



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

TECHNOLOGIE ROVNÁNÍ POLOTOVARŮ

STRAIGHTENING TECHNOLOGY OF SEMI-FINISHED PRODUCTS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Marek Sikora

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Eva Peterková, Ph.D.

BRNO 2018

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Marek Sikora**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Eva Peterková, Ph.D.**
Akademický rok: 2017/18

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Technologie rovnání polotovarů

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o vytvoření obecného přehledu metod ručního a strojního rovnání polotovarů. Popis principu metody a vytvoření přehledu užívaných strojů a nástrojů

Cíle bakalářské práce:

Provedení průzkumu v oblasti tváření a vytvoření obecného přehledu ručních a strojních metod rovnání polotovarů.

Uvést základní principy této technologie, popis užívaných metod, příklady použití, výčet výhod a nevýhod, přehled nástrojů a strojů.

Práce bude doplněna názornou obrázkovou dokumentací a závěry.

Seznam doporučené literatury:

TSCHATTSCH, Heinz. Metal forming practise: processes - machines - tools. New York: Springer-Verlag, c2006. ISBN 35-403-3216-2.

Handbuch der Umformtechnik: processes - machines - tools. New York: Springer, c1996. ISBN 35-406-1099-5.

SUCHY, Ivana. Handbook of die design: processes - machines - tools. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, c2006. ISBN 00-714-6271-6.

LIDMILA, Zdeněk. Teorie a technologie tváření: processes - machines - tools. Brno: Univerzita obrany, 2008. ISBN 978-80-7231-579-6.

DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. Technologie tváření: plošné a objemové tváření. Vyd. 4., V Akademickém nakladatelství CERM 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007. ISBN 978-80-214-3425-7.

KOTOUČ, Jiří. Tvářecí nástroje: plošné a objemové tváření. Praha: České vysoké učení technické, 1993. ISBN 80-010-1003-1.

SAMEK, Radko a Eva ŠMEHLÍKOVÁ. Speciální technologie tváření: Část I. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2010. ISBN 978-80-214-4220-7.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

SIKORA Marek: Technologie rovnání polotovarů

Tématem bakalářské práce je vytvoření všeobecného přehledu postupů pro rovnání polotovarů, a to jak za pomoci metod ručních, tak i strojních. Práce podává informace o principech této technologie, zabývá se ukázkami použití a předkládá výčet výhod a nevýhod daných postupů na základě průzkumu literatury a internetu. Projekt se taktéž zabývá stručným rozdělením strojů a nástrojů pro dané technologie.

Klíčová slova: rovnání, tváření, polotovar, válec, rovnačka

ABSTRACT

SIKORA Marek: Straightening of semi-finished products

The main aim of this thesis is to create a general overview of processes that are applied in straightening semi-finished products. These processes include manual methods as well as mechanical ones. This work also informs about advantages and disadvantages of these processes based on published researches. This paper is supposed to give a basic overview of categories of machines and tools that are used in certain straightening technologies.

Keywords: straightening, forming, semi-finished product, roll, straightener

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

SIKORA, Marek. *Technologie rovnání polotovarů*. Brno, 2018, 32s, CD. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí bakalářské práce Ing. Eva Peterková, Ph.D.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V dne 25.5.2018

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji paní Ing. Evě Peterkové Ph.D. za cenné připomínky, věnovaný čas a rady týkající se zpracování bakalářské práce. V další řadě bych také rád poděkoval své rodině a přátelům za podporu v průběhu tvorby této bakalářské práce.

OBSAH

Zadání	
Abstrakt	
Bibliografická citace	
Čestné prohlášení	
Poděkování	
Obsah	

ÚVOD	9
1 PROBLEMATIKA ROVNÁNÍ POLOTOVARŮ.....	10
1.1 Napětově deformační stav polotovarů	10
1.2 Metody rovnání polotovarů	11
2 RUČNÍ ROVNÁNÍ POLOTOVARŮ	12
2.1 Nástroje pro ruční rovnání	12
2.2 Metody ručního rovnání	13
2.2.1 Rovnání tyčových materiálů	13
2.2.2 Ruční rovnání drátů	14
2.2.3 Rovnání tenkého plochého materiálu	15
2.3 Rovnání ohřevem	17
2.3.1 Rovnání pásovým ohřevem	17
2.3.2 Rovnání klínovým ohřevem	19
3 STROJNÍ ROVNÁNÍ POLOTOVARŮ	20
3.1 Rovnání plechů pod lisem	20
3.2 Rovnání plechů mezi válci	22
3.2.1 Princip rovnání mezi válci	22
3.2.2 Druhy válcových rovnaček	23
3.2.3 Ovlivňující parametry	24
3.3 Strojní rovnání profilů	25
3.3.1 Základní parametry rovnání profilů	25
3.3.2 Rovnání plochých a tvarových profilů	26
3.3.3 Strojní rovnání tyčí	27
3.3.4 Strojní rovnání drátů	30
3.3.5 Strojní rovnání trubek	31
4 ZÁVĚRY	32

Seznam použitých zdrojů	
Seznam použitých symbolů a zkratk	
Seznam obrázků	
Seznam tabulek	

ÚVOD [2], [3], [5], [6], [7], [8]

V dnešním světě strojírenství a neustále vyvíjejících se technologií je kladen stále větší důraz přesnosti výroby určitých součástí, a to v různých oblastech průmyslu. Pro výrobu různých dílců jsou používány polotovary jako jsou trubky, tyče, dráty, profily či plechy (obr. 1). Tyto polotovary bývají nejčastěji vyráběny válcováním, tažením, protlačováním či lisováním. Bohužel již při samotné výrobě těchto polotovarů či těsně po ní, nebo například vlivem špatné manipulace a následného uskladnění může docházet k nežádoucím deformacím. V konečném důsledku to pak může způsobovat problémy při zpracování těchto polotovarů v praxi, jako například při zavádění polotovarů do tvářecích nástrojů nebo při samotné výrobě různých strojních součástí, či výrobě konstrukcí například v oblasti stavebnictví. Z tohoto důvodu je potřeba před samotnou výrobou daných komponentů polotovary vyrovnat. Na tuto problematiku je právě zaměřena tato bakalářská práce, která především předkládá přehled možných metod rovnání polotovarů, a to od metod ručních až po metody strojní, včetně výčtu jejich výhod a nevýhod.



Obr. 1 Příklad používaných polotovarů [5], [6], [7], [8]

1 PROBLEMATIKA ROVNÁNÍ POLOTOVARŮ [3], [9]

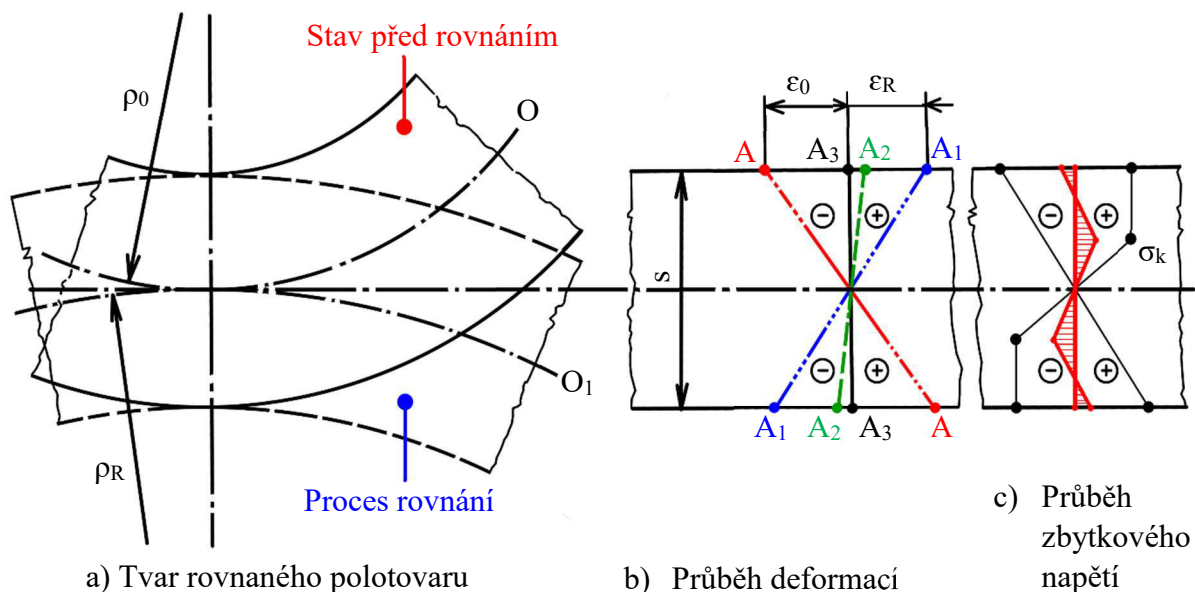
Deformace polotovarů mohou vznikat různými způsoby, ať už se jedná o špatnou manipulaci s nimi, či například jejich špatné uskladnění (průhyb plechů, trubek apod.). V případě uskladnění pásů plechů, či drátů je dokonce způsobena chtěná deformace v podobě ohybu, respektive navinutí pásů plechu do svitku či namotání drátů na cívku. V těchto případech je s touto deformací předem počítáno a před jejich zpracováním je automaticky zařazeno rovnání například s využitím strojů, kterým se zjednodušeně říká rovnačky.

