjem využívá vlastní záření teplého materiálu. Jsou měřeny :

- obrysy válcovaného materiálu a z toho odvozeny rozměry: délka a šířka,
- největší vepsaný pravoúhelník.

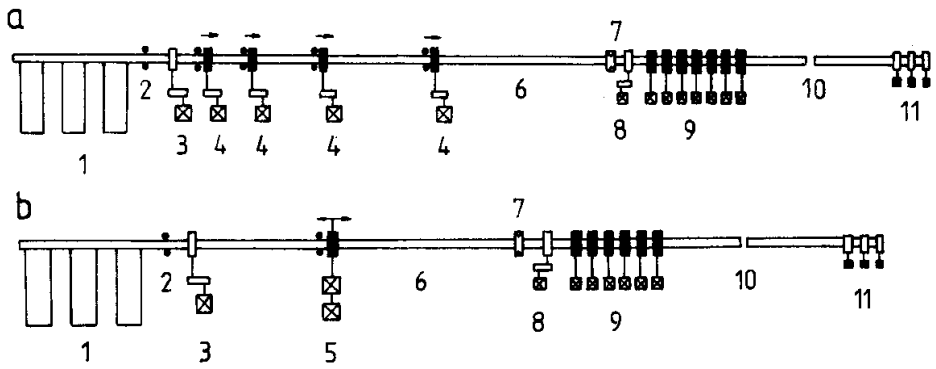


Obr. 5.10 Měření tvaru plechu

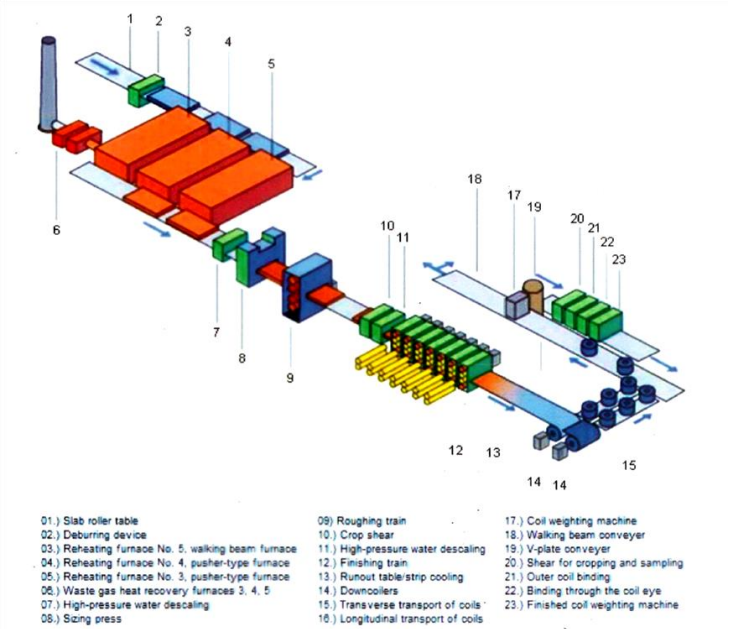
5.2. Pásy válcované za tepla

Rozhodující podíl z celkově vyráběného množství plochých výválků. Vyrábějí se v tloušťkách od 0,8 až 35 mm, v šířkách až do 2,3 m, svitky do hmotnosti 45 tun.

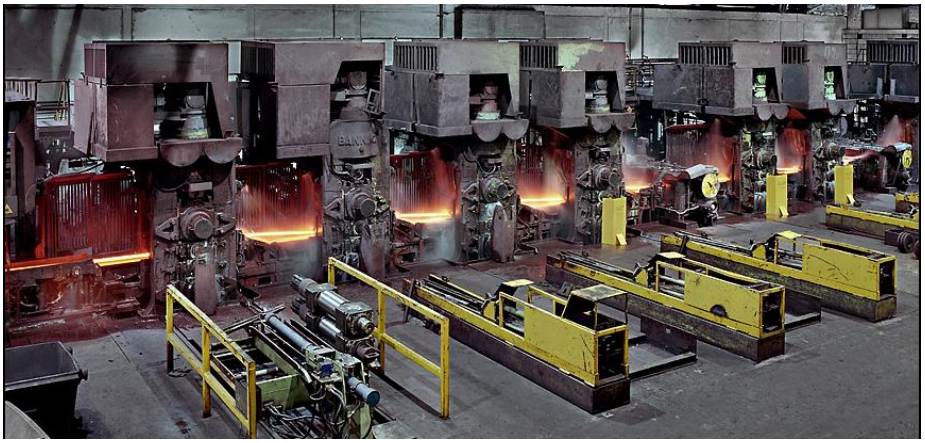
Pro válcování ocelových pásů za tepla se nejvíce používají válcovací trat **spojitá**, **polospojitá** (obr. 5.11 – 5.13), **Steckelova**, vratná kompaktní, planetová.
Problém **teplotního klínu** u spojitých tratí (až o 90°C chladnější konec pásu) – zavedena technologie válcování pásů s přirychlením (speed up). Technologie spočívá ve zrychlení válcovací rychlosti hotovního pořadí v okamžiku uchopení pásu navíječkou, čímž se chladnější rychleji válcované zadní části pásu ohřívají deformačním teplem.
Další možností je zavedení **svitkové skříně** (coilbox): Rozvalek se svine do svitku, tím si uchovává teplo a vyrovnává teplotu. Teplotní klín se po délce zmenší asi na 20 °C.



Obr. 5.11 Schéma spojité (a) a polospojité (b) širokopásové trati
1-ohřívací pece, 2-vertikální lamač okují, 3-horizontální lamač okují, 4-průběžná univerzální stolice kvarto, 5-vratná univerzální stolice kvarto, 6-spojovací valník, 7-letmé nůžky, 8-lamač okují, 9-průběžné stolice kvarto hotovního pořadí, 10-výběhový a chladicí úsek, 11-navíječky



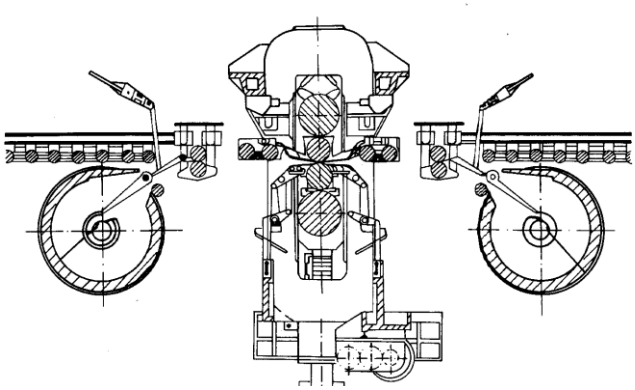
Obr. 5.12 Schéma moderní polospojité tratě pro válcování pásu za tepla



Obr. 5.13 Spojitá válcovací pořadí

Steckelova trať

Má vratnou stolici kvarto s navíječkami válcovaného pásu, umístěnými v ohřívacích pecích. Používá se především pro válcování pásů z ocelí obtížně tvařitelných za tepla, např. korozivzdorných. Schéma Steckelové trati vidíme na obr. 5.14.



Obr. 5.14 Schéma Steckelové trati

❑ Pásová trať P1500 Steckel (Minihuť)

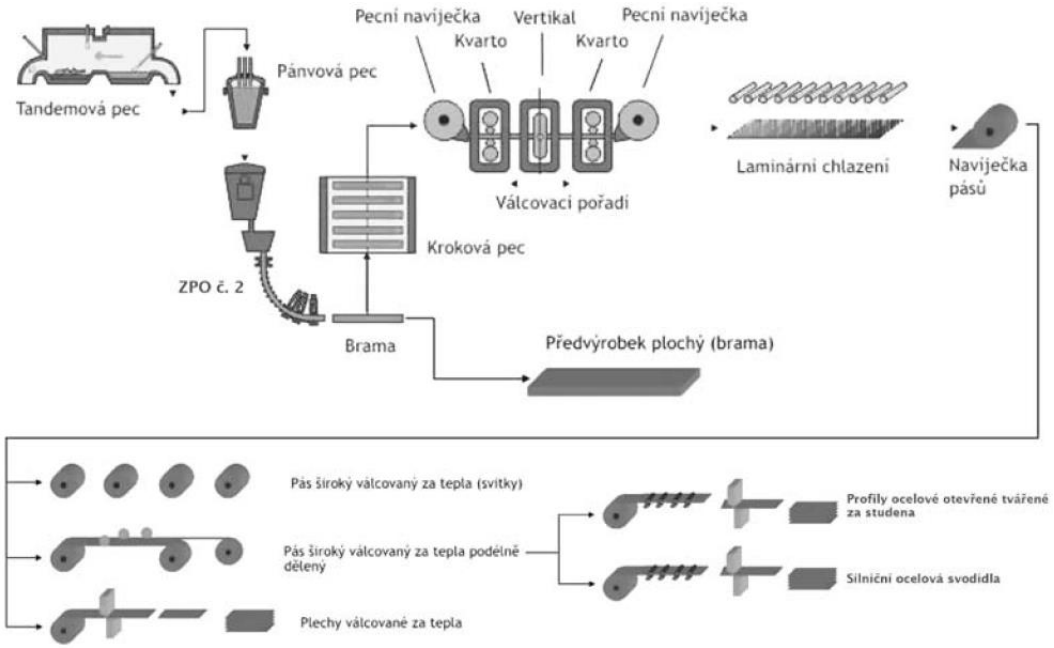
Schéma tratě je uvedeno na obr. 5.15. Tekutá ocel v licích pánvích je převážecími vozy dopravována do prostoru Minihutě, kde je tekutá ocel dále mimopecně zpracována na pánvové peci.

Na pánvové peci se provedou následující výrobní operace:

- teplotní a chemická homogenizace,
- desoxidace oceli a přesné nalegování na požadované chemické složení oceli,
- odsíření oceli,
- snížení obsahu nekovových vměstků,
- úprava teploty na předepsanou teplotu odlévání.

Po ukončení sekundárního zpracování oceli na stanovišti pánvové pece je licí pánev s tekutou ocelí usazena do otočného licího stojanu na zařízení plynulého odlévání a z licí pánve je ocel odlévána přes mezipánev do krystalizátoru. Je možné odlévat PLP šířky 740 až 1575 mm při tloušťce 150 mm. PLP je palivovým hořákem dělen na jednotlivé požadované délky (max. 18 m).

PLP je válečkovým dopravníkem dopraven v teplém stavu ke krokové předehřívací a vyrovnávací peci. Po ohřátí na válcovací teplotu jsou PLP dopravovány do prostoru válcovacích stolic válcovny P–1500 Steckel. Po odstranění okují je PLP zaveden do dvoustolicové tandemové vratné válcovací tratě s jednou vertikální pěchovací stolicí. Válcovací trať je vybavena dvěma pecními navíječkami, které zrovnoměrňují teplotu válcovaného pásu v průběhu válcování. Po posledním průchodu válcovací stolicí je pás veden válečkovým dopravníkem přes 7 sekcí laminárního chlazení do navíječky hotového pásu. Po navinutí, adjustáži a signování jsou svitky dopraveny do skladu (obr. 5.16).

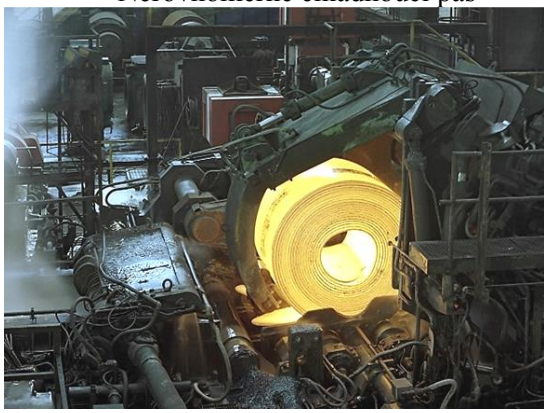


Obr. 5.15 Schéma tratě P1500 Steckel, ArcelorMittal Ostrava, a.s

Vlastní výrobní zařízení Steckelovy válcovny bylo projektováno na roční kapacitu cca 1 000 kt/rok. Postupnými technickými opatřeními byla roční kapacita výroby zvýšena na 1 270 kt/rok.

Nerovnoměrně chladnoucí pás

Chlazení vodou - detail



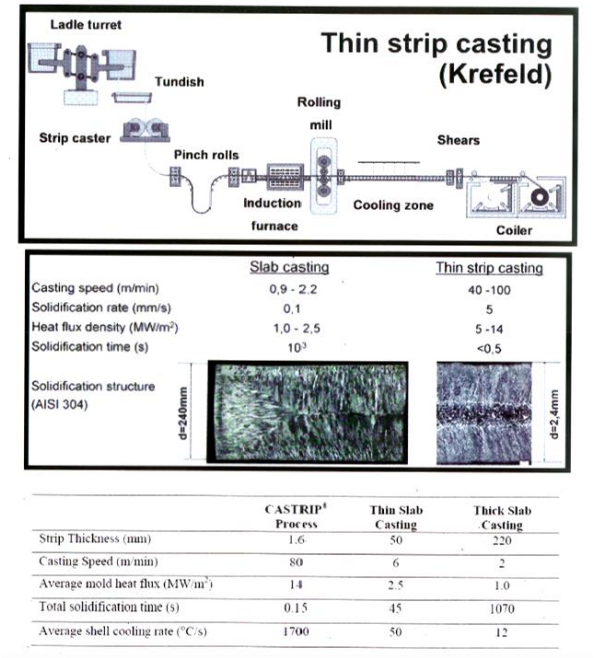
Naviječka pásů

Svitek

Obr. 5.16 Dvoustolicová trať P1500

Plynulé lití ocelových pásů

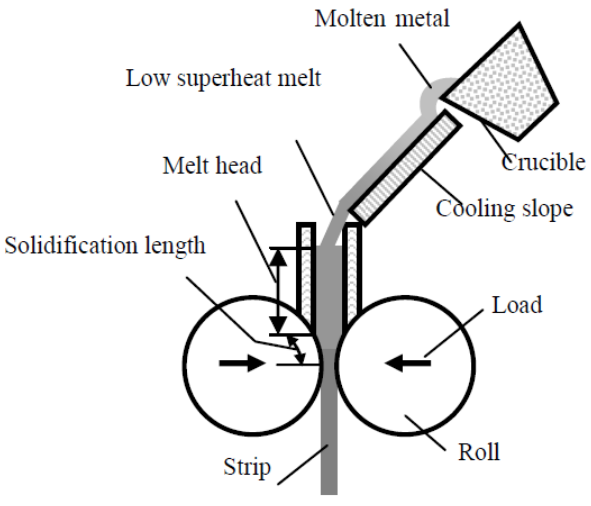
Obr. 5.17 Ocelový pás



	CASTRIP® Process	Thin Slab Casting	Thick Slab Casting
Strip Thickness (mm)	1.6	50	220
Casting Speed (m/min)	80	6	2
Average mold heat flux (MW/m²)	14	2.5	1.0
Total solidification time (s)	0.15	45	1070
Average shell cooling rate (°C/s)	1700	50	12

Obr. 5.18 Plynulé lití pásů

Lití pásu mezi válce – neželezné kovy



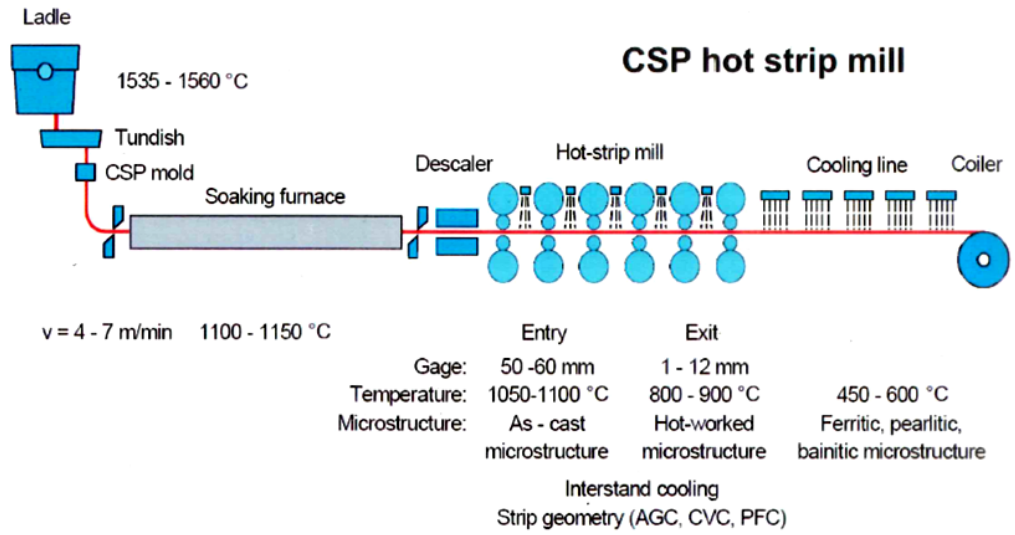
Obr. 5.19 Hořčíkové slitiny

Obr. 5.20 Hliník

❑ Válcování v jednom žáru

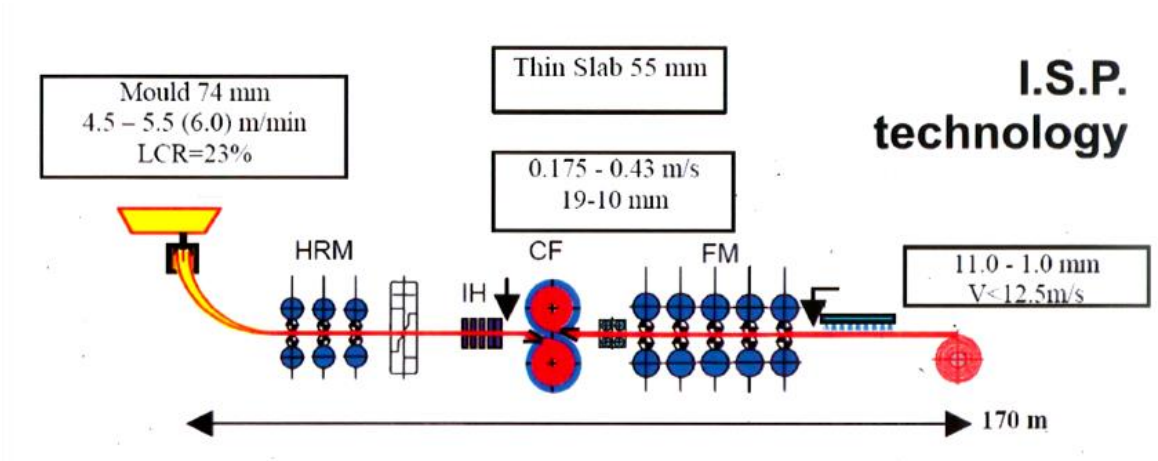
Válcování hned za zařízením plynulého odlévání (energeticky a ekonomicky velmi výhodné).
Odlévat různé tloušťky bram nebo odlévat přímo pás?
Jak sladit rychlost lití a válcování?

CSP : Compact Strip Production (obr. 5.21)
kontinuální, 160 m tunelová pec (až 3 bramy délky 50 m)



Obr. 5.21 CSP : Compact Strip Production

ISP : Inline Strip Production (obr. 5.22)
konti, dochází k tváření bramy v průběhu ohybu, dohřev v navíječce



Obr. 5.22 ISP : Inline Strip Production

5.3. Pásy válcované za studena

Převážná část vyrobených pásů válcovaných za tepla přichází k dalšímu zpracování do válcoven za studena.
Při válcování za studena se **zvyšují užitné vlastnosti pásů** – zvýšení povrchové jakosti, dosažení potřebných rozmanitých kombinací pevnostních a plastických vlastností, speciálních fyzikálních a užitných vlastností apod.
Tenké pásy, např. z nízkouhlíkových a vysokouhlíkových ocelí, elektrotechnických křemíkových ocelí, transformátorové, hlubokotažné, z austenitické CrNi oceli, pásy z neželezných kovů.

Postup zpracování pásů ve válcovnách za studena je zpravidla tento:

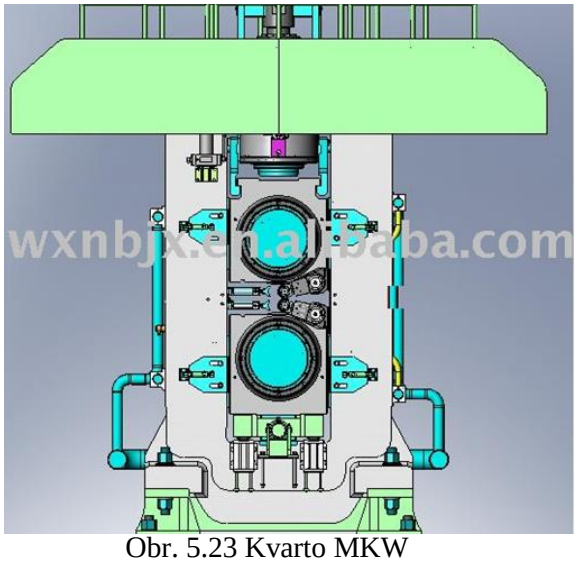
a) Průběžné moření pásu v roztoku HCl nebo H_2SO_4.
b) Válcování za studena na průběžné tandemové trati čtyřstolicové až šestistolicové.
c) Žíhání pásu v průběžných nebo poklopových žíhácích pecích.
d) Hladicí válcování na průběžné jednostolicové nebo dvoustolicové trati.
e) Konečná úprava rozměrů nebo povrchu plechu na dělicích, popř. pokovovacích linkách podle požadavků zákazníků.

Používané způsoby odstraňování okují:

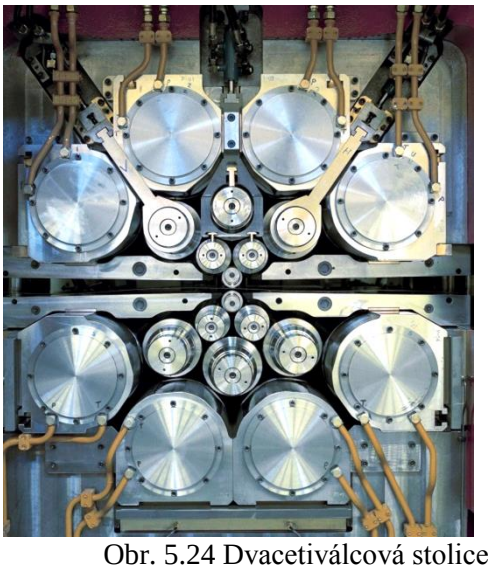
- chemické (moření v v roztoku HCl nebo H_2SO_4)
- elektrochemické (elektrolytické moření)
- mechanické (traskání, tahové a tlakové deformační prodloužení pásů, kartáčování a broušení.

Odmořený pás je náchylný ke korozi – rychle chránit.

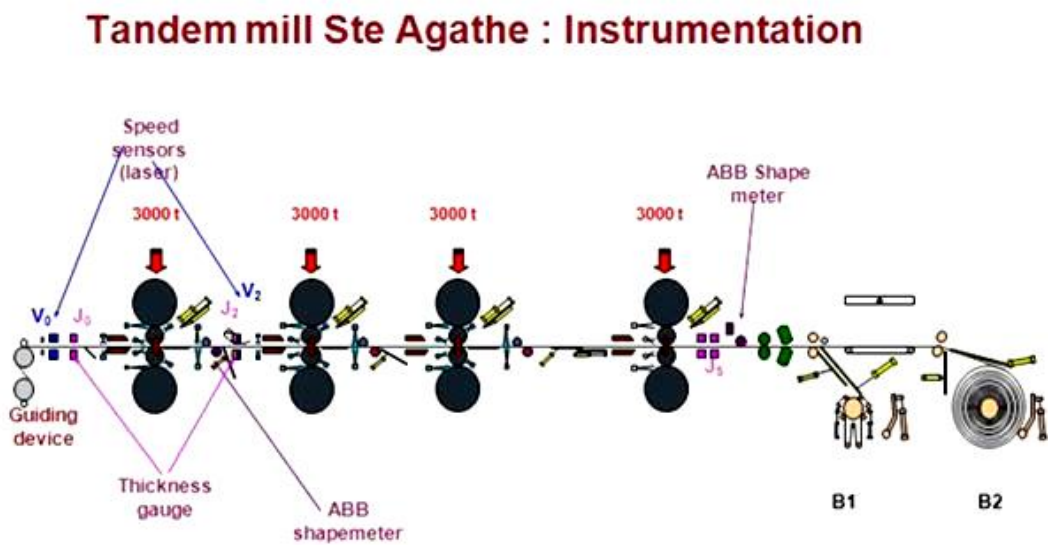
Základní **druhy stolic pro válcování pásu za studena**:
Stolice duo, klasické kvarto, kvarto MKW (Mehrwalzen-Kaltwalzwerk - obr. 5.23), šestiválcová stolice a dvacetiválcová stolice (obr. 5.24).



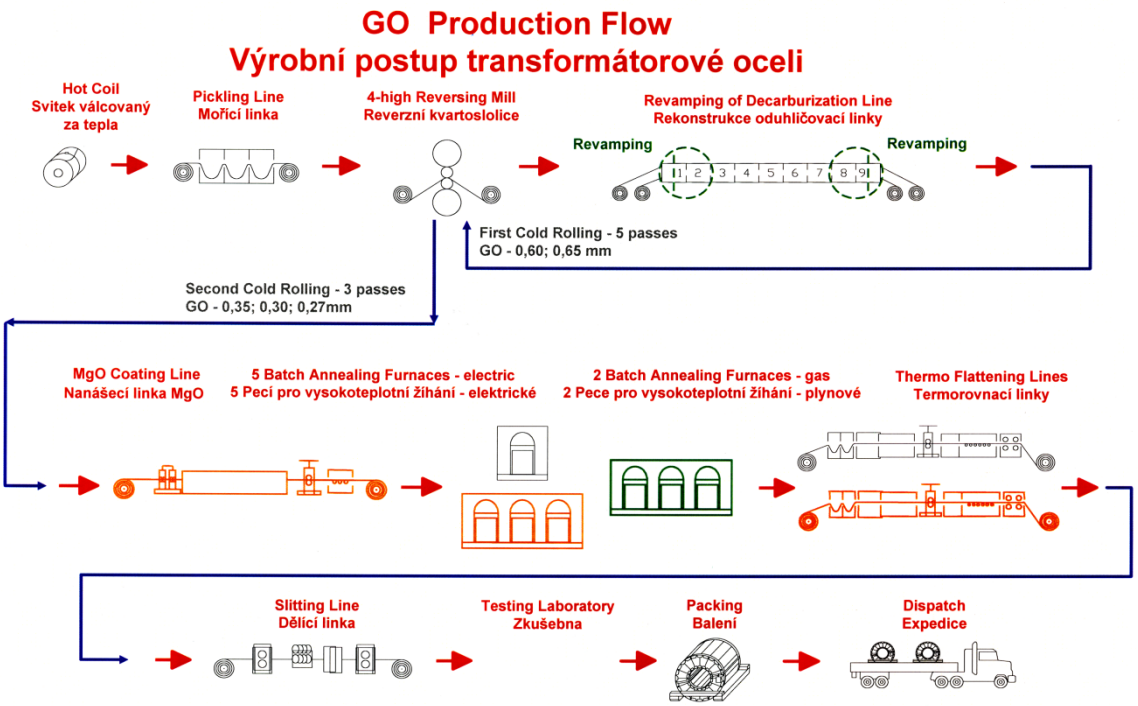
Obr. 5.23 Kvarto MKW


Obr. 5.24 Dvacetiválcová stolice

Všechny tyto stolice mohou pracovat jako vratné nebo průběžné. Příklady válcovací trati a postup výroby transformátorové oceli znázorňují obr. 5.25 a 5.26. Vratné stolice mají před stolicí a za stolicí navíjecí a odvíjecí bubny.



Obr. 5.25 Válcovací trať na válcování pásů



Obr. 5.26 Výrobní postup válcování transformátorové oceli

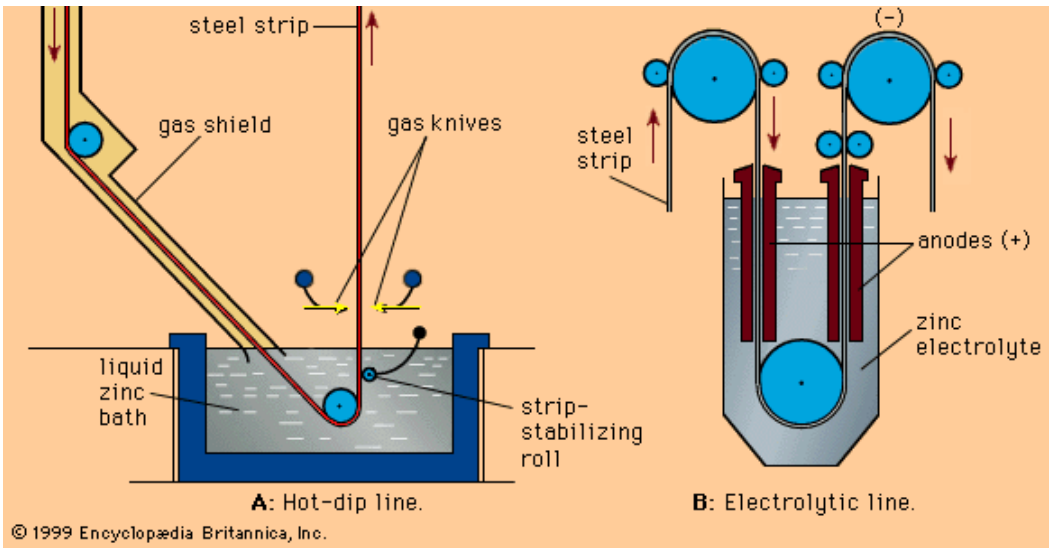
Specifika válcování za studena

- vznik deformační textury – anizotropie vlastností
- kumulace zpevnění – žíhání (mezioperační, finální – normalizační, rekrystalizační, na měkko, na odstranění pnutí; zušlechťování)
- tvrdokovové válce mazané (snížení tření a válcovacích sil, lepší povrch)
- menší průměr pracovních válců – menší šíření (a trhání hran), nižší válcovací síly, nižší efektivně naválcovatelná min. tloušťka
- válcování s tahem vyvozovaným navíječkami (přední, zadní) – zvýšená stabilita válcovaného polotovaru, možnost snížení deformačních odporů

Následkem intenzivního zpevňování ocelí při tváření za studena ztrácejí oceli postupně svou technologickou svařitelnost a po mezní celkové velikosti deformace za studena je jejich další tváření možné pouze až po předchozím rekrystalizačním žíhání**.** Mezioperační nebo konečné **žíhání** v ochranné atmosféře (vodík + dusík; poklopové žíhárny nebo spojité linky) – např. obr. 5.27.

Obr. 5.27 Žíhací pec

Další úpravenské operace ve válcovnách pásů
Tepelné zpracování, ochranné pokovování (Zn (obr. 5.28), Sn; ponorem do taveniny, galvanicky), lakování, plastování, plátování, smaltování, broušení, leštění, rovnání.



Obr. 5.28 Pozinkování válcovaných pásů

Shrnutí pojmů kapitoly

Tlusté plechy – pásy válcované za tepla – pásy válcované za studena – Steckelova trať – válcování v jednom žáru

Otázky k probranému učivu

5.1. Jaký je rozdíl mezi tlustým a tenkým plechem?

5.2. Jaké jsou výchozí polotovary pro válcování plechů a pásů?

5.3. Jaké jsou specifika válcovací tratě Steckel?

5.4. jaké jsou důvody válcování pásů za studena?

Použitá literatura, kterou lze čerpat k dalšímu studiu

[1] KOLLEROVÁ, M., et al. *Valcovanie.* 1. vydání. Bratislava: Alfa, 1991. 576 s. ISBN 80-05-00729-9.

[2] FABÍK, R. *Tváření kovů*. 1. vydání, VŠB-TU Ostrava, 2012. 333 s. ISBN 978-80-248-2572-4.

[3] GINZBURG, V. B. *Metallurgical design of flat rolled steels*. 1. vydání. New York: Marcel Dekker, 2005. 726 s. ISBN 0-8247-5847-1

6. Predikce energosilových parametrů válcování a metody řízení rovinnosti plochého provalku

Čas ke studiu: 2 hodin

Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

Definovat základní požadavky kladené na moderní válcovací stolice, jaké jsou možnosti řízení rozměrů, profilu a rovinnosti pásů.

Výklad

Při válcování pásů za tepla je rozhodující schopnost přesně predikovat válcovací sílu a energii válců pro bezchybnou kontrolu tvářecího procesu.
V minulosti byly modely predikce vyvíjeny především na základě OROWANOVY teorie a jejich variant. Avšak rozsah procesních podmínek v nichž je požadována přesná predikce, byl poněkud limitován především kvůli spoustě zjednodušujících předpokladů obsažených v OROWANOVĚ teorii. Přesná predikce energosilových parametrů pečlivě formulovaná metodou konečných prvků je patrně nejlepší volbou.
Tok kovů je ovlivňován distribucí tepla v pásu, jelikož je napětí na mezi kluzu silně závislé na teplotě. Na druhou stranu je distribuce teploty ve válcích ovlivněna vyvíjením tepla, které je způsobeno plastickou deformací a třením, ale také rychlostí pole ve válci, z čehož vyplývá vzájemný vztah mezi mechanickým a teplotním chováním válce. Pro predikci válcovacích sil existuje řada postupů, které využívají metody např. konečných prvků, nebo metody neuronových sítí.

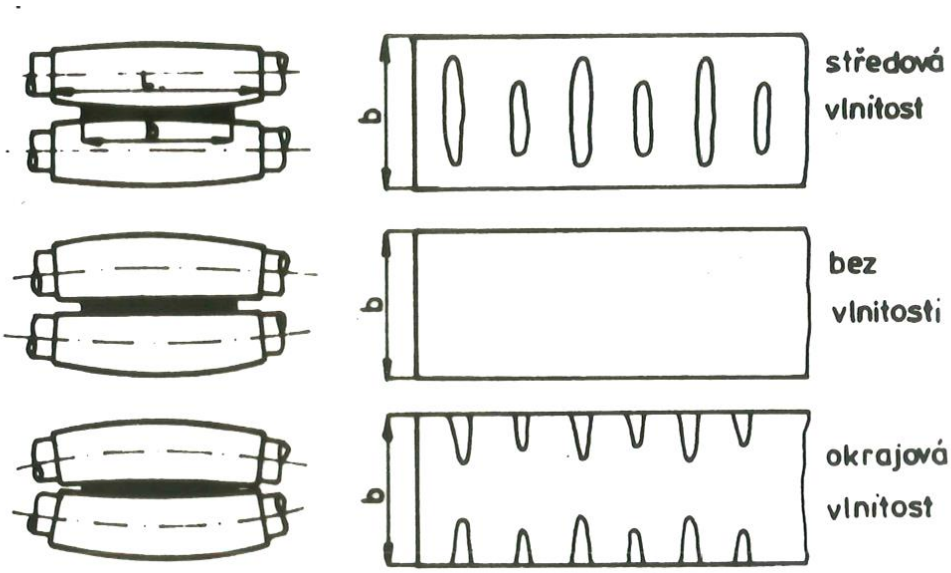
❑ Základní požadavky kladené na moderní válcovací stolice

- velká výrobnost,
- zvládnout větší energosilové zatížení,
- vysoká tuhost stolice.

Vysoká tuhost válcovací stolice zajišťuje minimální odchylky tloušťky po délce a šířce plechu, a tím i potřebnou rovinnost a tvarovou přesnost. Lze dosáhnout zvětšením průměru pracovních válců, opěrných válců, nebo zvětšením průřezu stojiny stojanu.
Tvar válcovací mezery se reguluje řízeným **průhybem válců nebo protiohybem válců. Bombírované válce** – ne zcela cylindrické. Stejnosměrnost tloušťky po délce pásu zajišťuje tzv. **stavění do tlaku** během průchodu. Elektro-hydraulický systém **AGC** (Automated Gauge Control).

❑ Řízení rozměrů, profilu a rovinnosti pásů

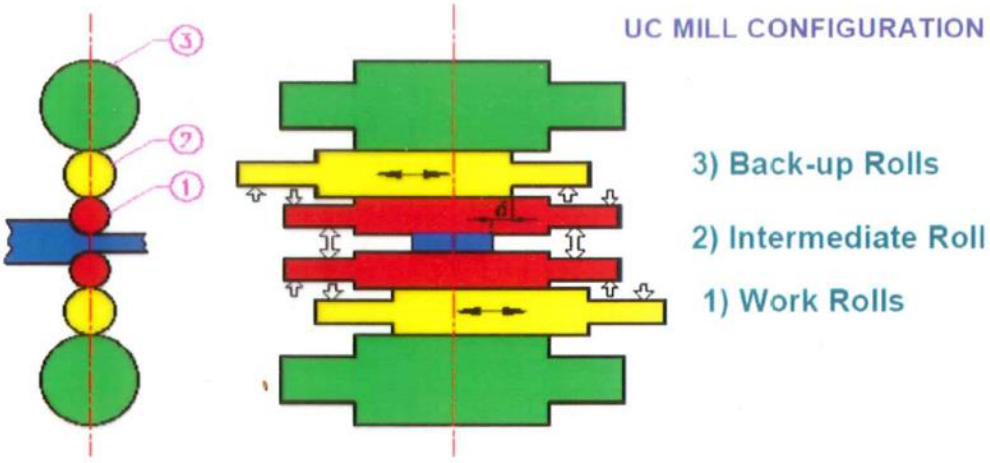
Na moderních pásových tratích se musí provádět rychlá automatická regulace řady technicky důležitých veličin, především rozměrů provalku. Jedná se o regulaci šířky a tloušťky po délce a příčném průřezu, regulace zároveň souvisí s rovinností průřezu. Je-li provalek již méně plastický, začínají proti nerovnoměrnému prodlužování po šířce působit vazebná napětí – překročí-li kritické hodnoty, ztratí provalek svou podélnou stabilitu a začne se místně vlnit (obr. 6.1).



Obr. 6.1 Vliv tvaru válcovací mezery na rovinnost válcovaného pásu.

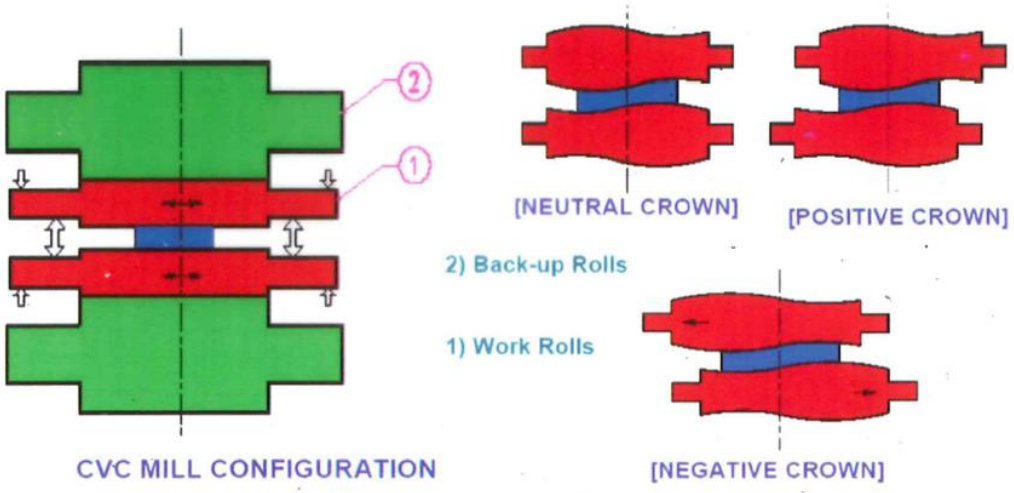
Kromě druhů vlnitosti může při klínovém tvaru válcovací mezery vznikat jednostranná vlnitost, způsobující navíc odchylky od přímosti válcovaného pásu, tzv. šavlovitost pásu.
Regulace příčného profilu a rovinnosti provalku je možná změnou tvaru válce, změnou hodnoty nastavení a řízeným ohybem válců. Řízených změn tvaru válce se dosahuje buď bombírováním (vybroušením do vypuklosti), které je obvyklé u pracovních nebo opěrných válců válcovacích stolic, nebo řízeným pásmovým ochlazováním povrchů pracovních válců. Tyto způsoby však nejsou dostačující.
Nejúčinnější způsoby automatické regulace příčného profilu a rovinnosti provalku jsou založeny na řízeném ovládání ohybu pracovních válců. Základní způsob této regulace je založen na provádění protiohybu pracovních válců proti vyvolanému válcovacímu tlaku. Protiohyb se realizuje pomocí hydraulických rozpěrných válců, které se umísťují buď mezi ložiska čepů pracovních nebo opěrných válců, nebo pracovních a opěrných válců současně .

Pokrokem v regulaci příčného profilu a rovinnosti bylo zavedení stolic s axiálně posuvnými válci (obr. 6.3), které jsou pro řízení příčného profilu a rovinnosti válcovaných pásů mnohem účinnější než hydraulický protiohyb pracovních válců.



Obr. 6.2 Schéma moderní šestiválcové stolice, umožňující účinnou regulaci příčného profilu a rovinnosti válcovaných pásů.

Další zlepšení regulace příčného profilu a rovinnosti pásů přineslo zavedení výbrusu povrchů pracovních válců do mírného tvaru křivky S. Rozdíl průměru válce po délce bývá max 0,3 až 0,8 mm. Tvar obou pracovních válců je zcela stejný, válce jsou však proti sobě pootočeny o 180° a axiálně se v protisměru vzájemně posouvají. Při změně velikosti axiálního posuvu mohou válce zabezpečit při válcování válcovací mezeru s neutrální, negativní nebo s pozitivní vypuklostí (obr. 6.3).



Obr. 6.3 Schéma úpravy S výbrusu

Shrnutí pojmů kapitoly

Protipohyb válců – bombírované válce – AGC – stavění do tlaku

Otázky k probranému učivu

6.1. Jaké jsou požadavky na válcovací stolice?

6.2. Jaké jsou možnosti řízení rozměrů výrobků?

Použitá literatura, kterou lze čerpat k dalšímu studiu

[1] KOLLEROVÁ, M., et al. *Valcovanie*. 1. vydání. Bratislava: Alfa, 1991. 576 s. ISBN 80-05-00729-9.

[2] FABÍK, R. *Tváření kovů*. 1. vydání, VŠB-TU Ostrava, 2012. 333 s. ISBN 978-80-248-2572-4.

7. Válcování dlouhých výrobků

Čas ke studiu: 8 hodin

Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

Popsat výrobu těžkých tvarových výválků, hrubých, středních, jemných tvarových, tyčových výválků a drátu. Získá přehled o výrobních podnicích v našem regionu a jejich výrobním sortimentu.

Výklad

7.1. Válcování těžkých tvarových výválků

❑ Sortiment těžkých tvarových výválků:

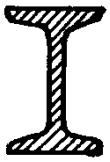
Do skupiny těžkých tvarových výválků zařazujeme kolejnice hmotnosti 30 až 75 kg/m, žlábkové kolejnice, profily I (výšky 200 až 600 mm), oceli U (výšky 200 až 450 mm), rovnoramenné a nerovnoramenné úhelníky, tyče kruhového průřezu až 300 mm, štětovnice a širokopřírubové nosníky. Válcují se na těžkých tratích s **duo nebo trio stolicemi** (průměr válců až 950 mm). **Průběžné uspořádání nebo uspořádání otevřené** (stolice v ose**). Univerzální stolice** pro válcování širokopřírubových nosníků.

Válcování

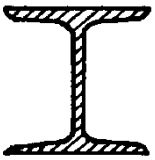
- **jednožárové** (např. z ingotů po ohřevu v hlubinných pecích);
- **dvoužárové** – druhý ohřev předválků z blokovny.

❑ Válcování nosníků I

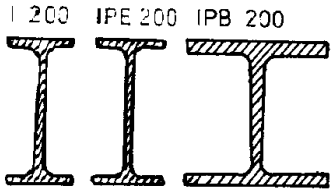
Výchozí materiál jsou bloky a PLP. Nosníky můžeme rozdělit podle výšky stojiny a podle šířky přírub. Základní tvar I nosníku a širokopřírubového H vidíme na obrázcích 7.1 a 7.2. Kromě klasických nosníku I byly vyvinuté řady odlehčených nosníků IE, nosníku s paralelnými přírubami IPE (obr. 7.3) a širokopřírubové nosníky. Válcují se na univerzálních tratí s odpovídající kalibraci. Kalibry tvoří dva páry válců, při čemž horizontální válce jsou poháněny a vykonávají celou deformační práci.



Obr. 7.1 Nosník I



Obr. 7.2 Nosník H



Obr. 7.3 Porovnání průřezů a tvarových ukazatelů pro I 200, IPE 200 a IPB 200

❑ Hrubá Cross-country (HCC) trať (ArcelorMittal Steel Ostrava, a.s)

Trať HCC (Hard Cross Country) svou produkcí pokrývá převážnou část komodity dlouhých výrobků. Vyrábí se zde válcováním za tepla hrubá a střední profilová ocel od jednoduchých průřezů přes tvarové profily tyčí průřezů I, IPE, U a dalších až po profily speciálních průřezů (důlní kolejnice a spojky). Součástí výrobního sortimentu HCC je také portfólium polotovarů sloužících k dalšímu zpracování (za studena, za tepla) na jiném technologickém celku v navazujících provozech společnosti Mittal. Jedná se o tyče kruhového průřezu a profily pro důlní výztuže a plochou ocel šířky 130 až 170 mm ArcelorMittal Steel Ostrava, a.s.

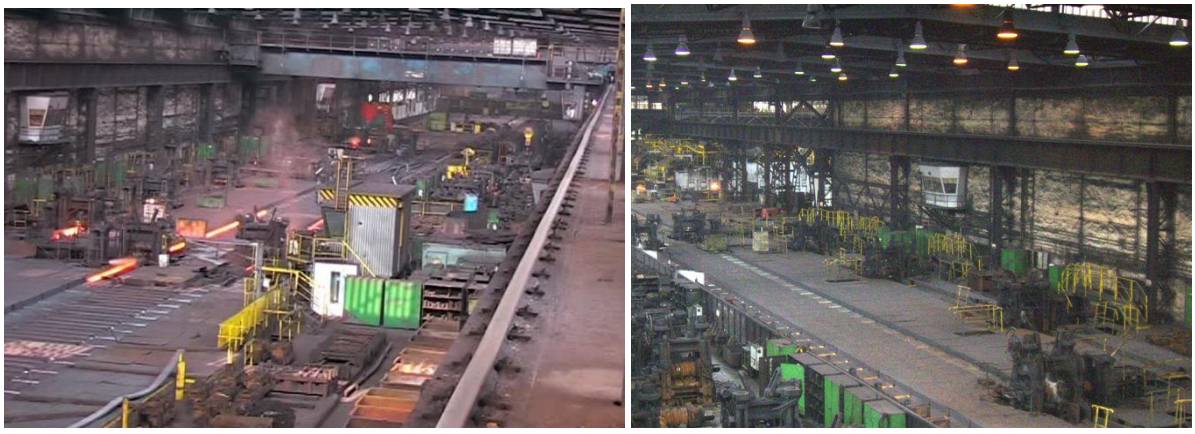
Dispozice a uspořádání HCC

V současné době se materiál ohřívá ve dvou průběžných strkacích pecích (obr. 7.4)

Obr. 7.4 Průběžné ohřívací pece HCC tratě

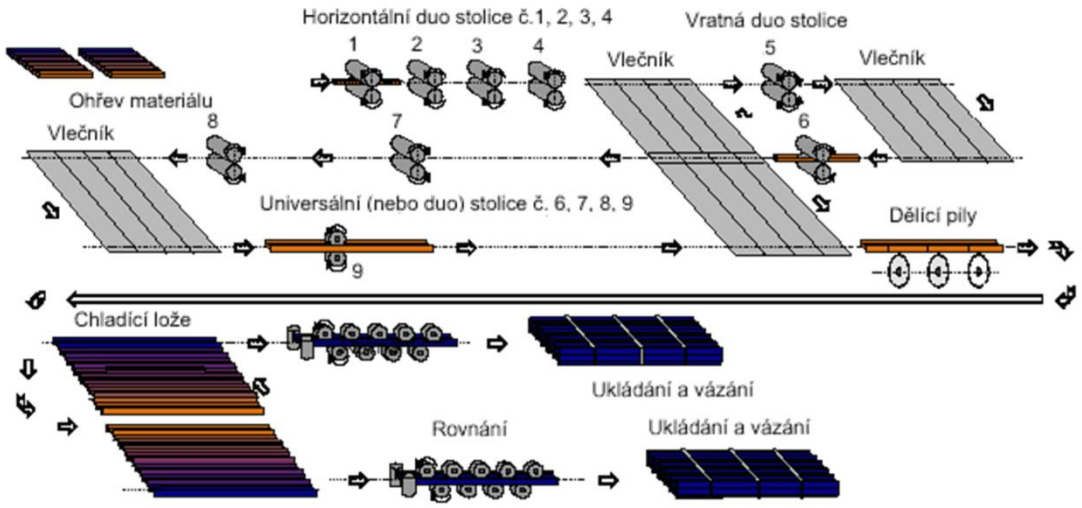
Dopravu a manipulaci se sázeným materiálem zajišťují přiváděcí valníky a čelní tlačky (vodou chlazené). Pracovní plocha nístěje pece v délce 18,5 m umožňuje ohřev sochorů o délce 4 – 5 m v několika řadách za sebou, což zajišťuje ohřev vstupních PLP v celé rozměrové škále v současné době vyráběné na ZPO. Válcovací trať je tvořena devíti válcovacími stolicemi uspořádanými přesazeně ve třech rovnoběžných pořadích (obr. 7.5): 1. pořadí má 5 stolic, 2. pořadí má 3 stolice, 3. pořadí má 1 stolici.