V praxi je ovšem mnoho hutních polotovarů vyráběných za tepla. V tomto případě je nutné počítat s případným vznikem deformací vlivem přítomnosti zbytkových vnitřních pnutí, způsobených zejména nerovnoměrným chladnutím materiálu. Obecně platí, že pro výrobu kvalitních a přesných dílců je nutné tyto nežádoucí deformace eliminovat, a to zejména s využitím metody rovnání.

1.1 Napětově deformační stav polotovarů [10], [11]

Princip rovnání materiálu spočívá v ohýbání polotovaru na opačnou stranu, než je deformován, jak je znázorněno na obr. 2 a). Aby se dosáhlo rovinnosti polotovaru, je zapotřebí ohnout materiál tak, aby došlo po jeho odpružení k vyrovnání. Níže je zjednodušeně popsán napětově deformační stav při procesu rovnání pomocí takzvaného protiohybu, který je charakteristický zejména pro rovnání polotovarů na válcových rovnačkách.

Na obr. 2 b) jsou schematicky zobrazeny průběhy přetvoření materiálu, kde úsečka A-A znázorňuje průběh deformace před rovnáním, úsečka A₁-A₁ pak průběh deformace při rovnání (pod zatížením). Úsečka A₃-A₃ znázorňuje ideální stav přetvoření po rovnání polotovaru. Průběh deformace, která zůstane po rovnání, je znázorněna spojnici bodů A₂-A₂. Tato deformace vzniká vlivem odpružení díky zbytkovým vnitřním napětím, která zůstanou v materiálu po odtížení (viz šrafovaná plocha na obr. 2 c). Pak vzdálenost mezi body A₂-A₃ odpovídá konečné hodnotě přetvoření po odtížení. Velikosti nežádoucí deformace, kterou je třeba odstranit, přísluší úsek mezi body A-A₃. Zde hodnota maximálního přetvoření odpovídá vztahu (1.1). Úsek A-A₁ je pak celková deformace, kterou je nutno vytvořit pro vyrovnání polotovaru. Hodnota této celkové deformace je dána vztahem (1.3).



Obr. 2 Princip rovnání [10]

Velikost nežádoucí deformace před rovnáním:

$$\varepsilon_0 = \frac{s}{2\rho_0}, \quad (1.1)$$

kde: ε_0 - velikost nežádoucí deformace před rovnáním [-]

s - tloušťka polotovaru [mm]

ρ_0 - poloměr neutrální osy před rovnáním [mm]

Velikost deformace při rovnání:

$$\varepsilon_R = \frac{s}{2\rho_R}, \quad (1.2)$$

kde: ε_R - velikost deformace při rovnání [-]

ρ_R - poloměr neutrální osy při rovnání [mm]

Celková deformace:

$$\varepsilon_C = \varepsilon_0 + \varepsilon_R = \frac{s}{2} \left(\frac{1}{\rho_0} + \frac{1}{\rho_R} \right), \quad (1.3)$$

kde: ε_C - celková deformace [-]

1.2 Metody rovnání polotovarů [1], [9], [12]

Pro rovnání polotovarů se užívá mnoha rozmanitých způsobů rovnání. Obecně se metody rovnání dělí na metody ruční a strojní, přičemž každá z nich je přizpůsobena danému typu polotovaru, ať už se jedná o plechy, tyče či například trubky. Dále je také možno rozlišovat způsoby rovnání podle teploty, při níž k rovnání dochází, a to sice na rovnání za studena a rovnání za tepla. Všechny metody budou podrobněji popsány v následujících kapitolách.

U rovnání ručního se využívá zejména metod s použitím kladiv či paliček, kdy je dosaženo požadovaného vyrovnaní vyklepáváním polotovaru. Mezi další způsoby patří rovnání pomocí různých nástrojů, jako jsou například válečky, destičky nebo lze užít i montážních vřetenových lisů. K ručním způsobům rovnání je potřeba také zařadit metodu rovnání plamenem, u které nastává žádoucí vyrovnaní vlivem nahřátí polotovaru a jeho následného zchladnutí.

Stejně jako u rovnání ručního, i u rovnání strojního je daná metoda volena podle typu rovnaného polotovaru. Mezi nejčastější způsoby rovnání stroji patří rovnání válců. Této metody je užíváno jak pro různé tloušťky plechů, tak i pro profily s různými tvary průřezů, jako je tomu například u kruhových, obdélníkových či šestihranných tyčí. Tento způsob se liší pouze tvarem a počtem rovnacích válců. Mezi další způsoby je možno také zařadit rovnání pod lisem či kupříkladu rovnání rovnačkami s rotačními žebry.

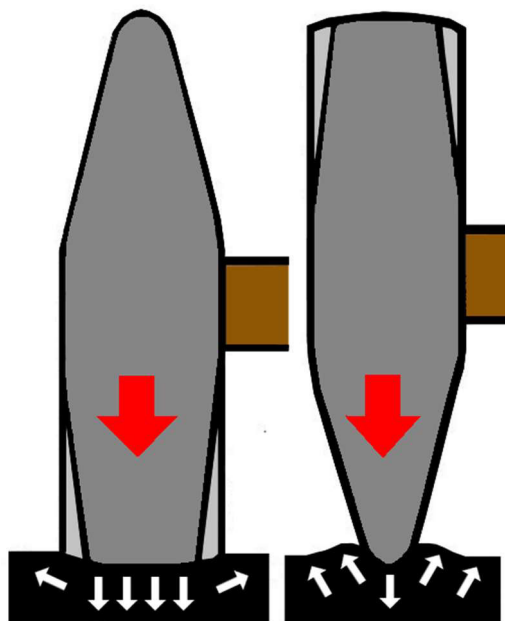
2 RUČNÍ ROVNÁNÍ POLOTOVARŮ [4], [9]

Mezi finančně méně náročnější, ale také mezi hlučnější a pracnější postupy patří bezpochyby metoda ručního rovnání. K ručnímu rovnání dochází zejména u polotovarů s menšími rozměry, či v případě malého počtu kusů pro rovnání. U této metody je vyžadována vysoká zkušenost a kvalifikovanost pracovníka, ať už z hlediska fyzické náročnosti, či náročnosti časové.

2.1 Nástroje pro ruční rovnání [9], [15], [16], [17], [18], [19], [20], [21], [22]

Pro tuto metodu se užívá především zámečnických kladiv různých velikostí (obr. 4) či paliček z různých materiálů. U zámečnických kladiv se pohybuje jejich hmotnost od 0,5 do 2 kilogramů, přičemž jejich hmotnost je volena pracovníkem podle potřebné síly úderu. Jak je znázorněno na obr. 3, u těchto kladiv dochází ke stlačování (pěchování) materiálu pod středem plošky kladiva, načež se v materiálu vytvoří prohlubenina. Naopak pod okraji kladiva dochází k vytahování materiálu, který uhýbá do stran. Úderem menší účinnou plochou (nosem kladiva) je účinnost vytahování materiálu vyšší.

Za obvyklejší způsob rovnání je ovšem považováno rovnání palicemi (obr. 5), které jsou používány, nemá-li být na rovnaném polotovaru zanecháno velkých stop po úderech. Takové palice mají hlavu zhotovenou nejčastěji z mědi, olova nebo pryže a rukojeť ze dřeva. Celodřevěné palice se nejčastěji využívají na vyrovnávání tenkých plechů.