Válcovací stolice číslo 1. až 4. předválecího pořadí jsou konstrukcí jednosměrná horizontální dua, uložená v ocelolitinovém otevřeném rámu. V pořadí 5. stolice může pracovat jako vratné duo se třemi průchody. Válcovací stolice 6. až 9. jsou jednosměrná horizontální dua s možností přestavby jako univerzální stolice (stolice č. 9. viz. obr. 7.6). Mezi stolicemi v jednotlivých pořadích se rozvalky dopravují valníky, posun mezi pořadími zajišťují lanové vlečníky. Dělení výválků se provádí pomocí saňových okružních pil. Po odřezání předních konců jsou výválky dopravovány valníkem k řetězovému chladníku ke zchladnutí. Celkové uspořádání válcovací tratě je patrno ze schématu na obr. 7.7.



Obr. 7.5 *Pohled na přesazené uspořádání válcovacích stolic tratě HCC*

Obr. 7.6 *Hotovní stolice č. 9, vlevo stolice č. 8 a příčný dopravník ke stolici č. 9, vpravo detail*

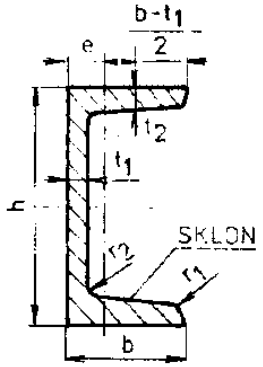


Obr. 7.7 Schéma uspořádání tratě HCC a úpraven

Na trať technologicky plynule navazuje hala úpraven. Prostor úpraven je orientován kolmo na technologický tok zpracovávaného materiálu. Naválcovaný materiál je z chladícího lože odebírán k finálnímu zpracování (dělení na přesné délky, rovnání, vrtání, broušení, svazkování a vážení) na dvou shodných úpravenských linkách. Každá linka obsahuje následující technologické zařízení: rovnačka SIMAC, sběrné kapsy, magnetické ukladače, děrovací lisy, dělící kotoučové pily, strojní vazačky svazků, váha Metripond a další zařízení. Manipulace s materiálem se provádí pomocí mostových jeřábů. Ke každé válcovně tvarových výválků patří sklad válců.

❑ Válcování oceli U

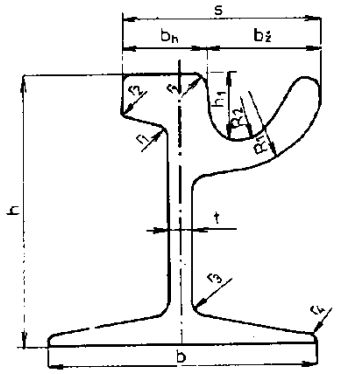
Výchozím polotovarem jsou bloky čtvercového nebo obdélníkového průřezu. Základní tvar průřezu profilu U je na obrázku 7.8.



Obr. 7.8 Základní tvar průřezu profilu U

❑ Válcování kolejnic

Jeden z nejdůležitějších a nejnáročnějších výrobků těžkých tratí. Dělíme je na **železniční**, **důlní** a **speciální** (žlábkové, jeřábové, výhybkové, jazykové a srdcovkové). Kolejnice mají být otěruvzdorné i houževnaté, pružné, ale ne křehké. Tvar žlábkové kolejnice je na obr. 7.9.



Obr. 7.9 Žlábková kolejnice

Kolejnice se válcují z bloků na těžkých tratích způsobem

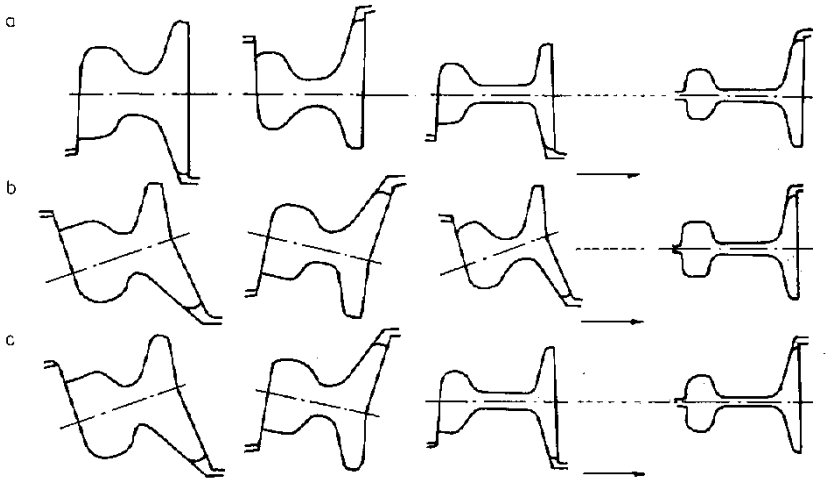
- jednožárovým (zpravidla 4 vratné stolice duo, 7 – 9 průchodů)
- dvoužárovým (zaručuje jakostnější výrobu, více průchodů)

V řadě přípravných kalibrů se upravuje příčný průřez vývalku z obdélníkového nebo čtvercového tvaru na tvar vhodný pro válcování v předhotovních tvarových kalibrech. Některé možnosti kalibrace kolejnic jsou na obr 7.10.

Důležité je dodržet správnou **doválcovací teplotu**, která je nižší než při válcování ostatní tvarové oceli. **Tepelné zpracování a rovnání kolejnic:** Pata kolejnice chladne rychleji, hlava později s patřičným délkovým smrštěním – rovnání !. Možnost kalení se samopopuštěním.

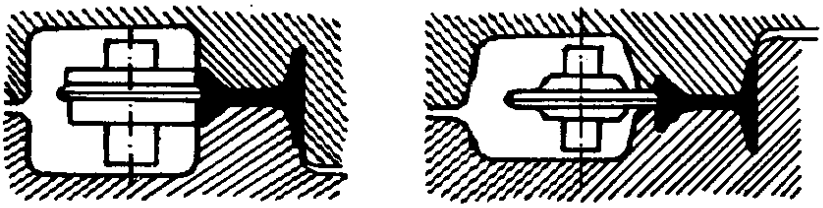
Kontrola kolejnic – **vnitřní vady** (ultrazvuk), **vnější vady**:

a) trhliny a vlasoviny převážně na hlavě kolejnice
b) stopy staženin
c) pleny, které se hlavně objevují na patě kolejnic
d) nesprávný profil s úchylkami mimo toleranční pole
e) zkosení kolejnice, zakřivení do tvaru šroubovice



Obr. 7.10 Kalibrační řady na válcování kolejnic
a) nosníkový způsob
b) šikmé uložení kalibrů
c) střídaní šikmého a vodorovného uložení

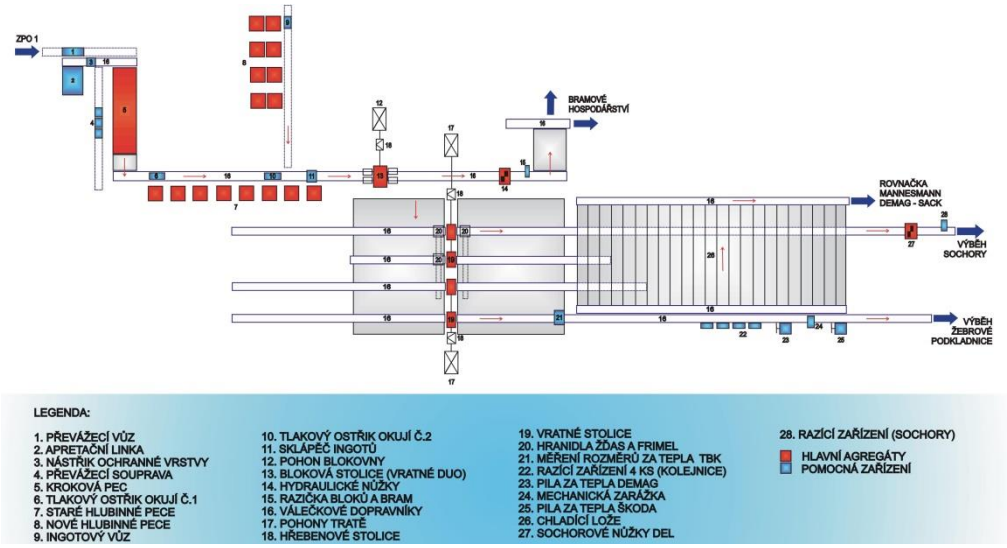
Žlábkové kolejnice
Válcují se větším počtem průchodů. Obtížnější válcování, žlábek se tvoří pomocí zvláštního svislého válečku ve dvou posledních průchodech (obr. 7.11).



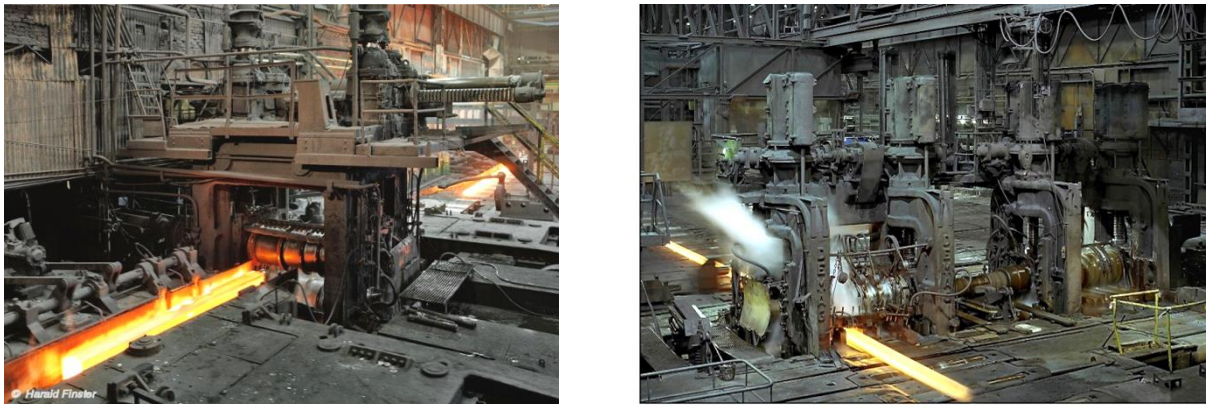
kalibr před doválcováním doválcovací kalibr
Obr. 7.11 Válcování žlábku kolejnice

❑ Třinecké železárny – těžká trať pro válcování kolejnic

Provozní schéma tratě je na obr. 7.12. Ohřev plynule litých předlitků (PLP) o rozměru 300 x 350 mm a 300 x 385 mm se odehrává v krokové peci. Jedná se o 5-ti zónovou průběžnou pec s bezohřevovým pásmem na vstupní straně, s plně automatickým ohřevem, zavážením i tažením. Pohyb PLP v peci umožňuje systém pohyblivých a pevných krokovacích trámců. Pec je vyzděná žáruvzdorným betonem a ohřev je prováděn směsným plynem pomocí stropních hořáků. Doba ohřevu kontislitku na válcovací teplotu je 5 hodin. PLP je poté dopraven pomocí válečkového dopravníku přes dva ostřiky okují (6 a 10), které zaručuje dokonalé odstranění primárních okují k Blokovně I. Zde dochází k proválcování na rozměry vstupního nápichu pro vratnou trať. Rozměry nápichového průřezu jsou určovány značkou vyráběných ocelí a tvarem jednotlivých kolejnic nebo profilů. K odválcování předvalku pro vratnou trať se požívá na blokovně I předválcovacího dua o průměru válců 960 mm. Válcovací rychlost je 3 - 6 $m \cdot s^{-1}$, délka válce 2 250 mm. Tyto válce mají 5 kalibrů. Nápich pro vratnou trať je válcován s pravidelným hraněním na 7 průchodů a tento nápich je pro každý tvar kolejnice jiný. Dále předvalek postupuje na vratnou trať: jedná se o otevřenou čtyřstolicovou trať. 1. a 2. stolice je poháněna 1. pohonem, 3. a 4. stolice 2. pohonem. Během válcování kolejnic se používá vysokotlaký ostřik okují a mazání kalibrů ekologickým olejem. Před 2., 3., 5., 6., 7., 8. a 9. kalibrem je nainstalovaný vysokotlaký ostřik okují. Tlaková voda zabezpečuje odstranění sekundárních okují vzniklých v procesu válcování (obr. 7.13).



Obr. 7.12 Provozní schéma vratné tratě



Obr. 7.13 Výroba kolejnic v TŽ

Bezprostředně po vyválcování je hotová kolejnice za tepla proměřena zařízením TBK. Zařízení TBK je on-line zařízení k laserovému měření válcovaného materiálu. Na válcovně jsou umístěné dva typy zařízení TBK: a to TBKh pro měření rozměrů za tepla (obr. 7.14) a TBKk jenž měří rozměry za studena. Hotová kolejnice je přesunutá na vlečníkové chladící lože. Chladící lože je rozděleno na 3 sekce lanových vlečníků, které jsou navzájem elektricky spřaženy. Kolejnice umístěné na chladícím loži samovolně chladne. Během tohoto procesu klesne její teplota z původních 900 °C na 50 °C. Tímto ochlazením dochází nejen k smršťování, ale také k deformaci kolejnice. Kolejnice po samovolném vychladnutí je následně dorovnána na rovnacím zařízení fy Mannesman-Demag-Stack (obr. 7.15). Na tomto zařízení probíhá rovnání jak v horizontální, tak ve vertikální ose. Rovnacího efektu se dosahuje několikerým prohnutím rovnaného materiálu v oblasti plastické deformace.

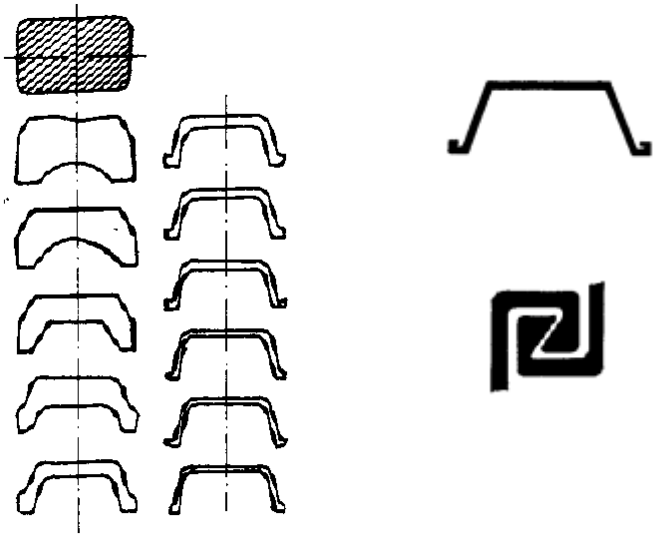
Obr. 7.14 Zařízení pro měření rozměrů kolejnic za tepla (TBK)

Obr. 7.15 Rovnání kolejnic

Každá vyrovnaná kolejnice prochází měřícím centrem, kde je prováděna kontrola rozměrů, povrchových vad, přímosti a vnitřní celistvosti. Měření přímosti a rozměrů kolejnic se provádí laserem. Kontrolu povrchových vad zajišťuje linka Eddytron 4.1 a kontrolu vnitřních vad provádí linka Sonotron 5.1.
Důkladně zkontrolovaná kolejnice je dopravena válečkovým dopravníkem na pilovrtací stroje fy Linsinger a Wagner, které zabezpečují dělení kolejnic na přesné zakázkové délky. Po zpracování kolejnice na pilovrtacích strojích dochází k přeměření laserem přímosti konců kolejnic. Případné dorovnání se provádí na lisech Berner.

❑ Válcování štětovnic

Dalším složitým profilem válcovaným na těžkých tratí jsou štětovnice, které se používají při vodních stavbách, jako jsou přehrady, mosty, zpevňování břehů vodních toků, umělých násypů a další. Válcují se z bloku obdélníkového průřezů 11 průchody. Tvar zámku se postupně připravuje v pěti kalibrech, konečný tvar stočením ve zvláštních zákrutových vodítkách (obr. 7.16).



Obr. 7.16 Kalibrační řada na válcování štětovnic typu Larsen, její tvar a detail spojovacího zámku.

❑ Úhelníky rovnoramenné (a nerovnoramenné)

Válcování probíhá v 5 až 9 průchodech v jednom nebo ve dvou ohřevech. Kalibrace úhelníku se vyznačuje jistými specifiky. Válcování tenkých ramen vyžaduje větší úběry v jednotlivých kalibrech. V průběhu válcování poměrně rychle chladnou, čímž zvýšují válcovací síly, snižuje se dováleovací teploty, zvyšuje se skok válců, a ty se rychleji opotřebují.

❑ Výroba profilů a ocelových tyčí, Evraz Vítkovice Steel, a.s.

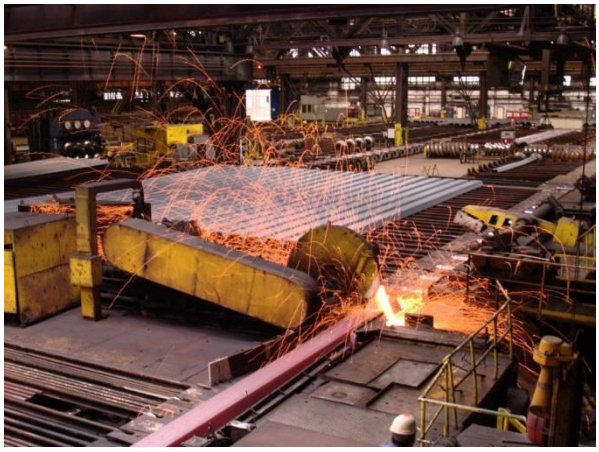
Válcovna profilů je tvořena těžkou profilovou tratí s přidruženou 5. stolicí. Tato stolice představuje sochorovou duo stolici přičleněnou k těžké profilové trati se společným ohřevem v narážecí peci a osádkou. Výrobní kapacita je 170 tis. t/rok. Odbavovací a úpravárenské technologie obou tratí jsou samostatné. Základní technická vybavenost je následující:

Těžká profilová trať
Výrobní sortiment: kruhové a čtvercové tyče, nosníky, úhelníky, štětovnice, jeřábové kolejnice, pražce, ráfky a speciální tvarové profily s metrovou hmotností 18 až 141 $kg.m^{-1}$. Maximální expediční délka profilů je 21 m. K dispozici je plynová narážecí pec o výkonu 60 t/h. Trať je vybavena 4 vratnými dui (obr. 7.17), přičemž 4. stolice (obr. 7.18) je přestavitelná na univerzální s nepoháněnými vertikálními válci a pěchovací stolicí pro válcování nosníků. K příčnému přesunu výválků mezi stolicemi slouží 2 manipulační vozy. Maximální průměr válců je 940 mm a délka těla válců je 2 300 mm.

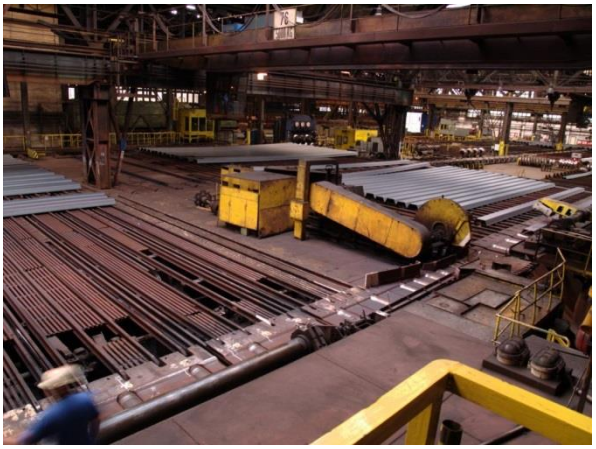
Obr. 7.17 Pohled na stolice z leva do prava 4. 3. 2. a 1. stolice

Obr. 7.18 Stavění válců stolice č. 4

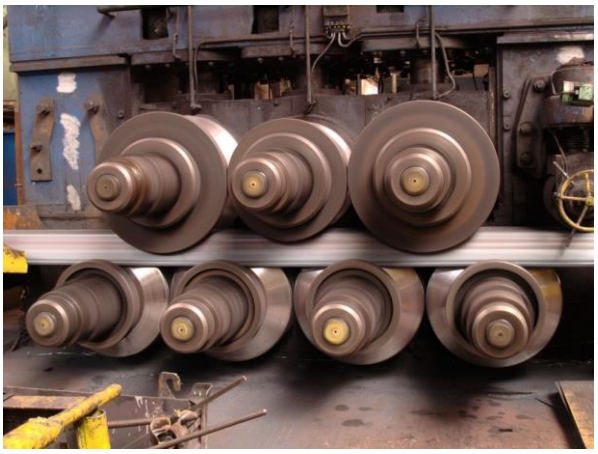
K odřezaní konců a k dělení na expediční délky se využívají 3 pily za tepla (obr. 7.19). K chladnutí slouží dva chladníky s délkou 21 m (obr. 7.20). Rovnání probíhá na sedmiválečkové rovnačce (obr. 7.21). Na obr. 7.22 můžete vidět pár hotovních válců připravených k zabudování do stolice č.4.



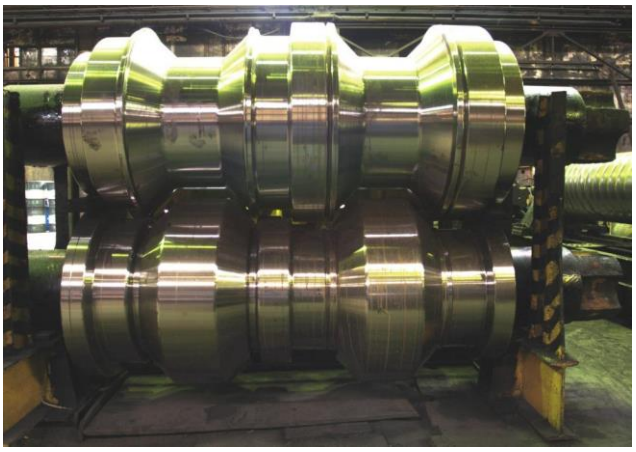
Obr. 7.19 Dělení štětovnic na obchodní délky



Obr. 7.20 Chladníky



Obr. 7.21 Rovnání štětovnic



Obr. 7.22 Válce se dvěmi hotovními kalibry

5. stolice těžké profilové tratě

Výrobní sortiment: obdélníkové a čtvercové sochory o šířce od 120 do 300 mm a délce do 12 m. Maximální průměr válců je 920 mm a délka těla válců je 2 200 mm. Tato stolice využívá pro ohřev stejnou pec jako profilová trať. K dělení sochorů slouží jednak 2 pily za tepla, ale také nůžky za tepla.

Úpravny těžké profilové tratě jsou vybaveny těmito zařízeními:

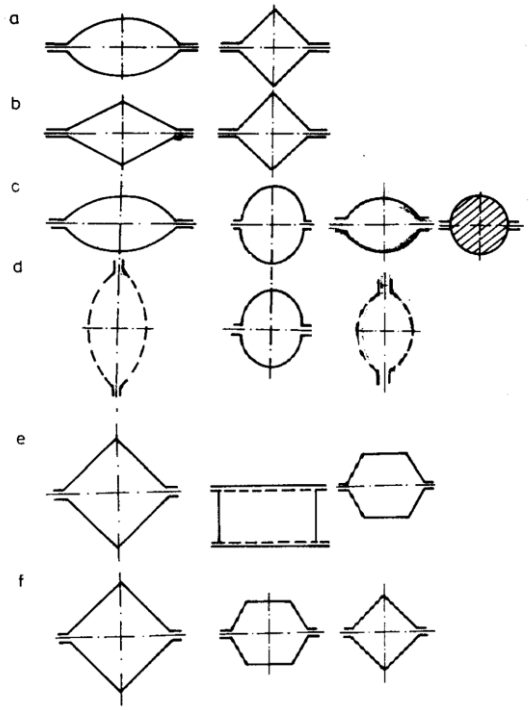
- 7 válečková rovnačka profilů, kruhových čtvercových tyčí,
- boční lis pro rovnání tyčí,
- hyperbolická rovnačka pro kruhové tyče,
- zkrucovací rovnačka pro jeřábové kolejnice a obdélníkové tyče,
- 3 pily za studena,
- vychlazovací kroková pec - řízené vychlazování, protivločkové žíhání a žíhání na měkko pro válcované tyče,
- bruska sochorů a bram,
- loupací stroj pro loupání povrchu kruhových tyčí,
- bruska na broušení kruhových tyčí,
- zařízení na magnetickou defektoskopii povrchu kruhových sochorů,
- ultrazvuková kontrola (nakupovaná služba dle požadavků zákazníků),
- linka na párování štětovnic, lisování zámků a kontrolní zařízení pro testování pevnosti spoje zámků lisováním.

7.2. Válcování hrubých, středních, jemných tvarových a tyčových výválků

Ve výrobním programu hrubých a středních tratí jsou především tvarové profily, u jemných tratí převládají výválky s průřezem jednoduchých tvarů. Hrubé tratě jsou otevřené nebo přesazené, střední a jemné tratě mají uspořádání otevřené, přesazené, polospojité nebo spojité.

Technologie válcování
Vstupním materiálem pro válcování tvarové a tyčové oceli jsou plynule odlévané bloky a sochory. Rozměry příčného průřezu se určují podle výrobního programu, doválcovací rychlosti a použitého druhu vsázky. Minimální stupeň přitváření musí být pro běžné oceli 5 až 8, pro ušlechtilé oceli 8 až 10, pro vysokolegované 10 až 14.

Tyčová ocel se válcuje na různých válcovacích tratí, průžezový rozsah je limitovaný typem, konstrukcí a uspořádáním stolic. Na obr. 7.23 vidíme nejčastěji používané kalibrační řady.

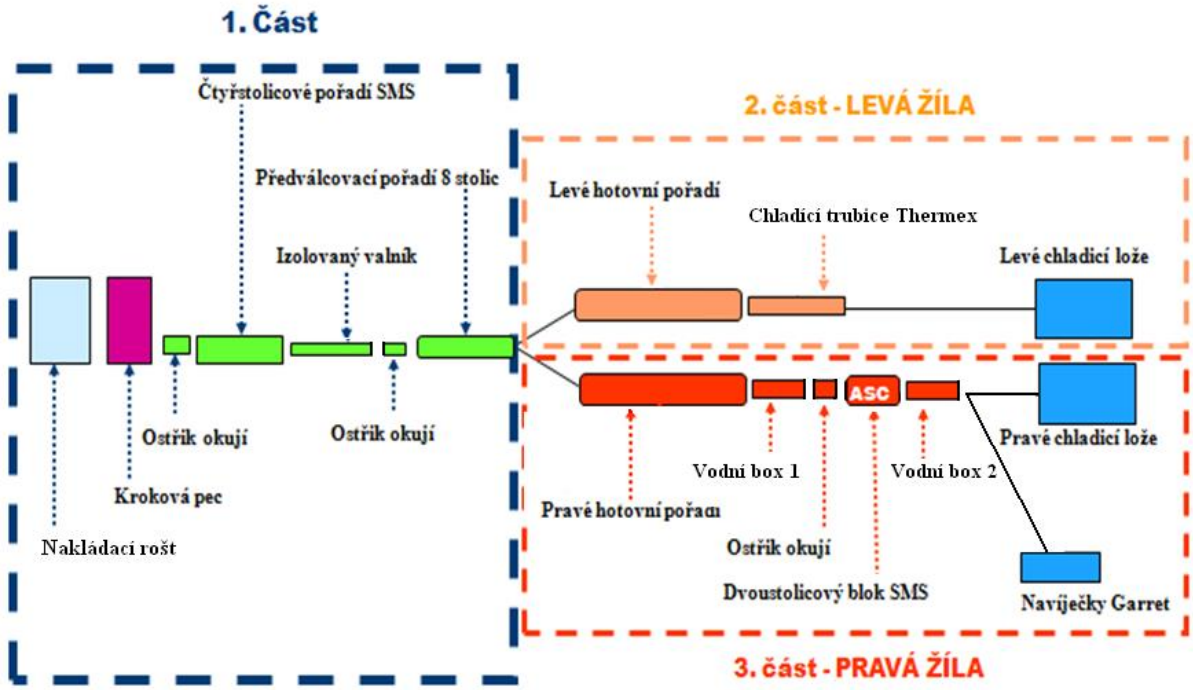


oválčtverec
kosočtverec – čtverec
ovál – pěchovací ovál
čtverec – obdélník – čtverec
čtverec – šestihran

Obr. 7.23 Soustava kalibrů pro válcovaní kruhové oceli v přípravném pořadí

❑ Třinecké železárny – válcovna jemných profilů (válcovna C)

Kontijemná trať v Třineckých železárnách byla uvedena do provozu roku 1960. V této době byly hlavním vyráběným sortimentem betonářské, konstrukční a ploché oceli.
Vstupním materiálem jsou sochory (kvadráty 150 mm, délky se pohybuji v rozmezí 8,5 -12 m.). Ohřev vsázky na válcovací teplotu zajišťuje kroková pec se spodním a horním ohřevem. Pec je vytápěna směsným plynem a sochory jsou do pece vkládány bočním válečkovým dopravníkem. Sochory jsou připraveny na pevných trámcích, odkud si je odeberou pohyblivé trámce, které zajišťuji krokový mechanismus za současného ohřevu vsázky na konečnou válcovací teplotu.
Přípravné čtyřstolicové pořadí (obr. 7.24) tvoří válcovací stolice S.I.M.A.C. Stolice jsou sestaveny v pořadí horizontální, vertikální, horizontální, vertikální. Průměr válců 620/520 mm a délka těla válce je 850 mm. Kalibrace válců umožňuje válcovat kvadráty 150 mm na výválek kruhového průřezu průměru 100 mm. Výválky tohoto průměru jsou dopravovány zakrytovaným izolovaným valníkem do dvoužilového válcovacího pořadí. Termovalník slouží k homogenizaci teploty po průřezu provalku.



Obr. 7.24 Schéma kontijemné tratě

Na předválcovacím pořadí jsou válcovací stolice uspořádány pouze horizontálně a válcovacích stolic je osm. Z výchozího materiálu o průměru 100 mm lze válcovat výválky o rozměrech 82 až 31 mm. Za předtratí se válcovací trať dělí na pravé hotovní pořadí a levé hotovní pořadí. **Pravé hotovní pořadí** začíná smyčkovacím stolem a nůžkami N3 pro odstřih předních a zadních konců výválku. Obsahuje osm stolic, které jsou uspořádány tak, že první dvě stolice jsou horizontální a poté se střídají vertikální a horizontální. Maximální výstupní rychlost je 15 $m.s^{-1}$. Za poslední stolici tohoto pořadí je materiál dále zpracováván dle sortimentu. Bez chlazení se zpracovává hladká kruhová, šestihranná, plochá ocel a úhelníky. U betonářských ocelí je použita metoda „slittrolling“ přes chladící sekci Thermex. Posledním způsobem je řízené chlazení hladké kruhové oceli v šestimetrové chladící sekci SMS Schloaman.

Za tímto válcovacím pořadím následuje pořadí ASC (Automatic system control) stolic. ASC obsahuje dvě stolice s uspořádáním VH. Mají funkci přesného doválcování výválku. Průměry válců jsou 360/295 mm a délka těla válce je 160 mm. Systém je plně automatický s použitím dvou laserových měřících přístrojů, které na základě on-line měření okamžitě vyhodnocují a regulují potřebný úběr u válcovací stolice. Výstupní válcovací rychlost je 1,2 až 15 $m.s^{-1}$.

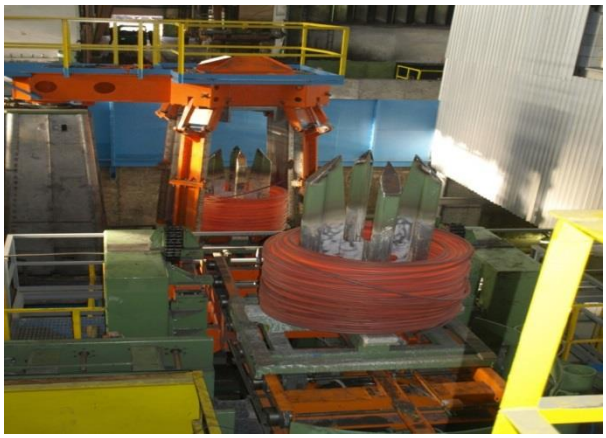
Za ASC stolicí se nalézá chladící sekce pro řízené ochlazování a výhybka, která umožňuje válcování do svitků na navíječkách typu Garret. Do svitků lze válcovat ocel kruhovou, šestihrannou a čtvercovou a to v rozmezí od 15 po 50 mm. Před samotným navinutím výválek prochází poháněčem, nůžkami N6 a vodní skříní (WB3) s automatickou regulací teploty. Za vodní skříní je materiál dopraven k výhybce, která rozděluje materiál do navíjecího bubnu č. 1 nebo 2, které jsou znázorněny na obr. 7.25.

Na obr. 7.26. je svitek vytlačen z komory navíječky, uchopen čtyřramennými kleštěmi zavěšenými na otočném stojanu a přemístěn na přepravní paletu. Svitek nasazený na paletě je paletovým dopravníkem transportován až k místu překlopení na hákový dopravník. Během transportu je materiál volně ochlazován na vzduchu nebo může být podroben technologii zrychleného ochlazování (k dispozici je 6 ventilátorů) nebo zpomaleného vychlazování v izolovaných tunelech (2 tunely s kapacitou 12 svitků/tunel). Na konci paletového dopravníku je situován hydraulický překlápěč, který svitky umisťuje na háky. Takto zavěšený materiál prochází přes stanoviště kontroly rozměru a vizuální

kontroly povrchu, dále jsou z něj odebírány zkušební vzorky a odstřihávány přední a zadní konce svitku. Upravený svitek je zvážen, slisován a svázán ocelovou páskou.

Levé hotovní pořadí začíná převáděcím valníkem k levé žíle, smyčkovým stolem a nůžkami. Obsahuje osm stolic s uspořádáním stejným jaké má pravé hotovní pořadí. Za výstupní stolicí jsou umístěny dvě chladící sekce Thermex pro žebírkové betonářské oceli metodou „slittrolling“ v průměrech 10, 12, 14 a 16 mm. Dále následují rotační nůžky pro dělení na chladníkové délky. Za nimi jsou umístěny chladící sekce Thermex pro řízené ochlazování žebírkových betonářských ocelí v průměrech 18 až 32 mm. Následně je výválek dopraven valníkem na levé chladící lože. Ochlazené výválky z chladícího lože jsou připraveny k dalším úkonům (dělení na obchodní délky, svázání).

Obr. 7.25. Navíjecí bubny



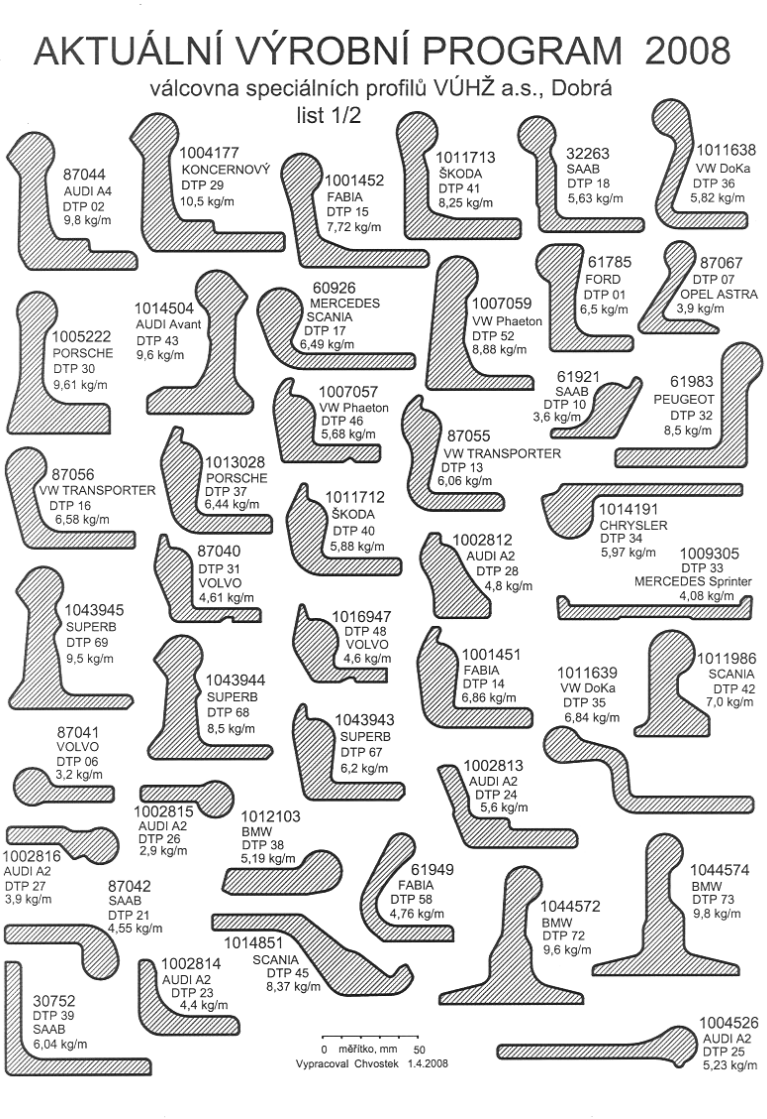
Obr. 7.26 Transport svitků

❑ Válcovna speciálních profilů (VÚHŽ Dobrá)

VÚHŽ a.s. vyrábí speciální válcované profily z konstrukčních, nástrojových a nerezových ocelí, neželezných kovů v malých výrobních sériích 10 - 100 t. Výrobní program je uveden na obr. 7.27. Roční kapacita válcovny se v současnosti s modernizacemi každý rok zvedá, v roce 1994, kdy se začal válcovat první profil pro automobilový průmysl, se výroba zvýšila z 252 tun/rok přes 4000 tun/rok až po 5000 tun/rok v roce 2006. V roce 2006 představovaly tržby z výroby speciálních profilů 31% z celkových tržeb VÚHŽ. Mnoho tvarů, které se v současné době vyrábějí svařováním, spojováním, obráběním, kováním, odléváním nebo jinými způsoby, může být ekonomicky nahrazeno použitím válcovaných speciálních profilů.

Výchozí materiál je převážně odebírán z Třineckých železáren, a.s. a je uložen ve skladu materiálu. Podle válcovaného profilu se poté materiál dělí na požadovanou délku a převeze se k ohřevu do plynové krokové pece.

Po výstupu z pece se ohřátý předvalek dopraví pomocí válečkového dopravníku k válcovací stolici. Veškeré manipulace s polotovarem provádí valcíři manuálně pomocí kleští (obr. 7.28). K dispozici je zde pouze jedna válcovací stolice, na kterou se musí vejít celá kalibrační řada o 5 až 6 kalibrech. Z toho vyplývá, že na celé délce těla válce jsou zařezány jak předválcovací, přípravné, předhotovní i hotovní kalibry (obr. 7.29). Jako ukazatel pro porovnání životnosti válců se používá celková délka výválku vyválcovaných za dobu životnosti jedné sady válců (hrubá výroba). Tento ukazatel udává, kolik kilometrů vyválcovaného profilu prošlo sadou válců za dobu její životnosti. Po odválcování a ukončení kampaně se válce vymění a renovují. Délka vyválcovaných profilů závisí nejen na materiálu válců, ale také i na maximálním rozsahu průměrů válců využitelného pro renovace. Maximální roztečný průměr válců je dán konstrukcí stojanů 525 mm. Při větším průměru válců už není možné válce zavést do stolice přes okna stojanu. Veškerá manipulace s pracovními válci je prováděna automaticky z řídící kabiny.



Obr. 7.27 Výrobní program válcovny speciálních profilů, u každého profilu je uvedena automobilka, nebo konkrétní model a metrová hmotnost profilu.

Obr. 7.28 Ruční manipulace s provalkem

Obr. 7.29 Kalibry

Po vyválcování následuje přeprava profilu pomocí valníku na chladící rošt. Po vychlazení je profil přepraven k rovnačce. Po vyrovnání pracovníci rovnačky ořežou konce a profil uloží do balíku, který je určen k expedici. V průběhu postupu válcování se provádí 3 kontroly pro ověření tvaru, rozměru a povrchových vad. První kontrolu provádí valcíři, kteří průběžně kontrolují povrch po vyválcování každého kusu. Druhou kontrolu provádí předák a technický kontrolor. Z vyválcovaného profilu se odřeže vzorek. Ten se položí na snímač profiloměru a při zvětšení na desetinásobek se pomocí folie, na které je zakreslen přesný profil, kontrolují veškeré rozměry. Třetí kontrola bývá provedena po rovnání. Vzhledem k velmi širokému spektru vyráběných profilů, je zapotřebí velký sklad kalibrovaných válců.

❑ Středojemná válcovací trať (ArcelorMittal Ostrava, a.s.)

Výrobní program

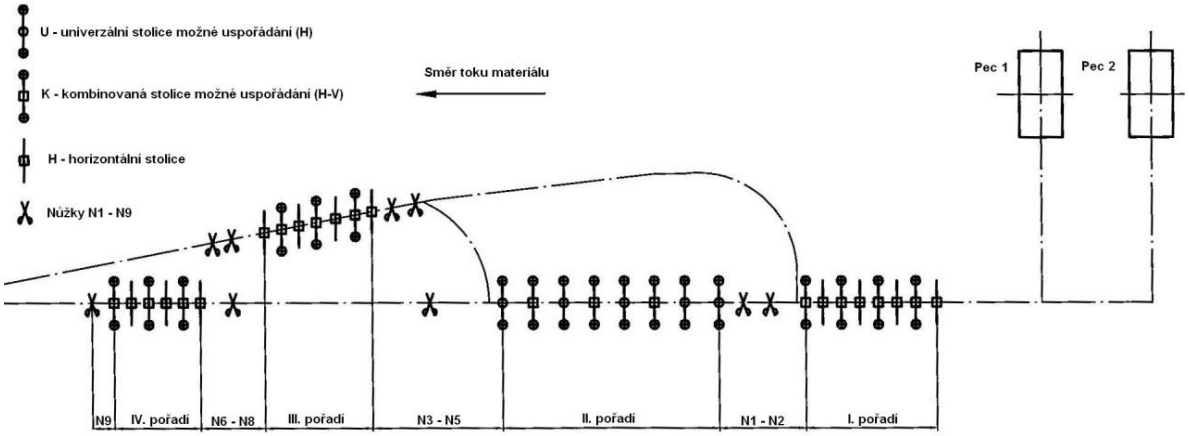
Tato středojemná válcovací trať se nachází v areálu závodu 14 společnosti ArcelorMittal Ostrava, a.s.

Výrobní program středojemné válcovny se skládá z:

- tyče kruhové - rozměry: d = 10 – 65 mm,
- tyče šestihranné – rozměry: A20 – A34,
- tyče ploché – rozměry: šířka 20 – 120 mm, tloušťka 4 - 50 mm,
- tyče průřezu rovnoramenného L – rozměry: šířka ramen 38 x 38- 90 x 90, tloušťka 4 –13 mm,
- tyče průřezu IPE, IPEA – rozměry: 80, 100, 120, 140,
- tyče průřezu I – rozměry: 80, 100, 120, 140,
- tyče průřezu U, UE – rozměry: 50, 65, 80, 100, 120, (UE jen 100),
- tyče průřezu T – rozměry: T40,
- tyče pro výztuž do betonu – rozměr: d =10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 25, 28, 32, 39.

Základní popis tratě

Základní schéma válcovací tratě je uvedeno na obr. 7.30.



Obr. 7.30 Schéma středojemné tratě, ArcelorMittal Ostrava, a.s

Válcovací trať obsahuje 4 samostatná spojitá pořadí, která lze různě zapojovat do válcovacího procesu. První a druhé pořadí mohou válcovat při přebudování kombinovaných stolic na horizontální dvoužilové z nápichu kvadrátu 115 mm. Mezi pořadími jsou zabudovány letmé nůžky, které zastřihávají přední a zadní konce případně šrotují výválek při poruše. Stolice všech čtyř válcovacích pořadí jsou konstruovány jako bezstojanové, nepředepjaté. Podle druhu můžeme tyto stolice rozdělit na duo stolice a univerzální stolice.

Dělení, ochlazování, měření teplot a kontrola výroby

Jako hlavní dělící agregáty tratě jsou používány nůžky. Na trati jsou použity dva typy nůžek: rotační nůžky a klikové letmé nůžky. K řízenému ochlazování slouží tlaková voda která je součástí vodního hospodářství (řízené ochlazování GOLEM). Měření teplot se provádí na jednotlivých měřících místech a na všech čtyřech pořadích se používá pyrometr PYROFAST jen na výběhovém valníku se používá pyrometr MAUER.

Soustavou přívodních dopravníků a výhybek jsou výválky z II. a IV. pořadí dopravovány na krokový chladník. Jednotlivé výválky po nastřihání na nůžkách (podle toho z kterého pořadí výválky vycházejí) jsou brzděny na přiváděcích dopravnících chladníku. Po zabrzdění jsou ukládány do zářezu roštnic podle programu válcování. Vychlazené tyče můžou být podle potřeby předány na rovnání. Maximální délka tyčí na chladník je 128 m, minimální potom 80 m.

❑ Závod válcovna - Jemná trať (ŽDB Group, a.s. Bohumín)

Jemná trať byla uvedena do provozu v letech 1947–48 a vyráběla sortiment odpovídající jemné trati (betonářská ocel, kruhová, čtvercová ocel, úhelníky, T profily) s malým podílem profilů zvláštních tvarů. Poslední rekonstrukce trati proběhla v roce 2007. Spojité předválcovací pořadí Morgan bylo nahrazeno trio stolicí s kyvnými stoly. Tato rekonstrukce umožnila zvýšit nápichový průřez z původně maximálního kv. 08 až na kv. 130 mm. Jemnou trať lze charakterizovat jako polospojitou válcovací trať se třemi pořadími. A to :

- předválcovací trio stolice s kyvnými stoly,
- otevřené předválcovací pořadí PP1, PP2,
- otevřené hotovní pořadí HP.
- sběrné kapsy,
- dva rovnací stroje HRL 40.

7.3. Válcování drátu

Drát je výrobek, který má zpravidla po celé délce stálý a plný průřez, válcovaný za tepla a navíjený do svitku. Průřez je nejčastěji kruhový, může být také čtvercový, půlkruhový, vícehranný atd. Průměr drátu je nejčastěji od 5,5 do 20 mm. Dráty průměru pod 5 mm se vyrábějí **tažením za studena**.
Cílem výroby za tepla válcovaného ocelového drátu je dosažení optimální mikrostruktury tvářeného materiálu a mechanických vlastností jak po průřezu, tak i po celé jeho délce.

Oceli pro výrobu drátů

K ocelím pro výrobu drátů patří především betonářské oceli, vysokolegované oceli korozivzdorné a rychlořezné, uhlíkové neušlechtilé oceli, uhlíkové ušlechtilé oceli, s mezí kluzu až 1400 MPa.

Požadavky na jakost drátů

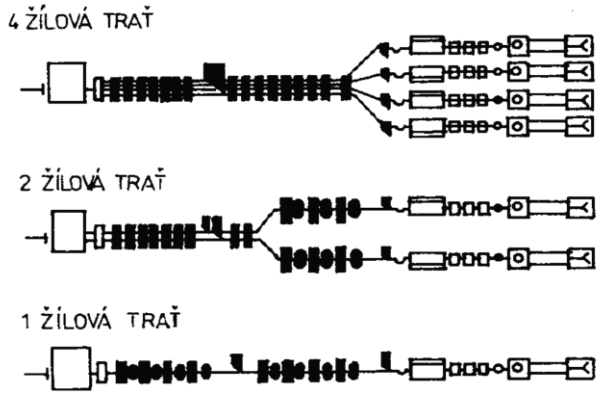
Musí být dodržené rozměrové úchylky. Ovalita by neměla překročit 70 % tolerančního pole. Má být zaručeno minimální oduhličení povrchu, minimální četnost a hloubka povrchových vad, malé množství lehce odstranitelných okují a optimální drsnost povrchu drátu.

Drátové tratě

Drátové tratě můžou mít uspořádání otevřené (smyčkové), polospojité, spojité se zkrucováním mezi horizontálními stolicemi, spojité se stolicemi H-V, spojité s hotovními bloky.
Rozhodující význam pro rozvoj válcoven drátů mělo zavedení hotovních bloků v doválcovacím pořadí a řízené ochlazování z doválcovací teploty s navazujícím zařízením pro manipulaci se svitky.
Hotovní bloky jsou mechanicky pevně spřežené stoličky, poháněné jedním pohonem – odpadá nákladná regulace smyček a válcování s tahem). Základní typy drátových tratí vidíme na obr. 7.31.
Postupně se vyvinula řada koncepcí. Kromě původní koncepce firmy Morgan a Kocks, vyrábějí bloky firmy Danieli, Schloemann, Mannesmann-Demag-Sack a další (obr. 7.32).

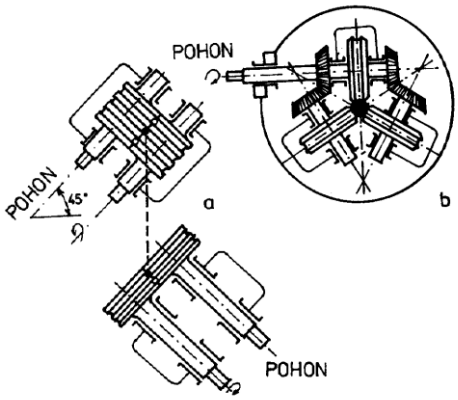
Přednosti vysokorychlostních bloků

- výchozí sochory až kv. 150 mm – svitek i přes 2500 kg, i přes 800 kt / rok
- letmo uložené válce (kotouče) s možností rychlé výměny
- vysoká výkonnost při vysoké výstupní rychlosti (i přes 100 m/s) – pozor na vliv deformačního tepla !
- úspora místa, adaptabilita při změně sortimentu
- válcování bez zkrucování
- dlouhá životnost kalibrů



Obr. 7.31 Spojité drátové tratě s hotovním blokem

Morgan



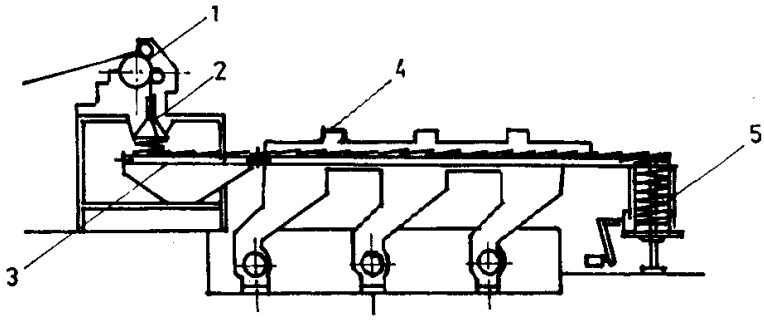
a) Schloemann, b) Kocks

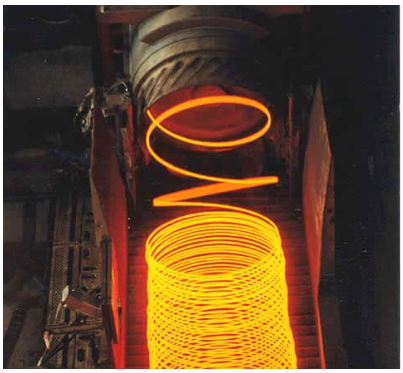
Kocks

Obr. 7.32 Příklady hotovních bloků

Technologie válcování drátů
Ohřev sochorů v krokových pecích na poměrně nízké teploty (i pod 1050 °C – protože ve středním a doválcovacím pořadí teplota roste !). **Kalibrace** zejména ovál – čtverec a následně ovál – kruh.
Řízené ochlazování z doválcovacích teplot

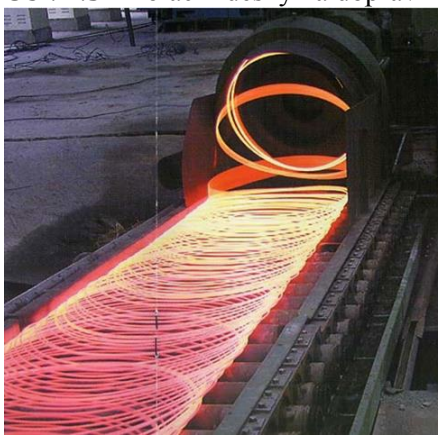
- zrychlené ochlazování vodou z doválcovací teploty (1000 – 1100 °C)
- omezuje hrubozrnnost a heterogenitu struktury
- brání zokujení a nadměrnému oduhličení
- ochlazování systémem Stelmor – ukládací hlava vytvoří závity, ty se rozloží na dopravníku a jsou ofukovány vzduchem, nebo je tepelným ztrátám bráněno použitím izolačních desek (tedy ochlazování zrychlené nebo zpomalené) – obr. 7.33 - 7.35.
- až poté tvorba vlastního svitku

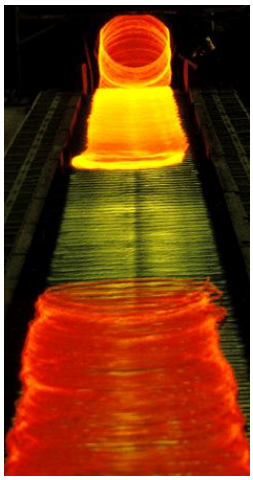


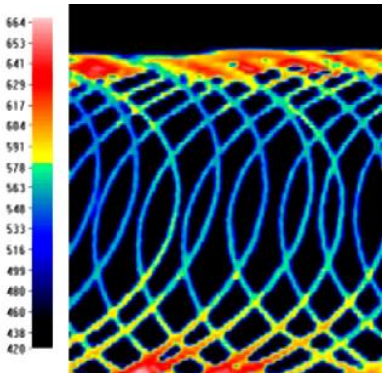


Obr. 7.33 Schéma ochlazovacího zařízení Stelmor
1 – naváděcí zařízení, 2 – ukládací hlava, 3 – řetězový dopravník,
4 – sekce se vzduchovými ventilátory, 5 – ukládání zchlazených svitků

Obr. 7.34 Izolační desky na dopravníku Stelmor



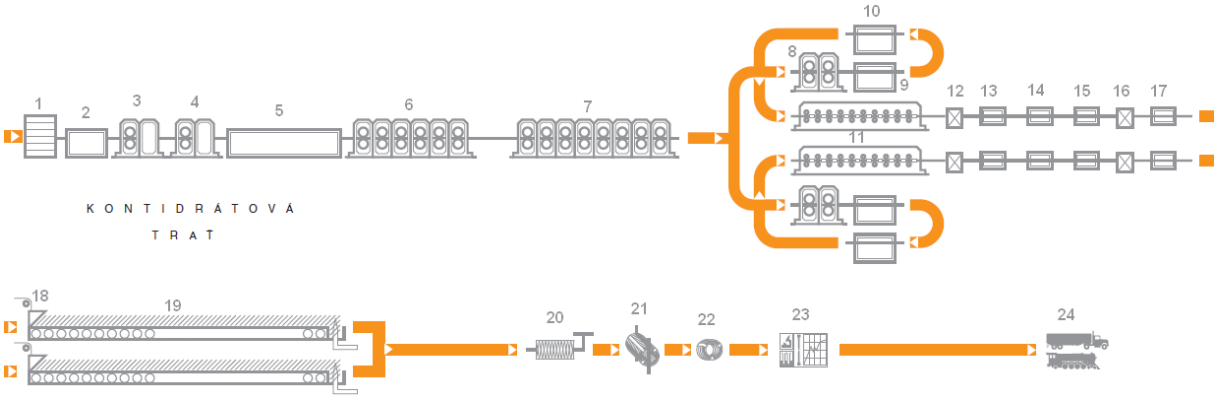




Obr. 7.35 Ukládací hlava a chladnoucí závity drátu na Stelmor dopravníku (termokamera)

❑ Třinecké železárny – válcovna drátu (válcovna D)

Spojitá válcovna drátu v TŽ a.s., neboli kontidrátová trať (KDT), se v současné době řadí mezi nejmodernější tratě na světě. Moderní vysokorychlostní 2-žílová válcovací trať (obr. 7.36) umožňuje válcování drátu o průměru 5,5 mm do 20 mm, s odstupňováním po 0,5 mm. Výrobní kapacita KDT je 820 000 kt/rok. Maximální ovalita činí 60 % tolerančního pole. Na KDT se válcují dráty nízko-, středně- a vysokouhlíkové, dále dráty pro výrobu lan a pramenců, pro ocelové kordy, pro přídavné svařovací materiály, pro spojovací a strojní součásti, pro výrobu řetězů, pro výrobu pružin, a také drát z ložiskové oceli a z automatové oceli.



1 Kroková pec
2 Zařízeni pro ostřik okuji
3 Horizontálně - vertikální pořadí s výměnnými kazetami
4 Horizontálně - vertikální pořadí s výměnnými kazetami
5 Izolovaný valník
6 Předvalecí pořadí
7 Střední pořadí
8 Dvoustolice CL
9 Vodní chlazení
10 Vodní chlazení
11 Hotovní pořadí
12 Průběžná defektoskopická kontrola
13 -17 Vodní chlazení
16 Průběžné měření rozměrů
18 Pokládací hlava
19 Chladící dopravník Stelmor
20 Hákový dopravník
21 Lisovací a vázací zařízení
22 Jiskření
23 Kontrola kvality

Obr. 7.36 Schéma kontidrátové tratě

Přípravné pořadí)

Ohřátý sochor je po vytažení z pece zbaven okují v zařízení vysokotlakého ostřiku vodou. Před první stolicí přípravného pořadí jsou umístěny podávací válce, které slouží k bezpečnému zavedení sochoru do kalibru stolice. Přípravné pořadí tvoří čtyři bezstojanové SHS stolice o průměru válců 650 mm. Válcuje se v jedné žíle s uspořádáním H-V s kalibrační řadou ovál–kruh a s malým mezistolicovým tahem. Válcovací stolice jsou posuvné, válce jsou symetricky nastavitelné včetně axiálního stavění, což zajišťuje nastavení osy kalibru do osy válcování. Výhodou je velmi rychlá výměna kalibrů a tím pádem vysoké časové využití tratě, vynikající tuhost stolice díky optimální konstrukci a není třeba žádných zkušebních kusů při změně kalibru. Výstupem z přípravného pořadí je polotovar kruhového průřezu 120 mm.

Izolační valník (tunelová pec)

Izolační valník navazuje bezprostředně na přípravné pořadní a začíná jím dvoužílový úsek tratě. Má za úkol dopravovat sníženou zaváděcí rychlostí provalek do první stolice předválcovacího pořadí. Valník je celý zakrytý za účelem udržení teploty vývalku. Tím se eliminuje rozdíl teplot mezi přední a zadní částí provalku a díky tomu se snižují tepelné ztráty v případě čekání před vstupem vývalku do předválcovacího pořadí. Maximální teplotní rozdíl mezi přední a zadní částí provalku je garantován 30 °C. Za izolačním valníkem jsou nůžky, které jsou používány k dělení provalku v případě havárie na

trati. Valník je navržen tak, aby bylo minimalizováno nasávání vzduchu do pece a tím byl minimalizován vznik sekundárních okují. Jednotlivé žíly valníku mají individuální pohon válečků.

Předválcovací pořadí

Jedná se o staré předválcovací pořadí, které je tvořeno šesti stolicemi s horizontálním uspořádáním a s kalibrační řadou ovál–kruh. Průměr válců stolic číslo 1 až 4 je 540 mm, válců stolic 5 až 7 je 480 mm. Stolice číslo 2 dřívější čtyřžílové tratě byla zrušena, ale původní číslování bylo zachováno. Všechny pohony předválcovacího a středního pořadí jsou stejnosměrné o výkonu 800 kW. Za poslední stolicí předválcovacího pořadí jsou pro každou žílu umístěny dělící nůžky pro ostřih počátku a konce provalku, nebo mohou sloužit pro jeho případné sešrotování.

Střední pořadí

Střední pořadí tvoří celkem 8 stolic v horizontálním uspořádání s kalibrací ovál-kruh. Toto pořadí připravuje vývalky pro vstup do dvou samostatných hotovních pořadí. Průměr válců válcovacích stolic číslo 8 a 9 je 440 mm a válcovacích stolic 10 až 15 je 380 mm. Po každém lichém průchodu je zavedeno hranění provalku.

Smyčka před hotovním blokem

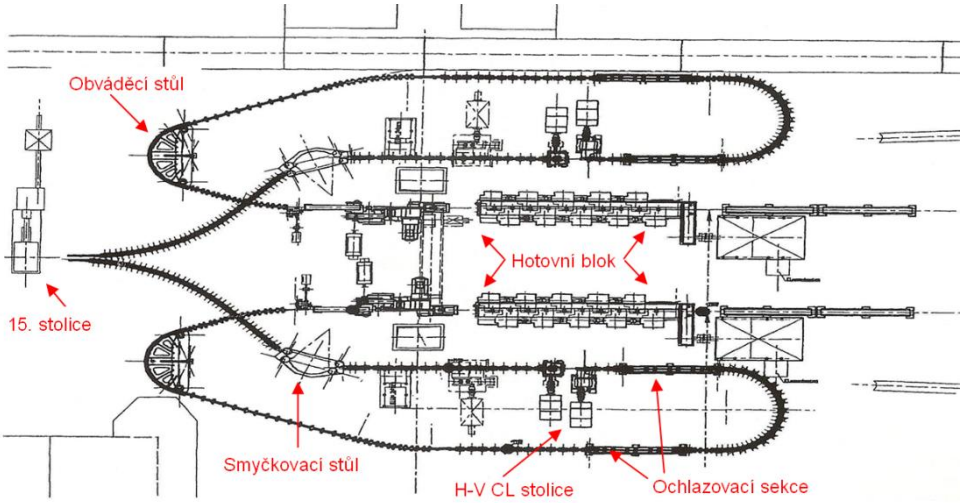
Za středním pořadím, jsou postaveny 2 smyčky (obr. 7.37), každá pro jednu válcovací žílu. Celková délka smyčky je 86 m. Tato délka zaručuje možnost vyrovnání teplot po průřezu provalku po ochlazení. Aby bylo zabráněno velkým tahům při válcování jsou ve smyčce instalovány smyčkovací a obváděcí stoly. Za smyčkovacím stolem jsou postaveny trhací nůžky. Za nůžkami jsou umístěny dvě CL stolice v uspořádání H-V. Tyto stolice přispívají ke zlepšení geometrie provalku a to hlavně při nízkém počtu průchodů v hotovním bloku u větších průměrů drátu. CL stolice mají letmo uložené válce ze slinutých karbidů o průměru 208 mm. Za CL stolicemi je materiál veden do dvou ochlazovacích sekcí (VS1 a VS2). Každá sekce má 3 volitelné chladící zóny a jako chladící médium se používá voda. Těmito sekcemi lze řídit teplotu provalku před jeho vstupem do hotovního bloku. Provalek je po výstupu z chladících sekcí veden přes obváděcí stůl k rotačním nůžkám s maximálním střižným průměrem 33 mm, které slouží k ostřihu začátku a konce provalku. Nebo může být provalek zaveden přes výhybku do šrotovacích nůžek s unášečem provalku.

Hotovní blok

Třinecká KDT je vybavena hotovním blokem typu Morgan. Tento blok tvoří 10 stolic s uspořádáním H-V. Kalibr vytvářejí dva kotouče, které jsou uloženy tak, že svírají s vodorovnou rovinou úhel 45°. Kotouče jsou vyrobeny ze speciálních velmi tvrdých a odolných materiálů na bázi slinutých karbidů. Válce jsou uloženy letmo, což umožňuje jejich snadnou výměnu. První tři stoličky hotovního bloku mají průměr válců 208/187x72 mm (208 mm - průměr nových válců, 187 mm - průměr válců opotřebených). Zbylé válce hotovního bloku mají průměr 159/143x62 mm. V hotovním bloku je instalováno mezistolicové chlazení kruhových provalků s možností regulace tlaku chladící vody 0 až 6 bar. Maximální válcovací rychlost je 120 $m.s^{-1}$, garantovaná rychlost je 105 $m.s^{-1}$.

Vodní chladící sekce

Bezprostředně po výstupu vývalku z hotovního bloku je vývalek zaveden do systému řízeného vodního chlazení. Toto vodní chlazení má celkovou délku 36,6 m a má 4 chladící skříně (VS3 až VS6). Každá chladící skříň je 4 m dlouhá. Chladící skříň má 3 chladící a 3 stírací trysky (jedna je vzduchová). Tlak vody pro první dvě skříně lze regulovat v rozmezí 2 až 6 bar. Poslední dvě chladící skříně pracují s konstantním tlakem vody 6 bar.



Obr. 7.37 Smyčka před hotovním blokem

Pokládací zařízení

Před ukládací hlavou je postavený unášeč ze slinutých karbidů s průměrem kotoučů 186 mm. Zajišťuje potřebné rychlosti zadních konců vývalku k ukládání. U menších průměrů vývalku má brzdící účinek, u větších průměrů zajišťuje zrychlování. Ukládací hlava je uložena se sklonem 10°. Vytváří závity drátu o průměru 1080 mm (viz. obr. 7.38).

Stelmor dopravník

Jedná se o válečkový dopravník o celkové délce 85 m (viz. obr. 7.39). Je tvořen deseti samostatně rychlostně regulovatelnými sekcemi (R1 až R10), které jsou ještě navíc výškově odstupňovány. První vstupní sekce je výškově stavitelná. Možnost samostatné regulace rychlosti jednotlivých sekcí umožňuje změnu tepelných center překrývajících se závitů a to zajišťuje rovnoměrnou rychlost ochlazování drátu. Mezi sekcí R9 a R10 je výškový rozdíl 0,1 m a dovoluje nám skokovou změnu rychlosti posuvu drátu před vstupem do sběrné komory. Rychlost dopravníku je 0,05 až 1,3 $m.s^{-1}$. Způsoby ochlazování drátu se řídí podle nastaveného programu automaticky. Hustota uložených závitů drátu je daná válcovací rychlostí a rychlostí dopravníku a odvíjí se od způsobu jeho ochlazování.

Obr. 7.38 Pokládací hlava

Obr. 7.39 Dopravníky Steelmor

Svitková komora

Svitková komora je konstruována pro maximální hmotnost svitku 2 000 kg. Maximální teplota drátu vstupujícího do svitkovací komory je 600 °C. Závity drátu se ukládají na spouštěcí svitkovou desku, která se v průběhu plnění svitku plynule spouští dolů po trnu ve svitkové komoře. Když je trn naplněn, tak se následně otočí a svitek je přemístěn ze svislé polohy do vodorovné polohy pro jeho předání na převážecí vůz, který je umístěn za svitkovací komorou. Ten naloží svitek na hákový dopravník. Každá žíla má samostatný hákový dopravník, který zajišťuje přísun prázdných a odsun plných háků na základní hákový dopravník. Zařízení je plně automatické a je ovládané hydraulikou.

Měřící zařízení

Teplota provalku se měří průběžně 5 optickými dvouspektrálními pyrometry a jedním jednospektrálním pyrometrem firmy Raytek. Stanoviště měření teploty jsou: před vstupem do předtrati (T1), za středním pořadím (T2), před hotovním blokem (T3), za ukládací hlavou (T4), na Stelmor dopravníku (T5) - dvouspektrální pyrometry a před svitkovou komorou (T6) - jednospektrální pyrometr.

Pro dosažení požadovaných rozměrových tolerancí a požadovaného výskytu povrchových vad na vývalku, jsou na obou válcovacích žílách zavedeny dvě samostatné měřící zařízení, které spojitě poskytují informace o kvalitě provalku:

„Mesametr“, který pracuje na bázi stínění laserového senzoru. Ten se pootáčí okolo měřeného drátu v úhlu 180° a kontinuálně měří průřez drátu za hotovním blokem.

„Defektomat“, jenž pomocí elektromagnetického vlnění kontinuálně měří povrchové parametry na provalku před hotovním blokem. Pomocí této metody je možné zjišťovat vady (jejich hloubku a počet) na povrchu vývalku a provádět odpovídající třídění hotové výroby, respektive rychle stanovit vadnou výrobu a tím zamezit zbytečným reklamacím.

Doprava a manipulace se svitky, expedice

Dodavatelem zařízení pro dopravu a manipulaci se svitky je švédská firma Sund Birsta. Komplex zařízení hákových dopravníků má za úkol odebírat svitky z uložených míst sběrných komor a dopravovat je pomocí dopravního vozíku k následujícím zařízením(viz. obr. 7.40). Každý hák je vybaven identifikačním štítkem, se kterým jsou spjaty informace o svitku.

Po ostřihu konců je svitek spolu s hákem zvážen. Systém sledování svitků VAX uchovává informace o váze svitku s daným hákem. Dále je svitek dopraven hákovým dopravníkem do prostorů dvou lisů, kde je slisován a svázán drátem o průměru 7 mm ve čtyřech místech(viz. obr. 7.41). V této stanici jsou vytištěny na štítek informace o daném svitku a ten je manuálně připevněn na svitek. Po svázání je svitek dopraven hákovým dopravníkem k vykládacímu vozíku, který jej sejme z háků a uloží do meziskladu. Prázdný hák se pak vrací zpět a z datové banky mu jsou předány nové informace. Z meziskladu jsou svitky odebírány buď přímo k expedici nebo k uložení na skladě.

Obr. 7.40 Hákový dopravník

Obr. 7.41 Lis na svitky SUND BIRSTA

Shrnutí pojmů kapitoly

Nosníky I, H – profily U – kolejnice – štětovnice – úhelníky – profily – ocelové tyče – drát

Otázky k probranému učivu

7.1. Jaké výrobky zařazujeme do sortimentu těžkých tvarových výkovků?

7.2. Do jaké tloušťky se válcuje drát za tepla?

Použitá literatura, kterou lze čerpat k dalšímu studiu

[1] KOLLEROVÁ, M., et al. *Valcovanie*. 1. vydání. Bratislava: Alfa, 1991. 576 s. ISBN 80-05-00729-9.

[2] LEE, Y. *Rod and Bar Rolling: Theory and Applications*. New York : Marcel Dekker, 2004.

[3] FABÍK, R. *Tváření kovů*. 1. vydání, VŠB-TU Ostrava, 2012. 333 s. ISBN 978-80-248-2572-4.

8. Kalibr – jeho druhy, části, geometrie a rozměrová charakteristika, neutrální osa kalibru.

Čas ke studiu: 1.5 hodiny

Cíl Po prostudování této kapitoly budete umět

- definovat základní pojmy v oblasti kalibrace válců
- znát úkoly kladené na kalibraci válců
- vyřešit umístění neutrální osy kalibru

Výklad

Význam kalibrace válců a základní pojmy

Válcováním se provádí výroba plechů, pásů a tvarové oceli jakýchkoliv rozměrů. Je prováděno obvykle v několika průchodech. Počet průchodu se stanovuje v závislosti na počátečních a konečných průřezových rozměrů. Během každého průchodu (úběru) se plocha příčného průřezu zmenšuje, tvar a rozměry se postupně blíží požadovanému profilu.

Při válcování lze rozlišit podle hotových výrobků následující základní skupiny konečných výrobků:

- **ploché výrobky** - při válcování plochých výrobků se používají hladké válce a změna tloušťky se uskutečňuje změnou vzdálenosti mezi válci. Po celé šířce provalku je rovnoměrný úběr a válcování je doprovázeno volným šířením.

- **tvarová ocel** - válcování tvarové oceli pak probíhá na kalibrovaných válcích. Je charakterizováno výrazným projevem nerovnoměrného úběru. Velikost úběru v příčných řezech po šířce kalibru je značně rozdílná. V příčném směru dochází k různým projevům deformace, tj. projevům omezeného nebo vynuceného šíření.

Kalibrace válců se tedy zabývá otázkami stanovení správných úběrových plánů, tvaru a konstrukce kalibrů. Jde o souhrn poznatků z teorie tváření kovů, technologie válcování a také jistých „pravidel“ získaných praxí, kterými je nutno se řídit při projektování optimálního způsobu válcování kovu na požadovaný tvar. Kalibrace je nejdůležitější součásti technologie válcování tvarových ocelí a zaujímá důležité místo i v otázkách projektování válcovacích tratí.

❑ Základní úkoly kalibrace válců

Kalibrace válců musí vést ke splnění následujících základních požadavků:

- získání přesného průřezového tvaru spolu s jeho správnými rozměry
- povrch vyválcovaného materiálu musí být bez vad
- respektování minimální spotřeby energie, válců a válcovacího času
- zajištění minimálního vnitřního pnutí v hotové tvarové oceli
- zajištění jednoduché obsluhy a minimální práce u válcovací stolice s možností zavedení mechanizace a automatizace válcovacího pochodu
- zajištění výrobnosti válcovací trati
- respektování maximální racionálností válců, tj. montáže a výměny válců, přesoustružení apod.

Při hledání optimálního průběhu válcování z hlediska kalibrace válců se musí přihlížet k některým technickým a technologickým požadavkům tvářeného kovu a podmínkám válcování, které lze shrnout do tří charakteristických skupin:

Charakteristika hotového vývalku

- rozměry finální tvarové oceli a dovolené rozměrové tolerance
- požadavky na mechanické vlastnosti
- jakost povrchu oceli po válcování

Charakteristika výchozího předvalku

- rozměry a hmotnost předvalku
- jakost válcované oceli
- teplota oceli před válcováním
- teplota oceli při válcování v jednotlivých průchodech

Charakteristika válcovací trati

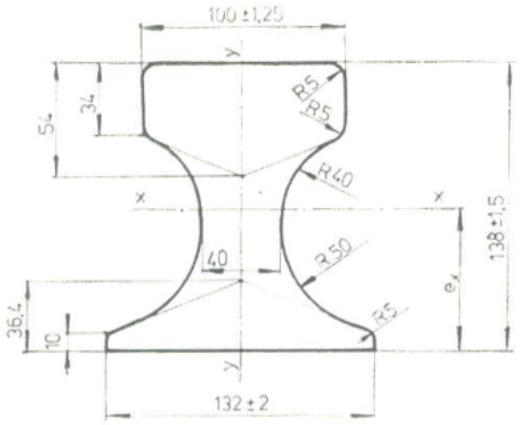
- počet válcovacích stolic, délka těla válců
- průměr válců
- pevnost válců a částí válcovací stolice
- výkon motoru
- rychlost válcování
- technologické zařízení válcovací trati apod.

❑ Základní pojmy v kalibraci válců

Tvarová ocel - může být válcována na hladkých válcích nebo válcích se zářezy. Příkladem válcování na hladkých válcích může být plochá tyč. Typickým tvarem pro válcování v kalibrech je kolejnice, viz obr. 8.1, na kterém je vykreslen profil jeřábové kolejnice.

Zářez - plocha ve válcovací rovině, omezenou výřezem na těle válce. Samotným jedním válcem nic neodválcujete. Vždy potřebujete dva (obr. 8.2).

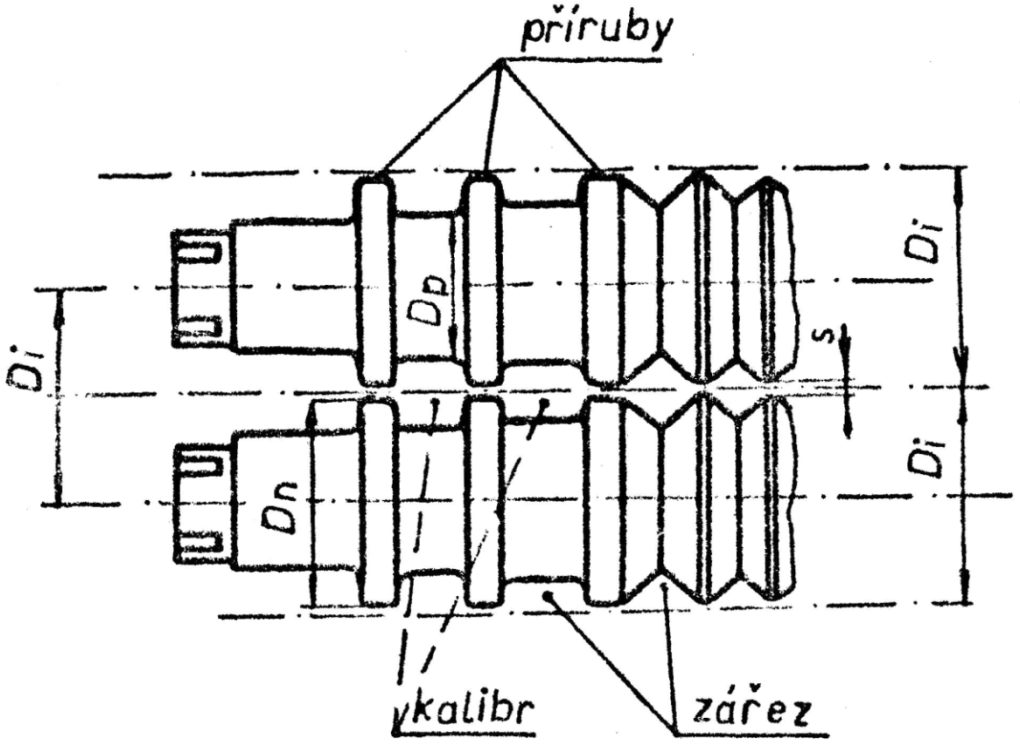
Kalibr - dva zářezy, odpovídající jednomu páru válců s vymezenou mezerou mezi válci



Obr. 8.1 Jeřábová kolejnice

Mezera válců - skutečná vzdálenost mezi horním a spodním válcem, pro její označení se používá *s*.

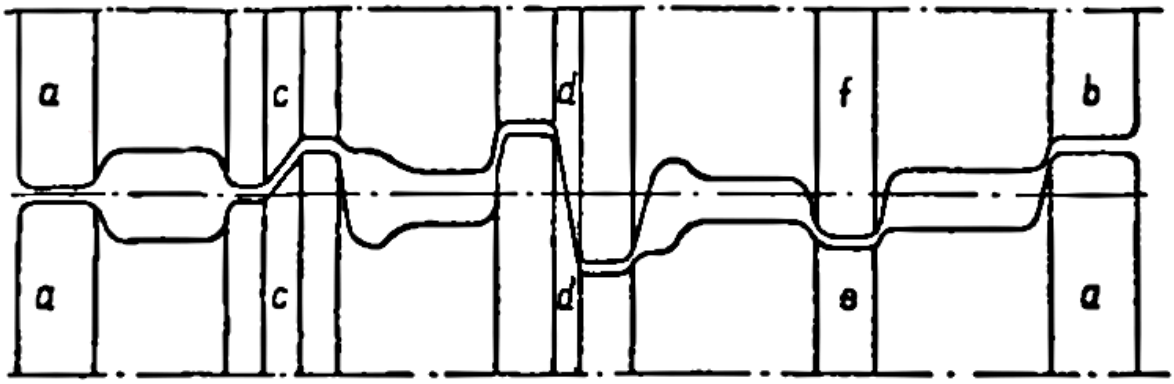
Příruby / Nákružky jsou nevyužité části pracovního těla válce, pokud jsou jejich průměry větší nežli průměry válce v kalibru. Jejich počet na válci je vždy o jednu větší než počet kalibrů. Obvyklá konstrukce nákružků pro ocelové válce se volí tak, aby šířka příruby byla přibližně polovina její výšky, tj. polovina maximální hloubky sousedních zářezů. U litinových válců se šířka nákružku rovná výšce zářezu. Šířka na okrajích se volí různě.



Obr. 8.2 Válce používané na sochorové trati

Možné typy nákružku, tak jak jsou zachyceny na obr. 8.3:

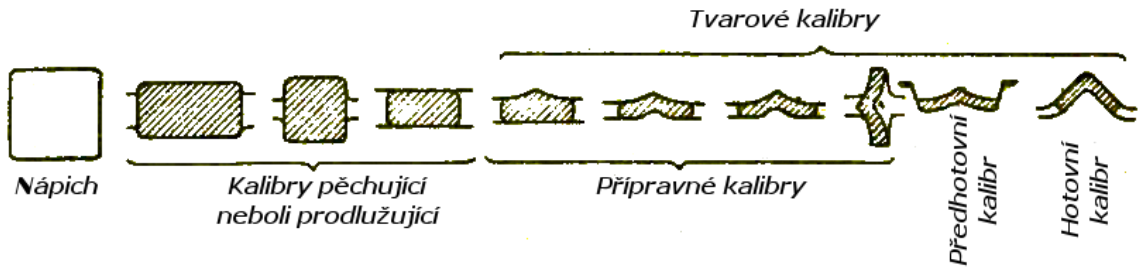
a) okrajový pozitivní
b) okrajový negativní
c) dvojitý
d) zámkový
e) negativní
f) pozitivní



Obr. 8.3 Možné typy nákružků

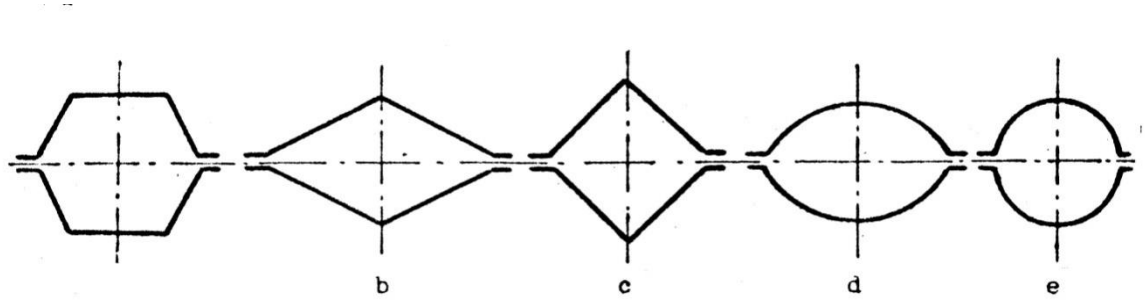
Rozdělení kalibrů

Podle způsobu použití je základní dělení kalibrů podle funkčnosti a umístění ve válcovací trati. Rozlišujeme tedy kalibry předválcovací, přípravné, předhotovní a hotovní. Na obr. 8.4 jsou zaznačeny všechny základní typy kalibrů a jejich umístění v technologickém toku.



Obr. 8.4 Vývoj a značení kalibrů v kalibračním plánu

Kalibry předválcovací (také nazývané prodlužovací) jsou určeny jen pro postupné zmenšování průřezové plochy válcovaného kovu. Patří sem kalibry skříňové, kosočtvercové, čtvercové, oválové, kruhové. Příklady jednotlivých typů kalibrů jsou na obr. 8.5. Předpokládám, že správné přiřazení tvaru podle názvu zvládnete.



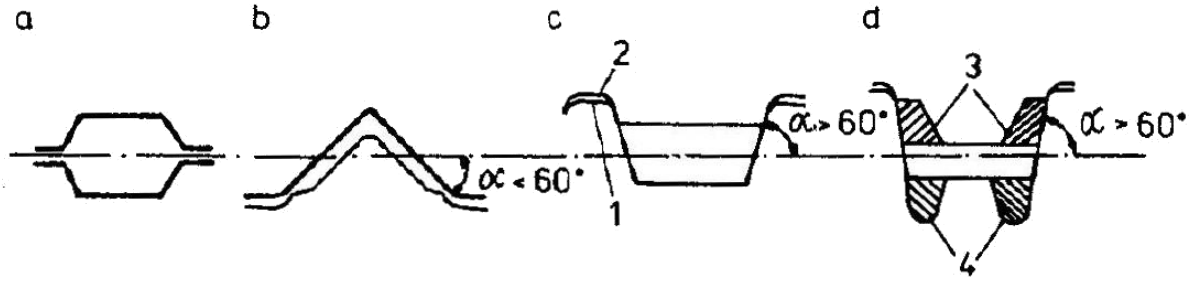
Obr. 8.5 Tvary předválcovacích kalibrů

Kalibry přípravné jsou určené k dalšímu zmenšování průřezové plochy válcovaného materiálu. Zároveň dochází ke hrubé změně ve smyslu postupného dosažení rozměru a tvaru hotovního profilu. Speciálním případem přípravného kalibru může být kalibr rozřezávací.

Kalibry předhotovní slouží k tvarování v předposledním průchodu. Svými tvary se blíží hotovním tvarovým výválků.

Kalibry hotovní - v něj je dosahováno konečného tvaru. Tvar i rozměry souhlasí s rozměry konečného výválku. Hotovní kalibr se konstruuje s uvažováním tepelné roztažnosti a dovolených tolerancí.

Dalším z rozdělení je prováděno podle způsobu zhotovení zářezů na těle válců. Rozlišujeme tedy **kalibry otevřené**, kdy v obou spolupracujících válcích jsou provedeny zářezy a otevření kalibru svírá s osou válcování úhel < 60° (a, b na obr. 8.6). Dále pak **kalibry zavřené** - v jednom válci je zářez, v druhém výstupek, otevření kalibru svírá s osou válcování úhel > 60°.



Obr. 8.6 Možné situace ve způsobu zhotovení kalibrů. Vysvětlení pojmů: 1 - pozitivní nákružek, 2 - negativní nákružek, 3 – otevřená příruba, 4 - uzavřená příruba.

Další dělení kalibrů je podle uložení:

- přímé - kalibry u nichž je svislá osa symetrie kolmá na osu válcování. Např. prodlužovací kalibry.
- šikmé (diagonální) - svislá osa symetrie svírá s osou válcování určitý úhel. Např. mezilehlé kalibry pro válcování nosníků, kolejnic apod.

❑ Vliv teplotní roztažnosti

Při konstrukci hotovního kalibru je třeba vzít v úvahu, že příčné rozměry válcovaného materiálu jsou při teplotě doválcování větší než při pokojové teplotě, při které se provádí měření důležitých rozměrů příčného průřezu provalku. Obecně je teplotní délková (lineární) roztažnost jev, při kterém se délka tělesa zahřátého o určitou teplotu změní v daném směru o určitou hodnotu. Izotropní tělesa mají délkovou roztažnost ve všech směrech stejnou, v anizotropních tělesech však může být délková roztažnost v různých směrech různá (např. v krystalech), proto je nutno daný směr specifikovat.

Míru teplotní roztažnosti určuje teplotní součinitel délkové roztažnosti α [K^{-1}], nazývaný také koeficient úměrnosti. Přesně (tj. aniž by bylo nutno předpokládat lineární závislost délky na teplotě) je tato fyzikální veličina definována vztahem:

$$\alpha = \frac{1}{l_0}\frac{\partial l}{\partial t} \tag{8.1}$$

Kde l_0 je počáteční teplota při dané teplotě t.

Lze použít zjednodušení pro malé teplotní rozdíly vztah mezi změnou délky a změnou teploty přiblížit lineární závislosti, tedy zapsat ve tvaru:

$$\Delta l = \alpha l_0 \Delta t \tag{8.2}$$

Pro určení délky za zvolené teploty lze tento vztah napsat následovně

$$l = l_0(1 + \alpha\Delta t) \tag{8.3}$$

V kalibrérské praxi je tento vztah zjednodušen na maximum s tím, že l_0 je délka za pokojové teploty a pro přepočet délky při konkrétní teplotě válcování se použije technický koeficient teplotní roztažnosti k_α, který odpovídá prodloužení konkrétního materiálu. Vztah pak přechází do podoby

$$l = l_0 k_\alpha \tag{8.4}$$

Hodnoty k_α obvyklé pro konstrukční oceli jsou uvedeny v tabulce 8.1.

Tabulka 8.1 Hodnoty k_α v závislosti na teplotě

Teplota, °C	k_α	Teplota, °C	k_α
800	1,010	1100	1,013
900	1,011	1200	1,014
1000	1,012	1300	1,015

❑ Neutrální osa kalibru

Při řešení vhodného rozmístění kalibrů po délce těla válce je třeba přihlédnout také k základním charakteristikám geometrie kalibru. Jak už bylo zmíněno, kalibr jakéhokoliv tvaru je tvořen odpovídajícími si zářezy na horním a spodním těle válce spolu s mezerou mezi válci. Pro válcování tvarové oceli se používá různých tvarových kalibrů, které můžeme vzhledem k jejich symetričnosti rozdělit do tří skupin:

- jednoduché kalibry symetrické podle osy x a y, patří sem kalibry jednoduchého geometrického tvaru např. oválové, čtvercové, kruhové apod. Patří sem i řada hotovních kalibrů, včetně některých pro tvarovou ocel. Tyto kalibry mají dvě osy symetrie, jejich průsečík prochází těžištěm. Vodorovná osa (x-ová) je tedy zároveň neutrální osou.
- kalibry symetrické pouze podle jedné osy symetrie (vodorovné nebo svislé). Do této kategorie patří velká část přípravných kalibrů a dále i část hotovních kalibrů. Například kalibry pro nosníky tvaru I nebo U, úhelníkovou ocel, kolejnice apod.
- kalibry, které nemají žádnou osu symetrie.

Existence alespoň jedné osy symetrie u tvarových kalibrů napomáhá při stanovení neutrální osy kalibru. Neutrální osa kalibru je vodorovná osa, vůči které jsou statické momenty sil, vztažené ke kalibru ze strany horního a spodního válce, stejné.

Neutrální osa kalibru prochází těžištěm kalibru a je totožná s jeho vodorovnou osou symetrie. U složitých přípravných kalibrů, které mají jen svislou osu symetrie, prochází těžištěm kalibru. Zde se úloha zjednodušuje pouze na stanovení příslušné výškové souřadnice těžiště.

❑ Způsoby stanovení neutrální osy kalibru

Pro určení polohy neutrální osy kalibru se dá použít několik způsobů. Vychází se přitom z celkové průřezové plochy kalibru, ze stanovení těžiště průřezové plochy nebo ze stanovení polohy těžiště obrysové čáry kalibru. Všechny používané způsoby směřují k určení takové polohy neutrální osy kalibru, která zabezpečí rovnocenný účinek jak ze strany horního, tak i ze strany spodního válce. To znamená rovnost středního pracovního průměru obou válců, obvodových rychlostí apod.

Kalibréři si ve své praxi pomáhali různými způsoby při zjišťování neutrální osy kalibru. Od historické empirické pravítkové metody, kdy se provádělo vyvážení obrazce kalibru vystřiženého z tuhého kartonu na ostré hraně pravítka, na napnutém drátě nebo na jehle. Planimetrickou metodu se stanovení ploch pomocí planimetru nejčastěji provádí u svisle symetrických kalibrů, kde se hledala výška umístění neutrální osy kalibru a tvar kalibru se omezil po šířce podle tvaru a na výšku libovolně. Jednotlivé plochy nad a pod kalibrem se určily pomocí planimetru. Výsledný rozdíl ploch se vydělil zvolenou šířkou B a získala se výška h_1. Součet výšek se pak rozdělil na polovinu a získala se poloha neutrální roviny procházející těžištěm.

Lze použit i metodu využívající účinku statických momentů, kdy se úlohy řeší tak, že průřezový tvar kalibru se geometricky rozdělí na elementární části, přičemž se jednotlivě stanovují souřadnice jejich těžišť. Příkladem může být řešení pro nosníkový průřez tvaru U. Zde se poloha těžiště stanoví ze vztahu

$$y = \frac{M_1+2M_2}{S_1+S_2} = \frac{S_1 y_1+2S_2 y_2}{S_1+S_2} \tag{8.5}$$

kde $S_1 = B_k d$ – plocha stojiny nosníku,

$S_2 = 0{,}5(a+b)h$ – plocha jedné příruby,

a, b – strany lichoběžníku,

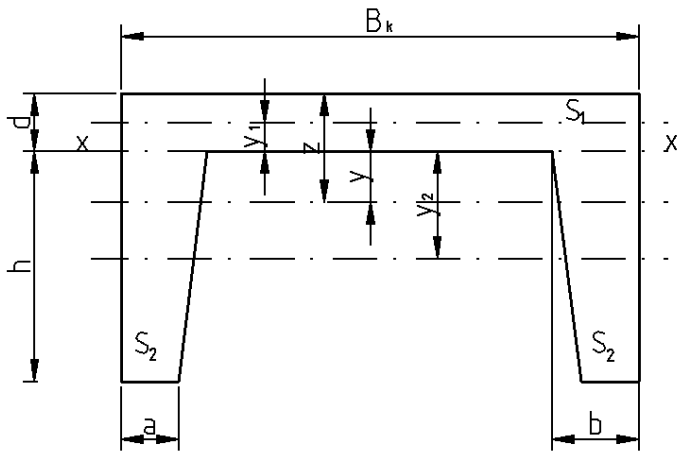
M_1, M_2 – statické momenty ploch,

$y_1 = \frac{d}{2}$ – souřadnice těžiště stojiny

$y_2 = \frac{h}{3}\left(\frac{2a+b}{a+b}\right)$ – souřadnice těžiště příruby

$z = d + y$ – vzdálenost mezi vnější hranou kalibru a těžištěm

Tato metoda dává v celé řadě řešení uspokojivé výsledky. Z hlediska teorie je však nutno uvažovat s velikostí třecích sil a hlavně jejich změnou na přírubách válce, proto se za nejvhodnější považuje metoda, založena na rovnocennosti účinku středního pracovního průměru horního a spodního válce s uvažováním třecích sil. Řeší se tím projevy umístění otevření v horní nebo spodní části kalibru.