Obr. 3 Působení úderu na materiál [9]



Obr. 4 Zámečnické kladivo [15]



Obr. 5 Měděná palice [16]

Tyto způsoby rovnání jsou prováděny zejména na rovnacích deskách či kovadlinách, které jsou vyrobeny buďto z kované, či lité oceli. Funkční plocha kovadliny je povrchově kalena. Příklad takové kovadliny a rovnací desky je uveden na obr. 6 a obr. 7.



Obr. 6 Kovadlina [17]



Obr. 7 Rovnáci deska [18]

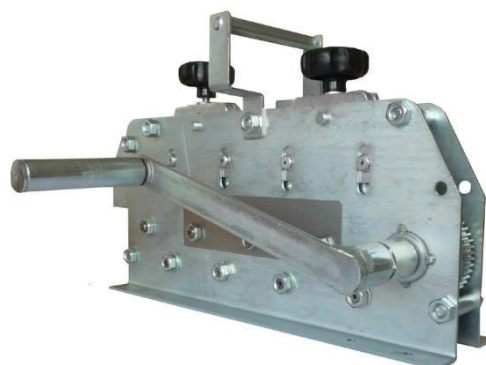
U ručního rovnání je však používáno také například kovových či dřevěných válečků, které jsou využívány zejména jako pomůcka při rovnání drátů. Stejně tak je pro rovnání drátů používáno destiček, taktéž vyrobených z kovu či tvrdého dřeva, které mohou být opatřeny dírou (průvlakem).

Neodmyslitelným nástrojem potřebným k rovnání je bezpochyby svěrák, do kterého je v mnoha případech upínán nástroj (váleček nebo destička), či samotný rovnaný polotovár. Velice často jsou využívány také kleště, které slouží k uchycení polotovaru (drátu) a jeho následnému přetahování.

V některých případech ručního rovnání dochází k rovnání pomocí ručních rovnaček (obr. 8) či rovnaček kladkových (obr. 9). Těchto rovnaček je nejčastěji užíváno u rovnání drátů, v praxi pak například při rovnání drátu hromosvodového vedení.



Obr. 8 Ruční rovnačka [19]



Obr. 9 Kladková rovnačka [20]

2.2 Metody ručního rovnání [9]

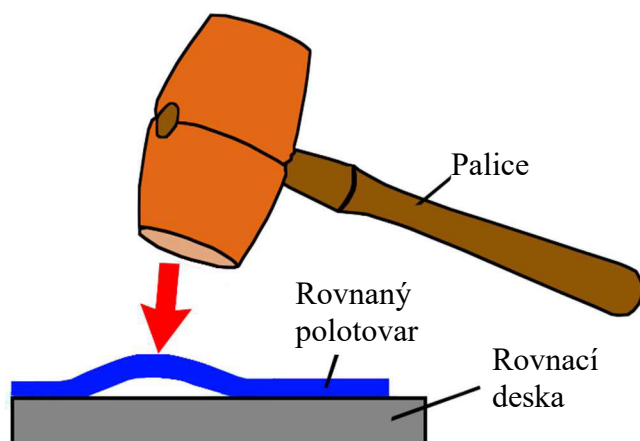
Jednotlivé metody ručního rovnání jsou rozlišovány podle typu rovnaného polotovaru. Pro každou metodu je k docílení požadované rovnosti určitých polotovarů užíváno specifických technik, které jsou popsány v následujících kapitolách.

2.2.1 Rovnání tyčových materiálů [9], [12], [23], [24]

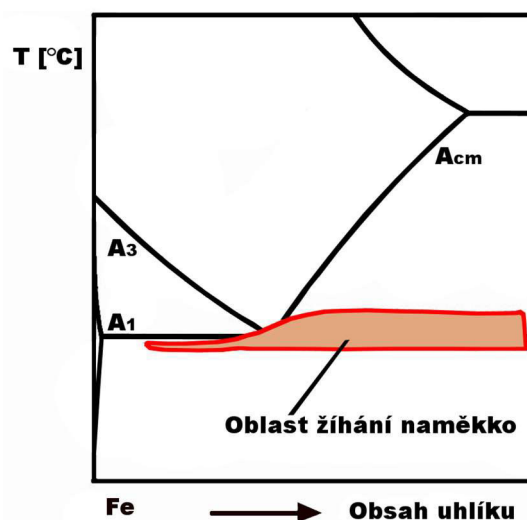
Ocelové tyče, které byly vlivem prvovýroby deformovány (zakřiveny) jsou rovnány obvykle na kovadinách či rovnacích deskách. Materiál je na pracovní ploše přidržován pracovníkem tak, že vyosená část zakřivené tyče směřuje směrem nahoru. Kladivem či palicí se poté udeří shora na rovnanou tyč (obr. 10). Síla úderů nástroje je přizpůsobena velikosti průřezu materiálu.

Při úderech kladivem se vrstvy materiálu na horní straně vybočení pěchují, kdežto ve spodních vrstvách se materiál vytahuje. Právě díky tomuto ději dochází k rovnání tyče.

U tohoto rovnání za studena dochází ke zpevňování tvářeného materiálu, což může vést ke značnému zkrěhnutí a ztrátě houževnatosti dílce. Proto se podle potřeby používá žihání



Obr. 10 Směr úderu palicí na materiál [12]



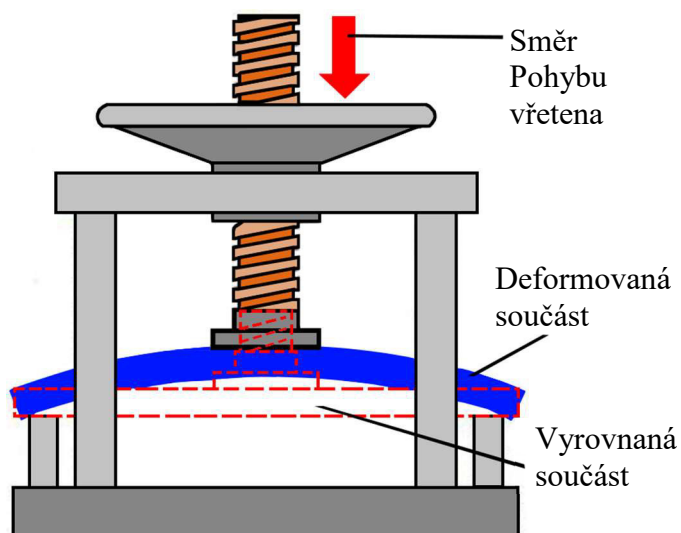
Obr. 11 Diagram s oblastí žihání naměkko [24]

naměkko, kdy je materiál zahřát na teplotu okolo A_1 (650-720 °C). Oblast žíhacích teplot je zobrazena na obr. 11. Po následné výdrži na této teplotě (3-4 hodiny) je pomalu ochlazován. Tohoto postupu se užívá pro zlepšení pýchovatelnosti a tažnosti tvářeného materiálu.

Úskalí metody rovnání kladivem spočívá v tom, že na materiálu mohou vznikat trhlinky vlivem úderů kladivem, proto je na zváženu, zdali není výhodnější zvolit metodu rovnání na lisu. Lisy jsou používány v případě, má-li být na rovnanou součást (tyč, hřídel) působeno klidně stálou silou,

na rozdíl od úderů kladivem, kde působí síla nárazově, a může způsobovat další nechtěnou deformaci. Tato metoda je zobrazena na obr. 12.

Jako kontrola správného vyrovnaní tyče může být použita takzvaná průsvitná metoda, která slouží pro zjištění přímosti rovnaného polotovaru. Provádí se přímo na rovnací desce a spočívá v tom, že se mezi rovnací deskou a tyčí zjišťuje velikost světelné štěrbiny.