Obrázek 8.7 Určení těžiště

Shrnutí pojmů kapitoly (podkapitoly)

Z textu kapitoly byste měli znát tyto pojmy:

tvarová ocel; **zářez**; **kalibr**; **mezera válců**; **nákružky**; **kalibry přípravné**, **předhotovní**, **hotovní**; **kalibry otevřené nebo zavřené**; **neutrální osa kalibru**

Otázky k probranému učivu

8.1. Vysvětlete rozdíl mezi tvarovou a plochou ocelí.

8.2. Jaké úkoly řeší kalibrace válců.

8.3. Kterými částmi je definován kalibr.

8.4. Jak je definováno otevření kalibru.

8.5. Vyjmenujte a definujte typy kalibrů podle zařazení do jednotlivých sekcí válcovací trati.

8.6. Jaké bývají hodnoty součinitele prodloužení.

8.7. Definujte neutrální osu kalibru.

Použitá literatura, kterou lze čerpat k dalšímu studiu

[1] Nikel, Z. *Základy kalibrace válců*. I. díl, Vysoká škola báňská, 1980, 150 s

9. Konstrukce základních kalibrů, charakteristika průměrů válců a životnost válců

Čas ke studiu: 2 hodiny

Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- definovat a zkonstruovat základní tvary prodlužovacích kalibrů
- definovat ideální střední průměr válce a pracovní průměr válce
- popsat závislosti mezi různými typy průměru válce

Výklad

9.1. Konstrukce základních prodlužovacích kalibrů

Před vlastní charakterizací jednotlivých průměru válců, s kterými se lze setkat v kalibrérské práci je třeba popsat základní způsoby konstrukce nejjednodušších prodlužovacích kalibrů. Vzhledem k postupům používaných v kalibrerské praxi, se vychází z plochy kalibru *S*, ze které jsou určeny výška kalibru *H* a šířka kalibru *B*.

❑ Kruhový kalibr

Z hlediska konstrukce kruhového kalibru se rozlišuje, zda se jedná o kalibr prodlužovací, nebo o finální kalibry. Pro prodlužovací kalibry stačí konstrukce kruhového kalibru s jedním poloměrem zaoblení. Tento kalibr neposkytuje podmínky pro obdržení kvalitního a přesného kruhového průřezu, pro použití jako prodlužovacího kalibru je však vhodný.

V případě konstrukce prodlužovacího kruhového kalibru je známa plocha kalibru *S*, obvykle určená předchozími výpočty. Vycházíme tedy ze vztahu:

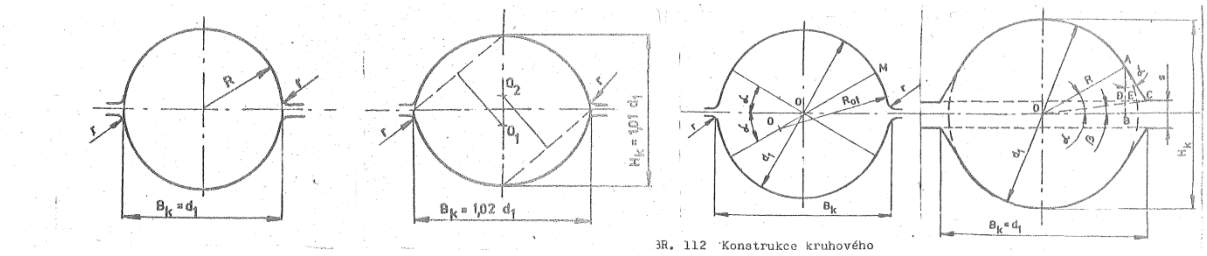
$$S = \frac{\pi}{4} d^2 \tag{9.1}$$

Průměr kalibru *d* a tedy i jeho šířku *B* vypočteme tedy následovně

$$d = B = \sqrt{\frac{4}{\pi} S} \tag{9.2}$$

Návrh hodnoty válcovací mezery *s* a zaoblovacího poloměru *r* může vycházet z hodnoty průměru kalibru *d*, obvyklé hodnoty bývají $s \approx r \approx 0{,}1d$. V případě určení hodnoty mezery mezi válci *s* z průměru válců, pak uvažujeme, že i hodnota poloměru zaoblení *r* je podobná.

Konstrukce finálního kruhového kalibru může být daleko komplikovanější, viz příklady na obr. 9.1.



3R. 112 Konstrukce kruhového

Obr. 9.1 Typy kruhových kalibrů

❑ Oválový kalibr

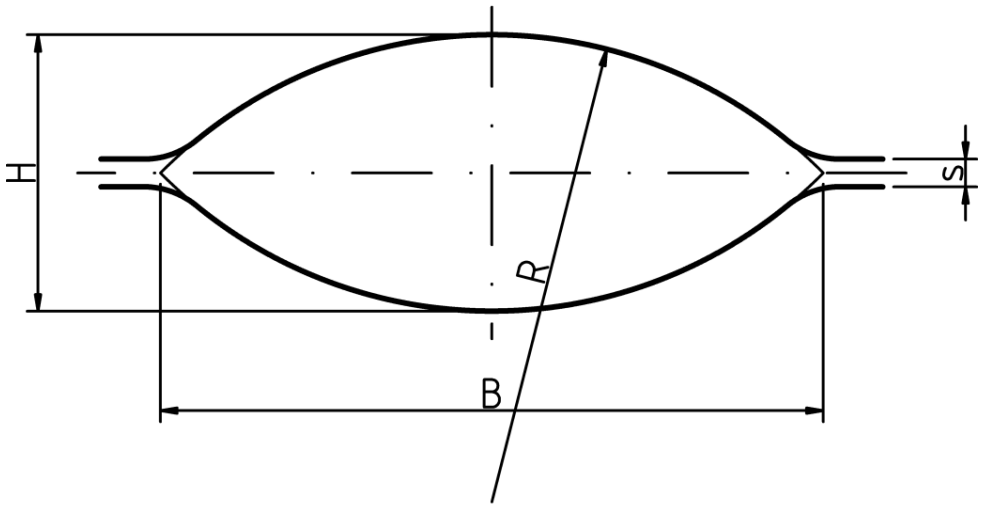
Nejjednodušší konstrukce je u jednoobloukového oválového kalibru, které mohou být konstruovány jako tzv. „ostré“ s velkým zaoblením, nebo tzv. „tupé“ s malým zaoblením blížící se hotovnímu kruhu. Při jeho konstrukci se vychází z plochy kalibru S a poměru šířky kalibru B a výšky kalibru H, který značíme jako α. Pro konstrukci se uvažuje s poměrem šířky a výšky kalibru v následujícím rozsahu $\alpha = B/H = 1{,}5 \div 4{,}5$. Pro výpočet plochy oválového kalibru S se využívá vzorce

$$S = \frac{2}{3}BH \tag{9.3}$$

Pro výpočet šířky a výšky kalibru z plochy kalibru je nutné znát poměr α, jinak se rovnice stává neřešitelnou. Příklad výpočtu z plochy je uveden v řešených příkladech. Poloměr oblouku R tvořící vlastní oválový kalibr se dá učit pomocí vzorce

$$R = (B^2 + H^2)/4H \tag{9.4}$$

Velikost válcovací mezery lze určit z výšky oválového kalibru podle vztahu $s = (0{,}15 \div 0{,}2)H$.



Obr. 9.2 Konstrukce oválového kalibru

❑ Čtvercový kalibr

Pokud budeme při konstrukci čtvercového kalibru vycházet ze známé plochy *S*, pak použijeme vzorec s délkou strany čtverce *a*:

$$S = a^2 \tag{9.5}$$

Závislost mezi hranou čtverce *a*, výškou kalibru *H* a šířkou kalibru *B* je následující

$$B = H = \sqrt{2}a \tag{9.6}$$

Tento vztah platí, pokud konstruujeme finální kalibr pro válcování čtvercové oceli. V případě konstrukce prodlužovacího kalibru, ať už v kalibrační řadě ovál – čtverec či jiné, používá se mírného rozevření kalibru do hodnoty vrcholového úhlu cca 93°.

Na obrázku 9.3 je konstrukce kalibru se zaoblenými rohy. Lze jej taky konstruovat bez zaoblení a to v případě hodovního kalibru. Skutečná výška kalibru h s vlivem zaoblení rohů pak bude

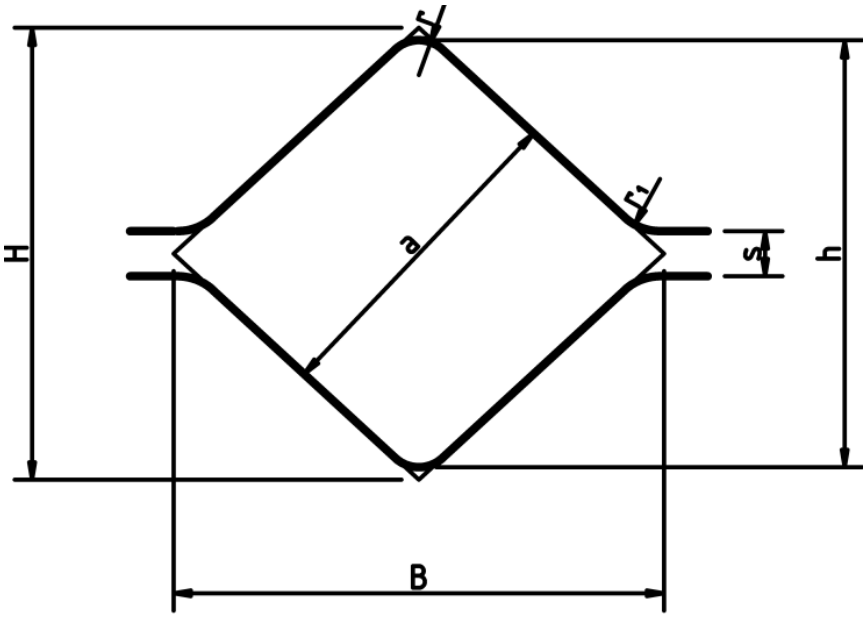
$$h = \sqrt{2}a - 0{,}828r \tag{9.7}$$

Velikost vrcholového zaoblení se obvykle volí jako

$$r \approx \langle 0{,}1 \div 0{,}2 \rangle a \tag{9.8}$$

Hodnota zaoblení r_1 na přechodu zářezu v nákružek bývá obvykle

$$r_1 \approx \langle 0{,}1 \div 0{,}15 \rangle H \tag{9.9}$$



Obr. 9.3 Konstrukce čtvercového kalibru

❑ Kosočtvercový kalibr

Pří konstrukci kosočtvercového kalibru se vychází z plochy kalibru S (obr. 9.4). Základní závislost S na šířce kalibru bez zaoblení B a výšce kalibru bez zaoblení H je následující

$$S = 0{,}5\,BH \tag{9.10}$$

Vztah mezi stranou kosočtverce a a rozměry kalibru je určen rovnicí

$$a = \frac{H}{2\sin{}^{\beta}/_{2}} \tag{9.11}$$

Vlastní tvar kosočtverce lze taky popsat pomocí úhlů α a β. Vrcholový úhel β bývá obvykle okolo 110° při použití kosočtvercového kalibru v kalibrační řadě čtverec – kosočtverec. Závislost mezi šířkou kalibru bez zaoblení a výškou kalibru bez zaoblení je určena pomocí úhlu β následovně

$$B = H\tan{}^{\beta}/_{2} \tag{9.12}$$

Doporučené hodnoty pro volbu poloměru zaoblení R u příruby kalibru jsou dány vztahem

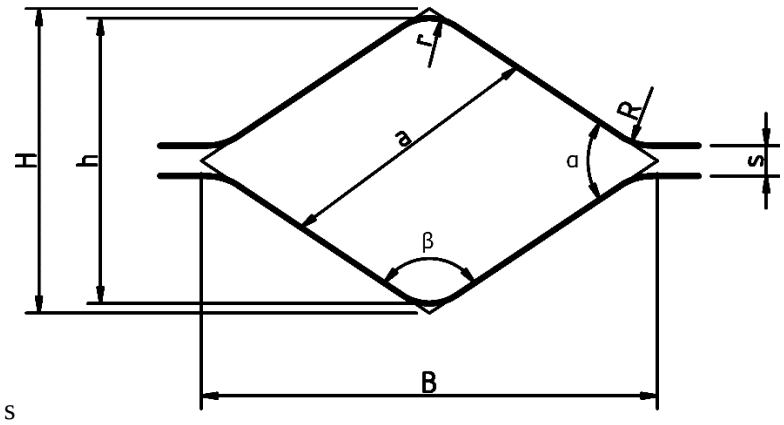
$$R = \langle 0{,}2 - 0{,}4\rangle\, B \tag{9.13}$$

Poloměr zaoblení r ve vrcholu kalibru nabývá hodnot

$$r = \langle 0{,}0 - 0{,}2\rangle a \tag{9.14}$$

V případě volby válcovací mezery s se může použít závislosti na průměru válce D a to následovně

$$s = \langle 0{,}01 - 0{,}02\rangle D \tag{9.15}$$

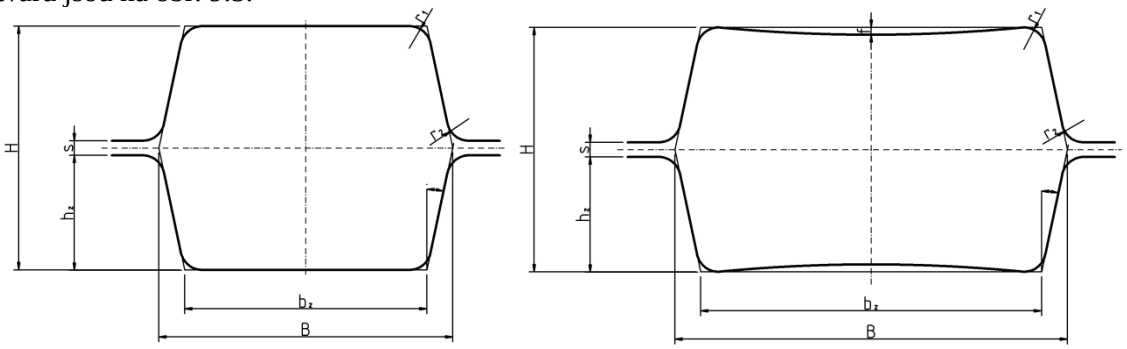


s

Obr. 9.4 Konstrukce kosočtvercového kalibru

❑ Skříňový kalibr

Základní rozměry, kterými provádíme konstrukci skříňových kalibrů obdélníkového, a čtvercového tvaru jsou na obr. 9.5.



Obr. 9.5 Konstrukce kosočtvercového kalibru

Hloubka zářezu h_z (výška kalibru H) se konstruuje v souladu s určením kalibru. Závisí na velikosti úběru, zaoblení rohů, poměru stran provalku apod. Čím menší je poměr stran provalku H/B vystupujícího z kalibru, tím provádíme menší hloubku zářezu. Orientačně můžeme hloubku zářezu h_z volit na základě následujících údajů:

Provalky s poměrem stran $H/B < 1{,}2 \rightarrow h_z=0$

Totéž s požadavkem určitého vedení provalku v kalibru se zaoblením v rozích $\rightarrow h_z = (0{,}2 - 0{,}3)\,H$

Válcování provalků s poměrem stran H/B >1,3 a možností různého nastavení válců $\rightarrow h_z=(0{,}35\text{-}0{,}45)H_{min}$

Provalky s poměrem stran H/B >2 bez možnosti nastavení válců $\rightarrow h_z=(H-s)/2$, kde mezera mezi válci $s = (0{,}02\text{-}0{,}08)D$

Šířka kalibru b_z a B se určuje v závislosti na šířce vstupujícího provalku do kalibru a v závislosti na velikosti šíření provalku během válcování. Pro dobré vedení válcovaného kovu by měla být šířka kalibru ve dnu b_z o něco menší než šířka vstupujícího kovu do kalibru. Jestliže ve skříňovém kalibru není uvažováno zaoblení rohů, pak se musí kalibr konstruovat s ohledem na vzniklé šíření $b_z=(1{,}00\text{-}1{,}05)b$. Šířka kalibru v místě otevření B se určuje v závislosti na sklonu bočních stěn kalibru a dále v závislosti na hodnotě šíření Δb. Velikost hodnoty B je nutno volit se zřetelem na to, aby nedocházelo k přeplňování kalibru. Pro blokovnu se doporučuje $B=b+(1{,}25\text{-}1{,}75)\,\Delta b$. Pro skříňové kalibry ve spojení s hladkou částí válců se doporučuje vztah $B=b_z+2(0{,}1\text{-}0{,}2)h_z$

Sklon bočních stěn se pohybuje ve velmi širokých mezích a to od 10 do 20%, přičemž pro mělké zářezy a pěchovací kalibry může přecházet i do vyšších hodnot (40-50%). Volba se řídí velikostí šíření a podmínkami deformace.

Poloměry zaoblení r_1 a r_2 se volí v závislosti na šířce vstupujícího provalku do kalibru. Na základě praktických zkušeností se doporučují konstruktivní vztahy

$$r_1 = \langle 0{,}15 - 0{,}25 \rangle h_z \tag{9.16}$$

$$r_2 = \langle 0{,}8 - 1{,}0 \rangle r_1 \tag{9.17}$$

V některých případech se konstruují skříňové kalibry s ohledem na nepřeplňování následujících kalibrů válcovaným kovem a to především při větších úběrech. Za těchto okolností se dna kalibrů konstruují jako zaoblené. Velikost zaoblení se provádí co největším poloměrem s hloubkou ode dna kalibru v polovině jeho šířky v mezích 5-10mm. U sochorových tratí se zaoblení (bombírování) dna skříňových kalibrů neprovádí.

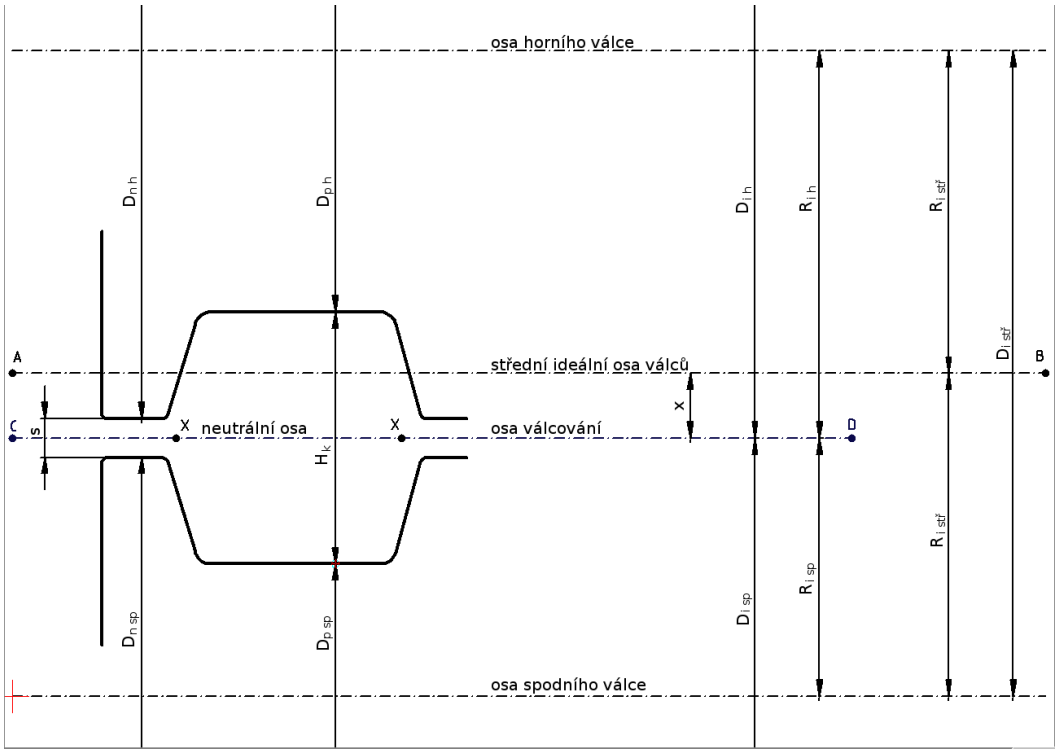
9.2. Průměry válců

Jedním z parametrů charakterizující válcovací tratě je průměr používaných válců. V průběhu válcování se však průměry válců neustále mění v důsledku jejich opotřebení. Proto se válcovací tratě pro válcování tvarových výválků charakterizují průměry hřebenové stolice, u které se průměry nemění. U válcovací stolice s hladkými válci jsou to také jejich průměry, jestliže neuvažujeme mezeru mezi válci. U kalibrovaných válců, kde uvažujeme mezeru mezi válci, se bere průměr, jehož velikost je určena vzdáleností os horního a spodního válce (viz. obr. 9.6) Takový průměr se nazývá střední ideální průměr válců $D_{i,str}$. Je to základní průměr válců, kterým se nejenom charakterizující válcovací trati, ale uvažuje se s ním i při základních výpočtech kalibrace.

V případě když uvažujeme s mezerou válců, pak nominální průměr válců D_n je menší než střední ideální průměr válců. Nominální průměr válců jsou pak skutečnými maximálními průměry, které válce mají při vložení do válcovací stolice. U kalibrovaných válců jsou to průměry naměřené na přírubách. Velikost nominálního průměru válců se mění vlivem přebrušování během životnosti válců od $D_{n,max}$ po $D_{n,min}$. Pro horní válec se používá označení $D_{n,h}$, pro spodní válec pak $D_{n,sp}$.

Vztah mezi středním ideálním průměrem, nominálními průměry válců a válcovací mezerou je následující:

$$2D_{i,str} = D_{n,h} + D_{n,sp} + 2s \tag{9.18}$$



Obr. 9.6 Vztah mezi jednotlivými průměry válců

❑ Pracovní průměr válce

Pracovním průměrem válce D_p se rozumí ten průměr, který je naměřen v místech, kde se tvářený kov stýká s povrchem válce (stěny kalibru). Z toho je zřejmé, že pracovních průměrů válce může býti celá řada. Záleží jen na průřezovém tvaru válcovaného kovu nebo na tvaru válce.

Při válcování na hladkých válcích máme pouze jeden pracovní průměr a to po celé šířce provalku. Pracovní průměr válce je v tomto případě totožný s nominálním průměrem.

U kalibrovaných válců je pracovních průměrů velmi mnoho. Každému místu po šířce kalibru, které přichází do styku s povrchem válcovaného kovu, náleží jiný pracovní průměr. Rozdíl v pracovních průměrech válce způsobuje při válcování tvarového provalku určité obtíže, a to zejména z hlediska kinematiky válcovacího pochodu. Obvodová rychlost válce v kalibru po jeho obrysu se mění od $D_{p,max}$ po $D_{p,min}$.

Se složitostí tvaru kalibru se stává složitou i otázka kinematiky. S hloubkou zářezu do válce se zvětšuje rozdíl rychlostí v jednotlivých částech obrysu kalibru. Dochází k výraznému přesouvání částic kovu po šířce. V tvářeném kovu je vyvoláváno napětí, které může ve svém konečném efektu válcovaný kov různě zvlňovat. Dále může v procesu válcování docházet k nedoplňování některých částí kalibrů nebo na druhé straně i k jejich přeplňování.

Proto se ke zmírnění nepříznivých účinků výše uvedených vlivů do kalibračních výpočtů zavádí další hodnota průměru válce, a to střední pracovní průměr $D_{p,str}$. Je to průměr válce v určitém místě na obrysu válce, při kterém je rychlost provalku stejná jako obvodová rychlost válců. Znalost středního pracovního průměru válce je významnou součásti řešení celé řady kalibračních úloh.

Stanovení $D_{p,str}$ je možno obecně vyjádřit

$$D_{p,str} = \frac{\sum_{i=1}^{n} D_{p,i}}{n} \tag{9.19}$$

V jednoduchších případech, např. při válcování na hladkých válcích, je střední pracovní průměr totožný s pracovním průměrem po celé šířce válcovaného kovu. U skříňových kalibrů se stanovuje střední pracovní průměr tak, že se volí průměr ve dnu kalibru.

Pro stanovení středního pracovního průměru válce nejlépe odpovídá řešení, které vychází z rovnováhy třecích sil působících na povrchu zářezů v horním a spodním válci v celém pásmu deformace. Řešení je velmi obtížné, a proto se v praxi přistupuje k určitým zjednodušením.

V současné době se uplatňují v podstatě tři metody stanovení $D_{p,str}$, které vycházejí z:

- využití stykových oblastí kovu s kalibrem
- odpovídající střední výšky kalibru
- obvodových údajů kalibru

Obecně lze první metodou vyjádřit střední pracovní průměr podle vztahu

$$D_{p,str} = \frac{\sum_{k=1}^{n} D_{p,k} S}{l_k} \tag{9.20}$$

Kde $\sum_{k=1}^{n} D_{p,k}S$ je součet pracovních průměr v každém místě kalibru po celé stykové ploše kovu v pásmu deformace, l_k je celková délka styku kovu s válci. Velikost $D_{p,str}$ závisí ještě na stupni zaplnění kalibru kovem.

Pro jednoobloukový oválový kalibr se stanoví střední pracovní průměr válce podle vzorce

$$D_{p,str} = D + 2r(1 - \cos\varphi_{str}) \tag{9.21}$$

Kde D – průměr válce ve dnu kalibru

r – poloměr zaoblení oválového kalibru $r = \frac{B^2+H^2}{4H}$ (9.22)

φ_{str} – střední hodnota úhlu části obrysu zářezu mezi počátečním uchopením kovu válci a konečným zaplněním oválu

$$\varphi_{str} = 0{,}25\left(\sin^{-1}\frac{b_0}{2r} + \sin^{-1}\frac{a}{2r}\right) \tag{9.23}$$

b_0 – šířka vystupujícího provalku z válců

B, H – šířka a výška oválového kalibru

s – mezera mezi válci

a – strana vstupujícího čtverce do kalibru

Pro kosočtverečný kalibr při B/K = 1,75 a úhlu β=120°

$$D_{p,str} = D - H + 0{,}2B = D - H + 0{,}35H = D - 0{,}65H \tag{9.24}$$

Pro čtvercový kalibr

$$D_{p,str} = D - H + 0{,}35H = D - 0{,}65H \tag{9.25}$$

Pro kruhový kalibr

$$D_{p,str} = D - d + 0{,}17d \tag{9.26}$$

Velmi jednoduchou metodou je druhá, která uvažuje ve svém matematickém vyjádření odpovídající (střední) výšku kalibru

$$D_{p,str} = D_{i,str} - h_{str} = D - \frac{S}{b} \tag{9.27}$$

Kde S – příčný průřez provalku v rovině výstupu kovu z válců

b – šířka provalku v rovině výstupu

Touto metodou nedosáhneme však vždy správných výsledků, zejména pro případy válcování ve složitých tvarových kalibrech. Neuvažuje vliv úkosů bočních stěn v kalibru. Metoda je tudíž vhodná pro prodlužovací kalibry.

V literatuře se dají najít další vztahy stanovení středního pracovního průměru válce.

Pro jednoobloukový oválový kalibr

$$D_{p,str} = D_{i,str} - \frac{2}{3}H \tag{9.28}$$

Pro kosočtverečný kalibr

$$D_{p,str} = D_{i,str} - \frac{0{,}5BH}{B} = D_{i,str} - 0{,}5H \tag{9.29}$$

Pro čtvercový kalibr (bez zaoblení rohů)

$$D_{p,str} = D_{i,str} - 0{,}707a \tag{9.30}$$

Se zaoblením rohů ve vrcholech kalibrů

$$D_{p,str} = D_{i,str} - \frac{a^2 - 0{,}86r^2}{1{,}41a - 0{,}83r} \tag{9.31}$$

Totéž, ale s uvažováním mezery mezi válci

$$D_{p,str} = D_{i,str} - \frac{a^2 - 0{,}86r^2}{1{,}41a - s} \tag{9.32}$$

Pro kruhový kalibr

$$D_{p,str} = D_{i,str} - 0{,}778d \tag{9.33}$$

Při stanovení středního pracovního průměru válců ve složitých tvarových kalibrech (nosníky, kolejnice apod.) vycházíme z využití údajů stykové plochy kovů s válci za předpokladu jistých zjednodušení. Pro nosníkový kalibr pak můžeme uvést.

$$D_{p,str} = \frac{\sum D_p l}{\sum l} = \frac{D_1 l_1 + D_2 l_2 + D_3 l_3 + \cdots + D_n l_n}{l_1 + l_2 + l_3 + \cdots + l_n} \tag{9.34}$$

kde l_i znamená délku na těle válce příslušného průměru D_i.

❑ Životnost válce

Během procesu válcování oceli v kalibrech dochází k neustálému opotřebování pracovního povrchu válců. Přesáhne-li opotřebení válců jistou mez, je nutno válcování přerušit. Válce se musí přesoustružit, přičemž se dosáhne znovu původních rozměrů kalibrů.

Každým přesoustružením povrchu válců se zmenšují skutečné průměry D_n. Velikost nominálního průměru válců se postupně mění, a to od $D_{n,max}$ u nových válců při prvém vložení, po $D_{n,min}$ u válců při posledním vložení do válcovací stolice. Počáteční hodnotu nominálního průměru válců $D_{n,max}$ je nutno volit s ohledem na hloubku zařezaných kalibrů při maximálním zeslabení válců.

Doporučuje se, aby maximální zeslabení válců $D_{n,min}$ nepřevyšovalo hodnotu:

- pro hotovní kalibry jednoduchého a složitého geometrického tvaru

$$D_{n,min} \geq (1/4 \div 1/6) D_{i,stř} \tag{9.35}$$

- pro předvalkové tratě a tratě přípravného pořadí pro tvarovou ocel

$$D_{n,min} \geq (1/3 \div 1/6) D_{i,stř} \tag{9.36}$$

Střední ideální průměr válců válcovací stolice se rovná

$$D_{i,stř} = \frac{D_{n,max} + D_{n,min}}{2} \tag{9.37}$$

Dovolený rozsah změn v průměru válce přesoustružením můžeme vyjádřit pomocí součinitele následovně

$$k = \frac{D_{n,max} - D_{n,min}}{D_{i,stř}} \tag{9.38}$$

Kde k – poměrné zmenšení průměru válce v rozsahu jeho upotřebitelnosti

Z toho

$$D_{n,max} = (1 + k/2) D_{i,stř} \tag{9.39}$$

$$D_{n,min} = (1 - k/2) D_{i,stř} \tag{9.40}$$

Jestliže uvažujeme mezeru mezi válci s, která dosahuje i značných hodnot, pak

$$D_{n,max} = (1 + k/2) D_{i,stř} - s \tag{9.41}$$

$$D_{n,min} = (1 - k/2) D_{i,stř} - s \tag{9.42}$$

Velikost součinitele přesoustružení *k* se musí volit s ohledem na dovolené zmenšení průměru válce, na záběrové schopnosti válců, na pevnost válců apod. Doporučují se proto následující průměrné hodnoty součinitele *k*

- pro předvalkové válcovací tratě a tratě pro válcování tvarové oceli

$$k = 0{,}08 - 0{,}15 \tag{9.43}$$

- pro válcování drátu

$$k = 0{,}07 - 0{,}10 \tag{9.44}$$

- pro válcování plechu a pásů za tepla

$$\mathrm{k} = 0{,}04 - 0{,}07 \tag{9.45}$$

Shrnutí pojmů kapitoly (podkapitoly)

Po nastudování této kapitoly byste měli být schopni vysvětlit konstrukci **kruhového**, **oválového**, **čtvercového**, **kosočtvercového**, **skříňového kalibru**.

Dále pak vysvětlit vztahy mezi **ideálním středním průměrem válců**, **pracovním průměrem válců**, **středním pracovním průměrem válců** a **nominálním průměrem válců**.

Otázky k probranému učivu

9.1. Vysvětlete konstrukci jednoduchého kruhového kalibru.

9.2. Vysvětlete konstrukci jednoobloukového oválového kalibru

9.3. Jak je konstruován čtvercový kalibr?

9.4. Zhotovte konstrukci kosočtvercového kalibru.

9.5. Vysvětlete základy konstrukce skříňového kalibru.

9.6. Co je pracovní průměr kalibrovaného válce

9.7. Jakými způsoby se dá určit střední pracovní průměr válce.

9.8. Jakých obvyklých hodnot nabývají maximální nominální průměr válců a minimální nominální průměr válců.

Úlohy k řešení

9.1. Nakreslete kruhový kalibr pro válcování kruhové tyče o průměru 40mm.

9.2. Nakreslete jednoobloukový oválový kalibr o ploše 160 mm^2.

9.3. Nakreslete čtvercový kalibr pro válcování tyče o délce strany a = 50 mm.

9.4. Nakreslete kosočtvercový kalibr o ploše 225 mm^2.

9.5. Navrhněte a nakreslete skříňový kalibr pro válcování provalku s poměrem H/B=1,15 a šířce 245 mm.

10. Styková plocha provalku se stěnami kalibru, šíření v kalibrech různého typu a životnost válce při zatížení.

Čas ke studiu: 3 hodiny

Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- definovat horní a spodní tlak
- popsat výpočet stykové plochy kovu a kalibru
- vyřešit hloubku zářezu do válce

Výklad

10.1. Horní a spodní tlak

Z hlediska výrobnosti a bezpečnosti technologického procesu je nutné, aby válcovaný kov vystupoval z kalibru – válců – v přímém směru. Proto je nutné, aby horní a spodní válce měly stejný průměr. Z praxe je známo, že se vyskytují situace nebo vznikají podmínky, kdy vystupující provalek z válců se ohýbá nahoru nebo dolů. V takových případech je nutné, aby se zabudovaly výběhové válcovací zařízení (stěrače) k oběma válcům. Tento nahodilý, ale nepříznivý vliv se musí vyloučit. Vystupujícímu kovu z válců se předem vnucuje určitý směr. Proto se v praxi používají při válcování válce s různými průměry.

Jestliže je ve válcovací stolici horní válec většího průměru, válcuje se s tzv. horním tlakem. Jestliže je spodní válec většího průměru, válcujeme se spodním tlakem. Rozdíly v průměrech válců způsobují, že válec s větším průměrem má větší obvodovou rychlost nežli válec s menším průměrem. Rozdíly ve výstupních rychlostech v povrchových částech provalku se stanovují ze vztahu

$$v_{1-}v_2 = \frac{\pi n}{60}(D_1 - D_2) \tag{10.1}$$

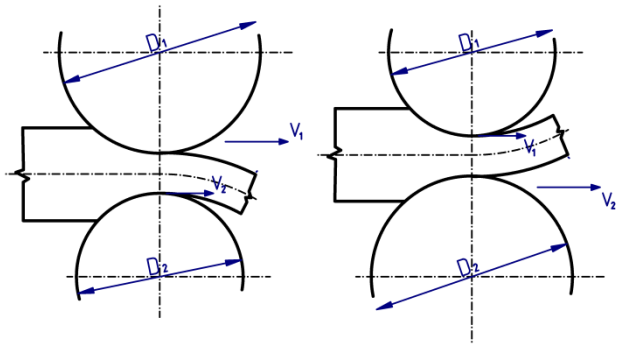
Při stejných otáčkách obou válců vychází pro válcování s horním tlakem

$$(D_1 - D_2) = m \tag{10.2}$$

A pro válcování se spodním tlakem

$$(D_2 - D_1) = m \tag{10.3}$$

Velikost horního nebo spodního tlaku se tedy stanovuje rozdílem pracovních průměrů válců s uvažováním znaménka + pro horní tlak a znaménka – pro spodní tlak. Při válcování s horním tlakem se umísťuje vyváděcí zařízení pouze ke spodnímu válci, protože vnější obvodová rychlost ze strany horního válce vytváří podmínky pro ohýbání provalku směrem dolů. Přední konec při výstupu z válců sklouzne po stěrači a provalek bude mít přímý směr.



a) b)

Obr. 10.1 Válcování kovu a) s horním tlakem b) spodním tlakem

V technologické praxi probíhá válcování většinou s horním tlakem. Válcování se spodním tlakem se využívá na předvalkových válcovacích tratích. Při válcování ingotů a bram je malá pravděpodobnost jejich ohýbání nebo dokonce namotává na horní válec. Spodního tlaku se zde využívá především proto, aby se zmenšily rázy vystupujícího bloku nebo bramy z válců na stojanový váleček nebo na první válečky dopravníku. Hodnota spodního tlaku se pohybuje okolo 10-20 mm na těchto tratích.

Na druhé straně nestejné průměry válců vykazují určité nedostatky, z nichž lze uvést:

- Nestejný úběr – vyvolává nestejné opotřebení válců
- Rozdílné obvodové rychlosti válců – vyvolávají skluz mezi válci a dodatečná napětí v tvářeném kovu
- Vznik rázů – válec většího průměru má snahu prostřednictvím válcovaného kovu zvyšovat rychlost válce menšího průměru

Z uvedených důvodů se proto také nedoporučují velké rozdíly v průměrech válců.

Na základě provozních poznatků se doporučuje, že

- Rozdíly v průměrech válců na předvalkových válcovacích tratích a na tratích se skříňovými kalibry nemají převyšovat 2-3% $D_{i,stř}$, v hotovním kalibru nemají převyšovat hodnotu 1%
- Rozdíly v průměrech válců na jiných válcovacích tratích s prodlužovacími kalibry otevřeného uspodářání nemají být větší než 1%
- Na hotovních válcovacích tratích je nutno v mezích možností eliminovat rozdíly v průměrech válců na nulu

10.2. Umístění kalibru ve válci

Na poloze neutrální osy (a také osy válcování) vzhledem ke střední ideální ose válců závisí směr výstupu kovu z válců. Jestliže umístíme neutrální osu do střední ideální osy válců, vzniknou tzv. ideální podmínky válcování. To znamená stejné obvodové rychlosti, přímý výstup kovu z válců, nebudou vznikat napětí a rázy ve válcovací stolici, zvýší se životnost válců a sníží spotřeba energie.

Jestliže bude neutrální osa kalibru umístěna výše nebo níže, bude se provalek ohýbat nahoru nebo dolů. V této souvislosti bude působit vystupující provalek z válců na válcovací armaturu. Může docházet k poškození zařízení nebo u přírubových provalků vzniká jejich zaklínování na válec. Při dané hodnotě tlaku m je možno určit polohu válcovací osy CD vzhledem ke střední ideální ose válců AB přesně (obr. 9.6)

Obecně platí

$$\left(D_{i,h} - D_{i,sp}\right) = m \tag{10.4}$$

$$\left(R_{i,h} - R_{i,sp}\right) = \frac{m}{2} \tag{10.5}$$

Ze schématu na obr. 9.6 vyplývá, že

$$R_{i,h} = R_{i,str} + x \tag{10.6}$$

$$R_{i,sp} = R_{i,str} - x \tag{10.7}$$

$$\left(R_{i,h} - R_{i,sp}\right) = 2x \tag{10.8}$$

Potom také musí platit, že $2x = \frac{m}{2}$ a pak $x = \frac{m}{4}$

Na základě uvedeného se pro správné umístění kalibrů do válců volí následující postup. Při daném $D_{i,stř}$, horním nebo spodním tlaku m a výšce kalibru h_k je zapotřebí:

- vynesení os spodního a horního válce o rozteči $D_{i,stř}$
- rozpůlení vzdálenosti os spodního a horního válce k získání střední ideální osy válcování AB
- ve vzdálenosti $x = \frac{m}{4}$ od střední ideální osy válcování vynést osu válcování CD. Při horním tlaku se vynáší dolů, při spodním tlaku nahoru.
- stanovení pracovních průměrů válců D_p

$$D_{p,h} = D_{i,h} - {}^{2h_k}/_{2} \tag{10.9}$$

$$D_{p,sp} = D_{i,sp} - {}^{2h_k}/_{2} \tag{10.10}$$

- určení velikosti mezery válců s a stanovit hodnotu nominálního průměru válců na přírubách D_n

$$D_{n,h} = D_{i,h} - {}^{2s}/_{2} \tag{10.11}$$

$$D_{n,sp} = D_{i,sp} - {}^{2s}/_{2} \tag{10.12}$$

- provedení kontroly jednotlivých průměrů válců

$${}^{D_{p,h}}/_{2} + {}^{D_{p,sp}}/_{2} + h_k = D_{i,str} \tag{10.13}$$

Správný tvar kalibrů a jejich umístění jsou jedním z hlavních faktorů ovlivňujících životnost válců. Při rozmisťování kalibrů je třeba mít na zřeteli zatížení v jednotlivých kalibrech. Musí se kontrolovat pevnost válce při předpokládaném zatížení v kalibrech. Zářez nesmí zasahovat do teoretického tvaru válce. Kalibry s hlubšími zářezy se tedy umísťují blíže k ložiskovým čepům válců.

Teoretický tvar válce se určuje ze vztahu mezi skutečným tvarem válce a jeho namáháním, viz obr 10.2. Počítá s hřídelí o délce „A“ a dvěma podporami umístěnými v polovině délky čepů a platí, že:

$$A = L + 2l \tag{10.14}$$

Ohybový moment působící v daném kalibru se vyjádři jako síla působící ve vzdálenosti od opory, pro první kalibr bude tedy platit

$$M_0 = F_1 a \tag{10.15}$$

Ohybový moment, vyjádřený pomocí dovoleného namáhání, je vyjádřen následovně

$$M_0 = 0{,}1 y^3 k_0 \tag{10.16}$$

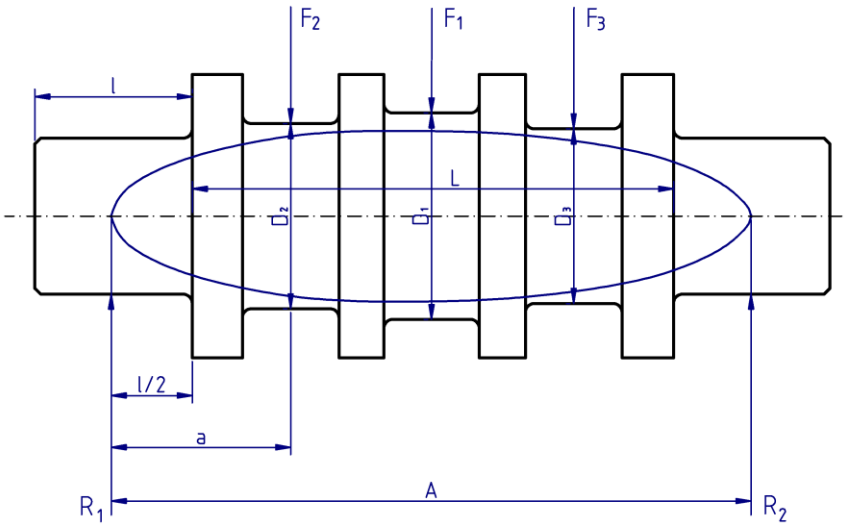
Kde y – reprezentuje poloměr teoretického tvaru válce

k_0 – odpovídá materiálové konstantě

Z rovnosti obou momentů se úpravou můžeme dostat ke tvaru

$$y^3 = {}^{10F_1 a}/_{k_0}, \tag{10.17}$$

zjednodušeně $y = \sqrt[3]{ca}$, což je rovnice rotačního paraboloidu, kde c je určeno materiálovými vlastnostmi válce.



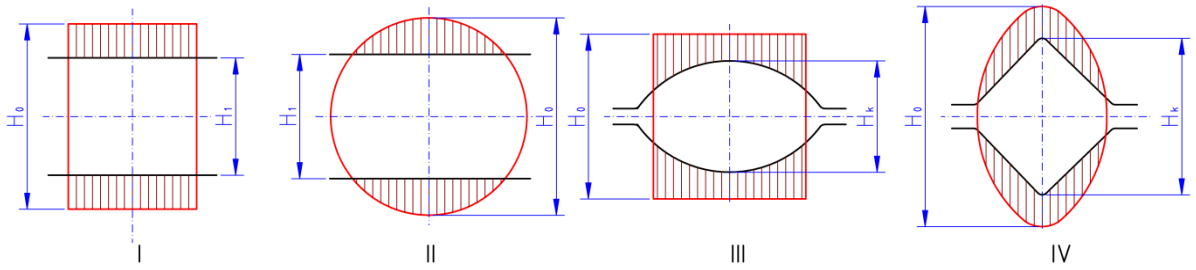
Obr. 10.2 Teoretický tvar válce

10.3. Deformace kovu v kalibrech

V reálných podmínkách tváření kovů, stejně jako při válcování, se vždy setkáváme s projevy nerovnoměrné deformace. Při válcování kovů v kalibrech je projev nerovnoměrné deformace zvlášť výrazný. Jedním z požadavků kalibrace válců je tuto deformaci zrovnoměrňovat především prostřednictvím zrovnoměrňování výškové deformace

Válcování v kalibrech, na rozdíl od válcování na hladkých válcích, se vyznačuje dvěma důležitými zvláštnostmi. Prvá zvláštnost spočívá v následujícím:

> Válcování kovu pravoúhlého průřezu na hladkých válcích se vyznačuje tím, že jak absolutní, tak i poměrný úběr je po celé šířce provalku stejný.



Obr. 10.3 Rozložení výškové deformace po šířce válcovaného kovu

Při válcování v kalibrech je tomu jinak a mohou nastat tři různé případy:

- Tvar příčného průřezu válcovaného kovu před průchodem je geometricky podobný tvaru kalibru a absolutní úběr po celé šířce provalku je stejný, ale poměrný úběr je rozdílný.
- Absolutní úběr po šířce provalku je různý, ale poměrný úběr je stejný. Například při válcování kosočtvercového provalku po hranění v kosočtvercovém provalku.
- V nejobecnějším případě je jak absolutní, tak i poměrný úběr po celé šířce provalku různě veliký. Např. při válcování provalku čtvercového průřezu v oválovém kalibru nebo při válcování předvalku oválového průřezu po hranění ve čtvercovém kalibru zařezaném na uhlopříčku.

Z hlediska obecné klasifikace válcování kovů a různých projevů deformace po šířce kalibru existují čtyři základní případy válcování (obr 10.3). Typická schémata válcování jsou charakterizovaná změnou základních parametrů

- Počáteční výškou H_0
- Výškou kalibru H_k
- Pracovním průměrem válců D_p
- Úhlem záběru po šířce válcovaného kovu α

Tyto parametry mohou být konstantní nebo proměnné a jejich kombinací vznikají 4 schémata válcování. V případě, že jsou všechny parametry konstantní, jedná se o schéma I. podle obr 10.3. V případě válcování v kalibrech je nejčastější schéma IV, kdy jsou všechny zmíněné parametry proměnné.

Druhá zvláštnost spočívá v tom, že při válcování v kalibrech jsou odpory proti deformaci ve směru šíření jiné nežli při válcování na hladkých válcích. Při válcování na hladkých válcích se síly, bránící šíření, vyjadřují pomocí třecích sil působících v příčném směru. Při válcování v kalibrech působí v příčném směru kromě třecích sil ještě složky horizontální projekce bočních válcovacích sil. Podle tvaru kalibru tyto síly buďto zesilují odpory proti deformaci ve směru šíření anebo je zeslabují.

Úběry v jednotlivých částech kalibru by měly být takové, aby uvedené podmínky byly splněny v každém průchodu. Ovšem s ohledem na různě složité tvary kalibrů, se kterými se v běžné praxi setkáváme, není toto možné vždy splnit. Proto při kalibraci válců je nutno se řídit následujícím:

Čím je tvarová ocel ve svém průřezu složitější, tím je potřebnější při výpočtech úběrů posouvat jejich nerovnoměrnost směrem k počátečním průchodům válcování.

Směrem ke konečným průchodům zabezpečovat zrovnoměrňování úběrů po celé šířce kalibru.

Takovýto režim válcování umožňuje dokonale využívat tvařitelnost válcovaného kovu zejména v prvých průchodech, kdy má ještě ocel dostatečně vysokou tvářecí teplotu. V takových podmínkách válcování lze velmi snadno vytvářet budoucí průřezový tvar, a to bez nebezpečí vzniku zbytkového pnutí.

Při kalibraci válců je žádoucí, aby rozdělení hodnot jak absolutního, tak i poměrného úběru po šířce provalku bylo zvoleno tak, aby tok kovu zabezpečoval vytváření jednotlivých částí požadovaného tvaru válcované oceli.

❑ Součinitel prodloužení po šířce kalibru

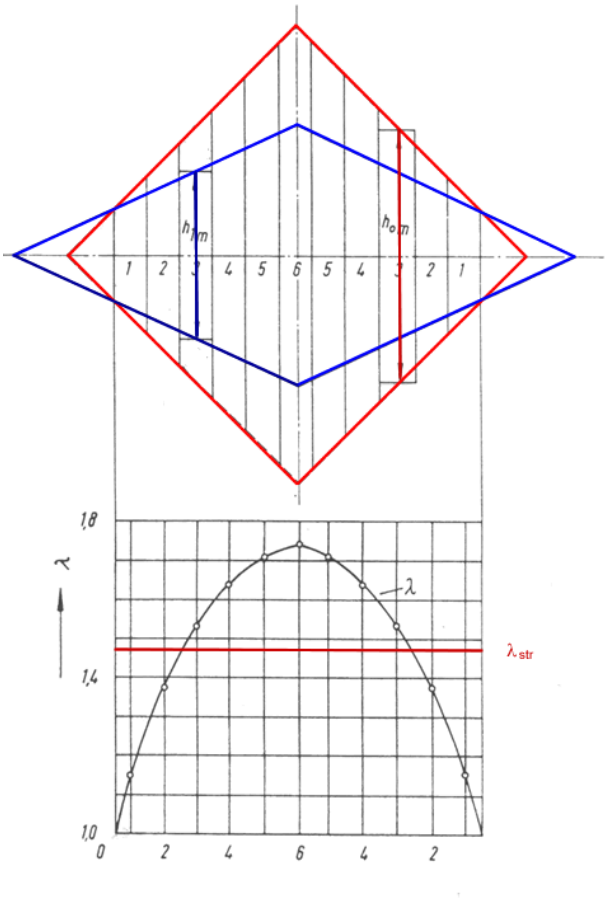
Jde o součinitel podélné deformace, tudíž prodloužení vyjádřený pomocí vzorce:

$$\lambda = \frac{L_1}{L_0} = \frac{H_0+B_0}{H_1+B_1} = \frac{S_0}{S_1} \qquad (10.18)$$

Kde L_0, B_0, H_0, S_0 jsou délka, šířka, výška a plocha provalku před deformací v kalibru. S indexem 1 pak jsou tyto hodnoty po deformaci v kalibru.

Ze vzorce je jasné, že součinitel prodloužení charakterizuje stupeň zmenšení průřezové plochy válcovaného kovu. Při válcování složitých tvarových ocelí je třeba ještě uvažovat s dílčími součiniteli prodloužení v jednotlivých částech válcovaného kovu.

Válcování provalku ve složitých tvarových kalibrech s výrazným nerovnoměrným rozložením výškové deformace po šířce kalibrů vyvolává nestejnou hodnotu součinitele prodloužení v jednotlivých částech válcovaného kovu. Vlivem rozdílného prodlužování v jednotlivých částech tvářeného kovu dochází k nepříznivým jevům. V místech malého úběru dochází ke stahování – úbytku kovu, nevyplnění přírubových částí kalibru. Naproti místa s velkým úběrem vyvolávají značný projev vynuceného šíření.



Obr. 10.4 Stanovení středního součinitele prodloužení

Při výpočtech kalibrace válců je třeba uvažovat s jednotným součinitelem prodloužení zahrnujícím celý tvářený průřez, a to především s ohledem na existenci tuhých konců a vzájemnou soudržnost válcovaného kovu.

Proto se ve výpočtech zavádí a operuje s tzv. středním součinitelem prodloužení celkové průřezové plochy válcovaného kovu za jeden průchod. Znalost uvedeného součinitele značně usnadňuje výpočet a správnou konstrukci požadovaného kalibru. Umožňuje stanovit velikost stahování anebo vynuceného šíření a to s ohledem na správné vyplnění kalibru válcovaným kovem.

Nejjednodušší způsob stanovení velikosti součinitele středního prodloužení průřezové plochy válcovaného kovu předpokládá, že délka provalku po výstupu z válců je střední aritmetickou hodnotou skutečných dílčích délek. Součinitel středního prodloužení je pak střední aritmetickou hodnotou dílčích prodloužení

$$\lambda_{str} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \frac{H_{0,i}}{H_{1,i}}}{n} \tag{10.19}$$

Kde n je počet dílčích řezů po šířce kalibru. Nedostatkem uvedeného vztahu je to, že neuvažuje existenci šíření, zákon stálosti objemu a vůbec pojímá celou otázku velmi zjednodušeně. Příklad řešení je naznačen na obr. 10.4.

10.4. Využití úběru pro výpočet kalibrace

Absolutní úběr je po celé šířce válcovaného kovu v kalibrech rozložen značně nerovnoměrně. Správně určená velikost úběru při válcování v kalibrech je nezbytným předpokladem nejenom pro správný výpočet kalibrace válců, ale také i pro výpočet šíření válcovaného kovu, válcovací síly a celé řady jiných úloh. Využívá se přibližných metod, jejichž podstata spočívá v převádění složitých geometrických tvarů na jednodušší pravoúhlé tvary při zachování stejných průřezových ploch. Cílem metod je získat nové odpovídající rozměry, se kterými je možno uvažovat pro řešení různých případů válcování v kalibrech.

❑ Metoda odpovídajícího průřezu a poměru stran

Tato metoda k převodu libovolného průřezového tvaru na jednodušší pravoúhlé o stejné velikosti využívá následujících předpokladů:

- Plochy obou průřezových tvarů jsou stejně velké
- Poměry stran nebo poměry jejich os jsou rovněž stejné.

Z toho vyplývá, že

$$S = \acute{S} \tag{10.20}$$

$$B/H = \acute{B}/\acute{H} \tag{10.21}$$

Kde S, B, H - původní průřez a jeho rozměry
$\acute{S}, \acute{B}, \acute{H}$- převedený průřez a jeho odpovídající rozměry

Stanovení jednoho z odpovídajících rozměrů lze provést následovně

$$S = BH = \acute{B}\acute{H} \tag{10.22}$$

$$B/H = \acute{B}/\acute{H} \tag{10.23}$$

$$\acute{H} = \acute{B}\, B/H \tag{10.24}$$

Zpětným dosazením za $\acute{H}$ do vztahu pro S obdržíme

$$S = \acute{B}\acute{B}\, B/H = \acute{B}^2\, B/H \tag{10.25}$$

$$\acute{B} = \sqrt{S\,{}^{B}/_{H}} \tag{10.26}$$

$$\acute{H} = {}^{S}/_{\acute{B}} \tag{10.27}$$

Uvedené vztahy mohou být použity pro stanovení odpovídajících rozměrů válcovaného kovu před i po deformaci. V závislosti na poloze, kterou zaujímá provalek v okamžiku válcování, mohou mít odpovídající průřezy různé poměry stran nebo poměry os. Např. provalek kosočtvercového průřezu může zaujmout dvě polohy. První poloha odpovídá případu, kdy provalek vystupuje z kosočtvercového kalibru. Druhá poloha odpovídá případu, kdy provalek po hranění o 90°se nachází před vstupem do následujícího kosočtvercového nebo čtvercového kalibru.

Při tvorbě této metody se vycházelo z předpokladu, že součinitelé deformace při válcování v prodlužovacích kalibrech se příliš neliší ve srovnání se součiniteli odpovídajících průřezů. Tyto předpoklady by byly správné, jestliže by nebylo uvažování s vlivy sil, které se uplatňují ze strany bočních stěn kalibru vůči válcovanému kovu v oblasti pásma deformace. Ve skutečnosti uvedené vlivy nelze opomíjet a pro zpřesněný výpočet se musí uvažovat s opravnými koeficienty.

❑ Metoda odpovídající výšky

Metoda odpovídající výšky spočívá opět ve změně průřezu libovolného tvaru v pravoúhlý průřez o stejné průřezové ploše. Přitom nový odpovídající průřez má stejnou šířku jako původní. Výška odpovídajícího pravoúhlého průřezu, tj. nějaká střední výška, se stanoví poměrem průřezové plochy příslušného tvaru a jeho největší skutečné šířky (obr. 10.5). Zavedeme-li následující označení, při kterém
S_0, B_0, H_0 je původní průřez a jeho rozměry před deformací
$\acute{S}_0$, $\acute{B}_0$, $\acute{H}_0$ je odpovídající průřez a jeho rozměry před deformací

Pak platí, že

$$S_0 = \acute{S}_0\ ,\ B_0 = \acute{B}_0\ ,\ \acute{H}_0 = {}^{S_0}/_{B_0} \tag{10.28}$$

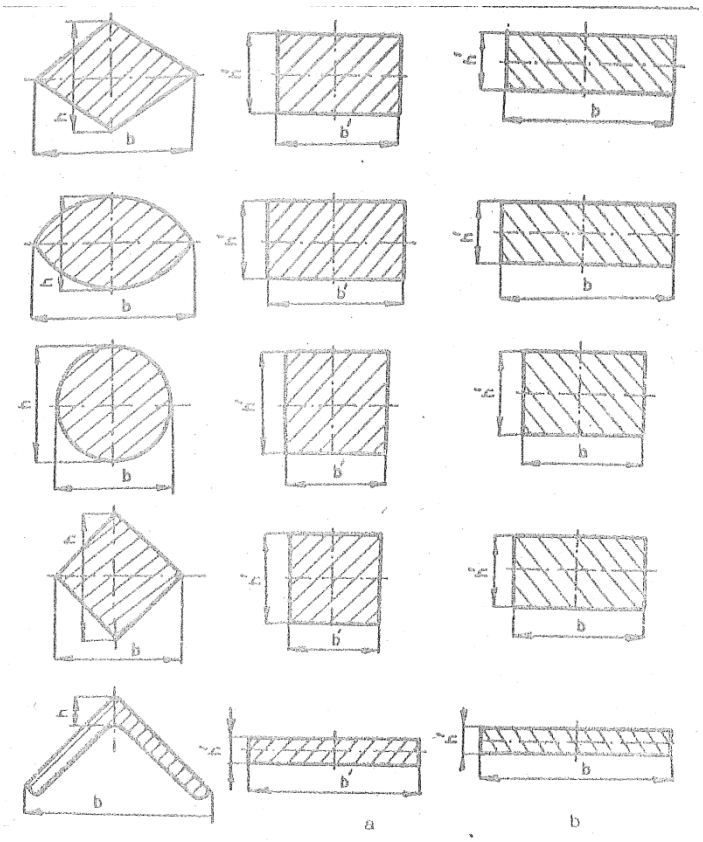
Obdobně lze postupovat i při převádění průřezového tvaru na odpovídající deformaci. Uvažujeme-li výše uvedené značení s indexem 1 (po deformaci) pak platí

$$S_1 = \acute{S}_1\ ,\ B_1 = \acute{B}_1\ ,\ H_1 = {}^{S_1}/_{B_1} \tag{10.29}$$

Příklady praktického využití

Velikost absolutního úběru je možno stanovit

$$\Delta\acute{H} = \acute{H}_0 - \acute{H}_1 = {}^{S_0}/_{B_0} - {}^{S_1}/_{B_1} \tag{10.30}$$



Obr. 10.5 Schéma převádění složitých geometrických tvarů na odpovídající jednodušší pravoúhlé tvary

10.5. Styková plocha

Pro úspěšné řešení kalibrace válců je třeba se také zabývat výpočtem tvářecí (válcovací) síly při průchodu provalku kalibrem. Obzvláště výrazně vystupuje tento úkol do popředí v souvislosti s optimalizaci tvářecích procesů z hlediska rovnoměrného silového působení nebo v souvislosti se správným projektováním válcovacích stolic.
Zjednodušeně se dá válcovací síla vyjádřit ve tvaru součinu

$$F = p_{str} S \tag{10.31}$$

Kde S – projekce stykové plochy do roviny kolmé ke směru válcovací síly
p_{str} – střední průměrný měrný tlak v celém pásmu deformace.

Výpočet válcovací síly jde tedy rozložit do řešení dvou úloh a to:

- **Vyčíslení stykové plochy kovu s válcem**
- **Určení střední velikosti souhrnného deformačního odporu**

Vyčíslení velikosti stykové plochy kovu s válcem je relativně snadnější ve srovnání se stanovením střední velikosti celkového deformačního odporu. Řešení deformačních odporů v kalibrech tedy ponecháme odborné literatuře a zaměříme se na určení stykové plochy.

Úloha stanovení velikosti stykové plochy se většinou řeší jako její projekce do horizontálního nebo vertikální roviny. Nejčastěji je uvažována projekce stykové plochy do horizontální roviny. Tomuto řešení je podřízená řada metod a matematických vztahů. Mnohé vycházejí z uplatnění i složitých integrálů. Do konečných tvarů rovnic se pak přijímají určité předpoklady a zjednodušení.

Ze současných metod používaných pro určování velikosti stykové plochy můžeme uvést:

- Analytický způsob
- Grafoanalytický způsob
- Grafický způsob

❑ Analytický způsob

Metoda odpovídající výšky
Podle této metody se velikost stykové plochy stanovuje z projekce této plochy do horizontální roviny. Jde o jistou analogii stanovení stykové plochy v podmínkách válcování na hladkých válcích. Rozdíl je v tom, že do výpočtu zavádíme odpovídající průřezové rozměry tvarového provalku převedené na jednodušší pravoúhlý průřez.

V obecném tvaru můžeme uvést rovnici pro výpočet stykové plochy

$$S = B_{str}\sqrt{\acute{R}_{p,str}\Delta\acute{H}} \tag{10.32}$$

Dále musí platit vztahy

$$\Delta\acute{H} = \acute{H}_0 - \acute{H}_1;\ \acute{H}_0 = \frac{S_0}{B_{0,max}};\ \acute{H}_1 = \frac{S_1}{B_{1,max}} \tag{10.33}$$

$$2\acute{R}_{p,str} = D_n + s = D_i + \acute{H}_1 \tag{10.34}$$

Kde S_0, S_1- příčný průřez válcovaného kovu před a po výstupu z válců
D_i- ideální průměr válců
s – mezera mezi válci

Po dosažení do vztahu obdržíme

$$S = \frac{B_0+B_1}{2}\sqrt{\frac{1}{2}\left(D_n + s - \frac{S_1}{B_1}\right)\left(\frac{S_0}{B_0} - \frac{S_1}{B_1}\right)} \tag{10.35}$$

Rovnici v uvedeném tvaru můžeme s určitou přibližností využívat pro výpočet stykové plochy při válcování v libovolných tvarových kalibrech.

Metoda odpovídajícího průřezu a poměru stran
Je založena předpokladech zjednodušení průřezových tvaru vstupujícího a vystupujícího kovu podle podkapitoly výpočtu úběru s využitím metody odpovídajícího průřezu a poměru stran. Použitím rovnic v uvedené podkapitole a jejich dosazením do rovnice pro výpočet stykové plochy na hladkých válcích pak obdržíme

$$S = \frac{1}{2}\left(\sqrt{S_0\frac{B_0}{H_0}} + \sqrt{S_1\frac{B_1}{H_1}}\right)\sqrt{\frac{1}{2}\left(D_n + s - \sqrt{S_1\frac{B_1}{H_1}}\right)\left(\sqrt{S_0\frac{B_0}{H_0}} + \sqrt{S_1\frac{B_1}{H_1}}\right)} \tag{10.36}$$

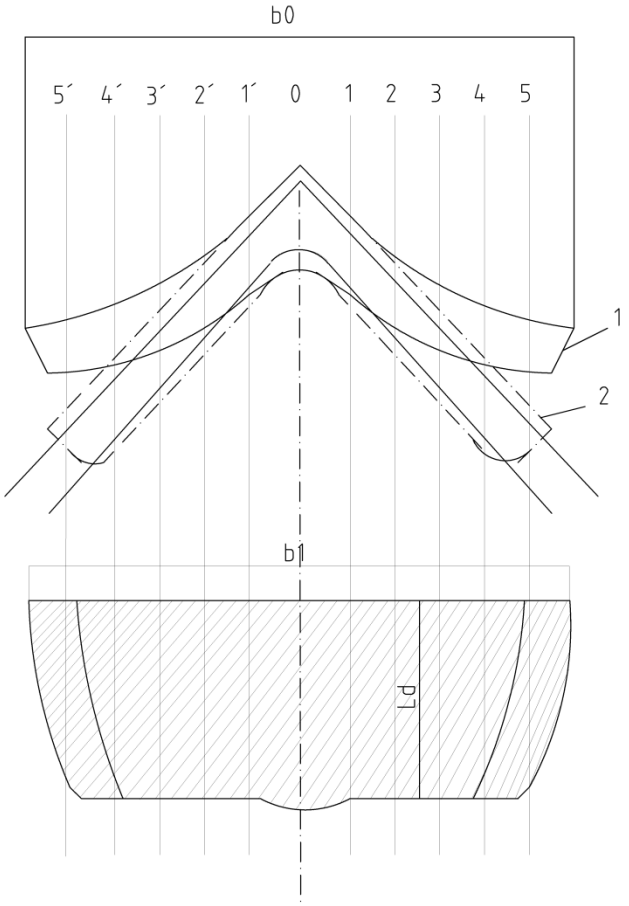
Uvedené vzorce jsou obecným řešením, pro kombinaci obvyklých tvarů provalku a prodlužovacích kalibrů lze v literatuře najít analytické řešení různých autorů.

❑ Grafoanalytický způsob

Podlé této metody se nakreslí příslušný tvar kalibru a příčný průřez válcovaného kovu (obr. 10.6) Pomocnými přímkami se tvar kalibru rozdělí na libovolný počet dílčích plošných elementů l_1, l_2…l_n. Pro každý úsek se stanoví velikost absolutního úběru ΔH a pracovní poloměr válce R_p. Ze získaných hodnot se pro každou dílčí plošnou část vypočte délka pásma deformace podle známého vztahu

$$l_d = \sqrt{R_p(H_0 - H_1)} \tag{10.37}$$

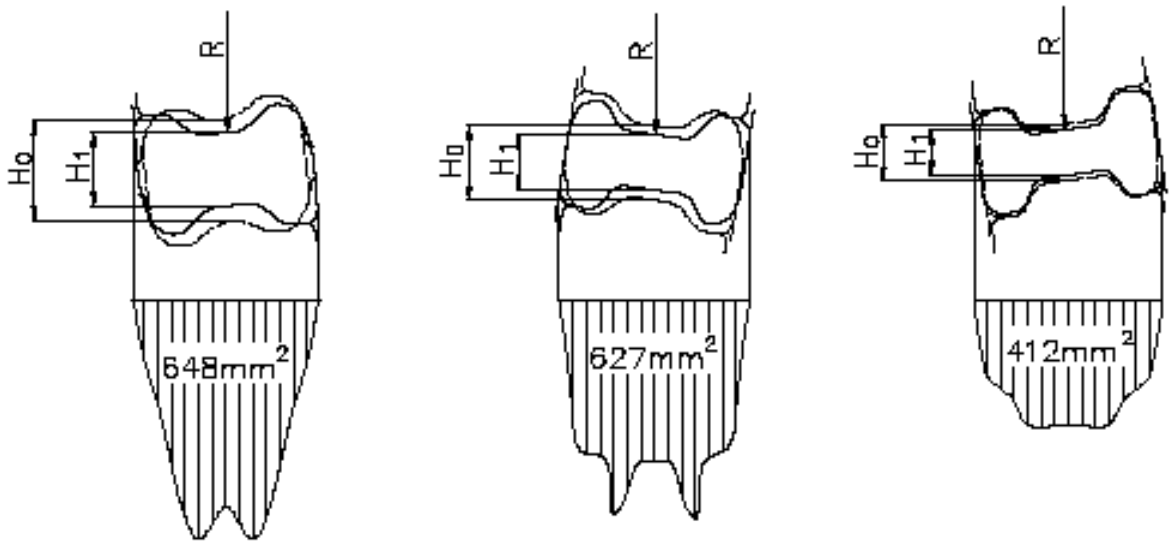
Po vyčíslení jednotlivých délek pásma deformace po šířce kalibru se tyto vynesou do grafu. Koncové body se spojí a získaná křivka vymezí velikost stykové plochy.



Obr. 10.6 Grafoanalytický způsob stanovení stykové plochy

Vliv šíření provalku v kalibru po délce pásma deformace se stanovuje tak, že se vede křivka přibližně z vrcholu daného provalku do bodu na obrysu kalibru, který odpovídá maximálnímu šíření v místě výstupu provalku z kalibru. Pro tuto část se obdobným způsobem stanoví ΔH, R_p, a l_d.

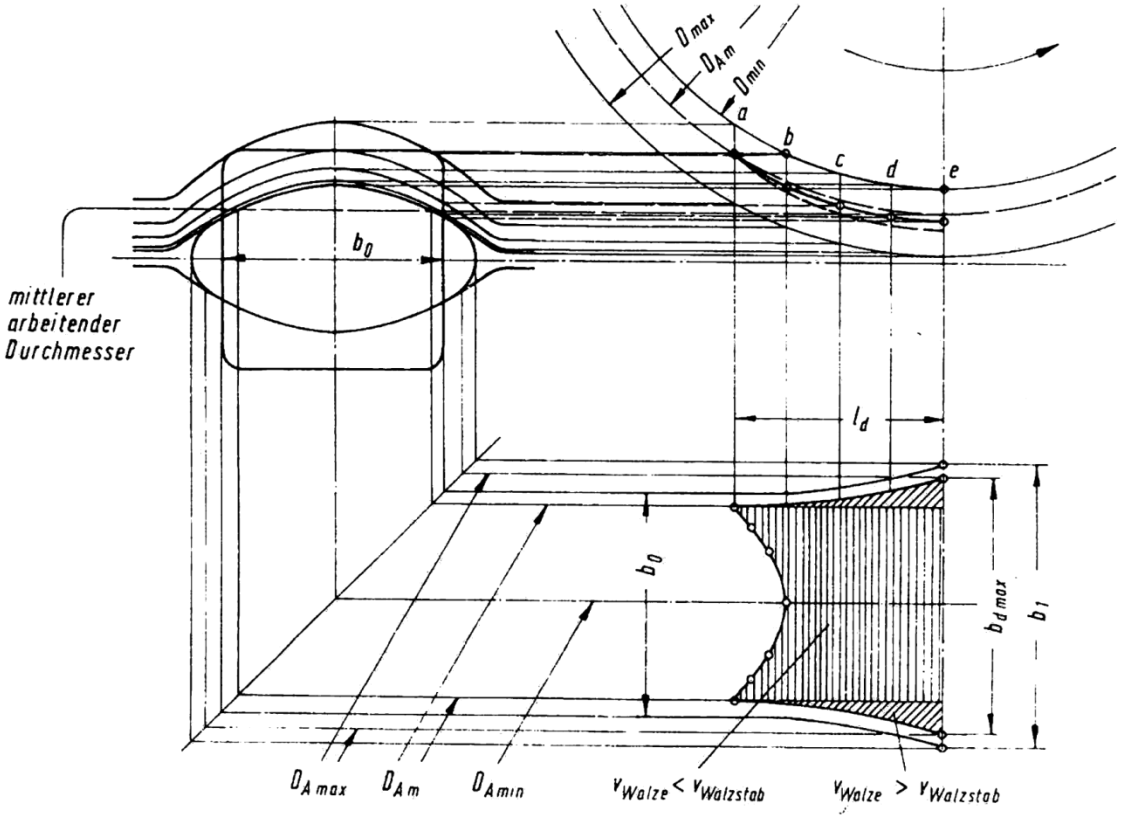
Celková velikost stykové plochy se stanoví pomocí CAD systému nebo postaru planimetrováním. Způsob stanovení velikosti stykové plochy je vhodný nejenom při válcování v prodlužovacích kalibrech, ale můžeme jej využívat i při válcování složitějších tvarových provalků (obr. 10.7)



Obr. 10.7 Stanovení stykové plochy u válcování speciálního profilu

Grafický způsob

Grafický způsob stanovení velikosti stykové plochy spočívá v tom, že na základě sestrojeného obrysu kalibru a příčného průřezu vstupujícího provalku do válců sestrojujeme horizontální a vertikální projekci styku kovu a válců. V současné době se tato konstrukce dá provést v CAD systémech, které umožňují spočítání plochy. V minulosti se tato úloha řešila pomocí planimetrování.



Obr. 10.8 Grafický způsob stanovení stykové plochy při válcování v oválovém kalibru.

Shrnutí pojmů kapitoly (podkapitoly)

Z této kapitoly byste si měli odnést znalost pojmů: **horní a spodní tlak**, **teoretický tvar válce**, **styková plocha**.

Otázky k probranému učivu

10.1. Co znamená horní tlak a jak je ho dosaženo

10.2. Jak je definován součinitel prodloužení po šířce kalibru

10.3. Určete možné kombinace základních parametrů ovlivňujících nerovnoměrnost deformace po šířce kalibru

10.4. Popište teoretický tvar válce.

10.5. Jak je definovaná metoda odpovídající výšky pro stanovení deformace v kalibru?

10.6. Popište rozdíl ve stanovení stykové plochy pomocí analytické, grafoanalytické a grafické metody.

Úlohy k řešení

Vypočtěte a vykreslete rotační dvojparaboloid v Excelu. Vycházejte z následujícího zadání rovnice $y_3 = ca$,

kde: c = 63250, A = 500 mm, l = 100 mm.

11. Obecné zákonitosti kalibračních řad a kalibrace tyčové oceli jednoduchých průřezových tvarů.

Čas ke studiu: 3 hodiny

Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- definovat co je to soustava kalibrů
- popsat jednotlivé kalibrační řady
- znát výhody a nevýhody jednotlivých soustav kalibračních řad

Výklad

❑ Kalibrace válců pro válcování v prodlužovacích kalibrech

Prodlužovací kalibry jsou kalibry, ve kterých dochází během procesu válcování ke zmenšování průřezové plochy válcovaného kovu. Tvary prodlužovacích kalibrů jsou rozdílné. V závislosti na průřezu válcovaného kovu, součiniteli prodloužení a průměru válců se prodlužovací kalibry zařazují do procesu válcování v určité posloupnosti.

Série postupně střídajících jistých tvarů kalibrů nazýváme soustavou kalibrů té či oné řady.

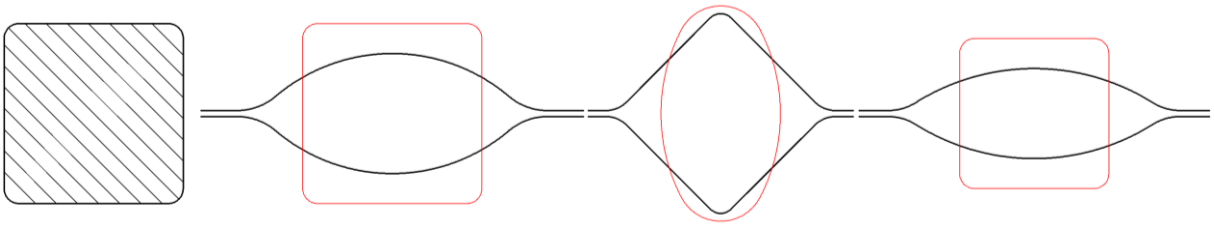
Z existujících soustav prodlužovacích kalibrů můžeme jmenovat následující řady:

- Soustava skříňových (pravoúhlých) kalibrů
- Soustava kalibrů řady skříňový kalibr – hladká část válců
- Soustava kalibrů řady čtverec - ovál
- Soustava kalibrů řady čtverec - čtverec
- Soustava kalibrů řady kosočtverec - čtverec
- Soustava kalibrů řady kosočtverec - kosočtverec
- Soustava kalibrů řady ovál – pěchovací ovál
- Soustava kalibrů řady ovál – kruh
- Soustava kalibrů řady univerzální řady

O vybraných jednotlivých soustavách kalibrů bude dále pojednáno samostatně, a to z hlediska jejich praktického využití v kalibraci válců pro válcování kruhových a čtvercových výválků.

❑ Soustava kalibrů řady ovál – čtverec – ovál

Tato soustava patří mezi nejpoužívanější soustavy prodlužovacích kalibrů (obr. 11.1). Používá se při válcování drátu a kruhové oceli do 20 mm na jemných a moderních drátotratích.



Obr. 11.1 Schéma soustavy kalibrů řady ovál - čtverec

Soustava kalibrů umožňuje válcovat kruhovou ocel s minimálním počtem průchodů. V kombinaci s vhodnou modifikací předhotovního oválu umožňuje válcování kruhové oceli i o větších průměrech. Používá se jí také jako přípravných kalibrů pro válcování jemné tvarové oceli, a to do maximálního čtvercového průřezu o stranách 50 – 75 mm.

K základním přednostem této soustavy kalibrů patří:

- Dosažení značného prodloužení. V oválových kalibrech se součinitel prodloužení pohybuje v rozmezí $\lambda = 1{,}3 - 1{,}8$, v jednotlivých případech může dosáhnout i hodnoty 2 a více. Ve čtvercových kalibrech se součinitel prodloužení pohybuje v mezích $\lambda = 1{,}2 - 1{,}6$
- Rychlé zmenšování průřezu válcovaného kovu zapříčiňuje
  - snížení počtu průchodů
  - nižší spotřebu energie
  - snížení počtu válcovacích stolic (kalibrů) a množství pomocného zařízení
- na rozdíl od skříňových kalibrů zabezpečuje tato soustava stále obnovování hran v místech původních rohů
- hraněním o 90° nebo 45° je provalek tvářen nejen ze dvou stran, ale ze čtyř stran, což má příznivý účinek na strukturu tvářeného kovu
- stabilita čtvercového provalku v oválovém kalibru je nesmírně vysoká. Vběhové i výběhové válcovací zařízení lze snadno ustavovat.
- nehluboký zářez oválového kalibru ve válcích.

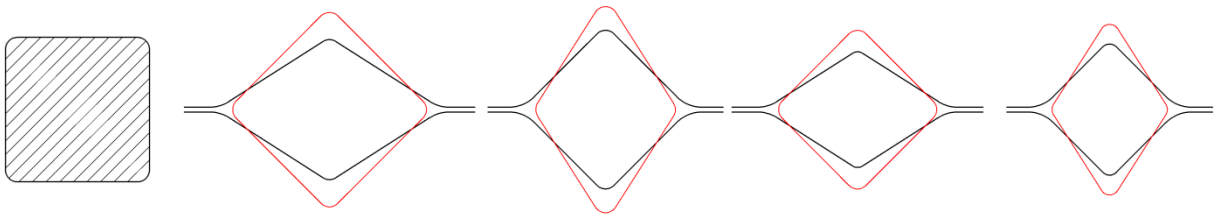
K nedostatkům patří

- Značná nerovnoměrnost výškové deformace po šířce provalku, a to jak v oválovém tak i ve čtvercovém kalibru. Tato nerovnoměrnost deformace vede k
  - zvyšování napětí ve tvářeném kovu
  - zvyšování opotřebení oválového kalibru
  - zvyšování potřebné energie při přemísťování kovu v příčném směru.
- Se zvětšováním průřezové plochy provalku nerovnoměrnost deformace po šířce vzrůstá.
- Hluboký zářez čtvercového kalibru při válcování velkých průřezů.
- Poměrně velká odlišnost prodloužení v oválových a čtvercových kalibrech, která vede k nerovnoměrnému opotřebení válců. Oválové kalibry se opotřebovávají rychleji než čtvercové.
- Malá stabilita oválového provalku ve čtvercovém kalibru. Vyžaduje použití náročnější válcovací armatury.
- Pro válcování kruhové oceli středních a největších rozměrů a také se zhoršenou tvařitelností se často používá modifikace oválového kalibru.

❑ Soustava kalibrů řady kosočtverec – čtverec

Soustavy kalibrů (obr. 11.2), ve které se střídají kalibry kosočtvercového a čtvercového tvaru, se používá jako předválcovacích a přípravných kalibrů pro válcování kruhové oceli a především pro válcování čtvercové oceli.

Uplatňuje se při válcování na jemných, středních a sochorových válcovacích tratích otevřeného, polospojitého a spojitého uspořádání. V procesu válcování může navazovat i na skříňové kalibry. Prakticky se soustavy kalibrů používá všude tam, kde jsou potřebná menší prodloužení, něž v soustavě kalibrů ovál – čtverec. Součinitelé prodloužení v obou tvarech kalibrů se přibližně rovnají a pohybují se v mezích 1,15 – 1,40. Úhel ve vrcholu kosočtvercového kalibru se zpravidla pohybuje v mezích 110 – 115°.



Obr. 11.2 Schéma soustavy kalibrů řady kosočtverec - čtverec

K základním přednostem soustavy kalibrů patří:

- Možnost získání geometricky přesných čtverců se zaplněnými rohy
- Možnost válcování čtvercových průřezů
  - Z mezilehlých čtvercových kalibrů vynecháním dvojice kalibrů
  - Příbuzných rozměrů změnou nastavením horního válce
- Vysoká stabilita provalku jak při válcování v kosočtvercovém, tak i ve čtvercovém kalibru
- Válcování provalku s účinkem tlaku celého obrysu kalibru
- Tvary kalibrů umožňují válcovat provalky bez trhlin a vrásnění na hranách válcovaného kovu

Nedostatky, kterými se soustava kalibrů vyznačuje:

- Ve srovnání se skříňovými kalibry mají kalibry soustavy kosočtverec – čtverec hlubší zářez do válců, což vede k zeslabení válců a snížení jejich pevnosti
- V případě přeplňování kalibrů vzniká nebezpečí tvoření výronků a záložek
- Značný rozdíl v pracovních průměrech válců po šířce kalibru vede k rozdílné obvodové rychlosti

❑ Soustava univerzálních kalibrů

Soustava univerzálních kalibrů je charakterizována řadou: hladká část válců nebo obdélníkový skříňový kalibr – zaoblená hladká část válců nebo pěchovací čtvercový skříňový kalibr – předhotovní ovál – hotovní kruh. Ze schématu na obr. 11.3 je zřejmé, že do pěchovacích kalibrů s mírně zaoblenou částí válců nebo čtvercového tvaru může vstupovat provalek obdélníkového průřezu válcovaný na hladké části válců nebo v obdélníkovém skříňovém kalibru.

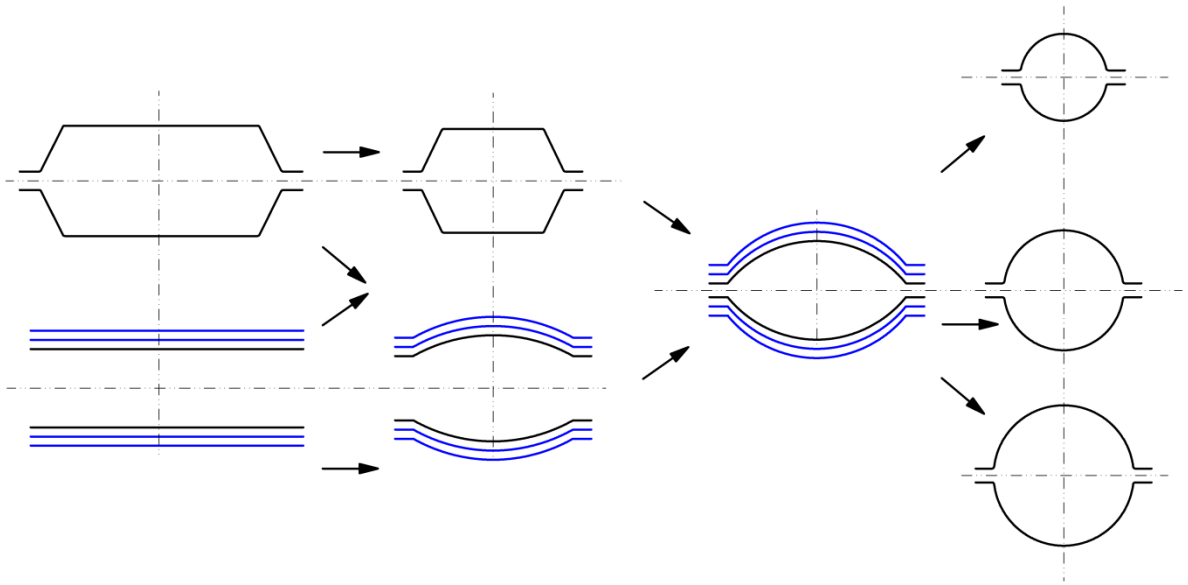
Pěchovací kalibry mají značné praktické použití. Dovolují širokou regulaci průřezových rozměrů ve srovnání se čtvercovými kalibry zařezanými na uhlopříčku.

K význačným přednostem soustavy univerzálních kalibrů patří:

- Změnou nastavení válců je možno ve stejných kalibrech válcovat kruhovou ocel několika rozměrů (4 až 5 příbuzných rozměrů)
- Možnost válcování provalků s volným šířením, které vylučuje tvorbu zvrásnění a záložek
- Snadný odpad okují z bočního povrchu provalku v průběhu válcování

- Možnost válcování kruhové oceli s kvalitním povrchem (provalek je válcován s vypuklými bočními stěnami). V průběhu válcování nevzniká žádné zvrásnění na povrchu provalku.
- Značné zkrácení počtu výměn válců. Válce se nevyměňují v důsledku změny průřezového sortimentu, nýbrž pouze opotřebením kalibru
- Zkrácení času potřebného na přípravu kalibru pro válcování
- Zabezpečení poměrně rovnoměrného rozložení výškové deformace po šířce kalibru v posledních třech průchodech

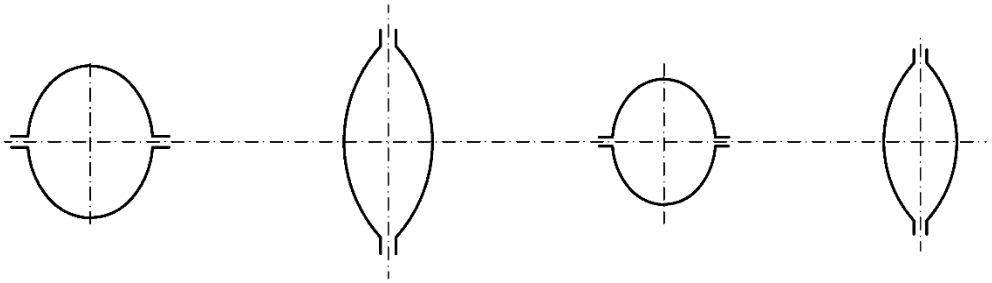
Soustavy kalibrů se používá pro válcování kruhové oceli průměru 20 – 100 mm i více a to jak z uhlíkové, tak z legované oceli. Soustava univerzálních kalibrů se zařazuje pro válcování na středních a hrubých válcovacích tratí otevřeného a spojitého uspořádání.
Metodika výpočtu jednotlivých univerzálních kalibrů nemá žádné zvláštnosti. V postupu kalibrace válců se uplatňují způsoby výpočtu, které byly uvedeny pro soustavu skříňových kalibrů nebo pro soustavu kalibrů řady ovál – kruh.



Obr. 11.3 Schéma univerzálních kalibrů

❑ Soustava kalibrů řady ovál – pěchovací ovál

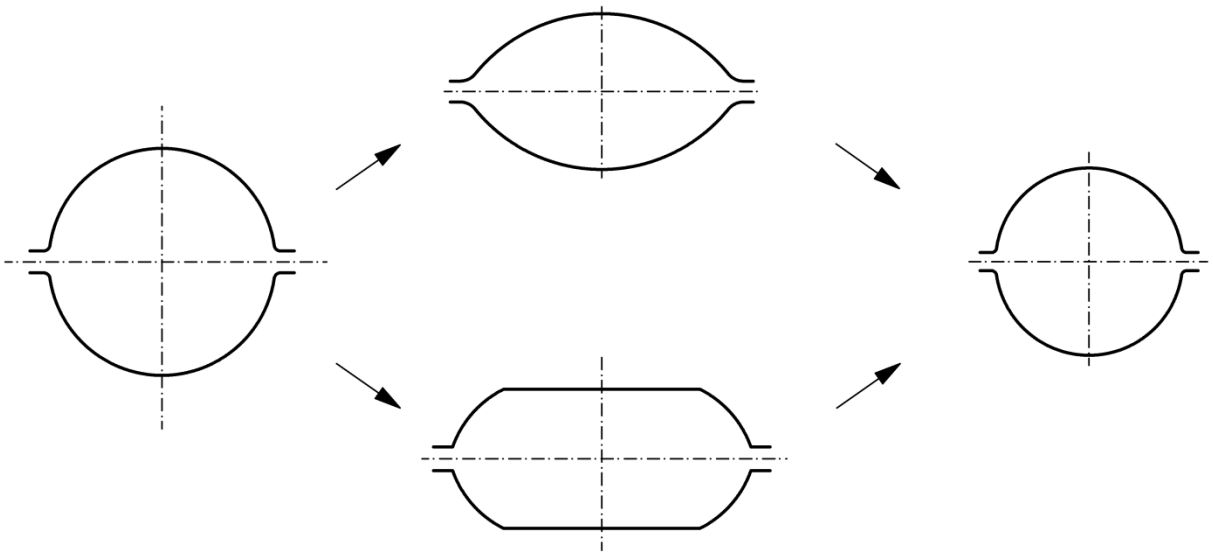
Soustavy kalibrů, ve kterých se střídá normální ovál s pěchovacím (obr. 11.4), se používá především na jemných spojitých válcovacích tratích. Normální oválové kalibry jsou zařazovány ve vertikálních válcích a pěchovací (vejčité) oválové kalibry zase v horizontálních válcích spojité válcovací trati,
Základní předností této soustavy je, že válcovaný provalek není třeba hranit.



Obr. 11.4 Schéma soustavy kalibrů řady ovál – pěchovací ovál

❑ Soustava kalibrů řady ovál – kruh

Soustavy kalibrů, kde se postupně střídají kalibry kruhového a oválového tvaru (obr. 11.5), se převážně používá na válcovacích tratích otevřeného uspořádání pro válcování kruhové oceli. Používá se především tam, kde je sortiment kruhové oceli velmi blízký.



Obr. 11.5 Schéma soustavy kalibrů řady ovál - kruh

Také se této soustavy používá v posledních stolicích hodovního pořadí při spojitém válcování drátů. V tomto případě se využívá mezilehlého kruhového kalibru jako hotovního kalibru pro válcování drátů o větším průměru.

V konkrétních případech je použití soustavy kalibrů ovál – kruh výhodné pro válcování vysokolegovaných ocelí, kdy je třeba dosáhnout kvalitního povrchu válcované kruhové oceli. U tohoto způsobu válcování se netvoří zvrásnění na oválových provalcích.

K přednostem soustavy kalibrů řady ovál – kruh patří:

- Válcování provalku v kalibrech probíhá bez ostrých hran a náhlých přechodů, což zabezpečuje rovnoměrnější rozložení výškové deformace. Rovnoměrnější rozložení výškové deformace zamezuje vzniku vnitřního pnutí v provalcích
- Tvary kalibrů a způsob válcování napomáhají snadnému odpadávání okují
- Minimální opotřebení kalibrů

Při použití této soustavy kalibrů se nevyhneme jistým nedostatkům, jako jsou

- Obtížné zavádění oválového provalku do kruhového kalibru
- Možnost zkosení provalku v kalibru
- Poměrné nízké hodnoty součinitelů prodloužení $\lambda = 1{,}2 – 1{,}4$

❑ Soustava kalibrů řady ovál – gotický čtverec

Válcování kruhové oceli s použitím soustavy kalibrů řady ovál – gotický čtverec je velmi blízké kalibraci válců s použitím soustavy kalibrů řady ovál – čtverec. Používá se pro válcování kruhové oceli všech jakostí přibližně od průměru 30 – 80 mm.

Soustava kalibrů se vyznačuje rovnoměrnějším rozložením výškové deformace po šířce provalku při jeho válcování v gotickém kalibru. Také opotřebení oválových kalibrů je menší. Průřezový tvar gotického čtverce je charakterizován tím, že jeho strany jsou mírně vypuklé. Při výpočtu kalibrace se strana A určuje z empirického vztahu. Je vždy menší než u normálního čtverce, protože plocha gotického kalibru je větší než u vepsaného čtverce

$$A = (0.9 \div 1{,}0)d \qquad (11.1)$$

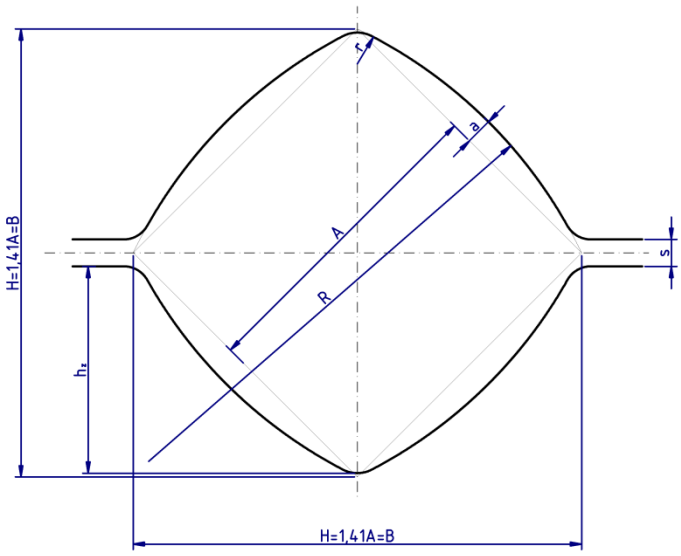
Vypouklost stran čtverce se stanovuje konstruktivně nebo v závislosti na průměru hotovní kruhové oceli

$$a = (0.05 \div 0{,}1)d \qquad (11.2)$$

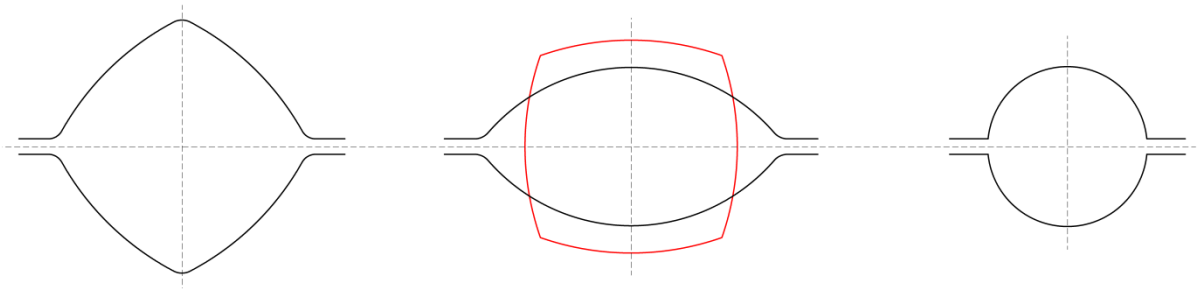
Poloměr zaoblení bočních stěn gotického kalibru se může rovnat šířce kalibru $R = B = B_k$ nebo se určí analyticky z kruhové úseče

$$R = \frac{A^2+4a^2}{8a} \qquad (11.3)$$

Při volbě zaoblení je brán zřetel pouze na plynulý přechod mezi R a r.



Obr. 11.6 Konstrukce gotického čtverce



Obr. 11.7 Schéma válcování v soustavě kalibrů řady ovál – gotický čtverec

❑ Soustava kalibrů řady kosočtverec – kosočtverec

Soustavy kalibrů, ve které se střídají pouze kosočtvercové kalibry rozdílných velikostí, se používá při válcování čtvercové oceli se sníženou tvařitelností na středních a hrubých tratích.

K přednostem této soustavy kalibrů je možno uvést:

- Možnosti získání geometricky přesného průřezového tvaru čtverce s ostrými hranami
- Malá vnitřní pnutí v tvářeném kovu
-
- Poměrně malý projev šíření při válcování kosočtvercových provalků v kosočtvercových kalibrech

K nevýhodám soustavy kalibrů můžeme přiřadit, že válcování v kosočtvercových kalibrech je omezeno součinitelem prodloužení pohybujícím se v mezích 1,1 -1,3. V technologii válcování vzniká také nebezpečí svinování provalku během jeho průchodů kalibrem s možností tvořením záložek.