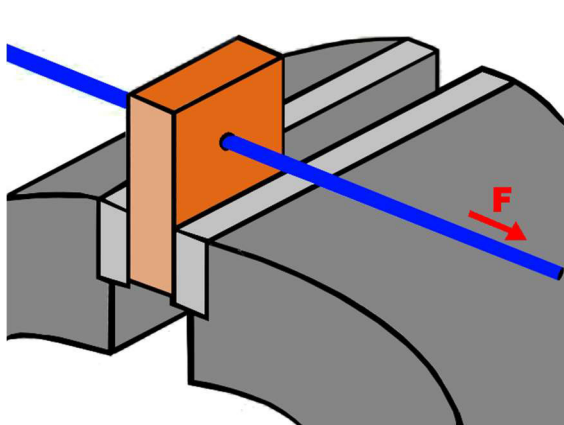


Obr. 12 Rovnání vřetenovým lisem [12]

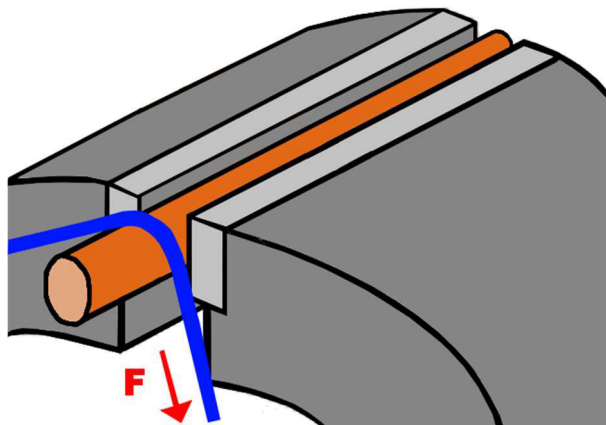
2.2.2 Ruční rovnání drátů [12], [22]

Podle délky rovnaného drátu se volí metoda rovnání. Pokud se jedná o tenký a krátký drát, protahuje se průvlakem, který je upevněn ve svěráku. Pracovník táhne drát, který drží v ruční svěrci, směrem od průvlaku a dochází k jeho rovnání. Tento způsob rovnání je zobrazen na obr. 13.

Pakliže je drát tenký a dlouhý, pracovník taktéž drží drát v ruční svěrci, ovšem dochází k přetahování materiálu přes dřevěný či kovový váleček (obr. 14), který je upevněn ve svěráku.



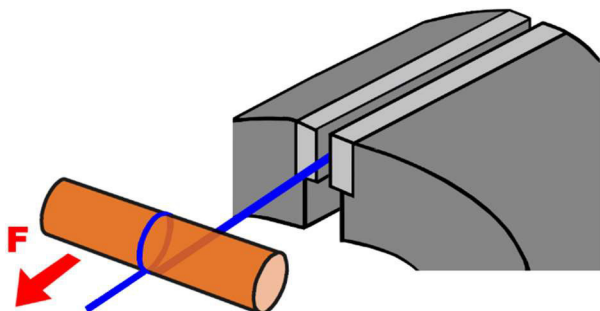
Obr. 13 Protahování drátu průvlakem [12]



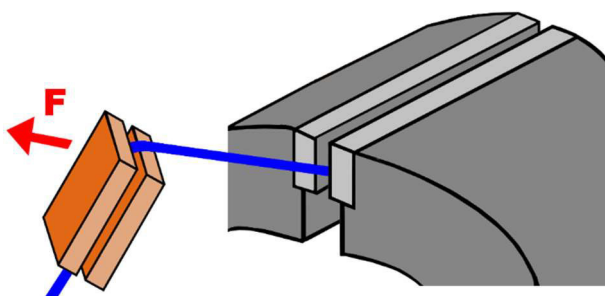
Obr. 14 Přetahování přes dřevěný váleček [12]

Mezi další způsoby lze také zařadit metodu rovnání pomocí dřevěného válečku. Jedná se o podobnou techniku jako v předchozím případě, ovšem provedení se mírně liší. U této metody je do svěráku upnut rovnaný drát, nikoliv váleček, jak tomu bylo předešlé metodě, viz obr. 15. Drát je poté omotan přes dřevěný váleček a jeho tažením směrem od svěráku se materiál vyrovnává.

Obdobně funguje i metoda rovnání pomocí dřivek (obr. 16). Drát je opět upnut do svěráku jako v předešlém případě. Následně je drát vložen mezi dvě dřívka, která jsou poté mírně nakloněna. Jejich pohybem směrem od svěráku tak dojde k vyrovnaní daného polotovaru.



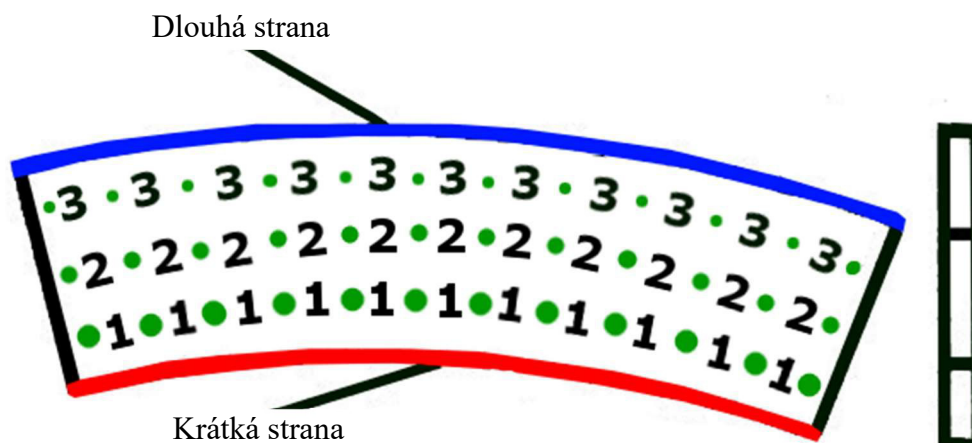
Obr. 15 Rovnání drátu pomocí válečku [22]



Obr. 16 Rovnání drátu pomocí dvou dřivek [22]

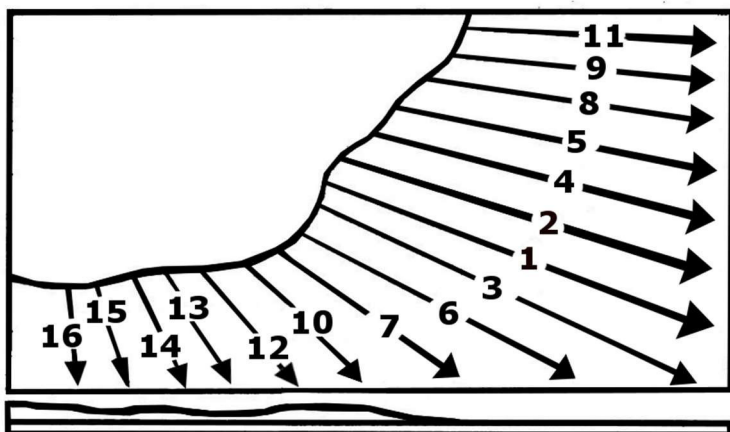
2.2.3 Rovnání tenkého plochého materiálu [9], [12], [13]

V případě rovnání tenkého plochého polotovaru či součásti je nejčastěji používán způsob rovnání pomocí úderů palicí na deformovaný polotovar položený na rovnací desce. Je-li součást či polotovar pokřiven napříč, je rovnán tak, aby bylo dosaženo prodloužení kratší strany. Toho je docíleno, je-li volena série úderů od strany kratší ke straně delší, viz obr. 17. Je nutné také brát ohled na sílu úderu na materiál, a to v tom smyslu, že u kratší strany jsou voleny údery silnější a postupně směrem k delší stěně jsou údery nástrojem zeslabovány. Tímto způsobem je dosaženo vyrovnaní deformovaného materiálu. Stejně jako u předchozích metod rovnání je podle potřeby obnovována houževnatost materiálu žiháním naměkko.

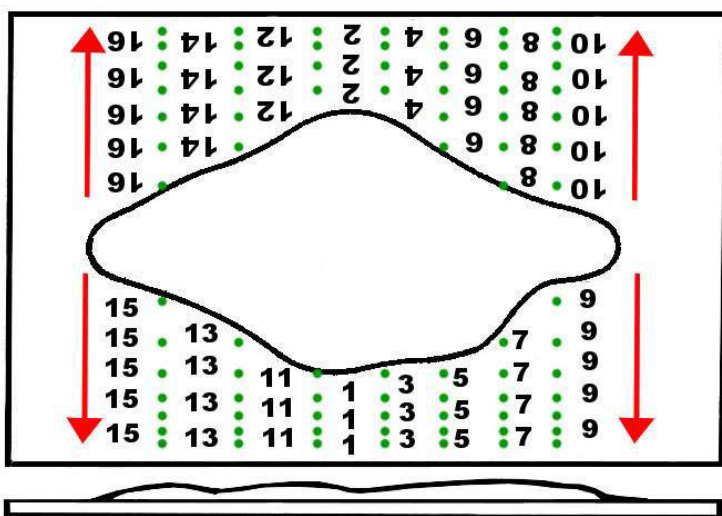


Obr. 17 Průběh a pořadí úderů [9]

U rovnání plechů závisí na místě výskytu vypoukliny. V případě, že se jedná o vypouklinu na okraji rovnaného materiálu, se plech položí vypouklinou směrem nahoru na rovnací desku. Křivá část plechu se označí křídou a od této označené části jsou vedeny čáry až k okrajům, viz obr. 18. První série úderů je vedena vždy na nejdelší čáře směrem od vypoukliny až k okraji, přičemž se hustota úderů stupňuje směrem k okraji plechu. Další pořadí úderů je zobrazeno na obr. 18.



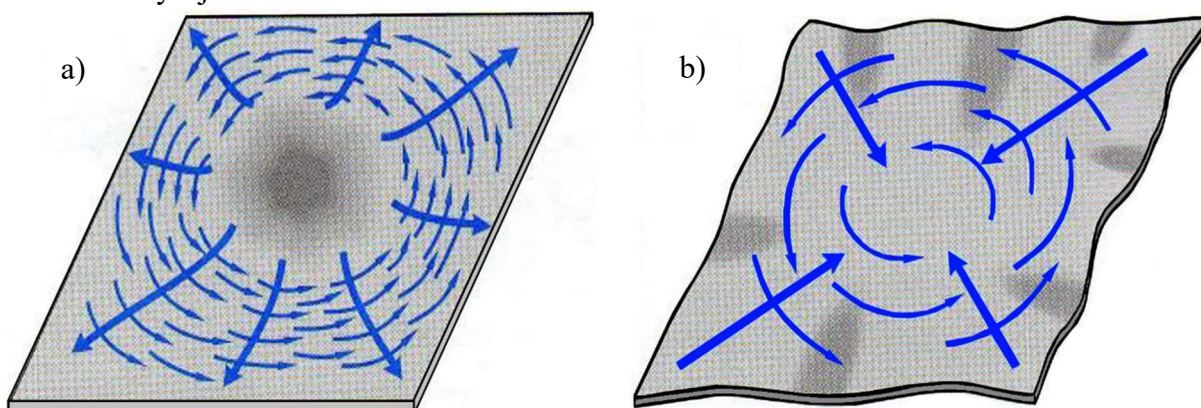
Obr. 18 Průběh a pořadí úderů k napravení deformace [9]



Obr. 19 Průběh a pořadí úderů k napravení deformace [9]

směrem od středu k okraji plechu (obr. 20 a), přičemž jednotlivé úderů jsou u středu voleny méně hustěji a směrem k okrajům se zhušťují.

Je-li plech zvlněný na okrajích, jeho vyrovnání je dosaženo, je-li spirálovitě vyklepávání směrem od okrajů ke středu (obr. 20 b), přičemž u okrajů je hustota úderů menší a směrem do středu se zvyšuje.



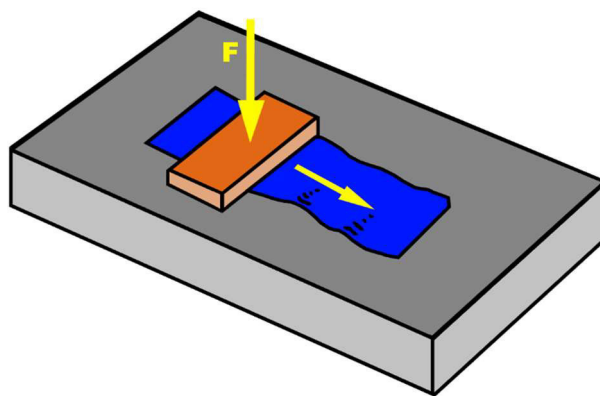
Obr. 20 Směr úderů kladiva u plechu: a) s vypouklinou uprostřed, b) se zvlněným okrajem [12]

Ať už se jedná o rovnání plechu s vypouklinou uprostřed či na okraji, nikdy nesmí docházet k úderům kladivem na danou vypouklinu. Daná deformace by se tím jen zhoršovala.

U součásti, jenž má vypouklinu uprostřed, se postupuje podobně jako v předešlém případě. Polotovar s vypouklinou je opět položen na rovnací desku a vypouklina, která směřuje nahoru, je označena křídou, viz obr. 19. Po sérii úderů (1) je součást otočena protější stranou směrem k pracovníkovi a pokračuje se sérií úderů (2). Hustota úderů se stejně, jako u předešlého způsobu, zvyšuje směrem k okrajům. Další sled operací se stále dokola opakuje, dokud není polotovar vyrovnán. Tímto způsobem se dosáhne postupného vytahování a uvolňování materiálu a dojde tak k odstranění pnutí. U takto rovnaného plechu může dojít k mírnému ohnutí podél své podélné osy. Tento polotovar je poté rovnán klasickým způsobem, a to buďto protiohybem, či pod rovnacím lisem.

Další způsob, jak odstranit vypouklinu uprostřed plechu je užití spirálového vyklepávání

Zvláštním případem je rovnání velmi tenkých plechů s tloušťkami do 0,1 mm. Jedná se o takzvané kovové fólie, které jsou rovnány odlišným způsobem než plechy předchozí. Tyto polotovary jsou rovnány pomocí rovných dřevěných či kovových hranolků na rovnací desce s hladkým povrchem, a to tak, že dochází k jejich vyhlazování, jak je zobrazeno na obr. 21.



Obr. 21 Rovnání kovové fólie vyhlazováním [13]

2.3 Rovnání ohřevem [3], [14]

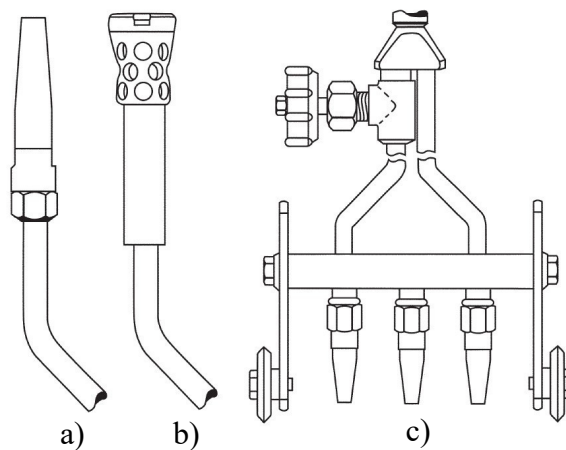
Mezi další způsoby rovnání polotovarů je bezpochyby třeba zařadit i rovnání ohřevem. Této metody je užíváno v případě rovnání polotovarů, u kterých by nebylo možno využít mechanického způsobu rovnání za pomoci kladiva či stroje. Rovnání plamenem patří mezi méně namáhavé a méně hlučné pracovní postupy, na rozdíl od předchozích způsobů, kdy je užíváno například kladiv či palic. Mezi další výhody patří také plynulé vyrovnaní deformace, zanedbatelné ovlivnění vlastností materiálu či jednoduché pracovní prostředky.

Nemožnost měřit teplotu během rovnání, špatně odhadnutelný účinek ohřevu či například složitý stav vnitřních napjatostí způsobují, že stejně jako u ostatních ručních metod rovnání, je i v tomto případě kladen velký důraz na zkušenost a zručnost pracovníka.

Základním principem této metody je zahřátí povrchu polotovaru prudkým ohřevem, který následně vytváří napětí, jenž vyvolává plastické deformace, a způsobuje tak vyrovnaní materiálu. U této metody je potřeba brát velký zřetel na zvýšené teploty v oblasti působení plamene, a to z důvodu změny v rozložení pnutí, které mohou způsobit změny v materiální struktuře a může tak dojít ke zhoršení vlastností rovnaného polotovaru.

Mezi základní vybavení pracovníka patří kyslíkoacetylenový hořák, přičemž je možno využít různých typů hořáků podle typu či velikosti deformace. Nejčastěji je užíváno hořáku s jedním plamenem (obr. 22 a), ovšem je možno využít i hořáky víceplamenné (obr. 22 b) či hořáky s možností přepínání mezi vícero plameny (obr. 22 c).

Plechý či profily jsou rovnány dvěma odlišnými metodami, a to buďto pásovým ohřevem či starší metodou za pomoci klínových ohřevů. V praxi je v obou případech nejčastěji používán kyslíkoacetylenový plamen, a to z důvodu lehké dostupnosti těchto dvou plynů. Tyto metody budou popsány v následujících kapitolách.