Shrnutí pojmů kapitoly (podkapitoly)

Základními pojmy v této kapitoly jsou **soustavy kalibrů** v následných kombinacích řad kalibrů čtverec – ovál, **kosočtverec – čtverec**, **ovál – pěchovací ovál**, **ovál – kruh**, soustava kalibrů **univerzální řady**

Otázky k probranému učivu

11.1. Vyjmenujte výhody a nevýhod kalibrace ovál – čtverec.

11.2. Nakreslete způsob obnovování hran v místech původních rohů v kalibraci ovál –čtverec

11.3. Naznačte způsob válcování blízkých čtvercových rozměrů změnou nastavení horního válce u čtvercového kalibru.

11.4. Nakreslete základní schéma válcování v soustavě kalibrů řady kosočtverec - čtverec

11.5. Uveďte přednosti soustavy kalibrů řady kosočtverec – kosočtverec

11.6. Vysvětlete konstrukci kalibru ve tvaru gotického čtverce.

11.7. Jaké jsou přednosti a nedostatky soustava kalibrů řady ovál – pěchovací ovál?

11.8. Jakých jakostí ocelí se obvykle válcuje v soustavě kalibrů řady ovál – kruh?

11.9. Jaké kalibry jsou zastoupeny v soustavě kalibrů univerzální řady?

Úlohy k řešení

11.1. Proveďte konstrukci gotického čtverce o průřezové ploše S = 120 mm^2.

11.2. Zkonstruujte čtvercový kalibr, kosočtvercový kalibr a finální čtvercový kalibr pro válcování tyčí o straně 20 mm. Úběr v posledním kalibru je definován součinitel prodloužení λ=1,15. V předposledním úběru je pak součinitel prodloužení λ=1,27.

12. Základy kalibrace vybraných typů tvarových výválků

Čas ke studiu: 3 hodiny

Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- Rozlišit mezi jednotlivými typy tvarových výválků
- popsat způsoby kalibrace válců používané při výrobě profilů tvaru L, I, U a kolejnic

Výklad

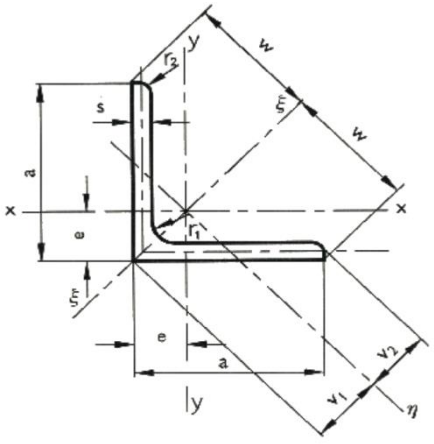
Kalibrace válců pro válcování úhelníků

Průřezový tvar a rozměry úhelníků jsou dány rozměrovou normou ČSN 42 5541 (ekvivalenty DIN: 1028:1994, EN: 10056-1:1998 (N), 10056-2:1993) a ČSN 42 5545(ekvivalenty DIN: 1029:1994, EN: 10056-1:1998 (N), 10056-2:1993)

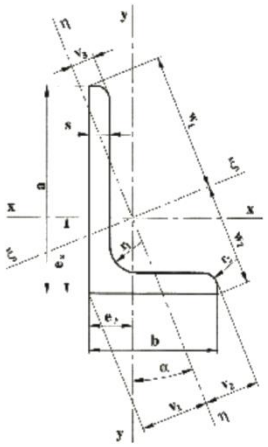
Podle těchto norem rozeznáváme dva druhy úhelníkové oceli:

a) Rovnoramenné úhelníky (obr 12.1), šířky ramen se pohybují v rozmezí od 20 mm do 200 mm a tloušťky ramen v rozmezí 3 do 20 mm, dovolené úchylky šířky ramen jsou ±1÷±3mm, pro tloušťky ramen jsou různé: plusové od 0,50 až po 1,50 mm záporné pak od -0,40 až po -0,70mm.

b) Nerovnoramenné úhelníky (obr. 12.2), šířka většího ramene se pohybuje v rozmezí od 25 mm do 160 mm, šířka kratšího ramene v rozmezí od 16 do 100 mm, tloušťka ramene se pohybuje od 3 mm do 14mm.



Obr. 12.1 Rovnoramenný úhelník



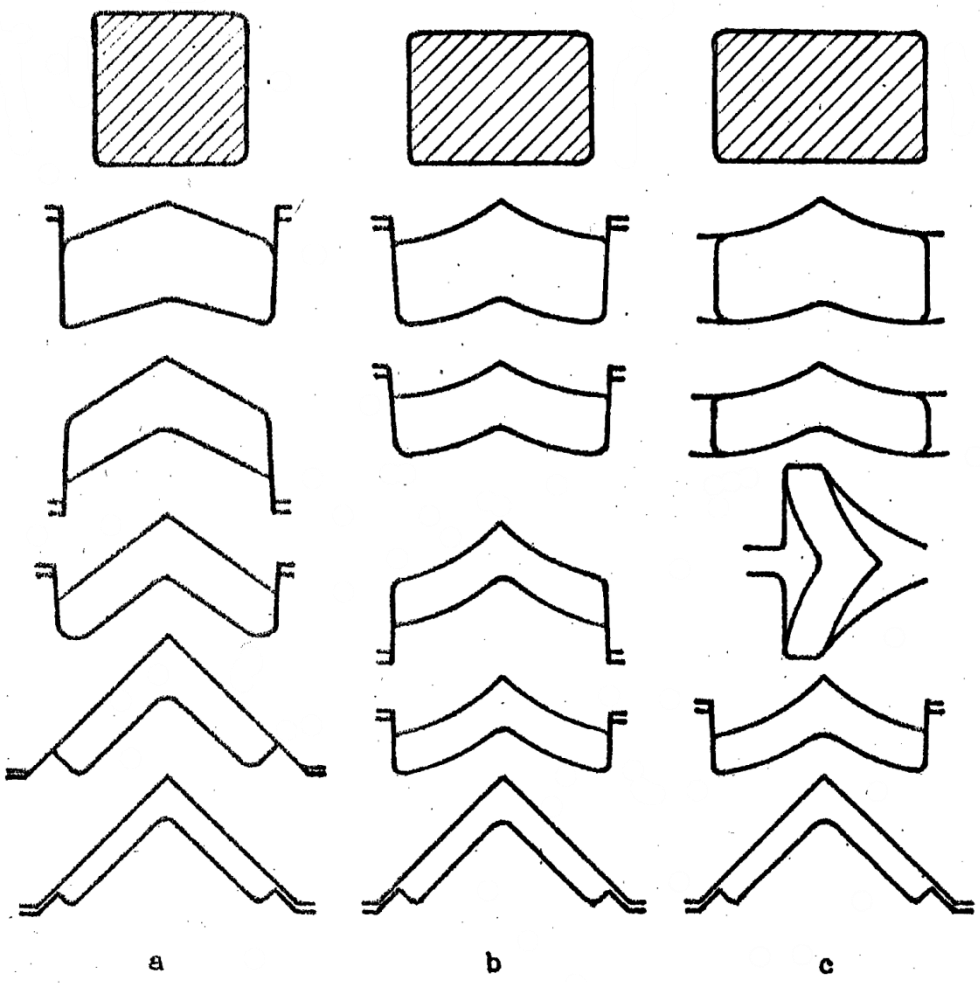
Obr. 12.2 Nerovnoramenný úhelník

Historicky vývoj válcování úhelníku spočíval v hledání hospodárnějšího průřezového tvaru, což vedlo k válcování úhelníků s využitím mínusových tolerancí až po válcování tenkostěnných úhelníků.

Způsoby kalibrace válců

Kalibrace s rovnými rameny v zavřených kalibrech (obr. 12.3a)
Patří mezi nejstarší způsoby kalibrace úhelníků. Charakteristickým znakem této kalibrace je to, že střední vlákno ramen úhelníků je ve všech kalibrech přímkové. V průběhu válcování se ramena úhelníku tvoří rozrážením provalku. Proto se také používá označení „rozrážecí způsob".
Úhel rozevření ramen úhelníku se postupně mění od 135° ÷ 145° v přípravném kalibru do 90° v hotovním kalibru. Rovněž i velikost úběru postupně klesá ve směru válcování od prvního průchodu až po hotovní průchod.

Jedním z nedostatků této kalibrace je hluboký zářez do válců. Tento vyvolává značnou rozdílnost v obvodových rychlostech válců. Dochází ke značnému opotřebení kalibrů. Válcování probíhá s vyšší spotřebou energie. Hluboké zářezy snižují pevnost válců a vedou ke zmenšování výškové deformace a tím i k narůstání většího počtu průchodů.
Další nevýhodou této kalibrace je, že vlivem postupného rozřezávání provalku se mohou v průběhu válcování dostat na povrch vycezeniny, a to zejména v místech styku ramen úhelníku.
Jediná přednost kalibrace s rovnými rameny v zavřených kalibrech spočívá v jednoduchosti konstrukce kalibrů a v poměrně malé citlivosti při seřizování válců. Uvedený způsob kalibrace úhelníku se udržel ještě při válcování úhelníků malých rozměrů a na válcovacích tratích staršího provedení.



Obr. 12.3 Způsoby kalibrace úhelníků

Kalibrace úhelníků s rozevřenými rameny a omezeným šířením (obr. 12.3b)
V současné době patří k nejrozšířenějším způsobům kalibrace válců. Odstraňuje nevýhody kalibrace s rovnými rameny. Charakteristickým znakem tohoto způsobu kalibrace je konstrukce předhotovního a dalších tvarových kalibrů. Střední vlákno ramen úhelníku je prohýbáno v křivce – proto taky označení „motýlková kalibrace“. K narovnání ramen úhelníku dochází až v posledním hotovním průchodu.

Křivkové prohnutí ramen umožňuje zvětšovat svislou složku válcovací síly. Rozevřená ramena kalibru vytvářejí ve válcích příznivé podmínky pro zhotovení mělkých zářezů. Pevnost válců se nesnižuje. Válcování se uskutečňuje s většími úběry. Deformační proces je intenzívnější, snižuje se počet průchodů a zvětšuje se výkon válcovací tratě. Zmíněná kalibrace umožňuje válcovat úhelníky bez výronků (drátu). Pokud vzniknou, pak jen špatným seřízením válcovací stolice. Uvedený způsob zabezpečuje válcování úhelníků s přesnými šířkami ramen. Samotné tvary kalibrů omezují šíření. Otevření kalibrů se pravidelně střídá a umožňuje postupné protváření konců ramen úhelníků

Motýlková kalibrace klade větší nároky na provedení a je poměrně citlivá i na nastavení válců. Umožňuje přesné válcování s užšími rozměrovými tolerancemi. Motýlkový způsob kalibrace úhelníků se v současné době využívá také i pro kalibraci a válcování tenkostěnných úhelníků.

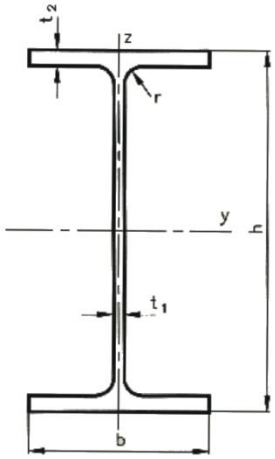
Kalibrace úhelníků s rozevřenými rameny a volným šířením. (obr. 12.3c)
Tento způsob je nejprogresivnější v kalibraci úhelníků. Ve srovnání s předcházejícími kalibracemi mají kalibry nejmenší zářezy do těla válců. Tvary kalibrů jsou velmi jednoduché. Namáhání válců je menší. Je možno používat větších výškových deformací.
Velkou výhodou této kalibrace je možnost válcování úhelníků různých velikostí v téže soupravě válců. Kalibry s volným šířením nevyžadují příruby na válcích. Umožňují používat válce i o menších průměrech. Nebezpečí vzniku výronků odpadá. Kalibry s volným šířením mají také své nevýhody. Volné šíření v přípravných kalibrech je těžko kontrolovatelné. Pro dosažení požadované šířky ramen úhelníku se konstruuje předhotovní kalibr jako zavřený, tedy s omezeným šířením, a to tak, aby šířka vystupujícího provalku odpovídala šířce vypočteného.

Čím více přípravných kalibrů s volným šířením předchází předhotovnímu kalibru, tím hůře se dodržuje šířka ramen úhelníku v příslušných mezích. Proto tím pečlivěji se musí seřizovat válcovací stolice. Pro usnadnění seřízení válcovací stolice se používají pěchovací kalibry.
Jejich použití umožňuje obdržet požadovaný rozměr provalku pro jeho vstup do předhotovního zavřeného kalibru. Zavedení pěchovacího kalibru napomáhá větší univerzálnosti tohoto způsobu kalibrace. Výhoda pěchovacího kalibru je opodstatněná pro válcování úhelníků o větších tloušťkách ramen. Jinak vzniká nebezpečí, že místo deformace se dosáhne pouze prohnutí ramen. Široké využití pěchovacího kalibru je uplatňováno především při válcování úhelníků na spojitých válcovacích tratích.

❑ Kalibrace pro válcování nosníků tvaru I

Průřezový tvar nosníku v obecném provedení a označení je uveden na obr. 12.4. Nosníky, i když jsou tvarově stejné, liší svými rozměry. Jejich rozměrové odlišnosti jsou zachyceny v příslušných normách. K důležitým charakteristikám průřezového tvaru nosníku náleží:

- Plocha příčného průřezu
- Hmotnost nosníku na běžný metr
- Momenty odporů *Wx* a *Wy*
- Poloměry setrvačnosti (vzorce) charakterizující velikost měrného odporu na jednotku plochy příčného průřezu
- Měrná tloušťka stojiny *d*/*h* charakterizuje stabilitu (pevnost) a tvar nosníku; nejpodstatněji upozorňuje na racionálnost průřezu namáhaného na ohyb
- Měrná tloušťka příruby *t*/*b* charakterizuje pevnost a tvar příruby
- Měrná plocha stojiny S_s/S charakterizuje rozdělení kovu mezi stojinou a přírubami



Obr. 12.4 IPE profil

Způsoby kalibrace nosníku

Kalibrace nosníku tvaru I s použitím vodorovných kalibrů

Tento způsob má použití na tratích staršího provedení. Způsob válcování je zachycen na schématu v obr 12.5a. Uplatňuje se pro válcování nosníků standardní nosníkové řady. Typického způsobu kalibrace s použitím vodorovných kalibrů se též používá jako přípravných kalibrů pro válcování nosníku tvaru U.

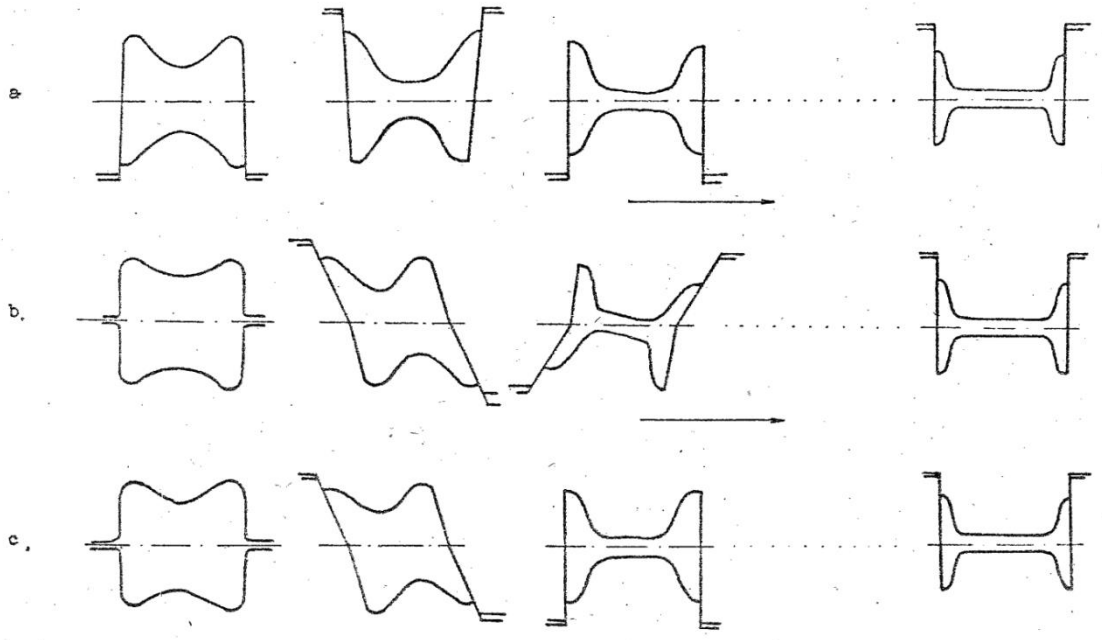
Během celého procesu válcování nedochází ke hranění provalku. Ve srovnání se šikmými kalibry zabírají vodorovné kalibry po délce těla válců méně místa. Válcování ve vodorovných kalibrech je vhodné pro výrobu nosníku s větším úkosem (sklonem) vnitřních přírubových stěn s malou šířkou přírub. Pro výrobu širokopřírubových nosníku nelze tohoto způsobu kalibrace použít. Na přírubách v procesu deformace během válcování nelze vyvolat výraznější silový účinek ve svislém směru. Uplatňuje se více boční úběr.

Válcováním ve vodorovných kalibrech se obtížně dosahuje požadované šířky přírub. Malý sklon vnějších přírubových hran nosníkového kalibru (2-4%) vyvolává obtíže při výstupu válcovaného kovu z válců. Vzniklé tření mezi kovem a válci ztěžuje zaplňování přírubových částí kalibru a zvyšuje opotřebení válců. Při obnově kalibrů je třeba válce hluboko soustružit. Podstatně rychleji dochází ke zmenšení průměru válců a tím se snižuje i jejich využití.

V současné době, kdy se válcují odlehčené nebo ekonomické nosníky, již tato typická kalibrace nevyhovuje. Nosníky se zmenšeným úkosem (sklonem) a zvětšením šířek na přírubách se obtížně válcují. Stupeň úběru v zavřených přírubových částech kalibru se zmenšuje. Rovněž i úběr v otevřených částech se výrazně nezvyšuje. Zvětšuje se opotřebení válců i spotřeba energie.

Válcování odlehčených a ekonomických nosníků vyžaduje větší deformaci v kalibrech. Limitujícím článkem pro dosažení potřebných šířek přírub je otevřená část příruby, ve které nelze uskutečňovat přímý úběr. S bočním úběrem je možno pracovat na úkor většího sklonu vnějších částí příruby. Proto se přistoupilo ke zvětšení sklonu, a to z původních 2-4% až na 12%. Zvětšený sklon přírub se mnohdy provádí s ohledem na průhyb stojiny.

V současné době se uplatňují přípravné kalibry s průhybem stojiny nosníku a se sklonem vnějších přírubových částí v rozmezí 5-10%. Dobrých výsledků bylo dosaženo také při použití kalibrů s lomenou stojinou a lomenými přírubami. Sklony vnějších přírubových hran v uzavřených částech přírub se pohybují mezi 2-3 % a v otevřených částech do 10%. Také se používá kalibrace s využitím rovné stojiny, ale pouze s lomenými přírubami. V zavřených vnějších přírubových částech je úkos 2-3% a v otevřených se pohybuje do 12 %



Obr. 12.5 Způsoby válcování nosníků

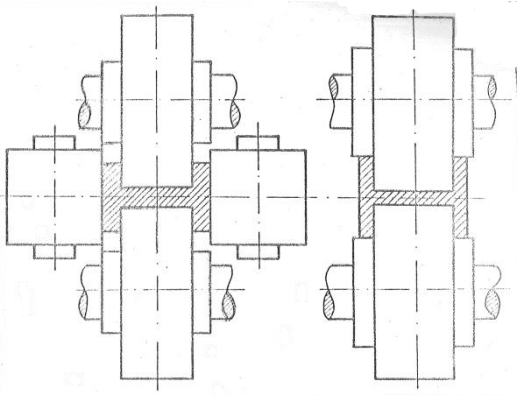
Kalibrace s použitím šikmých kalibrů
Tento způsob je graficky zachycen na obr. 12.5b. Umožňuje válcovat nosníky se širšími přírubami a s menším sklonem vnitřních přírubových stěn nosníkového kalibru. Šikmé umístění kalibrů ve válcích dovoluje výrazněji pracovat se svislou složkou výškové deformace. Příznivě se tento účinek projevuje v otevřené přírubové části kalibru, kde dochází ke snadnějšímu šíření příruby nosníku. Kalibrací se šikmými kalibry je možno v procesu válcování snadněji dosáhnout požadovaných rozměrů nosníku. Kalibrace umožňuje válcovat nosníky s menším počtem průchodů. Opotřebení válců je menší ve srovnání s předcházejícím způsobem. Ve směru válcování se uplatňuje pravidelné střídání otevřených a zavřených přírubových částí kalibru. Na druhé straně rozmístění kalibrů po délce těla válce vyžaduje více místa. Šikmé kalibry ve válcích vyvolávají osové síly, kterým je nutno zabraňovat osazenými ložisky nebo i tvorbou „zámků“. Zavřené přírubové části kalibrů při použití šikmé kalibrace se konstruují jako přímé. Širší příruby kalibrů vyžadují provedení hlubších zářezů do válců. Proto je nutno pracovat s většími průměry válců.

Kalibrace nosníku s použitím vodorovných a šikmých kalibrů.
Prakticky jde o kombinovaný způsob kalibrace, který je uveden na obr. 12.5c. Využívá jak vodorovných, tak i šikmých kalibrů, Slouží pro válcování všech druhů nosníků. Uvedený způsob vhodně eliminuje nedostatky předcházejících způsobů a využívá jejich výhod. Umožňuje používat rozměrově menších pravoúhlých výchozích předvalků nežli při válcování nosníků ve vodorovných kalibrech.

❑ Kalibrace válců pro válcování širokopřírubových nosníků

Průřezový tvar širokopřírubových nosníků se vyznačuje širšími přírubami v porovnání s nosníky standardních řad nebo v porovnání i s ekonomickými nosníky. Vyrábějí se v širších rozměrových mezích. V zemích, ve kterých se válcují, jsou širokopřírubové nosníky normovány. Každá z norem podchycuje jisté zvláštnosti – hustotu nosníkových řad nebo podle rozměrové normy DIN jsou normovány 3 řady nosníků s paralelními přírubami (normální, zeslabené, zesílené) a jedna řada širokopřírubových nosníku se sklonem vnitřních přírubových hran 8%. Prakticky se jedná o nosníky s výškou stojiny od 100 mm do 1000 mm.
Z hlediska statických hodnot se širokopřírubové nosníky vyznačují vysokými momenty odporu a velkými momenty setrvačnosti ve srovnání s normálními.
Širokopřírubové nosníky je možno vyrábět třemi způsoby:

- Svařováním
- Válcováním na normálních nosníkových válcovacích tratích; také i s použitím univerzálních stolic pro střední a vyšší rozměry nosníků
- Válcování na speciálních válcovacích tratích s hlavními univerzálními a pomocnými stolicemi duo



Obr. 12.6 Schéma válcování širokopřírubových nosníků na univerzální válcovací trati

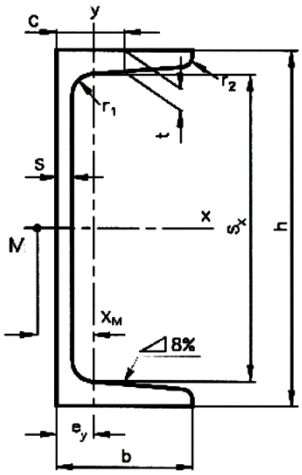
Svařováním je možno vyrábět nosníky různých tvarů a rozměrů. Nedostatkem tohoto způsobu je velká pracnost a vysoké výrobní náklady. V současné době se všechny druhy širokopřírubových nosníku převážně válcují na speciálních válcovacích tratích. Válcovací trať se skládá ze dvou horizontální a dvou vertikálních válců umístěných v jedné vertikální rovině. V bezprostřední blízkosti této hlavní stolice se umisťuje reverzní duo určené pouze pro deformaci stojiny.
Takové uspořádání umožňuje vyrábět nosníky s širokými přírubami a o vysoké kvalitě. To proto, že k deformaci dochází v procesu válcování ve všech částech provalku současně.
Kalibrace válců pro válcování širokopřírubových nosníků má některé zvláštnosti. Pokud jde o předtvarované předvalky válcované na předvalkové válcovací trati, musí mít symetrické horní a spodní příruby nebo obecně musí mít přesné rozměry výšky a šířky provalku. To je z důvodu, že při

deformaci v univerzální válcovací stolici se využívá prakticky stejných deformačních součinitelů jak na stojině, tak i na přírubách
Současný trend využívá připravený polotovar z kontilití ve tvaru tzv. „psí kosti“, tvar už je připraven na tvorbu přírub a vysoké stojiny. Válcování pak probíhá výhradně na univerzálních stolicích s případným doplněním o horizontální duo stolice, viz schéma 12.6.

❑ Kalibrace válců pro válcování nosníků tvaru U

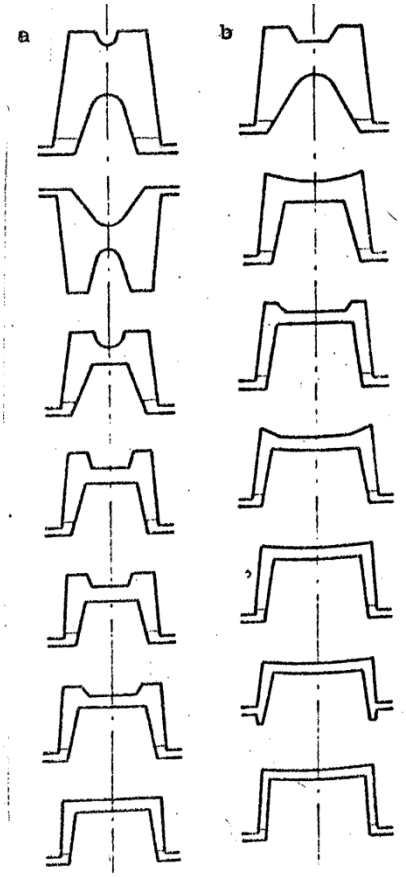
Základní průřezový tvar nosníku U v obecném provedení a označení je uveden na obr. 12.7.
K důležitým charakteristikám průřezového tvaru náleží:

- Plocha příčného nosníku
- Hmotnost nosníku na běžný metr
- Moment odporu v ohybu W_x a W_y
- Poloměry setrvačnosti i_x a i_y
- Měrná tloušťka stojiny t_1/h
- Měrná tloušťka příruby t_2/b
- Měrná plocha stojiny S_{st}/S
- Štíhlost stojiny h/t_1
- Štíhlost příruby b/t_2
- Poměrná šířka tvaru nosníku b/h
- Hospodárnost tvarového průřezu W_x/C
- Měrný moment odporu proti ohybu



Obr. 12.7 Nosník tvaru U

Při kalibraci válců pro válcování nosníku tvaru U rozeznáváme v podstatě tři základní způsoby
Kalibrace přímá. Schéma je na obr. 12.8a. Šířka přírub (ramen) nosníků tvaru U je větší než u nosníků tvaru I stejného čísla. Tímto se obtížněji vytváří jejich potřebná délka. Proto tato kalibrace využívá protilehlých tzv. falešných (nepravých) přírub. Existence těchto přírub a deformace v nich napomáhá vytvoření požadované délky ramen nosníků.
Nosníkový způsob je variantou přímé kalibrace (obr. 12.8b). Je charakterizován tím, že přípravné kalibry jsou společné jak pro válcování nosníků tvaru U, taky pro válcování nosníků tvaru I odpovídajících rozměrů (čísel). Vyznačuje se protilehlými (falešnými) přírubami. Nutnost velkých úběrů v nepravých přírubách vyvolává značné přemisťování kovu do stojiny a pravých přírub (ramen), což může způsobovat obtíže při dodržování rozměrových přesností průřezového tvaru.
Výhodou této kalibrace je menší počet potřebných souprav válců a tím i menší počet nutných výměn válců při změně výrobního programu pro válcování nosníku tvaru I. Na druhé straně značné deformace v nepravých přírubách vyvolávají vyšší spotřebu energie. Z hlediska technologie válcování se zhoršují požadavky na jakostní ukazatele hodovního vývalku. Hluboké zářezy ve válcích snižují pevnost válců. Malé sklony vnějších přírubových stěn vyvolávají větší opotřebení kalibrů; při soustružení válců je třeba odebírat větší tloušťku kovu z válců, čímž se rychleji snižuje jejich životnost. Válcování s malými sklony přírub vyžaduje větší počet průchodů.



Obr. 12.8 Přímý způsob kalibrace U nosníku

Nosníkový způsob kalibrace v současné době setrvává na těch válcovacích tratích, kde jsou pro něj podmínky (konstrukční, vybavení válcovací tratě apod.). Nově se již tento způsob kalibrace používá velmi málo nebo vůbec.

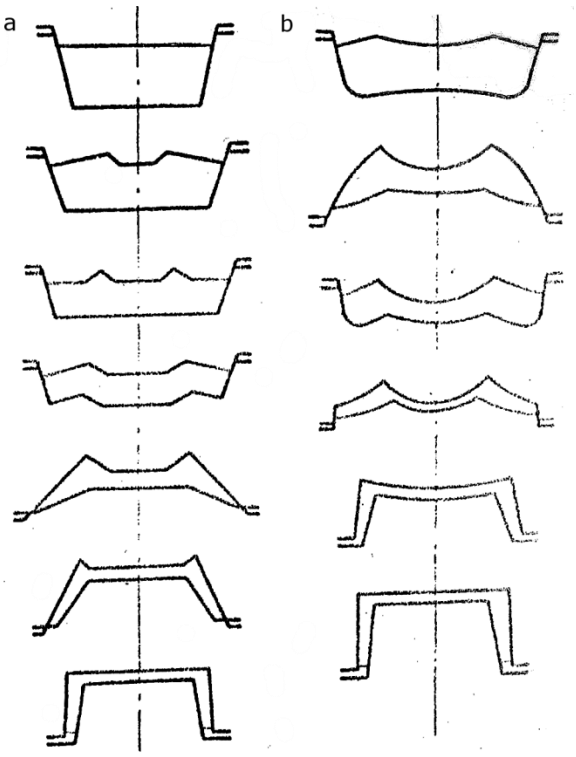
Kalibrace s velkým sklonem ramen nosníků (obr. 12.9). Tato varianta přímé kalibrace má o něco širší uplatnění. Vyznačuje se tím, že pracuje s velkým sklonem vnějších přírubových stěn kalibrů, který se pohybuje v mezích 15-20 %.

Velký sklon přírub vytváří příznivé podmínky pro lepší uskutečňování deformace v přímém směru. Snadněji se vytváří požadovaná délka ramene nosníků. V procesu válcování při zavádění provalku z předhotovního kalibru s velkým sklonem přírub do hotovního kalibru.

K základním přednostem této kalibrace patří:

- Možnost intenzívní deformace válcovaného kovu v kalibrech
- Výskyt relativně rovnoměrného rozložení výškové deformace v jednotlivých částech válcovaného kovu
- Menší počet průchodů
- Nižší opotřebení válců v důsledku zmenšení rozdílů obvodových rychlostí válců v jednotlivých částech kalibrů
- Poměrně mělké zářezy kalibrů do válců (vyšší pevnost a životnost válců)
- Dokonalá obnova kalibrů při soustružení válců

Z nedostatků je možno uvést poměrně velkou šířku kalibrů a tím i menší využití délky těla válců. V mnoha případech lze toto kompenzovat snížením počtu tvarových kalibrů



Obr. 12.9 Způsob kalibrace nosníku tvaru U s rozevřenými rameny

Kalibrace s postupným sbíháním ramen. Odstraňuje základní nedostatky přímé kalibrace. Nepravá (falešná) ramena nosníků jsou velmi malá. Tvary kalibrů umožňují mělké zářezy do válců, dovolují pracovat s velkými úběry.

Existence protilehlých (nepravých) přírub nosníků vytváří v místech spojení stojiny a přírub zesílenou část. Tento materiálově silnější uzel má snahu odolávat ohýbání ramen do pravého úhlu. Vyžaduje proto silnější konstrukci vstupního zařízení pro zavedení provalku do válců. Vzniká větší namáhání nákružků. Vytvářejí se nežádoucí podmínky i pro tvorbu zvrásnění na vnějších stěnách nákružků. Vytvářejí se nežádoucí podmínky i pro tvorbu zvrásnění a vnějších stěnách ramen válcovaného kovu.

Motýlkový způsob – tato kalibrace vznikla rozvedením základní myšlenky kalibrace s rozevřenými rameny. Pracuje se značnými úběry v počátečních průchodech při vytváření ramen nosníků, v dalších průchodech pak s menšími úběry.

Charakteristickým znakem motýlkové kalibrace je prohnutí ramen a stojiny nosníku ve všech kalibrech kromě hodovního a předhotovního. Konstrukce nosníkových kalibrů je poměrně jednoduchá. Kalibrace vytváří příznivé podmínky pro konstrukci pomocného válcovacího zařízení (armatury) a pro jeho obsluhu v procesu válcování.

Motýlková kalibrace je výhodná také pro válcování odlehčených nosníků tvaru U.

Zvláštnosti kalibrace a válcování U nosníků

Průřezový tvar U-nosníků je možno posuzovat jako nosník tvaru I, ovšem bez uvažování přírub z jedné strany. Takový pohled umožnil vznik přímé kalibrace podle nosníkového způsobu.

Podmínky deformace provalku v kalibrech pro válcování nosníků tvaru U mají své zvláštnosti, z nich je nutno na některé upozornit:

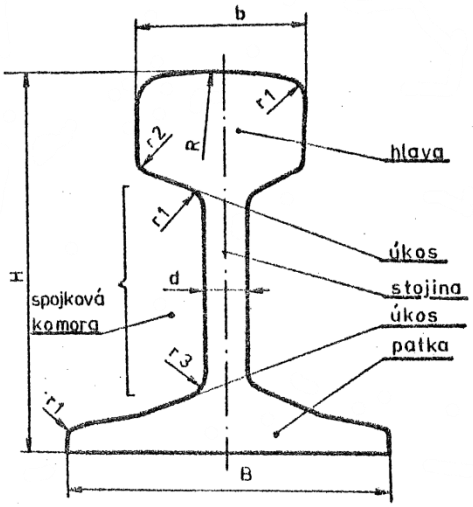
- Vzhledem k tomu, že délka přírub u nosníků tvaru U je větší než u nosníků tvaru I stejného čísla, respektuje se při kalibraci válců existence nepravých (falešných) nebo i tzv. protilehlých přírub. Nepravé příruby slouží pro tvarování potřebných délek ramen a ostrých rohů v místě styku ramene a stojiny U nosníku.
- V procesu válcování nosníkového provalku během všech průchodů nedochází u kalibrace ke střídání otevřených a zavřených přírub, na rozdíl od kalibrace nosníků tvaru I.
- Otevření kalibrů se konstruuje pouze s ohledem na pravé příruby (ramena) nosníků
- Během válcování u nosníků se vyskytují poměrně značné deformace ve všech částech kalibrů.
- Při válcování nosníků tvaru U se používají pěchovací neboli kontrolní kalibry. Jejich úkolem je v průběhu válcování regulovat rozměry ramen na požadované délky.

❑ Kalibrace válců pro válcování kolejnic

V kolejové dopravě se používají různé druhy kolejnic. Vzájemně se liší rozměry, velikostí průřezové plochy a také i svým tvarem. Kolejnice všech druhů patří do skupiny přírubových tvarových ocelí.

S přihlédnutím k praktickému využití se kolejnice dělí na železniční, důlní a zvláštní. Železniční kolejnice se používají pro stavbu železničních tratí a vleček. Důlní kolejnice zase slouží ke stavbě důlních a polních drah. Svým tvarem se podobají železničním kolejnicím, jsou však rozměrově menší a lehčí. Jejich hmotnost se pohybuje do 25 kg na 1 metr délky vývalku. Do skupiny zvláštních kolejnic patří kolejnice žlábkové (tramvajové), jeřábové, výhybkové, jazykové a srdcovkové.

V našem případě půjde dále o typické železniční kolejnice, které se běžně používají v železniční dopravě. Obecné provedení a označení kolejnice je uvedeno na obr. 12.10.



Obr. 12.10 Obecné provedení a označení kolejnice

Z hlediska kalibrace válců naleží kolejnice do skupiny nesymetrických tvarových ocelí. Složitost válcování kolejnic spočívá v tom, že tvary kalibrů vyhovují symetričnosti pouze ve vodorovné ose. Nesymetričnost průřezového tvaru a různé podmínky deformace v hlavě a patce kolejnice velmi komplikují kalibraci válců. Válcování se uskutečňuje při použití značných bočních úběrů. Podmínky deformace kolejnice jsou takové, že příruby jsou tvarovány bočními úběry, stojina přímým úběrem, hlava přímým i bočním úběrem

Σ Shrnutí pojmů kapitoly

Zakladní pojmy, s nimiž jste se seznámili, jsou**: kalibrace úhelníků s rozevřenými rameny a omezeným šířením, kalibrace úhelníků s rozevřenými rameny a volným šířením, kalibrace nosníku tvaru I s použitím vodorovných kalibrů, kalibrace s použitím šikmých kalibrů, příma kalibrace U nosníku, kalibrace s velkým sklonem ramen U nosníků**

Otázky k probranému učivu

12.1. Popište rozdíl mezi nerovnoramenným a rovnoramenným úhelníkem.

12.2. Vyjmenujte a nakreslete základní rozdíly mezi kalibraci úhelníku s rovnými rameny a rozevřenými rameny.

12.3. Vysvětlete rozdíl mezi kalibrací I profilu na horizontálních tratí a na tratích univerzálních.

12.4. Popište Kalibrace nosníku tvaru I s použitím vodorovných kalibrů.

12.5. Zhodnoťte výhody a nevýhody přímé kalibrace při válcování U profilu.

12.6. Nakreslete schematicky kalibraci s postupným sbíháním ramen u válcování U profilu.

13. Zakružování a tvarování plochých výválků při výrobě ohýbaných profilů a svařovaných trubek.

Čas ke studiu: 2,5 hodiny

Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- definovat typy tenkostěnných profilů
- popsat rozdílné technologie výroby tenkostěnných profilů
- vyřešit délku neutrálního vlákna

Výklad

13.1. Tenkostěnné profily

Charakteristické vlastnosti tenkostěnných profilů jsou:

- malá metrová váha
- tvarová různorodost profilů
- rozměrová přesnost
- jakost povrchu
- mechanické a technologické vlastnosti

Předností tenkostěnných průřezů je malá hmotnost a výhodné statické průřezové hodnoty (průřezové charakteristiky). Tloušťka průřezů válcovaných za tepla je mnohdy dána minimálními rozměry, s kterými lze vyrobit, nikoliv požadavky pevnostními. U průřezů tvarovaných za studena nejenže z výrobních důvodů je menší tloušťka vhodnější, ale i možnost optimálně volit tvar průřezu poskytuje značné úspory. Návrhem stavební konstrukce z tenkostěnných průřezů je možno snížit hmotnost konstrukce o 15 až 30%.

Princip výroby tenkostěnných profilů

- podélným tvarováním se získává požadovaný tvar profilu
- mění se především tvar
- velikost průřezové plochy (tloušťka) se mění minimálně.
- tvarování probíhá za studena, materiál během deformace zpevňuje

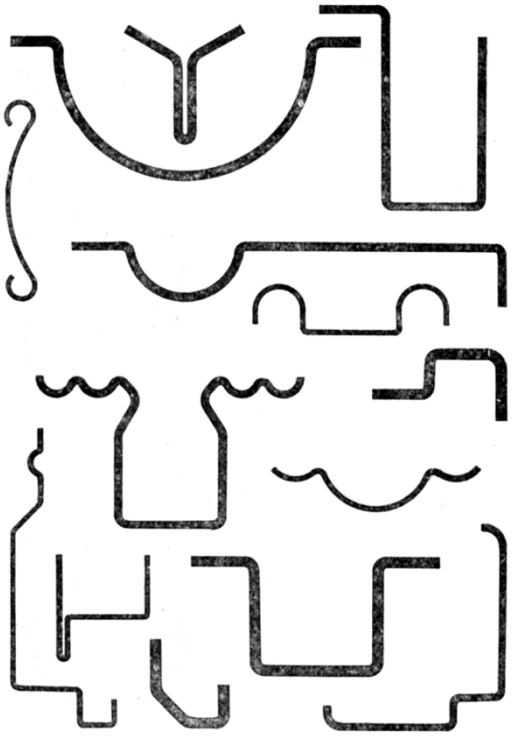
Použití tenkostěnných ocelových profilů

- strojnictví
  - dopravní technika - letecká, pozemní
- stavebnictví
  - konstrukce budov
  - střešní konstrukce
  - rozebíratelné konstrukce skladišť apod.
  - plechové krytiny

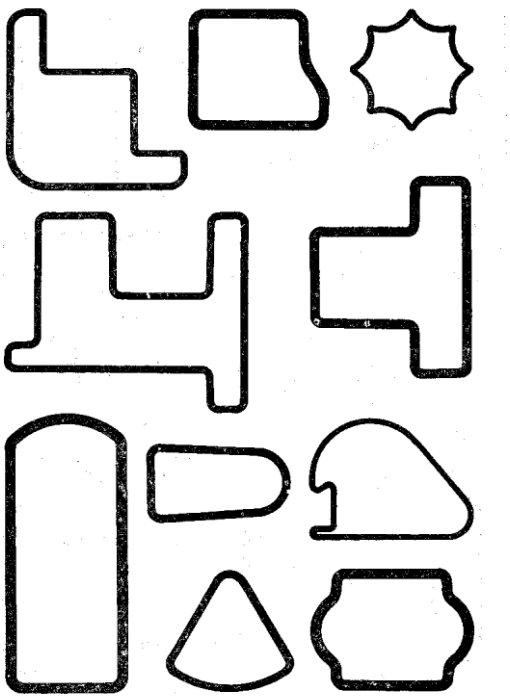
Základní rozdělení

- Tenkostěnné profily otevřené (obr. 13.1)
  - okraje se nedotýkají
  - nebo se dotýkají, ale nejsou jednolitě spojeny mechanicky nebo kovem
- Tenkostěnné profily uzavřené (obr. 13.2)
  - z tenkostěnných trubek
  - obvykle připravených zakružováním do tvaru štěrbinové trubky, průběžně svařované

Tenkostěnné průřezy se vyrábějí tvarováním oceli za studena. Tváří se ohýbáním, válcováním za studena, protahováním a lisováním.



Obr. 13.1 Tenkostěnné profily otevřené



Obr. 13.2 Tenkostěnné profily uzavřené

Typy vstupních polotovarů:

- pás válcovaný za tepla
- pás válcovaný za studena
- tenkostěnné trubky

Materiály:

- oceli
  - stavební jakosti
  - uhlíkové, legované
  - nerezavějící austenitické
  - oceli plátované, pozinkované
- neželezné kovy
  - měď, bronz, mosaz
  - hliník, zinek, hořčík a jejich slitiny

Tenkostěnné průřezy se mohou vyrábět téměř ze všech druhů oceli, která se válcuje na pásy a plechy. Běžné je užití uhlíkových ocelí, ale používají se i oceli legované, nerezavějící oceli, málo korodující oceli nebo oceli typu Atmofix. Tvarováním za studena se vyrábějí i průřezy z vysokopevnostních

ocelí, požaduje se však dostatečná tažnost, která je nezbytná pro vytvoření ohybů. Využívají se i poměrně malé tloušťky (i menší než 1 mm). Průřezy mají poměrně malé tolerance a tvarováním za studena zlepšené mechanické vlastnosti. Povrch průřezů odpovídá povrchu výchozího ocelového pásu a technologii výroby. Průřezy mají buď povrch tmavý, nebo lesklý. Tmavý povrch s jemnými okujemi mají průřezy vyrobené z pásů válcovaných za tepla. Lesklý povrch mají průřezy vyrobené z pásů válcovaných za studena a průřezy vyráběné tažením. Hladký lesklý povrch umožňuje dobrou protikorozní ochranu. Kryje se nátěry nebo povlaky z umělých hmot, případně u průřezů z nerezavějící oceli se povrch leští. Široké ohýbané průřezy se dodávají s ochrannou oboustrannou vrstvou zinku, pohliníkované nebo lakované.

Výhodou tenkostěnných průřezů je volnost při volbě tvaru. Tvar je možné přizpůsobit funkčním požadavkům za současného výhodného statického působení. Příkladem takového výhodného spojení jsou stropní a střešní lomenicové plechy, duté průřezy sloupů, průvlaky tvaru C apod.

Výchozím materiálem pro výrobu tenkostěnných průřezů jsou plechy a široké pásy. Plechy se užívají při výrobě na ohraňovacích lisech, zatímco z pásů se vyrábějí průřezy na profilovacích strojích válcováním za studena. Pásy jsou svinuté na svitcích, tloušťka pásu bývá do 3 mm. Šířka pásu se volí podle rozvinuté šířky průřezu. U složitějších průřezů musí být šířka pásu přesně zachována v celé délce pásu, jinak by vznikaly při výrobě obtíže a okraje průřezu by se vlnily. Proto se předsazují před profilovací stroj kruhové nůžky, které pás zaříznou na přesnou šířku. Z neoříznutých pásků se vyrábějí pouze jednoduché otevření průřezy. Ztráta ořízntutím okrajů pásu se zmenší, když se široký pás dělí rozříznutím na několik užších pásů požadované šířky. Při používání výchozích pásů za tepla válcovaných se většinou mořením v kyselinách odstraňují okuje z povrchu pásu, aby nezpůsobily odírání profilovacích válců. Výroba na profilovacích strojích je kontinuální výrobní proces. Před doběhnutím svitku se pásek následujícího svitku navaří na předchozí, zatím se zpracovává pásek ze zásobní smyčky, takže vlastně tvářecí proces je nepřetržitý.

Základní technologii výroby lze rozdělit do následujících tří způsobů:

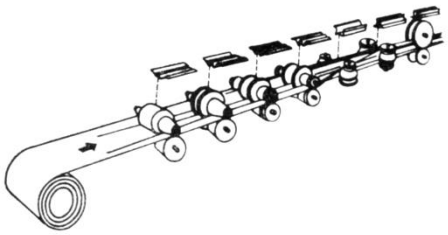
- profilování (zakružování)
- tažení
- lisování na ohraňovacích lisech

13.2. Technologie profilování

Válcováním za studena se vyrábějí na profilovacích strojích otevřené i uzavřené průřezy. Při válcování za studena se zakružuje pásek do tvaru průřezu postupným příčným ohýbáním otáčejícími dvojicemi válců (obr. 13.3). Dvojic válců je celá řada, obvykle více než 6, počet závisí na tvaru průřezu.

Přípravnými operacemi jsou:

- moření
- tryskání
- dělení



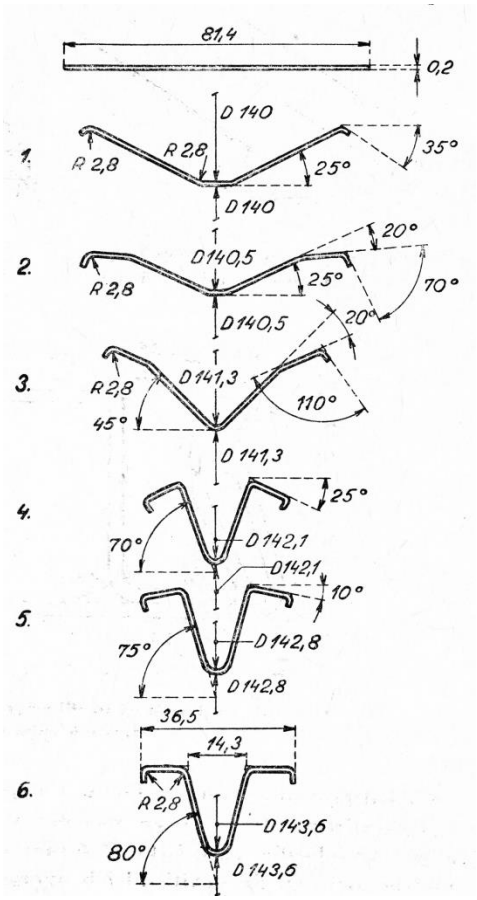
Obr. 13.3 Schéma profilovací linky

Výroba profilů profilováním probíhá na profilovacím stroji v následujících krocích:

- Ocelový pás je odvíjen ze zásobního bubnu přes zaváděcí čelisti.
- Po uchopení prvním párem profilovacích válců je vtahován účinkem tření mezi válce a dochází v příčném směru ohýbání.
- Celý postup profilování se provádí v několika párech válců. Profilovací stroje se stavějí s 10, 16 a i více profilovacími válečky.