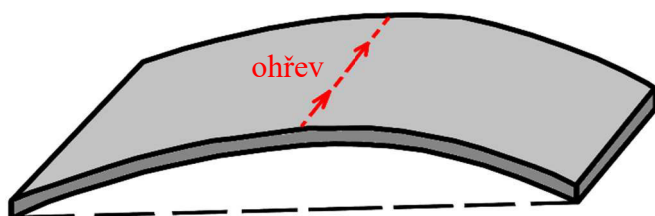
Obr. 22 Typy hořáků [14]

2.3.1 Rovnání pásovým ohřevem [3], [14]

Tato metoda využívá ohřevu materiálu v úzkém pásu, přičemž následuje jeho příčné smrštění, a tak i následné vyrovnaní polotovaru. Nejčastější dráha ohřevu je přímka (dle potřeby i jiná křivka), přičemž šířka ohřevu je volena na základě velikosti deformace materiálu. Většinou se však tato šířka pásu pohybuje kolem 3 až 5 cm. V případě velké deformace je

docíleno lepší rovinnosti plochy při použití několika pásových ohřevů nežli jednoho ohřevu širokého. Teploty pásového ohřevu zpravidla nepřesahují 800 °C.

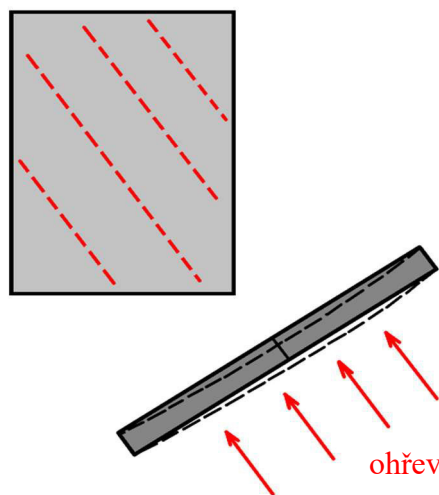
U tlustých plechů, či rovnaných desek je nejčastější deformací prohnutí, ať už ve směru příčném (obr. 23), které mohlo vzniknout například při řezání z tabule plechu, či ve směru úhlopříčném, jak je zobrazeno na obr. 24. Prohnutá deska či plech je rovnána tak, že na vypouklé straně je na vrcholu veden prudký ohřev kyslíkoacetylenovým plamenem. U příčného prohnutí při malé deformaci většinou stačí pro požadované vyrovnaní pouze jediný ohřev.



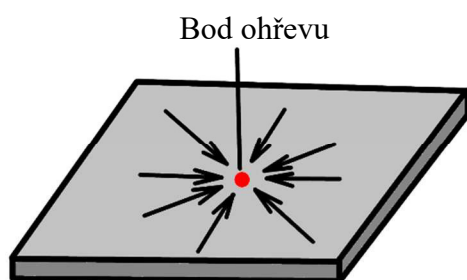
Obr. 23 Rovnání prohnuté desky [3]

V případě deformací větších je užíváno několika pásových ohřevů vedle sebe. Více pásových ohřevů, a to v určitých vzdálenostech od sebe, je běžně užíváno při rovnání úhlopříčného prohnutí, viz obr. 24. Jedná-li se o tlustý plech, plamen způsobí ohřátí na vysoké teploty jen na povrchu, přičemž teplota rychle klesá směrem do hloubky a se vzdáleností od místa ohřevu. Chladný materiál, jenž svírá ohřáté místo, zabraňuje volnému roztahování ohřátého materiálu. V místě, kde došlo k zahřátí, vzniknou po ochladnutí tahová napětí, která způsobí vyrovnaní polotovaru.

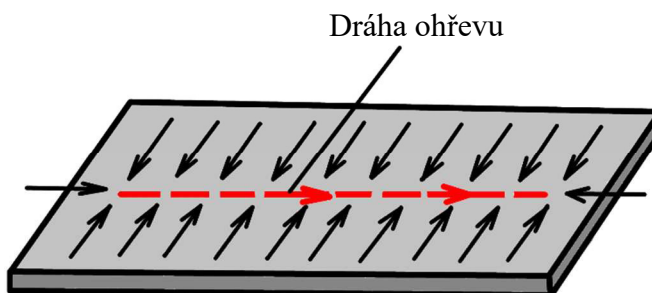
U bodového ohřevu, jak je zobrazeno na obr. 25 a), lze vidět, jak dochází k radiálnímu smrštění směrem do středu místa původního ohřevu. Pásový ohřev tak lze chápat jako řadu ohřevů bodových. V případě pásového ohřevu tak vzniká výsledné napětí v tahu, jenž působí kolmo na směr ohřevu, jak lze vidět na obr. 25 b). Tahová napětí působící v podélném směru ohřevu jsou oproti směru kolmému podstatně menší, ovšem například u rovnání trubek či válcovaných profilů jich lze také využít. Ohřev je stejně jako u plechů veden na vypouklé straně.



Obr. 24 Rovnání desky s úhlopříčným průhybem [3]



a) bodový ohřev



b) pásový ohřev

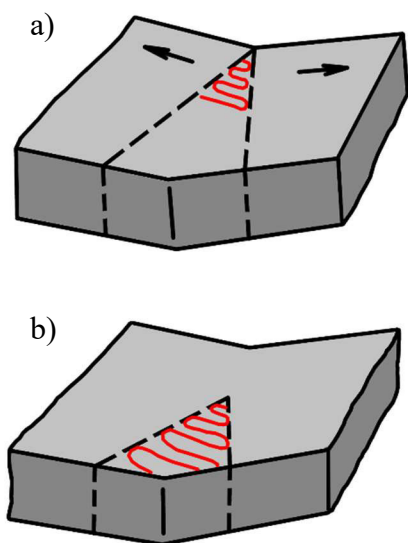
Obr. 25 Rozdíl mezi bodovým a pásovým ohřevem [3]

2.3.2 Rovnání klínovým ohřevem [3], [14]

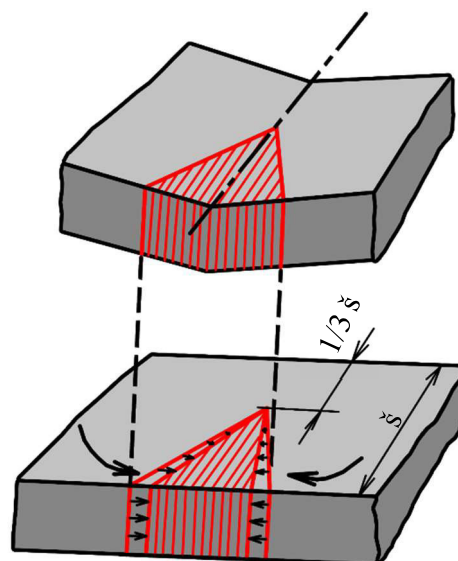
Rovnání klínovým ohřevem patří mezi další metodu rovnání plamenem, která se řadí mezi nejstarší technologie rovnání. Bez tohoto způsobu rovnání se však mnohdy nelze obejít. Nejčastěji se tohoto způsobu užívá při rovnání tyčí či profilů, u kterých došlo k ostrému ohnutí například vlivem špatné manipulace s materiálem.

Důležitým faktorem je rovnoměrné a rychlé prohřátí klínu, aby se předešlo zborcení materiálu v kolmé rovině na rovinu původního ohybu, přičemž prohřátí probíhá vlásenkovitým pohybem směrem od špičky klínu (obr. 26).

Špička klínu se neumísťuje na hranu, jak je tomu na obr. 26 a), ale umísťuje se většinou ve vzdálenosti $1/2$ až $1/3$ šířky tyče od hrany rovnané tyče, jak je zobrazeno na obr. 26 b) či na obr. 27. V tomto případě je zabráněno třetinou neohřáté šířky deformaci celé konstrukce vlivem tepelné dilatace. U takto umístěného klínu se zvětší jeho účinnost a proběhne tak potřebná plastická deformace ohřáté součásti.