- Počet průchodů závisí na celkovém tvaru profilu, jeho rozměrech, druhu materiálu a jeho mechanických vlastnostech.
- Zásadou je, že profil se ve spodním válci tvaruje ohýbáním okrajů pásu směrem nahoru.

Profilovací stroje se dělí na dvě základní skupiny: na stroje s letmými vřeteny a na stroje s podepřenými vřeteny. Stroje s letmými vřeteny mají vřetena uložena v ložiskách jen na jedné poháněné straně. Letmo uložená vřetena mají stroje malé a lehké. Výměna sad válců je u nich jednodušší, lze však pro válcování užít jen malých tlaků, takže se hodí jen pro malé tloušťky.
Stroje s podepřenými vřeteny mají válce uloženy v ložiskách po obou stranách. Poháněna jsou buď jen spodní vřetena, nebo obě vřetena. Tyto stroje jsou mnohem četnější, pracují s malými tolerancemi a jsou vhodné i na průřezy s větší tloušťkou a složitým tvarem. Rovněž životnost válců je větší.
V každé dvojici válců se uskuteční dílčí ohyb průřezu. Postup tvarování jednoduchého otevřeného profilu je uveden na obr. 13.4. Základní zásadou při válcování za studena je, aby se průřez tvaroval spodním válcem ohýbáním okrajů pásu směrem do horního válce. Zásadu je možno dodržet u jednoduchých průřezů, u složitějších průřezů se ohýbá spodními válci alespoň střední část průřezu. Při zakružování dutých průřezů se používají i boční dvojice válců, takže průřez je tvarován po celém obvodu. Tvarování průřezu probíhá poměrně rychle. Rychlost závisí na materiálu pásku a složitosti tvaru. U velkých průřezů činí rychlost 10 až 30 m/min, u malých rozměrů 20 až 90 m/min. Při tváření se tvarovaný materiál značně zahřívá, a proto se průběžně chladí vodní emulzí. Nerovnoměrným ochlazováním mohou vzniknout dosti velká vnitřní pnutí ve výrobku.



Obr. 13.4 Postup tvarování otevřeného průřezu

Aby tvarování správně proběhlo, je třeba, aby pás přicházející do stroje byl rovný a vstupoval do stroje ve správné svislé a vodorovné poloze. Proto se před první pár profilovacích válců předřazují zaváděcí válečky. Za posledním párem válců je zařízení pro kalibraci a rovnání profilů, které má dá průřezu přesné rozměry a vyrovnat různé místní nerovnosti.
Opotřebené profilovací válečky se přebrušují, čímž se značně prodlužuje jejich životnost. Při výrobě běžných druhů ne příliš složitých průřezů lze počítat, že bez přebrušování je možno na válečcích vyrobit asi 1,5 miliónů metrů profilů z jedné sady válců.

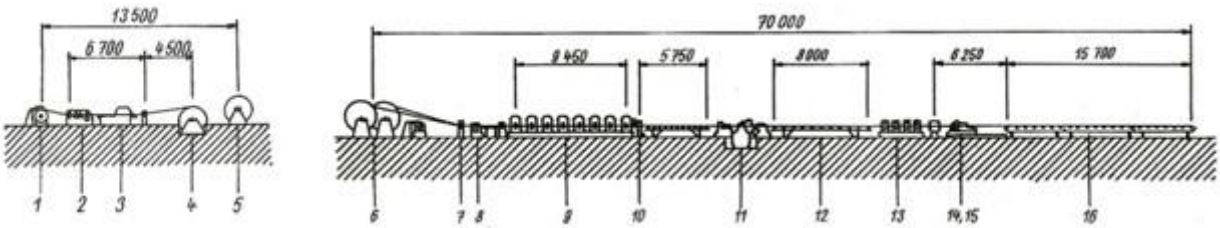
Operace po profilování
Navázané přímo na profilovací stroj

- rovnání - odstranění zakřivení a zvlnění vzniklých v průběhu zakružování
- rovnací zařízení
  - stolového typu s výměnnými čelistmi
  - s párem otočných válců, pro snížení tření jsou válce zhotoveny z jiného materiálu, než je vyráběný profil
- dělení na požadované délky, provádí se
  - letmými nůžkami
  - okružní nebo pásovou pilou

  - rozbrušovacími karborundovými kotouči
- úprava povrchu,
- perforování stěn profilů pro snížení váhy, případně jako otvory pro montáž
- ohýbání do oblouku

Profilovací stroj je jádrem linky na výrobu tenkostěnných průřezů, viz obr. 13.5. Na obr. 13.6 je schematicky znázorněna linka na výrobu dutých nebo otevřených průřezů. Pásek oceli se odvíjí ze svitku v 1, vyrovná ve válcích 2, prochází svařovacím strojem 3, kde se tupým svarem svaří konce pásky, navíjí se na buben 4 a uskladňuje v odstavném rámu 5, čímž končí příprava pásky. Vlastní profilovací linka začíná bubny 6, vchází do vstupních válců 7, prochází letmými nůžkami 8, do profilovacího stroje s osmi stojany 9, k pile 10, následuje svařovací stroj pro duté průřezy 11, ochlazovací úsek 12, tažné válce 13, kalibrace 14, letmá pila 15 a úložný prostor 16. Místo převíjení pásky na bubny je možno zřídit před profilovacím strojem hlubokou jámu se zásobní smyčkou pásky, která postačuje zásobit profilovací stroj po dobu navařování pásky dalšího svitku, takže výroba je nepřetržitá.

Obr. 13.5 Profilovací linka pro tvarování podélně svařované trubky



Obr. 13.6 Schéma celého technologického procesu profilování

❑ Základní zásady a postupy kalibrace

- Zvolit správné umístění profilu ve válcích - cele tvarování, nebo podstatná část základního tvaru musí být provedena ve spodním válci tlakem horního válce
  - vyrábí-li se profily z pásu, jehož jedna strana je leštěná, musí být tato plocha umístěna nahoře, aby bylo možno ji kontrolovat v průběhu tvarování, zda nedochází k poškrábání

- Navrhnout počet průchodů - jednoduché úhelníky a profily U s rovnými stěnami se dají zhotovit ve 3 až 4 párech válců
- Navrhnout správnou polohu osy profilu v profilovacím stroji – tj. střední osu válců, je to svislá osa procházející středem mezery mezi oběma stojany a má být totožná se středovou svislou osou profilu
- Navrhnout a propočítat tvar a průřezové plochy profilu v jednotlivých průchodech
  - vychází se z rozvinuté šířky profilu stanovené na neutrálním průřezovém vláknu. Výpočet rozvinuté šířky se musí provádět velmi přesně. Neutrální vlákno průřezu profilu v ohybech se posunuje ke středu křivosti. Obecně lze vyjádřit vztahem:

$$R = r + k \cdot t \qquad (13.1)$$

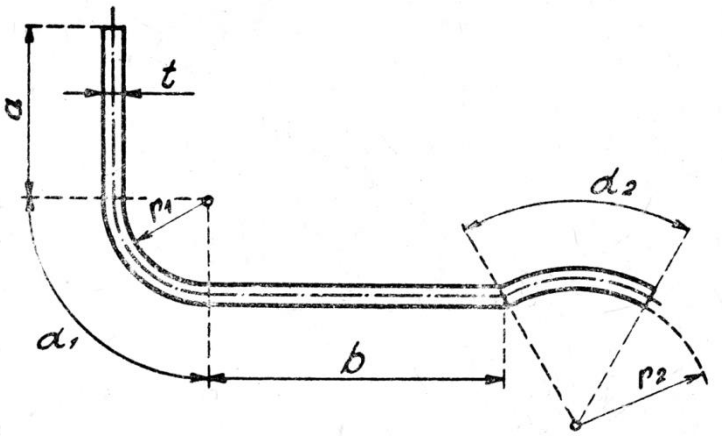
kde: R - poloměr křivosti neutrálního vlákna
r - vnitřní poloměr ohybu
t - tloušťka pásu
k - součinitel vyjadřující velikost posunutí neutrálního vlákna; $k \leq 0{,}5$

  - Pro pásy do tloušťky 1,5 mm můžeme podle vnitřního poloměru ohybu volit koeficient k následovně
    - pro $r > t$, $k = 0{,}50$
    - pro $r < t$, $k = 0{,}33$
  - Při vnitřním poloměru ohybu $r < 0{,}5$ mm se stanoví poloměr křivosti neutrálního pásma z rovnice $R = (0{,}2 \div 0{,}3) \cdot t$, menší hodnota platí pro profily větších tlouštěk a menší poloměr ohybu.
  - Pro tloušťky materiálu větší než 3 mm se volí koeficient k takto:
    - pro $r < 1{,}5 \cdot t$, $k = 0{,}33$
    - pro $r = (1{,}5 \div 5) \cdot t$, $k = 0{,}40$
    - pro $r > 5 \cdot t$, $k = 0{,}55$
- Poslední krok je provedení dílenských výkresů profilovacích válců
-

Řešené úlohy

Příklad výpočtu šířky profilu

Bez uvažováním posunutí neutrálního vlákna vypočtete vstupní šířku pásu pro zkružení profilu uvedeného na obr. 13.7.



Obr. 13.7 Příklad otevřeného profilu

Řešení

$$l = a + b + \pi\left(r_1 + {}^{t}/_{2}\right)\alpha_1 + \pi\left(r_2 + {}^{t}/_{2}\right)\alpha_{21}$$

13.3. Tažení profilů

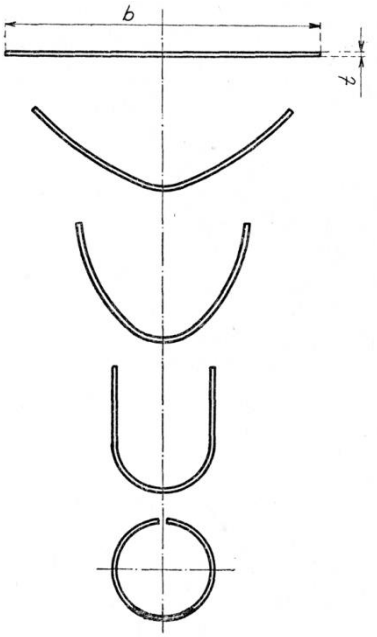
Tažením za studena se vyrábějí především uzavřené profily. Zařízením pro tažení dutých průřezů jsou tažné stolice. Jsou obvykle zařízeny na tažení jednoho průřezu, ale můžou být provedeny i tak, že lze táhnout dva průřezy současně. Tažná síla se pohybuje do 400 kN, délka 8 až 12 m, rychlost tažení bývá 12 až 18 m/min.

Jednotlivé fáze výroby uzavřeného profilu:

- výroba tenkostěnné svařované trubky profilováním
- příprava trubky pro tažení
- tažení v průvlacích za použití trnu

Výroba tenkostěnné svařované trubky profilováním:

- Pásová ocel se podélně ořeže na kruhových nůžkách, získá se tím
  - přesný rozměr pásu
  - kovově čisté hrany usnadňující provedení svaru
- Jednotlivé svitky se spojují příčným svárem
- Připravený pás prochází zakružovacím strojem, ve kterém získá tvar štěrbinové trubky
- Po zakružení následují další operace v nepřetržitém sledu:
  - Svaření trubky elektricky, nebo plamenem. Požadavek na co nejmenší převýšení svaru. Vnější se dá odstranit ohoblováním, vnitřní se odstraňuje velmi špatně.
  - Dělení na požadované výrobní délky. Provádí se mechanicky (okružní nebo pásovou pilou, rozbrušovacími kotouči, nebo přetržením po místním indukčním ohřevu)

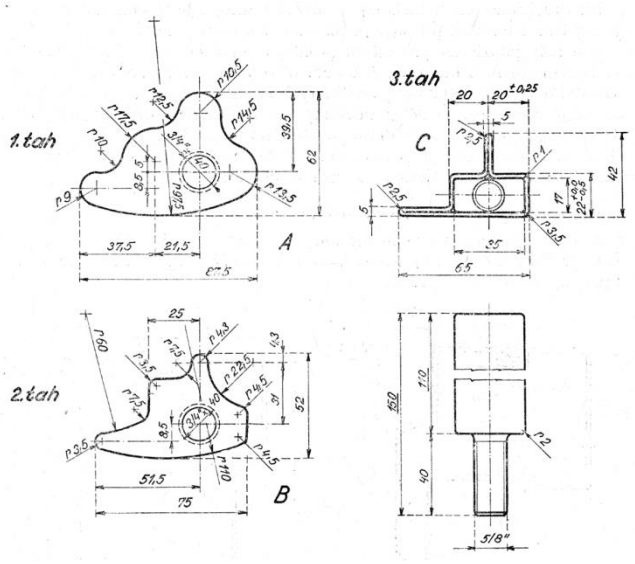


Obr. 13.8. Zakružování pásu do trubky

Výroba dutých průřezů tažením má dva velké, technologicky samostatné, postupy. Prvním postupem je výroba výchozího polotvaru - tenkostěnné svařované trubky, druhým postupem je vlastní výroba uzavřeného profilu taženého za studena. Svařované trubky se vyrábějí z ploché a pásové oceli dodávané ve svitcích. Pásek přichází nejdříve ke kruhovým nůžkám, které jej zaříznou na přesnou šířku s čistými hranami, které usnadňují dokonalé provedení svaru. Potom prochází pásek profilovacím zakružovacím strojem, kde po průchodu sadou válců dostane tvar rozříznuté trubky. Trubka se pak elektricky, odporově nebo vysokofrekvenčním proudem svaří. Vnější převýšení svaru se strhne ohoblováním, vnitřní převýšení se ponechává, protože jeho odstranění by bylo obtížné. Okružní pilou nebo rozbrušovacími kotouči se svařené trubky dělí na požadované délky.

Operace před vlastním tažením:

- Hrotování - vytvoření hrotu na konci trubky, sloužící k protažení průvlaku a uchycení do čelistí tažného vozíku. Do průměru 40 mm se provádí za studena, u trubek s větším průměrem pak za tepla. Délka trnu je cca 200-400 mm. Vystačí se s jedním hrotováním.
- Tepelné zpracování - normalizační žíhání k odstranění vnitřního pnutí a provedení strukturálních změn v trubce kolem svaru a hrotu.
- Moření - odstranění okují.
- Fosfátování - snížení tření v průvlaku během tažení, nebo mazání emulgačním tukem.



Obr. 13.9 Tažení uzavřeného profilu ve třech krocích

Postup tažení uzavřených profilů závisí na složitosti profilu:

- jednoduché, čtvercového nebo obdélníkového tvaru, se táhnou jedním průchodem
- složitější se táhnou postupně v několika průvlacích, nejvíce se používá čtyř tahů

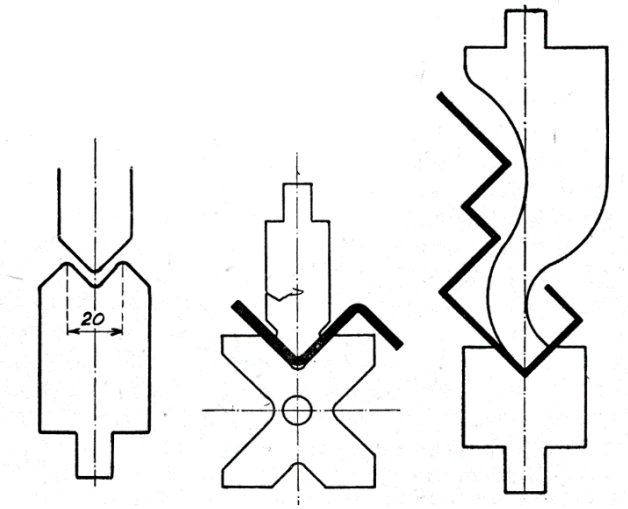
Z důvodu vyčerpání plasticity je nutno zařadit rekrystalizační žíhání. Tažením za studena se prodlužuje délka výchozí trubky, což se způsobeno hlavně tím, že obvod dutého vytaženého průřezu je menší než obvod výchozí trubky. V průběhu tažení se též poněkud mění tloušťka průřezu. Vnitřní průřez se vymezuje v každém tahu trnem. Hotové profily se dodávají v lesklém, tj. nežíhaném stavu, nebo žíhané k odstranění vnitřního pnutí, nebo normalizačně žíhané. Finální operací je odřezání hrotů a rozřezání na požadované délky

13.4. Lisování na ohraňovacích lisech

Ohraňovací lisy jsou vhodné pro výrobu jednoduchých i složitých tvarů průřezů, které se nevyrábějí ve velkém množství. Přechod z jednoho průřezu na druhý je u ohraňovacího lisu nepoměrně jednodušší než u profilovacího stroje. U profilovacího stroje se musí vyměnit všechny válce, což je časově velmi náročné a mohou se válcovat pouze průřezy, pro jejichž výrobu již válce byly zhotoveny. Návrh a výroba nových válců je finančně značně nákladná. U ohraňovacího lisu se pouze seřídí při změně průřezu zdvih lisu nebo se vymění lisovací nástroje (raznice, pravítka), což není časově náročné. Délka výsledného profilu je omezena šířkou lisu. Většina lisů má šířku 3 až 4,5 m, ale v některých závodech jsou i lisy se šířkou 6 až 9 m. Tloušťku plechu, který je možno na lisech ohýbat se pohybuje až do 20 mm.

Na lisech se ohýbají pásy uříznuté na požadovanou délku a rozvinutou šířku průřezu. Vylisované průřezy jsou rovné a není třeba je dodatečně rovnat. Rozměrová přesnost průřezů je menší než u průřezů válcovaných za studena na profilovacích strojích.

Lisovací nástroje jsou přizpůsobené tvaru požadovaného průřezu. Lisovací nástroje jsou dvoudílné. Spodní polovina - matrice - je pevná a upevněná v rámu lisu, horní polovina - razník - je pohyblivá a vyvozuje vlastní tlak. Tvarově jsou přizpůsobeny tvaru vyráběného profilu. Každým zdvihem se provede jeden ohyb průřezu. Jednoduchý úhelník se ohne jedním zdvihem (obr. 13.10 vlevo). Matrice bývají i otočené kolem vodorovné osy a mají různá vybrání na všech čtyřech stranách, takže je lze užít pro výrobu více různých průřezů. Složitější průřezy se ohýbají postupně, případně se překládají, otáčejí a používá se pro ně speciálních razníků (obr. 13.10 vpravo). Na ohraňovacím lisu je možno i ohnout stěny průřezu do oblouku. Okrouhlé části průřezu se lisují zakulacenými nástroji. Průřezy, které jsou značně uzavřené, nelze vylisovat najednou. Ohyb se provede několika zdvihy a pro každý zdvih se použije příslušného nástroje.



Obr. 13.10 Ohýbání na ohraňovacím lise (vlevo ohýbání úhelníku, vpravo ohýbání složitého průřezu)

Lisovací tlak záleží na tloušťce plechu, rozevření matrice a délce průřezu, Na 1 bm průřezu se podle tloušťky tlaky pohybují od 10 do 100 MPa. Ohraňovací lisy jsou hydraulické nebo mechanické. Hydraulické lisy mají dlouhou životnost, přesnější jsou však lisy mechanické. Lisy pracují s tlaky až 1000 MPa. Počet zdvihů ohraňovacího lisu závisí na jeho velikosti. Jsou lisy pracující až s 50 zdvihy za minutu, velké lisy však mají také jen 2 zdvihy za minutu.

13.5. Výroba trubek se spojem v šroubovici

- Charakteristickým znakem je, že celá technologie od přípravy materiálu až k hotové trubce je spojitá.
  - velké výkon, velké využití vsázkového materiálu
- Typickým znakem je svar ve tvaru šroubovice po obvodu trubky
- Výchozím materiálem je pásová ocel ve svitcích
- Ve srovnání s trubkami s podélným svárem je pro tentýž průměr trubky výchozí pás asi 1,5krát menší
- Na trubky do průměru 150 mm se používá pásová ocel válcovaná za studena, na větší průměry pak válcované za tepla.
- Technologický postup automatického svařování pod tavidlem je použitelný na trubky o průměrech od 20 mm do 1500 mm.
- Běžně se svařují pásy o tloušťce 1,5 až 10 mm, popř. 15mm.
- Z pásu stejné šíře lze svařovat trubky různého průměru

❑ Příprava pásu ke svařování

- Výchozí pásová ocel je dodávaná ve svitcích o velké váze, tak aby byla dostatečná zásoba pro kontinuální proces svařování
- Svitky se odvinují a jsou rovnány v 5 nebo 7 válečkových rovnačkách
- Poté jsou odstřiženy nerovné začátky a konce svitků (šavlovité konce, nevyhovující šířka)
- Svaření konců svitků, nejčastěji v podobě kolmého svaru
- Před zakružovacím zařízením je tvořená zásobní smyčka, aby proces svařování mohl běžet nezávisle na přípravě pásů

- Úprava okrajů pásu na přesnou požadovanou šířku pásu a jejich úprava ke svařování pomocí kotoučových nůžek nebo hoblujícími noži.
- U pásu tloušťky nad 8mm je nutný svarový úkos

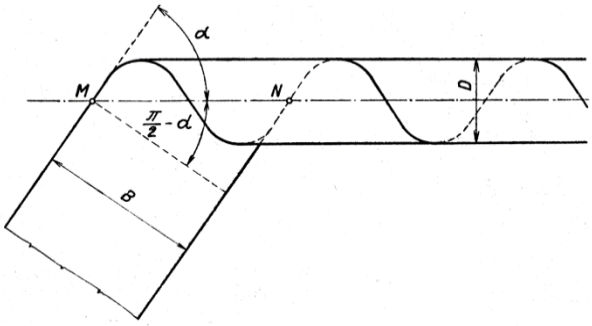
Zakružování pásu

- Zakružování je svinování pásu do tvaru trubky
- Pás je namáhán prostorovým ohybem a krutem v oblasti pružně-plastických deformací
- Jsou běžné dva základní způsoby zakružování
  - navíjením pásu na válcový trn, odpovídající vnitřnímu průměru trubky
  - v zakružovacích pouzdrech (v kalibru), odpovídajících vnějšímu průměru trubky
- Zakružovací zařízení se kombinuje se svařovacími hlavami, takže trubka se svařuje hned při zakružování

Princip zakružování

Parametry popisující celý proces jsou následující:

- vnější průměr zakružované trubky D
- šířka pásu B
- úhel stoupání α
- stoupání šroubovice $MN = \frac{B}{\sin\alpha}$
- průměr trubky a šířka výchozího pásu jsou vázány rovnici $\cos\alpha = \frac{B}{\pi D}$
- při zachování stejného úhlu stoupání je třeba pro trubku většíhoprůměru použít širších pásu



Obr. 13.11 Princip výroby svinutých trubek

Pro určení šířky pásu lze použít vztahu

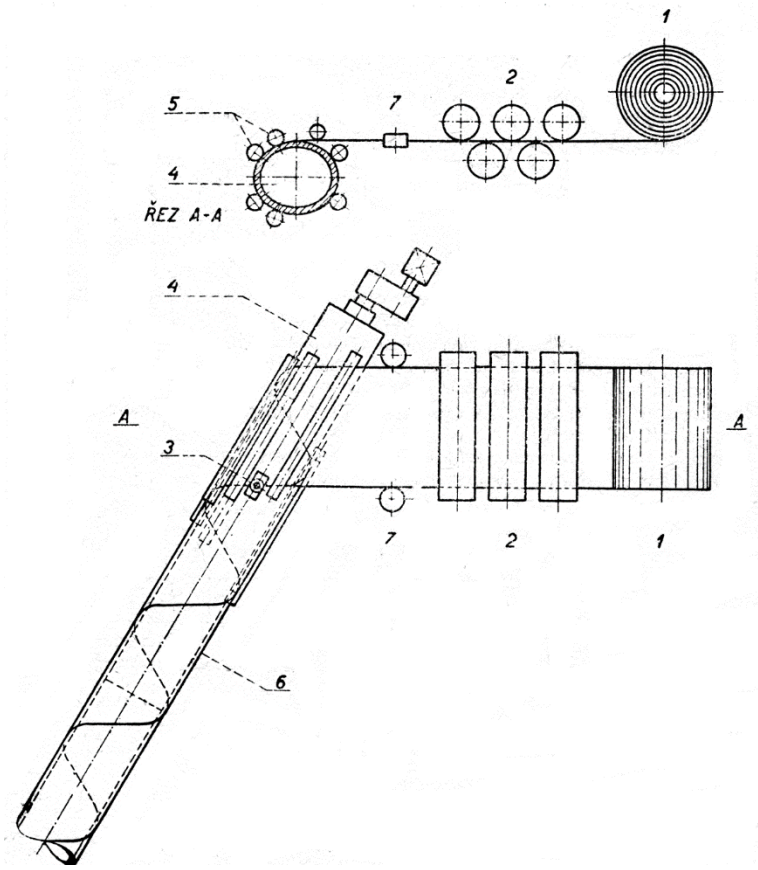
$$B = \pi(D - t)\cos\alpha + kt \qquad (13.2)$$

Kde:

- k vyjadřuje vliv roztavených okrajů a pohybuje se okolo 1,5
- t je tloušťka pásu

Zakružování navíjením na trn

Technologie probíhá podle obr. 13.12.
• pás se odvíjí ze svitku (1) a prochází rovnačkou (2)
• při vstupu je usměrněn vodícími válečky (7)
• navíjí se na otáčející se trn (4) pod příslušným úhlem α
• za přispění přitlačovacích válečků (5)
• v místě 3 je umístěná svařovací hlava
• tento způsob umožňuje svařovat jen z vnější strany

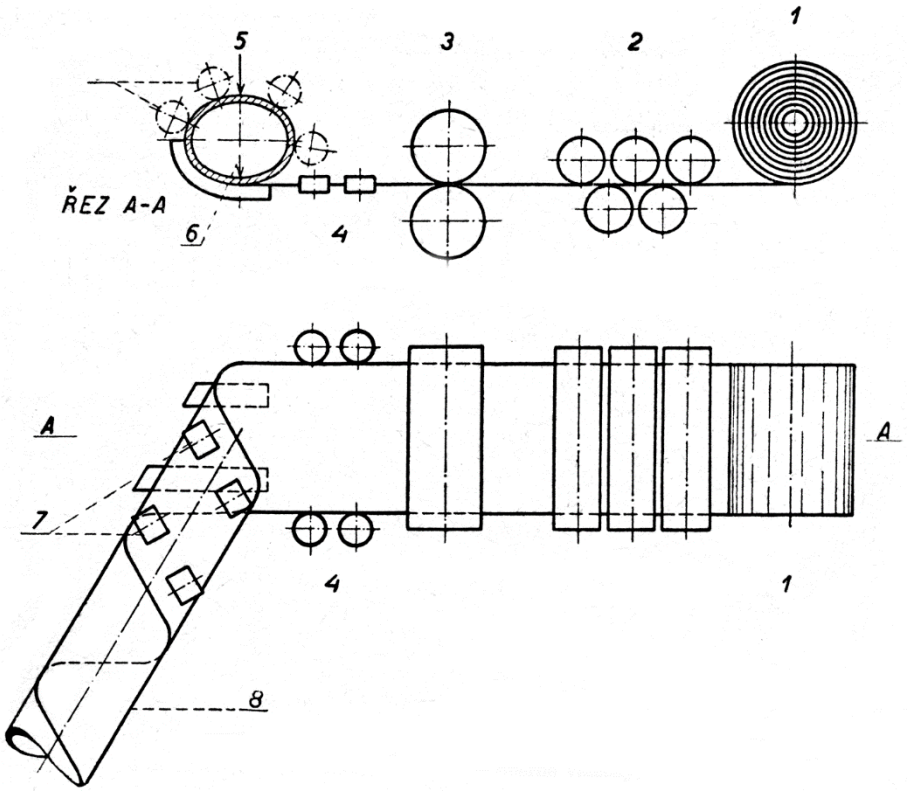


Obr. 13.12 Způsob výroby trubky zakružování na trn.

❑ Zakružování ve válečkovém kalibru

Technologie je naznačena na obr. 13.13.

- pás se odvíjí ze svitku (1) a prochází rovnačkou (2)
- do kalibrů se zasouvá pás pod tlakem tlačných válců (3)
- před vstupem do kalibru je pá sveden dvěma páry svislých válců (4)
- vlastní zakružování probíhá mezi unášenými válečky (7)
- mezi nimiž jsou vnější a vnitřní svařovací hlavy (5) a (6)
- tento způsob umožňuje svařovat jen z vnější strany



Obr. 13.13 Způsob výroby trubky zakružování ve válečkovém kalibru

Shrnutí pojmů kapitoly (podkapitoly)

Důležitými pojmy, mezi kterými byste měli umět rozlišovat je **otevřený profil, uzavřený profil, technologie profilování, tažení profilu, lisování profilu na ohraňovacích lisech, výroba svařované trubky se šroubovicí.**

Otázky k probranému učivu

13.1. Jaké existují typy vstupních polotovarů pro výrobu tenkostěnných profilů?

13.2. Vyjmenujte materiály, z nichž se vyrábějí tenkostěnné profily.

13.3. Jaké jsou přípravné operace v technologii profilování?

13.4. Popište jednotlivé technologické kroky při postupu materiálu profilovou linkou.

13.5. Napište obecný vzorec pro výpočet křivosti neutrálního pásma.

13.6. Jaké můžou být hodnoty koeficientu posunutí neutrálního vlákna při profilování pásu do tloušťky 1,5mm?

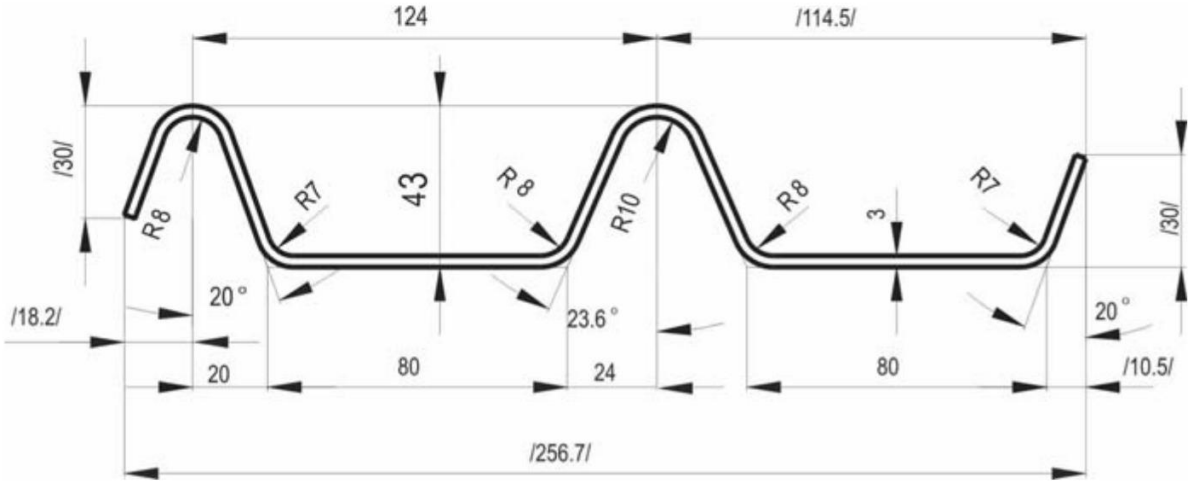
13.7. Vyjmenujte jednotlivé technologické operace při výrobě profilů tažením.

13.8. Jaká je rozměrová přesnost průřezů u technologie lisování na ohraňovacích lisech.

13.9. Odvoďte vztah definující závislost mezi průměrem trubky se šroubovicí a šířkou výchozího pásu.

Úlohy k řešení

Podle výkresu na obr. 13.14 vypočtěte délku neutrální roviny profilu pažnice.



Obr. 13.14 Výkres profilu pažnice

14. Metody výroby trubek

Čas ke studiu: 5 hodin

Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

Rozdělit základní druhy trubek, popsat výrobu bezešvých a svařovaných trubek. Specifikovat základní technologie děrování a prodlužování bezešvých trubek. Získá přehled o výrobních podnicích v našem regionu, které se zabývají výrobou bezešvých trub.

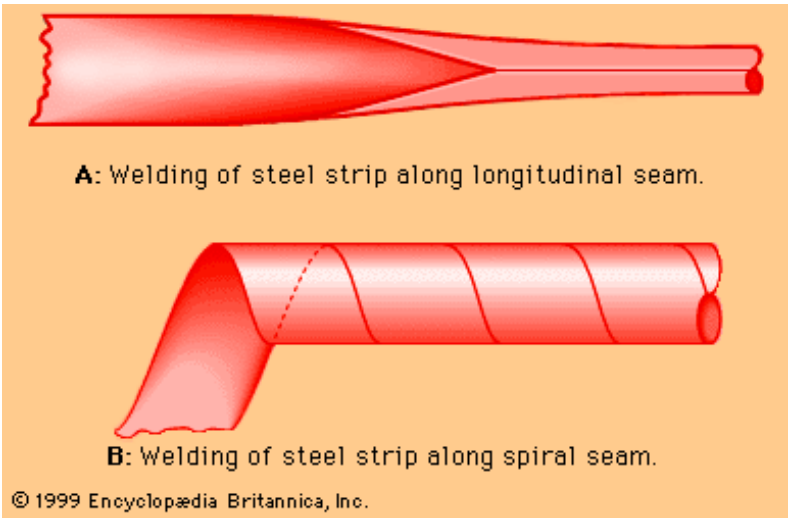
Výklad

14.1. Druhy trubek

Podle základních způsobů výroby ocelových trubek rozeznáváme:

a) **Bezešvé (**zhotovené z plného materiálu nebo též z dutého polotovaru, které mají stěnu celistvou). Podle výrobní technologie můžou být:
- válcované za tepla i za studena
- průtlačné lisované
- rozšiřované
- redukované
- tažené

b) **Svařované (**zhotovené svinutím ocelového pásu do tvaru trubky a jeho svařením, nebo zakružením tabule plechu a svařením. Svar probíhá po délce trubky rovnoběžně s osou, nebo ve šroubovici s velkým stoupáním – obr. 14.1**)**



Obr. 14.1 Svařované trubky – A svar rovnoběžný s osou, B svar ve šroubovici

14.2. Výroba bezešvých trubek

Výchozí materiál:

- kruhové sochory – PLP nebo válcované
- kruhové ingoty (i předvrtané) – trubky větších průměrů,
- duté polotovary vyráběné odstředivým litím
- polotovary vyrobené práškovou metalurgií

Ohřev:

K ohřevu materiálu se hlavně používají pece s otočnou nístěji tzv. karuselové (obr. 14.2). Při ohřevu vsázkového materiálu je důležité rovnoměrné prohřátí kovu.

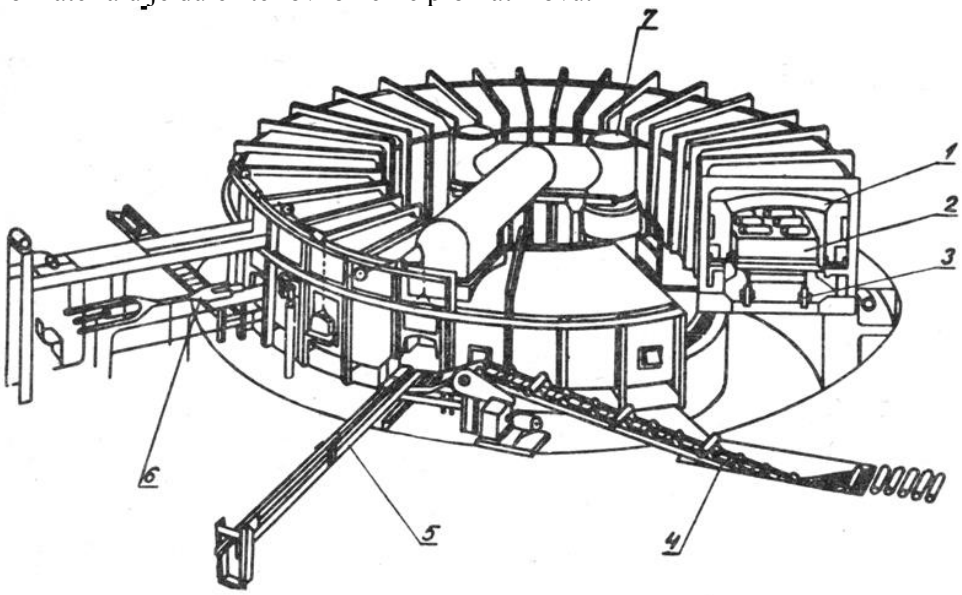


Schéma karuselové pece (pec s otočnou nístějí)
(1) klenba pece, (2) nístěj pece, (3) pojízdná kola nístěje,
(4) dopravník k sázecímu zařízení, (5) sázecí zařízení,
(6) vytahovací kleště, (7) rekuperátor

Obr. 14.2 Schéma karuselové pece

Základní výrobní postup

U většiny způsobů výroby bezešvých trubek se technologický postup skládá ze dvou oddělených, ale na sebe přímo navazujících hlavních výrobních fází:

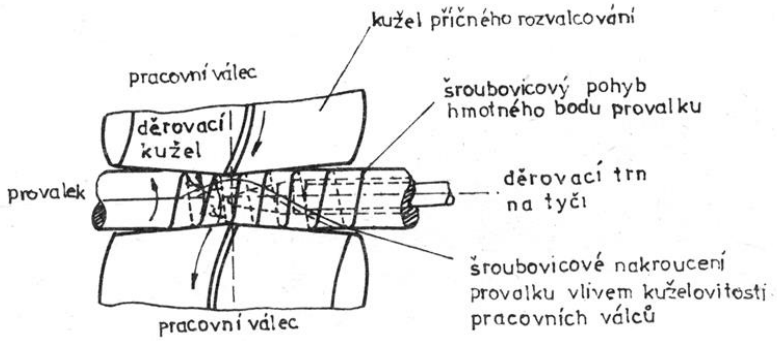
a) Výroba dutých tlustostěnných polotovarů
Duté polotovary se vyrábějí buď kosým válcováním na dvouválcových nebo tříválcových stolicích, nebo lisováním, anebo děrováním tlačným válcováním.

b) Další zpracování dutých polotovarů na trubky:
podélným periodickým válcováním, nebo podélným válcováním či protlačováním, anebo příčným kosým válcováním, popř. výtlačným lisováním.

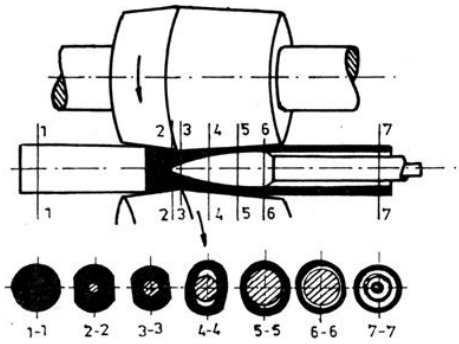
Vzhledem k mechanickým a plastickým vlastnostem ocelí se všechny výrobní postupy uskutečňují za tepla.

Děrování

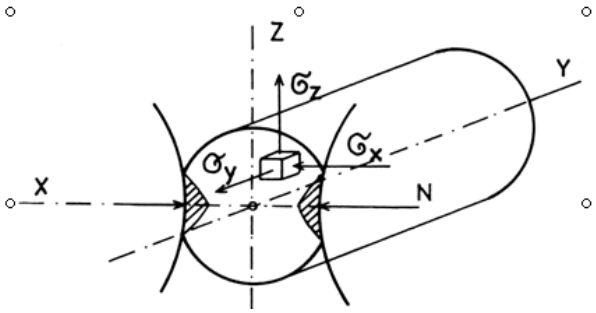
Klasickým technologickým postupem, při němž se z plného vsázkového materiálu vyrobí dutý polotovar pro další zpracování na hotovou trubku, je kosé válcování. Je základem Mannesmannova a Stiefelova výrobního postupu a používá se jako první technologická operace i u dalších způsobů výroby bezešvých trubek. Schéma děrování kosým válcováním je na obr. 14. 3 – 14. 6.
Další způsoby děrování je děrování na lisu obr. 14. 7.



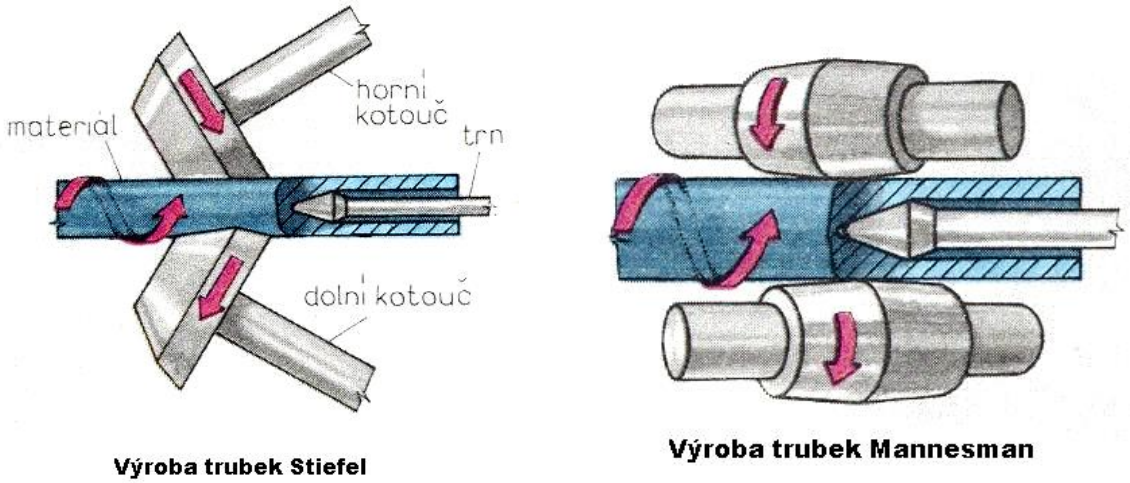
Obr. 14. 3 Schéma děrování kosým válcováním



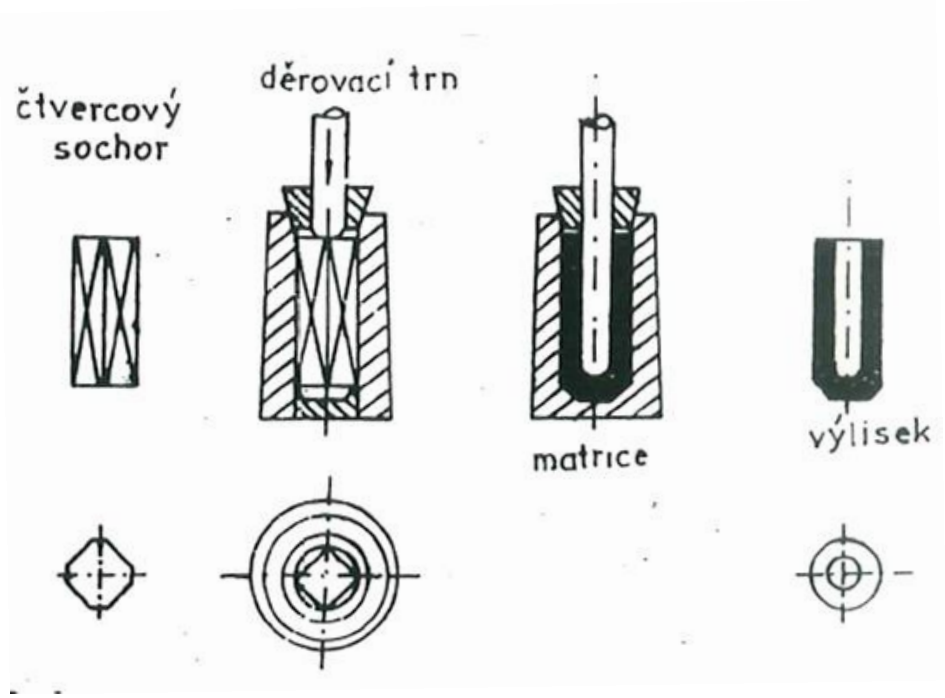
Obr. 14. 4 Schéma děrování kosým válcováním



Obr. 14. 5 Nerovnoměrný pronik deformace, vznik tahových napětí v ose



Obr. 14. 6 Různé způsoby děrování kosým válcováním



Obr. 14. 7 Děrování na lisu

Prodlužování

Děrovaný tlustostěnný polotovar (obr. 14. 8) je nutno podrobit prodlužování, ta se mohou uskutečňovat:

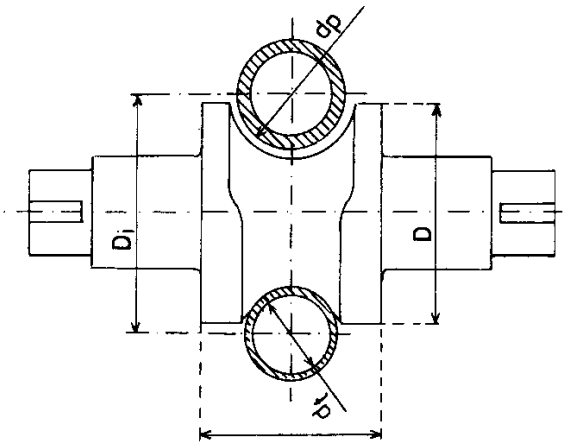
- na spojitých tratích,
- na tratích s poutnickými stolicemi – způsob Mannesmannův,
- na tratích s automatikem – způsob Stiefelův,
- na tratích s tříválcovými rozválcovacími stolicemi – způsob Asselův,
- na tratích s rozválcovacími stolicemi s mimoběžnými válci a podélnými poháněnými kotouči – způsob Diescherův.

Obr. 14. 8 Děrovaný tlustostěnný polotovar

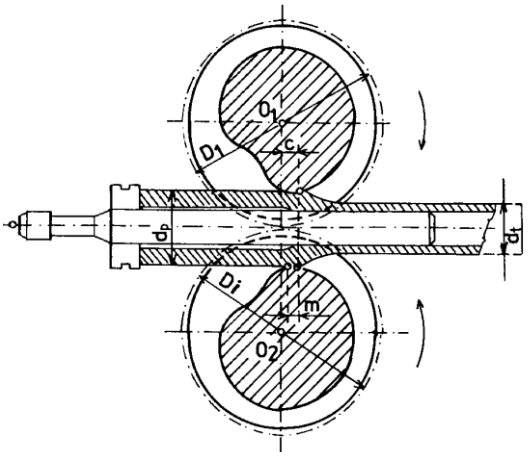
Válcování na poutnické stolici

Poutnické válcování je periodické podélné válcování na válcovitém trnu, jehož průměr odpovídá vnitřnímu průměru válcované trubky (obr. 14. 9 – 14. 11).
Tvářecí proces se realizuje odvalováním kalibru válců po dutém předvalku, navlečeném na válcovitém trnu, a uchyceném v podávacím zařízení poutnické stolice. Odvalování je výsledkem otáčivého pohybu válců a zpětného posuvného pohybu trnu s navlečeným dutým předvalkem. Charakteristickým znakem poutnického válcování je velké prodloužení výválku. Používá se pro trubky s velkou tloušťkou stěny a hůře tvárných materiálů. Nevýhody válcování na poutnické stolici:

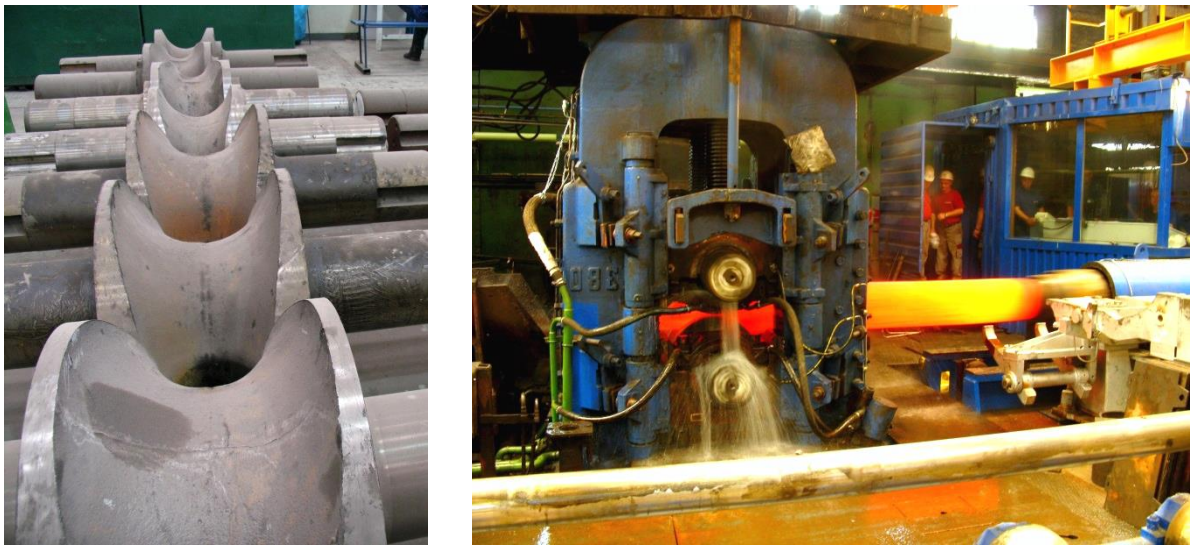
- nedoválcovaný konec, zvlněný povrch
- pomalé válcování (hrozí chladnutí materiálu)
- větší podíl tahových napětí
- není dokonalý povrch.



Obr. 14. 9 Tvar poutnického válce



Obr. 14. 10 Schéma poutnické válcování

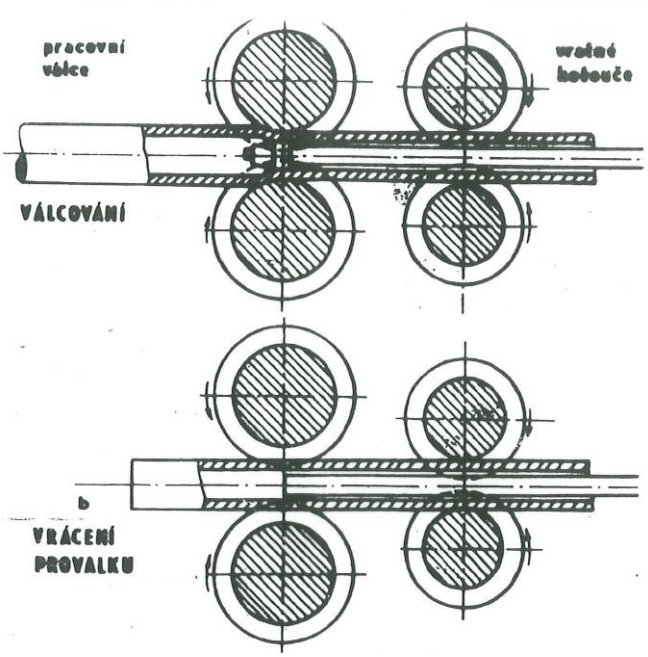


Obr. 14. 11 Poutnická stolice – válce a proces prodlužování

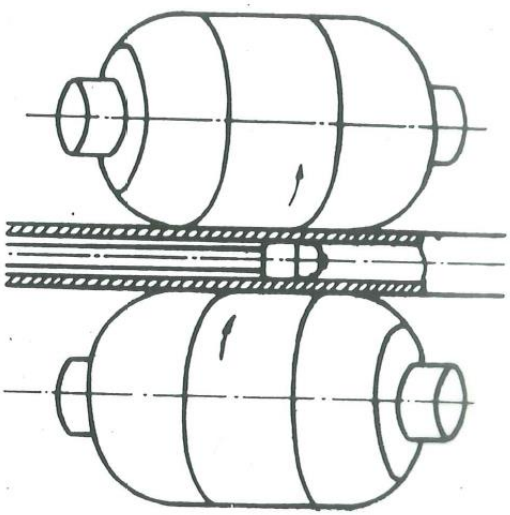
Válcování na automatiku

Jde o velmi rozšířený způsob výroby bezešvých trubek, známý v technické praxi jako způsob Stiefelův. Válcovací trať má děrovací stolici pro kosé válcování, stolici automatik pro podélné válcování, hladicí stroj a kalibrovací stroj. Celý výrobní proces probíhá v těchto zařízeních spojitě. Válcování na automatiku je podélné válcování v kruhovitém kalibru na kuželovitém trnu.

Při válcování na automatiku se trubka válcuje v jednom kalibru válců na dva, popř. i na tři průchody. Před každým průchodem se provalek pootočí kolem své podélné osy o 90 °C a nasadí se nový, chladný trn o průměru o 1 až 2 mm větším, než byl průměr trnu předcházejícího průchodu (obr. 14. 12). Protože průměr kalibru zůstává stejný, upravuje se požadovaná tloušťka stěny trubky tím, že se trnem zvětšuje její vnitřní průměr.
Podélným válcováním na automatiku se trubka prodlouží, jak se zmenší výchozí průměr a tloušťka stěny dutého předvalku. Ale protože trn automatiku je nasazen do opěrné tyče, upevněné v rámu stolice, je délka vyválcované trubky omezena možnou délkou této tyče. Proto se na tratích s automatikám válcují trubky jen do největší délky 15 m.
Další operací je hlazení na hladicím stroji (obr. 14. 13). Zde se kromě vyrovnání tloušťky stěny vyhladí rysky, vzniklé podélným válcováním, na trnu automatiku a zbytky šroubovitých vyvýšenin po děrování, které se zcela na automatiku nevyhladily. Závěrečnou výrobní operací je kalibrování trubky.



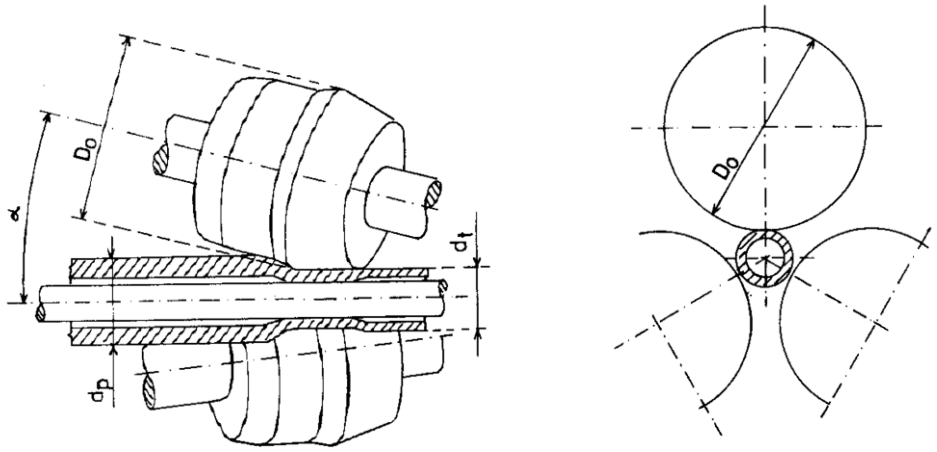
Obr. 14. 12 Schéma válcování na automatiku



Obr. 14. 13 Hladicí válce tratí s automatikem

Válcování trubek na tříválcové stolici

Tlustostěnné trubky s tloušťkou stěny větší než 5 mm se s výhodou vyrábějí na tratích s tříválcovou děrovací stolicí a s tříválcovou rozválcovaní stolicí, na které se vyválcuje hotová trubka. Válcování bezešvých trubek na třívalcových stolicích je v technologické praxi známo jako Asselův způsob. Takto vyráběné trubky se vyznačují značnou rozměrovou přesností a dobrou excetricitou.
Jde o příčné rozválcování dutého předvalku na válcovitém trnu mezi třemi válci s mimoběžnými osami (obr. 14. 14).



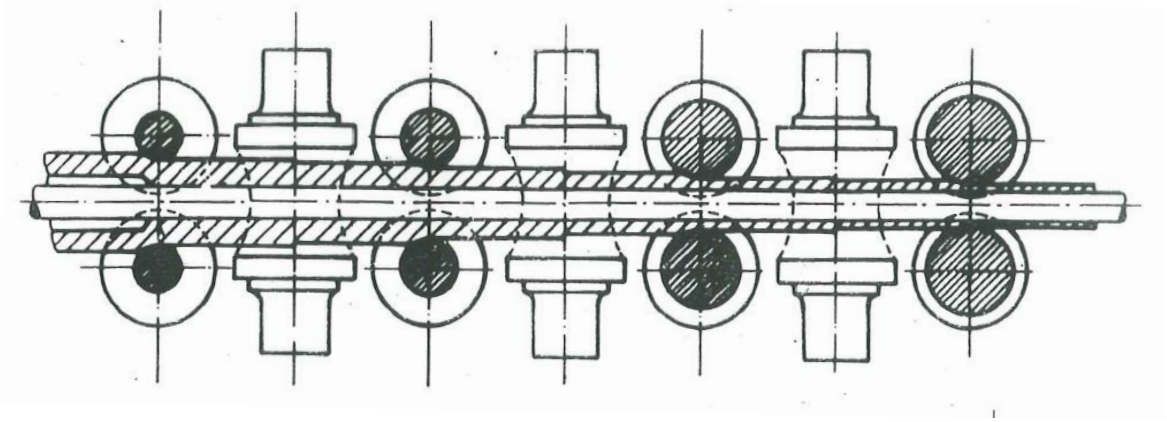
Obr. 14. 14 Schéma příčného válcování na tříválcové stolici

Spojité válcování trubek

Hlavní znaky a přednosti spojitého válcování bezešvých trubek jsou.

- velké rychlosti válcování
- poměrně jednoduchý výrobní postup
- technicky dobře vybavené spojité tratě umožňují válcovat trubky s malými tloušťkami stěn (až do 2 mm)
- jakost vyrobených trubek (povrch a rozměrové tolerance) je lepší než u trubek vyráběných na tratích s poutnickými stolicemi či s automatikem.

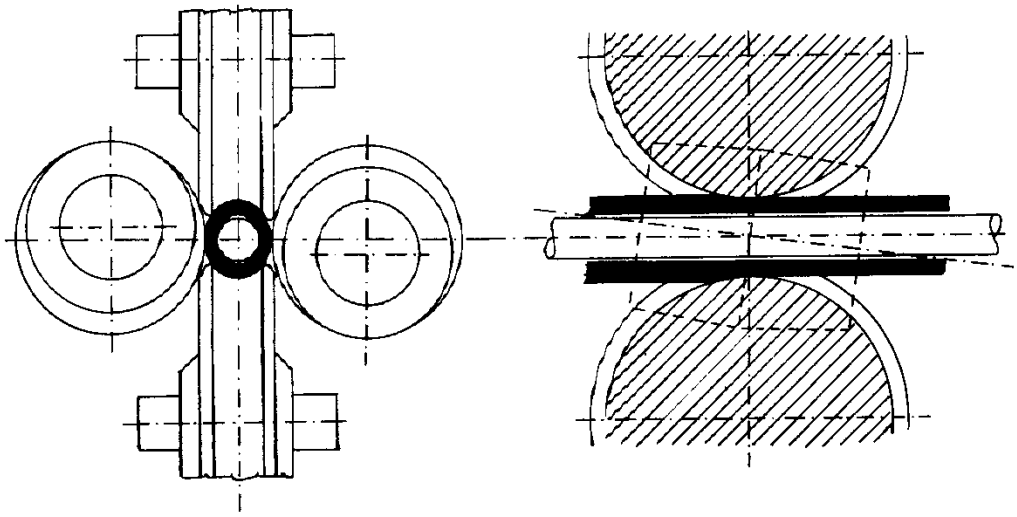
Nevýhodou je, že se musí udržovat velká zásoba poměrně drahých nástrojů, trnů a válců a možnost válcovat jen trubky menších průměrů (do 152 mm). Délka trnu omezuje možnou délku válcované trubky. Ale i tak lze válcovat trubky až do 30 m. Schéma spojitého válcování je na obr. 14. 15.



Obr. 14. 15 Spojité válcování v kruhových kalibrech (H – V) na trnové tyči

Válcování trubek na stolicích s příčnými otáčejícími se kotouči

Tento způsob válcování bezešvých trubek, tzv. Diescherův způsob, je založen na principu kosého válcování. Používá se především pro výrobu trubek malých a středních průměrů, od 50 do 150 mm, s nejmenšími tloušťkami stěn 3 až 2,5 mm, ze sochorů kruhového průřezu. Na dokončovací trati s příčnými otáčejícími se kotouči se trubky válcují na dlouhém válcovitém trnu, jehož délka omezuje délku vyválcovaných trubek na 10 až 15 m (obr. 14. 16). Trubky se vyznačují rovnoměrnou tloušťkou stěny v příčném průřezu i po délce a dobrou jakostí povrchu.



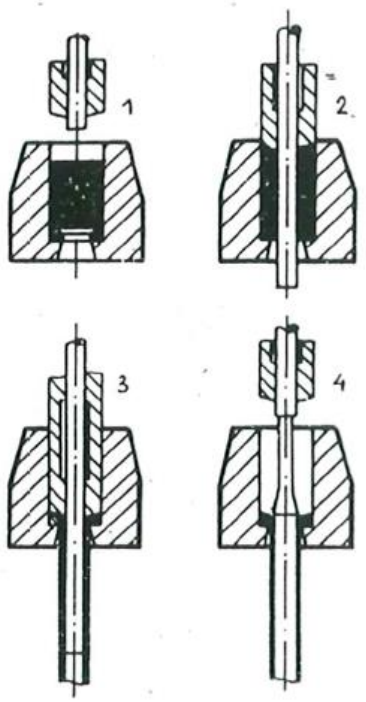
Obr. 14. 16 Válcování na stolicích s příčnými otáčejícími se kotouči

Výroba trubek na tratích s protlačovacími stolicemi

Výrobní postup se uskutečňuje protlačováním výchozího dutého výlisku se dnem, nasazeném na dlouhém válcovitém trnu, řadou za sebou umístěných kruhových kalibrů.

Výroba trubek výtlačným lisováním

Výtlačným lisováním lze vyrábět ocelové bezešvé trubky požadovaných rozměrů jedinou technologickou operací (obr. 14. 17). Výrobním agregátem jsou mechanické vertikální nebo hydraulické horizontální lisy.

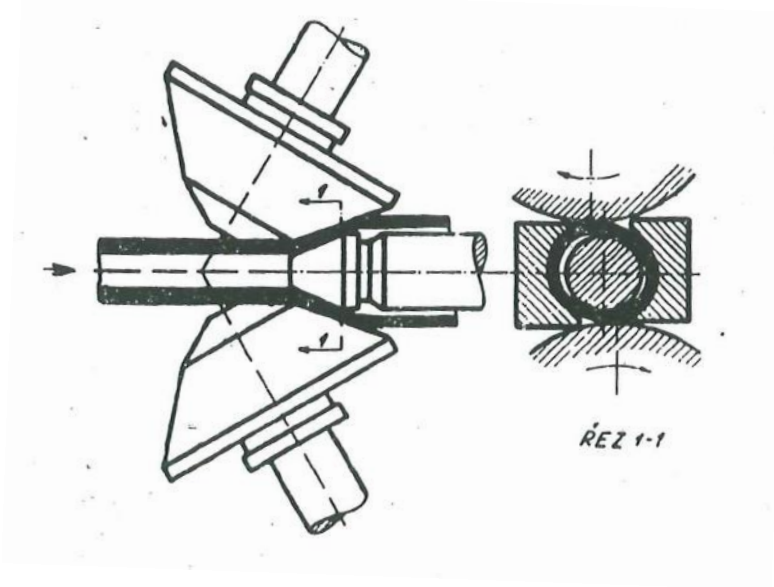


1 – začátek,
2 – děrování,
3 – protlačování,
4 – konec

Obr. 14. 17 Výroba trubek výtlačným lisováním

Rozšiřování trubek válcováním za tepla

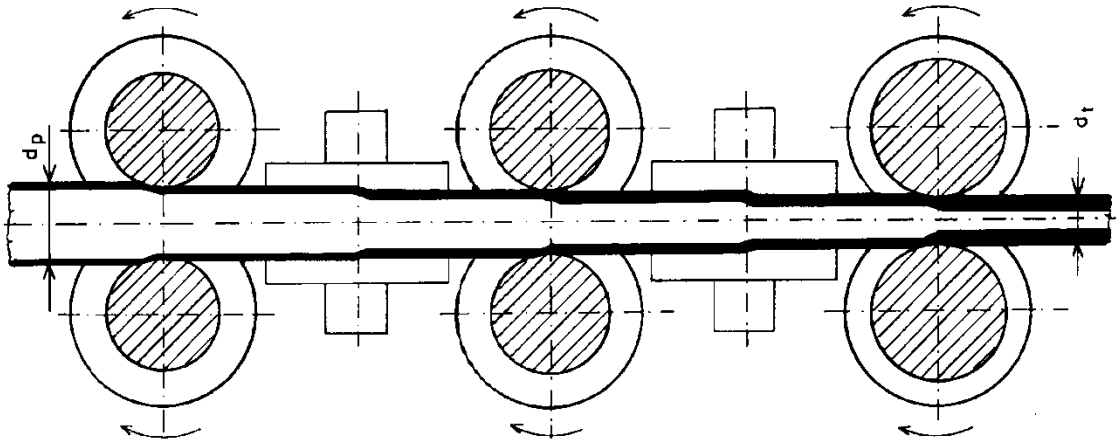
Rozšiřováním bezešvých trubek příčným válcováním se posouvá rozměrový rozsah těchto trubek na průměry, které se používanými válcovacími postupy již nevyrábějí, tj. obvykle na průměry od 500 do 600 mm, popř. i 700 mm. Princip rozšiřování trubek příčným válcování je na obr. 14. 18. Osy kuželovitých letmých válců svírají ve vodorovné rovině s osou válcování úhel přibližně 60 °. Mezi válce je zasunut kuželovitý trn, nasazený na opěrné trnové tyči.



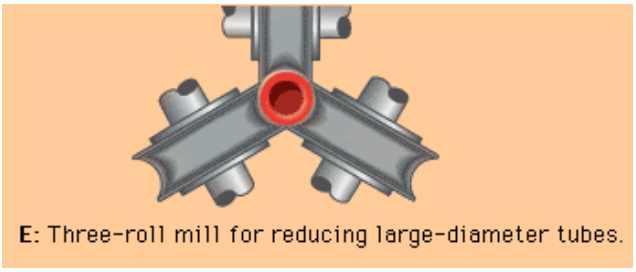
Obr. 14. 18 Princip rozšiřování trubek příčným válcováním

Redukování trubek válcováním za tepla

Je to proces podélného spojitého válcování v kruhových kalibrech, kdy vnitřní obrys trubky není vymezen žádným nástrojem (obr. 14. 19, 14. 20). Zmenšuje se vnější průměr trubky a to ovlivňuje změnu tloušťky její stěny. Kalibry jsou tvořeny dvěma nebo třemi, popř. i čtyřmi válečky.



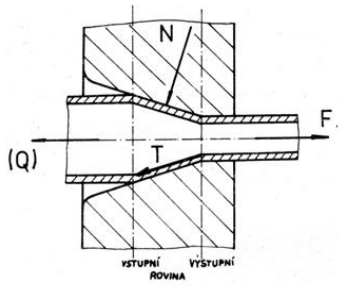
Obr. 14. 19 Schéma redukování trubek válcováním



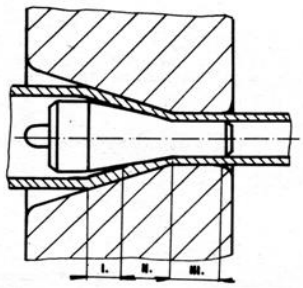
Obr. 14. 20 Válečková redukovna

Výroba trubek tažením za studena

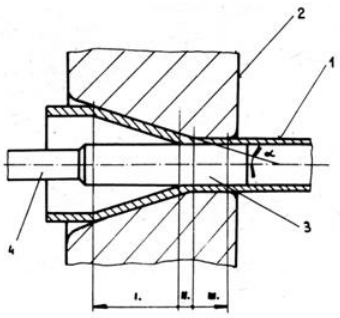
Základní způsoby tažení trubek za studena jsou průvlečné tažení na uchyceném nebo volném trnu a tažení na tyči (obr. 14. 21).



bez trnu (tloušťka stěny se může zmenšovat nebo zvětšovat)



na plovoucím trnu

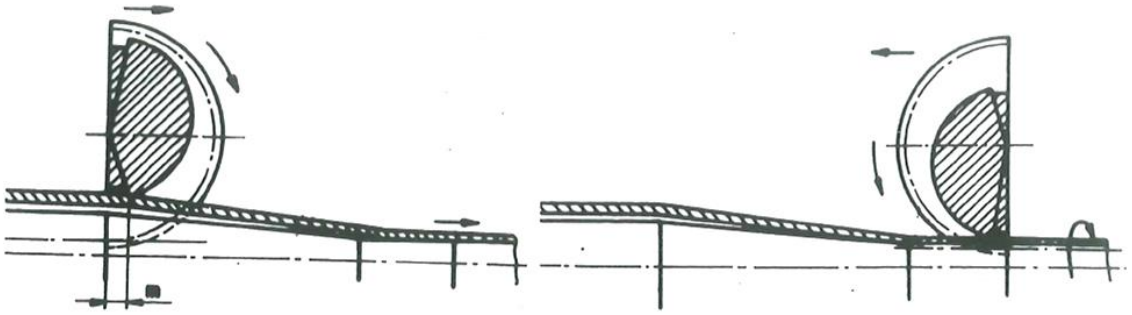


na trnu (uchyceném na konci tažné tyče)

Obr. 14. 21 Schémata tažení trubek

Válcování trubek za studena

Válcování za studena je technicky i ekonomicky výhodný způsob výroby přesných bezešvých trubek malých i velkých průměrů z uhlíkových i slitinových ocelí. Nejmenší průměr takto vyráběných trubek je 10 mm největší až 400 mm. Jakostí povrchu se takto vyráběné trubky řadí k trubkám přesným. Výchozím polotovarem jsou trubky vyrobené některou technologií tváření za tepla. Mnohdy se válcování za studena kombinuje s tažením za studena.
Válcování trubek za studena je podélné periodické válcování, uskutečňované odvalováním. Je to poutnické válcování na kuželovitém trnu dvěma válci, které mají kruhovitý kalibr jen na části obvodu (obr. 14. 22).

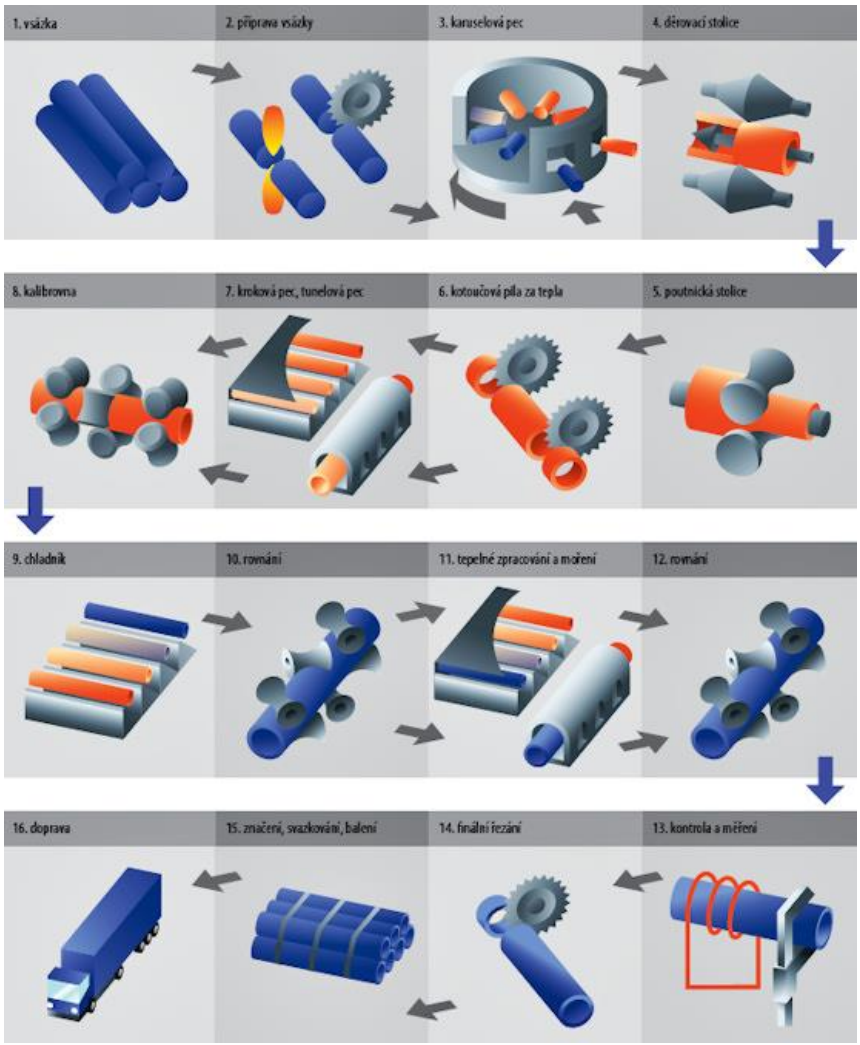


Obr. 14. 22 Kalibr válců pro válcování trubek za studena

❑ Třinecké železárny, a.s. - Válcovna Trub

Původní výrobní závod vznikl v rámci bývalých Vítkovických železáren, kde byla první trubka vyrobena v prosinci 1883 jako trubka na tupo v plynové peci svařená – šlo o první trubku vyrobenou v tehdejší Rakousko-Uherské monarchii. Bezešvé trubky se vyráběly Erhardtovým způsobem od roku 1896, v roce 1908 byl zahájen provoz Stiefelovy tratě za osobní účasti vynálezce tohoto způsobu výroby. V letech 1918 až 1919 byla postavena trať Velký Mannesmann s úpravnou a soustružnou závitů na olejářské trubky. Do provozu byla tato trať uvedena 4. září 1919. V letech 1926 až 1927 byla postavena a uvedena do provozu trať Malý Mannesmann. Válcovací tratě Velký a Malý Mannesmann přetrvaly ve výrobě dodnes. V letech 1947 – 1971 patřila k závodu i Mannesmannovská trať v tažírně trub Svinov. V roce 1962 bylo také zahájeno nedestruktivní zkoušení trubek. Provoz tažírny za studena byl ukončen společně se zastavením tratě Stiefel v roce 1997. Od roku 1999 se stala firma samostatnou akciovou společností vyčleněnou z koncernu Vítkovic. Jediným akcionářem byla do září 2005 firma ASTONIA, a.s. ze skupiny SHIRAN GROUP, současným vlastníkem je firma TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY, a.s. ze skupiny MORAVIA STEEL a.s.

Výrobní schéma válcovny je uvedeno na obr. 14. 23. Na 14. 24 až 14. 29. jsou zachyceny jednotlivé klíčové technologické uzly tratě Velký Mannesmann.



Obr. 14. 23 Výrobní schéma válcovny trub

Obr. 14. 24 Karuselová pec-sázení polotovarů do pece

Obr. 14. 25 Doprava polotovaru k děrovací stolici

Obr. 14. 26 Děrovací stolice – pohled zepředu

Obr. 14. 27 Děrovací stolice – pohled zezadu

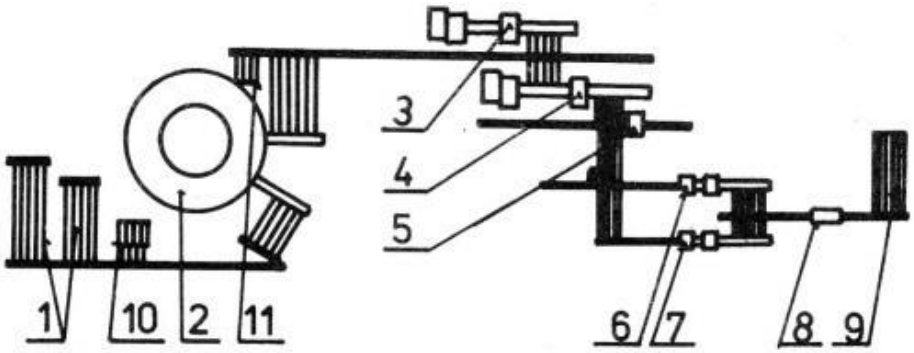
Obr. 14. 28 Přeprava tlustostěnné trubky k poutnické stolici

Obr. 14. 29 Poutnická stolice

ArcelorMittal Tubular Products Ostrava, a.s.

Je největším výrobcem trubek v České republice. Nosným výrobním programem závodu jsou bezešvé trubky válcované na dvou tratích Stiefel v provedení trubek hladkých, závitových, přírubových a olejářských. Trubky na tratích St 4-10" a St 140 jsou vyráběny pouze z plynule odlévaných předlitků. Nejnáročnějším výrobkem jsou bezešvé trubky olejářské - pažnicové, čerpací, vrtné a naftovodné. Od roku 1957 je závod oprávněn označovat olejářské trubky monogramem Amerického Petrolejářského Institutu – API. Kromě běžných API závitů dodává závod i pažnicové a čerpací trubky s plynotěsným závitovým spojem.

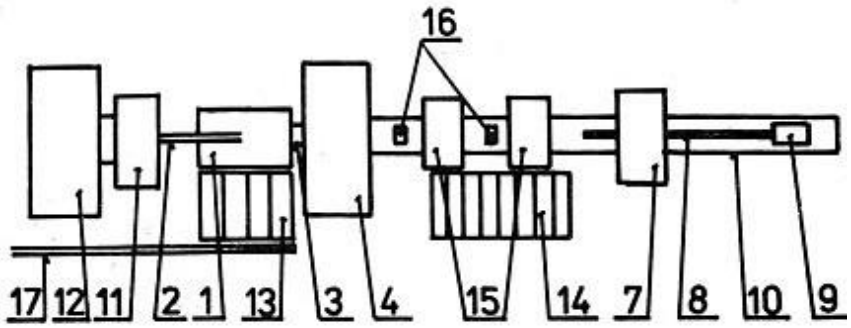
Výroba bezešvých trubek na trati Stiefel 4-10“
Jedná se trať s automatikem, její schéma je uvedeno na obr. 14. 30 kde 1- sázecí rošty, 2- karuselová pec, 3- děrovací stroj č.1, 4- děrovací stroj č.2, 5- automatik, 6, 7- hladící stroje č.1, č.2, 8- kalibrovací stroj, 9- chladníky, 10- odkládací kapsa vadných sochorů, 11- odkládací kapsa zchladlých sochorů



Obr. 14. 30 Schéma válcovací tratě

Ohřev materiálu pro výrobu trub se provádí v karuselové peci s prstencovou nístějí, na kterou se kladou sochory. Sochory mají průměr 160 a 210 mm. Nístěj je otočná, proti pevným stěnám je utěsněna vodním žlabem. Pomocí elektromotorů se nístěj pohybuje po válečcích, přičemž její pohyb je buď nepřetržitý, nebo přetržitý, tzv. krokový, s jednotlivými posuny o 1 až 3°. Nístějí lze otáčet i zpět. Ohřívací prostor pece je rozdělen na 4 zóny (předehřívací, ohřívací, vyrovnávací). Teplota v předehřívací netopné zóně činí 1 050 – 1 100 °C.

Děrovací stroj č. 1
Děrovací stroj č. 1 tvoří při výrobě bezešvých trubek na válcovací trati St. 4-10“ první a základní tvářecí agregát. Jedná se o stolici se šikmo uloženými válci v horizontální rovině a pevnými vodítky v rovině vertikální. Děrovací válce mají tvar soudečkový, vlivem šikmého uložení ve stolici jsou jejich osy mimoběžné. Trny se používají špičaté bez prostřiku chladící vody, nebo dvoustupňové. Schéma je uvedeno na obr. 14. 31, kde: 1 – vběžný žlab, 2 – vsouvač, 3 – vběžná roura, 4 –vlastní děrovací stroj, 7 – kozlík, 8 – děrovací tyč, 9 – vozík, 10 – lože, 11 – převodová skříň, 12 – elektrický motor, 13 – rošt, 14 – rošt, 15 – středící jednotky, 16 – vytahovací válečky, 17 – válečková dráha.
Ohřátý sochor je z hlavní válnice přepraven do vběžného žlabu děrovacího stroje. Pneumatickou tlačkou je vsunut mezi válce děrovací stolice, které mají shodný směr otáčení. Kosým válcováním na trnu je proděrován na tlustostěnný předvalek. Poté vyjede vozík s tyčí z předvalku, a tento je dále přepravován k další operaci. Po znovu zajetí vozíku s trnovou tyčí mezi válce se celý proces opakuje.



Obr. 14. 31 Schéma děrovací stroj č. 1

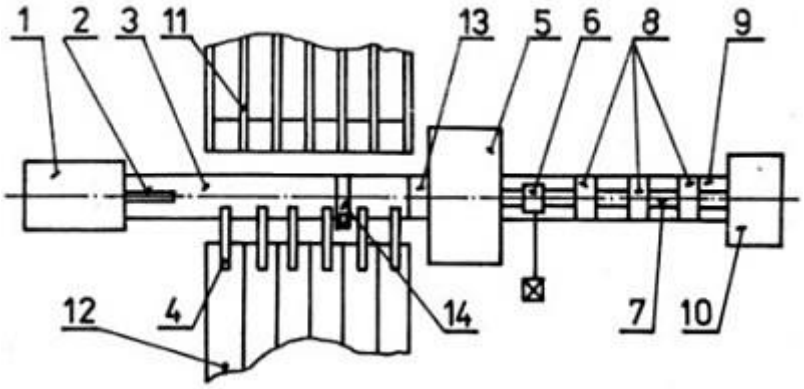
Děrovací stroj č . 2

Je stejné konstrukce jako děrovací stroj č. 1. Zpracovává tlustostěnné předvalky z děrovacího stroje č. 1 tak, že je rozválcovává na větší průměr i větší délku a slabší stěnu. Předvalky musí mít takové parametry, aby byly vhodné k dalšímu zpracování pro automatik. Tzn. musí mít požadované rozměry a tloušťku stěn, musí být bez vad na vnějším i vnitřním povrchu, musí být centrické s hladkými stěnami a s rovnoměrnou tloušťkou stěny jak v podélném, tak příčném průřezu a musí být zhotoveny dostatečně rychle, aby nezchladly. Předvalek z děrovacího stroje č. 1 je přepraven do vběžného žlabu děrovacího stroje č. 2 a kosým válcováním na tupém trnu je provalcováván (elongován) na předvalek o větší délce, větším průměru a menší stěně.poté vyjede vozík s tyčí z předvalku a tento je dále přepraven na automatik. Po znovuzajetí vozíku s tyčí mezi válce se celý proces opakuje.

Automatik

Automatik se skládá ze dvou masivních stojanů, které jsou nahoře spojeny. V nich jsou uloženy dva pracovní válce, které se otáčejí proti sobě a jsou opatřeny 4 kalibry. Spodní válec je uložen pevně, horní válec je vyvážen a uložen pohyblivě. Za pracovními válci je umístěn pár vratných válců, které jsou nastavitelné, takže se umísťují vždy za kalibrem. Před automatikem je vběhový žlab s poháněnými válečky, který se může pohybovat podél automatiku, takže je nastavitelný proti kalibru, v němž se válcuje. Na konci žlabu, který je odvrácen od automatiku, je upevněn pneumatický tlakový válec s pístnicí zakončený tlačkou (tzv. beran), která zatlačuje provalek do kalibru automatiku. Mezi válečky ve žlabu je zabudováno zařízení, kterým je válcovaná trubka mezi jednotlivými stehy pootočena o 90° kolem své podélné osy. Mezi žlabem a kalibrem pracovních válců je zabudováno zařízení na výměnu trnů (tzv. kolotoč). Trny jsou samostavitelné, stojící proti trnové tyči, která je zabudována v opěrném rámu na druhé straně automatiku. Válce se pohánějí stejnosměrným motorem, otáčky se regulují přes stolici hřebenových válců. Mezi motorem a stolicí hřebenových válců je setrvačník, který tlumí nárazy při vstupu trubky do válců, takže se nepřenášejí na motor. Schéma automatiku je na obr. 14. 32, kde: 1– tlakový válec, 2 – beran, 3 – vběžný žlab, 4 – vyhazovač, 5 – automatik, 6 – vratné válce, 7 – trnová tyč, 8 – vodící pouzdro, 9 – výběžný žlab, 10 – držák trnové tyče, 11 – rošt se zadržovačem, 12 –rost k pile za tepla, 13 – automatický nasazovač trnů, 14 – obraceč trub.

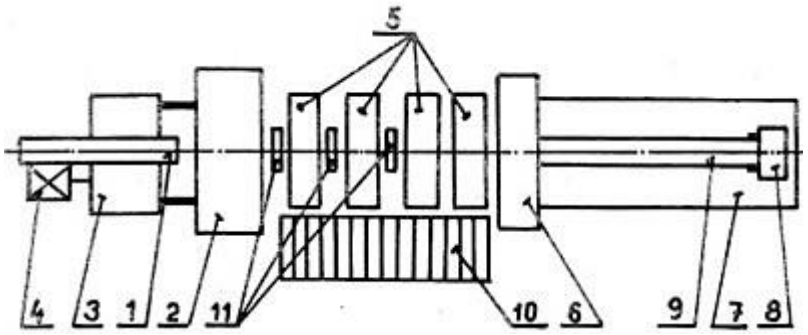
Předvalek z DS 2 je dopraven do žlabu automatiku, tlačkou je vsunut do sevřených pracovních válců a je podélným válcováním na trnu provalcován na 2 stehy na předepsanou délku a tloušťku stěny. Vrácení trubky z výběžné strany zpět do vběžného žlabu se provádí vratnými válci. Mezi stehy dojde k otočení trubky o 90° a k automatické výměně trnu. Poté se celý proces opakuje. Trubka požadované délky a tloušťky stěny je přepravena rotačním vyhazovačem na pilu. Na pile dochází k odřezávání konců trubek (do tloušťky stěn 6,3 mm), a také profuku trubky (mazivo z automatiku, třísky) a k chlazení trubek na požadovanou teplotu.



Obr. 14. 32 Schéma automatiku

Hladící stroje č.1, č.2

Hladící stroje se svou konstrukcí úplně podobají děrovacímu stroji. Jsou to stolice se šikmo uloženými válci v horizontální rovině. Spodní vodítko je pevné, horní nahrazuje přítlačný váleček. Tvar válců a trnů je od děrovacího stroje poněkud odlišný, protože deformace provalku v hladících strojích je menší a nevytváří se dutina v úplném předvalku, jen se rozšiřuje průměr o 4 až 9 %, při současném zeslabení stěny o 2,5 až 4 %. Válce mají tvar soudkovitý, trny mají tvar kuželový. Trn je opřen volně o hladící tyč, která je posuvná ve vozíku. Schéma hladícího stroje je na obr. 14. 33, kde: 1 – vběžná roura, 2 – vlastní stroj, 3 – převodová skříň, 4 – elektrický motor, 5 – středící jednotka, 6 – kozlík, 7 – výběžné lože, 8 – vozík, 9 – hladící tyč, 10 – rošt, 11 – vytahovací válečky.



Obr. 14. 33 Schéma hladících strojů č.1, č.2

Trubky jsou dopraveny válečkovými drahami ke stolicím. Šikmo uložené válečky drah natáčejí trubky ve směru otáčení válců stolic. Vnitřní i vnější povrch trubek je příčným rozválcováním vyhlazen, přičemž se průměr trubky o 6-8 mm zvětšuje. Hlazení je řízeno valcíři ovládaním stavění jednoho z pracovních válců, druhý je pro daný rozměr předem nastaven. Po vyhlazení trubky vyjede vozík s tyčí z trubky, trubka je přepravena rotačním vyhazovačem na válnici ke kalibrovacímu stroji a celý proces hlazení se opakuje.

Kalibrovací stroj

Kalibrovací stroj sestává z 5ti stojanů, střídavě proti sobě otočených o 90°. Kalibry posledního a předposledního, tj. pátého a čtvrtého páru válců, jsou přesné kruhové. V kalibrovacím stroji se trubka kalibruje za tepla tak, že po zchladnutí má normou předepsaný vnější průměr.

Teplá trubka je střídavě z hladícího stroje č. 1 či hladícího stroje č. 2 pouštěna na válnici do kalibrovacího stroje, kde je kalibrována na přesný průměr za tepla, a dále válnicí dopravená k chladícímu roštu a přepravována na něj přepravníkem. Z chladících roštů je trubka válečkovým přepravníkem dopravena do rovnacího stroje.

14.3. Svařované trubky

Výroba ocelových svařovaných trubek je starší než výroba trubek bezešvých. Svařované trubky nyní nalézají, pro zdokonalený způsob elektrického svařování, stále širší použití a vhodně doplňují, popř. i nahrazují bezešvé trubky. Novodobé způsoby svařování umožňují výrobu svařovaných trubek z nejrůznějších druhů uhlíkových a legovaných ocelí, a to i ocelí vysokolegovaných.
Vlastnosti svařovaných trubek jsou dány především vlastnostmi výchozího materiálu a způsobem svařování. Výhodou svařovaných trubek je jejich menší hmotnost a jednoduchá výroba, nevýhodou je šev. Výchozím materiálem je pásová ocel, válcovaná za tepla nebo za studena, a u trubek velkých průměrů též tlustý plech v tabulích.

Pro výrobu se používají tyto způsoby svařování:

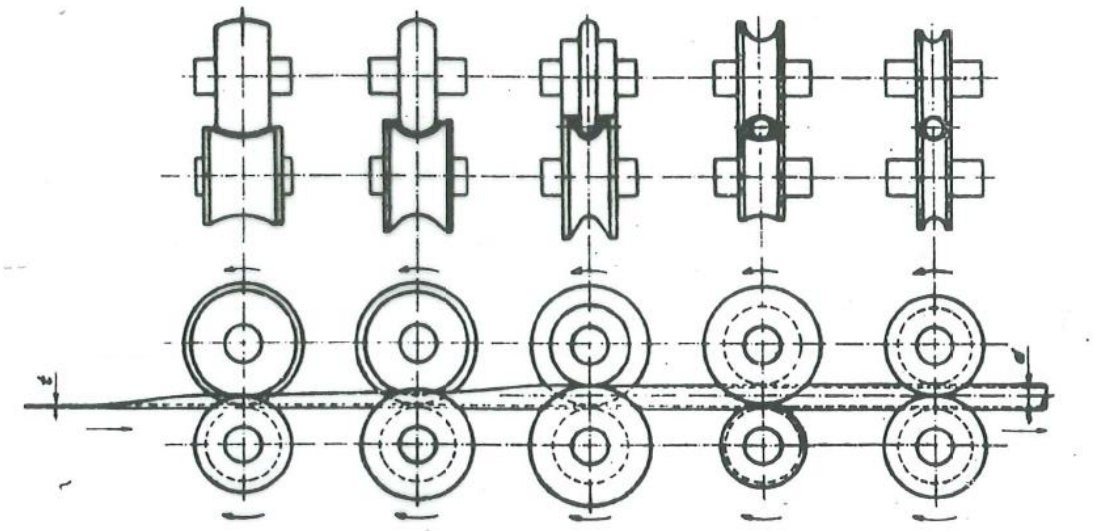
a) **svařování tlakem** – ohřátý na svařovací teplotu se spojí účinkem klidného tlaku nebo rázu
b) **svařování tavné** – spojení nastává místním roztavením spojovaných částí kovu, popřípadě přidáním přídavného kovu stejného nebo podobného chemického složení, ale bez mechanického tlaku nebo rázů

Z různých způsobů elektrického svařování se při výrobě ocelových trubek používají tyto způsoby:

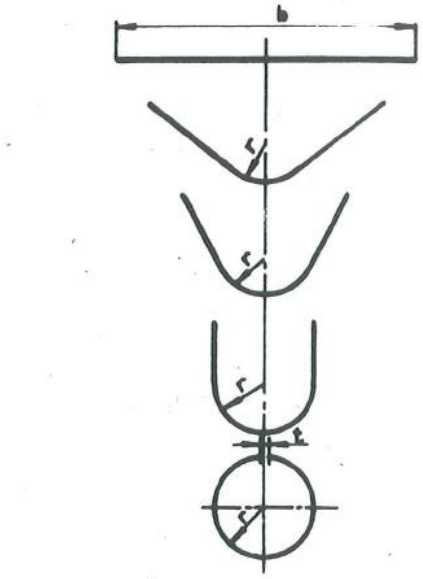
- odporové svařování proudem o nízké frekvenci,
- odporové svařování proudem o vysoké frekvenci,
- indukční svařování,
- odporové svařování stejnosměrným proudem,
- odporové svařování odtavením,
- tavné svařování pod tavidlem,
- tavné svařování pod ochrannými plyny.

❑ Technologický postup při výrobě svařovaných trubek s podélným švem

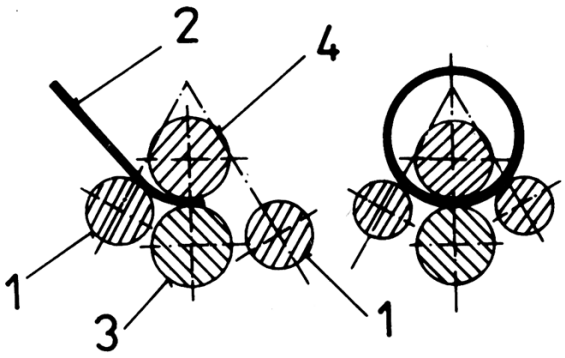
Výchozím materiálem jsou plechy nastříhané na délky podle délek vyráběných trubek, zpravidla do 8 m. U větších délek jsou už značné obtíže s formováním plechu do tvaru štěrbinové trubky. Toto formování se provádí na zařízeních oddělených od vlastní svařovací trati. Děje se buď zakružováním na tříválcových, nebo čtyřválcových zakružovacích strojích, anebo na lisech (obr. 14. 34 – 14. 36), poté zakružená trubka přichází na svařovací stroj.



Obr. 14. 34 Zakružování pásu do tvaru štěrbinové trubky (podélný šev)



Obr. 14. 35 Dva typy kalibrace zakružování pásů na spojité zakružovací válcovně



(1) vnější boční přítlačné válce, (2) zakružovaný plech, (3) vnější prostřední válec, (4) vnitřní prostřední válec

Obr. 14. 36 Zakružování tlustého plechu na čtyřválcovém stroji

Shrnutí pojmů kapitoly

Bezešvé trubky – svařované trubky – dutý tlustostěnný polotovar – děrování – prodlužování – poutnická stolice – automatik – tříválcová stolice – spojité válcování trubek – výtlačné lisování – rozšiřování trubek – redukování trubek – tažení za studena – válcování trubek za studena – svařování tlakem – svařování tavné – trubky s podélným švem – trubky se svarem ve šroubovici

Otázky k probranému učivu

14.1. Jaké je základní rozdělení trubek?

14.2. Jaké jsou výrobní postupy výroby bezešvých trubek?

14.3. Jaké jsou specifika válcování na poutnické stolici a na automatiku?

14.4. Popište některé zařízení pro výrobu bezešvých trub?

14.5. Uveďte způsoby svařování svařovaných trubek?

Použitá literatura, kterou lze čerpat k dalšímu studiu

[1] ŽÍDEK, M., et. al. *Tváření oceli*. SNTL/Alfa. Praha 1988. 520 s.

[2] KOLLEROVÁ, M., et al. *Valcovanie*. 1. vydání. Bratislava: Alfa, 1991. 576 s. ISBN 80-05-00729-9.

[3] GINZBURG, V. B. *Steel-Rolling Technology : Theory and Practice*. New York : Marcel Dekker, 1989.