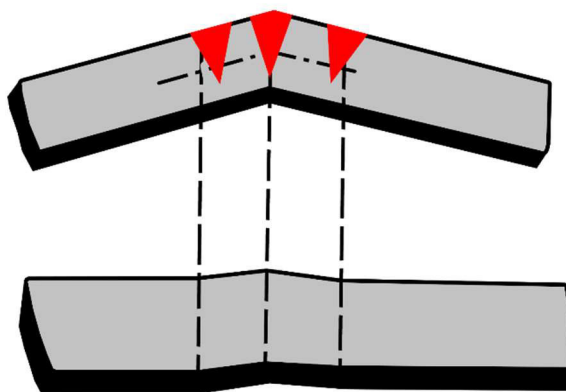
Obr. 26 Umístění počátku klínu [3]



Obr. 27 Působení klínového ohřevu [3]

Velkého tahu klínu je dosaženo použitím vysokých teplot ohřevu. Je zapotřebí tak brát zřetel k případnému zkřehnutí materiálu v oblasti klínu právě vlivem příliš vysokých teplot plamene. Teplota u tohoto způsobu rovnání by zpravidla neměla přesahovat 900 až 950 °C.

V případě velkých deformací se využívá několika klínů, ovšem v oblastech klínů se objeví zlomy a není tak dosaženo dokonalého vyrovnání. Tento případ je znázorněn na obr. 28.



Obr. 28 Zlomy po vyrovnání několika klíny [3]

3 STROJNÍ ROVNÁNÍ POLOTOVARŮ [2], [4]

Strojního rovnání se užívá především při rovnání součástí s větší sériovostí výroby, či rovnání rozměrově velkých polotovarů. K vyrovnání je potřeba stroj, který je za pomoci elektromotorového či jiného pohonu schopen vyvinout mnohonásobně větší sílu než manuální pracovník, a tak vyrovnat požadovaný materiál. Ve většině případech se jedná o válcovací stroje či lis, které využívají principu ohýbání. Nejobvyklejšími strojně rovnanými polotovary jsou dráty, tyče, trubky nebo plechy. Na rozdíl od rovnání ručního je rovnáním strojním dosahováno daleko větších přesností.

3.1 Rovnání plechů pod lisem [4], [25]

Jedním ze způsobů rovnání plechů je rovnání pod lisem. U tohoto způsobu je možno si danou operaci představit jako obrácený ohyb, kdy dochází k uvedení zakřivené části do roviny. Stejně jako u ostatních způsobů rovnání, i zde je třeba počítat s působením jak plastické, tak elastické deformace. To znamená, že po odlehčení rovnaného polotovaru dojde vlivem odpružení k zbytkovému zakřivení součásti.

U součásti s obloukovým zakřivením dochází po zahájení lisování ke vzniku přímé části u horního lisovníku, jež je znázorněno na obr. 29 v druhém kroku. Zmenšující se ramena ohybových momentů způsobují, že se v dalším kroku (3. na obr. 29) začínají vyskytovat vlny, tudíž roste i počet rovnaných míst. Ve čtvrtém kroku lis dojde na doraz. Po odlehčení tělesa zůstane polotovar vlivem částečného odpružení mírně nevyrovnan.

Jsou-li k rovnání používány rovinné čelisti, je třeba brát na vědomí, že daný polotovar musí být poté i takzvaně kalibrován. To znamená, že po dosednutí čelisti na rovnaný kus musí být síla stále zvětšována, a to z důvodu přemožení zbytkových vnitřních pnutí od předešlého rovnání. Rovnácí síla se pak stanoví dle vztahu:

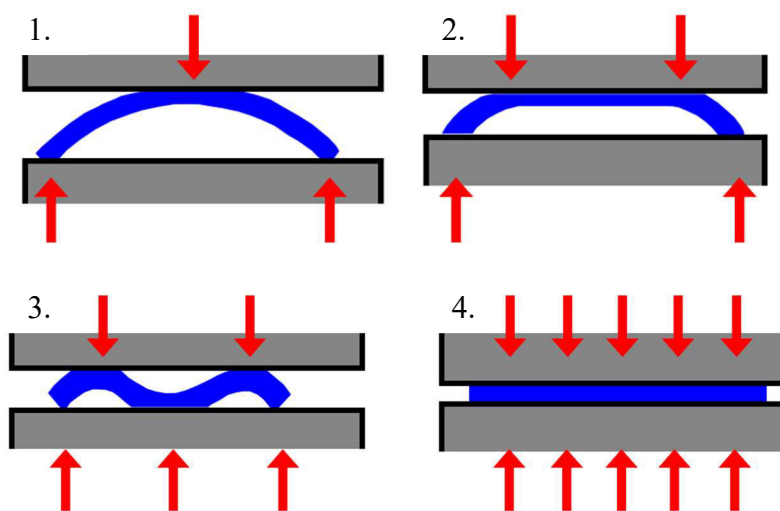
$$F = S \cdot p, \quad (3.1)$$

kde: F - rovníací síla [N],

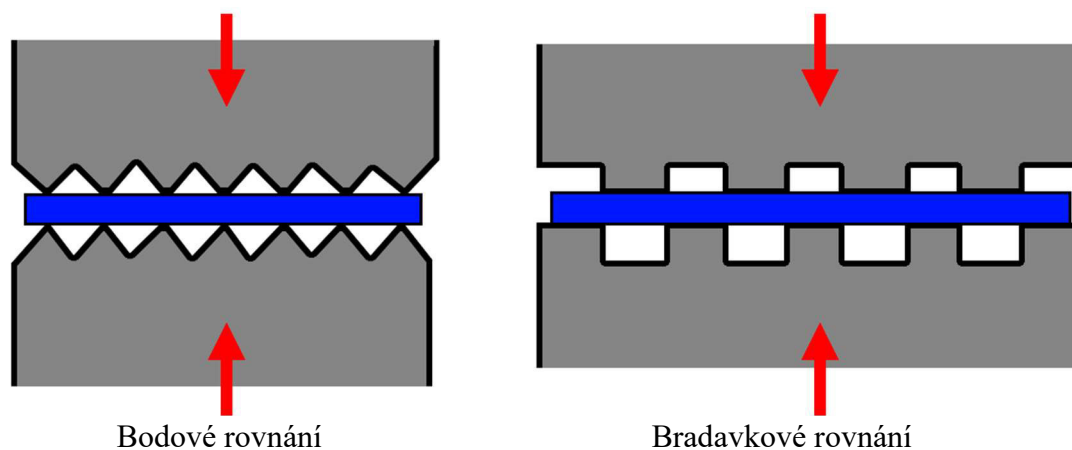
S - plocha součásti [mm²],

p - rovníací měrný specifický tlak [MPa].

U rovnání rovinnými čelistmi nastává problém, a to v případě rovnání příliš tvrdých či velmi tenkých materiálů. V takových případech lisovací síly šplhají do nepřipustných hodnot. V takových situacích je využíváno tzv. bodového či bradavkového rovnání, při kterém není rovnaný polotovar uveden do stavu plastického v celém objemu, ale jen v určitých a pravidelně rozložených místech. V tomto případě jsou rovinné čelisti nahrazeny čelistmi profilovými, jejichž schéma je znázorněno na obr. 30. Vlevo se jedná o takzvané rovnání bodové, vpravo pak o rovnání bradavkové. Na základě zkušeností jsou podle tloušťky plechu a typu rovnacích čelistí voleny specifické měrné tlaky, které jsou uvedeny v Tab. 1.



Obr. 29 Rovnání plechu tlakem mezi rovnými deskami [4]



Obr. 30 Schéma tvaru čelistí pro bodové a bradavkové rovnání [25]

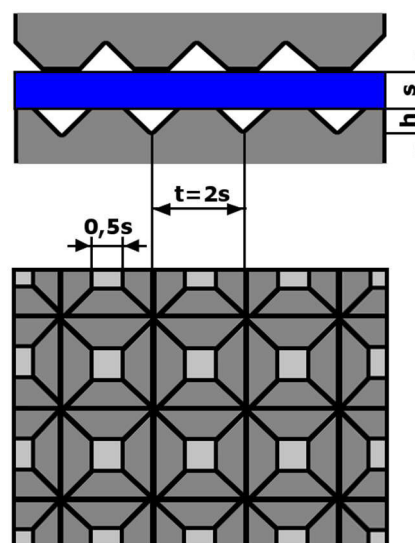
Tab. 1 Rovnací měrné specifické tlaky pro daný typ čelisti a tloušťku materiálu [25]

Typ čelisti	Tloušťka materiálu [mm]	Rovnací měrný specifický tlak [MPa]
Hladká	do 0,5	50-100
S výstupky	do 2	100-300
S výstupky	větší jak 2	300-800

Dalším způsobem rovnání plechu je takzvané rovnání tlakem mezi rovinnými mnohabodovými rovnacími plochami (obr. 31). U této metody dochází k pravidelně rozloženým prohnutím v obou směrech, jenž jsou způsobeny právě rovnacími plochami. Díky těmto prohnutím se polotovar vyrovná. Mezi nevýhody tohoto způsobu rovnání patří pozůstalé stopy na povrchu plechu, které jsou způsobeny čelistmi lisu. U této metody je kladen velký důraz na přesné nastavení dolní úvratě lisu. Pro jednotlivé materiály plechu se užívá odlišných rovnacích měrných specifických tlaků. Jejich hodnoty jsou uvedeny v Tab. 2.

Tab. 2 Rovnací měrné specifické tlaky pro daný typ materiálu [4]

Materiál plechu	Rovnací měrný specifický tlak [MPa]
Hliník	20-50
Mosaz	100-150
Ocel	250-400



Obr. 31 Funkční plocha rovnacího nástroje s výstupky [4]

3.2 Rovnání plechů mezi válci [2], [4], [25]

Mezi další technologie rovnání se řadí metoda rovnání mezi válci. Jedná se o jednu z nejvyužívanějších metod, a to z důvodu možnosti jejího využití při rovnání polotovarů o velkých rozměrech, či velkého počtu rovnaných kusů. Mezi další klady této metody patří bezpochyby i kvalita povrchu vyrovnaného polotovaru.

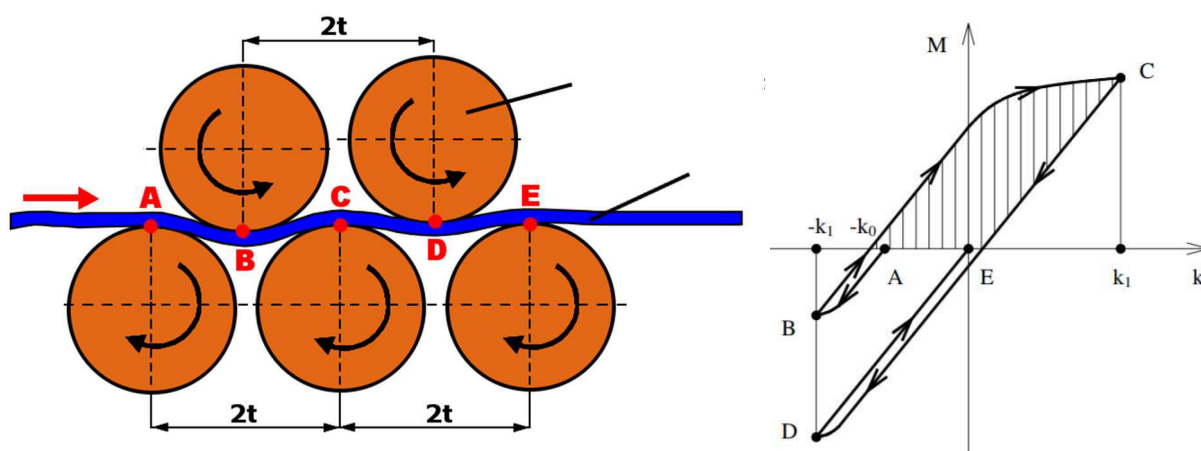
U rovnaného materiálu postupně dochází k prohýbání v opačných směrech mezi válci, jenž jsou střídavě umístěny v řadě. Vhodným uložením válců by mělo dojít k vyrovnání zakřiveného polotovaru. Naproti tomu, při vložení již rovného polotovaru mezi válce, nedochází k trvalé deformaci rovnaného kusu a jeho původní rovný tvar je zachován. Takto se ovšem polotovar chová, jsou-li velikosti ohybu vyvolané válci na hranici pružných deformací.

Na válcových rovnačkách se rovnají plechy o libovolných tloušťkách, přičemž jejich šířka se pohybuje v rozmezí od 400 do 4000 mm. Čím je průměr pracovních válců menší, tím je efektivnost z pohledu dosažení rovinnosti polotovaru vyšší, přičemž jako nejmenší vyhovující průměr válečku se uvádí 20 mm. S ohledem na nebezpečí přetržení rovnaného pásu či plechu by neměl poměr mezi tloušťkou materiálu a průměrem pracovního válce být nižší než 1:100. Tento způsob rovnání je prováděn s lichým počtem rovnacích válců, přičemž jejich počet se liší podle tloušťky polotovaru, či samotným materiálem rovnaného polotovaru.

3.2.1 Princip rovnání mezi válci [26]

Materiál, který vstupuje mezi rovnací válce, je ohnut s počátečním zakřivením $-k_0$. Tomuto zakřivení náleží výchozí bod A v diagramu na obr. 32. Zakřivení se stále zvětšuje po průchodu pod druhým válcem v bodě B, a to na hodnotu $-k_1$. U následujícího válce v místě C již nastává ohyb opačného směru, přičemž hodnota zakřivení nabývá hodnoty $+k_1$. Právě rozdíl zakřivení přesahující krajní hodnotu elastické deformace způsobuje trvalou deformaci rovnaného materiálu. Následující zakřivení na hodnotu $-k_1$ pod čtvrtým válcem v bodě D probíhá především v oblasti pružné deformace. U posledního válce v místě E dochází ke klesání jak zakřivení, tak ohybového momentu na nulovou hodnotu.

Je-li polotovar vstupující mezi válce předběžně ohnut na opačnou stranu než v předchozím případě, k trvalé deformaci dochází až pod druhým válcem v bodě B. Třetí a čtvrtý válec tak plní jen funkci kalibrační. Bez ohledu na předběžné zakřivení materiálu je možno způsobem opakovaného ohybu v opačných směrech dosáhnout vyrovnání požadovaného polotovaru.

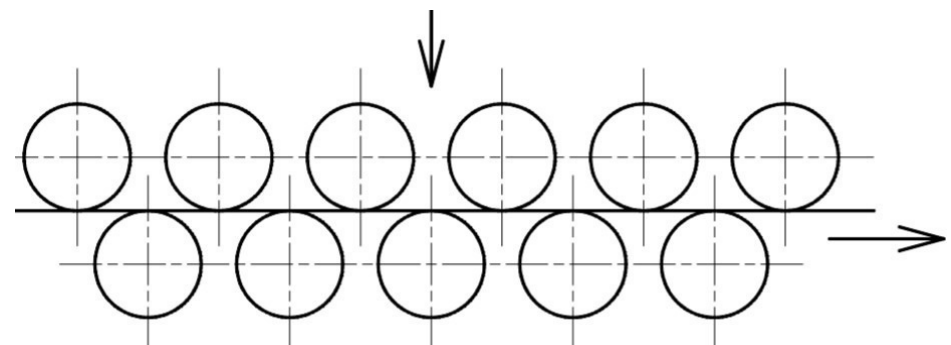


Obr. 32 Rovnání mezi válci [26]

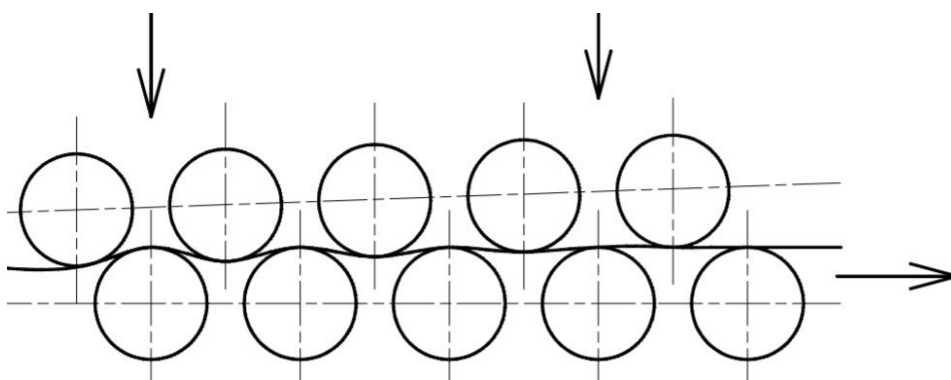
3.2.2 Druhy válcových rovnaček [27], [28]

Válcové rovnačky je možno dělit do dvou skupin, a to podle uspořádání horní linie válců. Vzhledem k dolní linii válců jsou děleny na rovnačky s rovnoběžně rozmístěnými válci (obr. 33 a) a rovnačky se sešikmenými válci (obr. 33 b).

U rovnaček s rovnoběžně rozmístěnými válci dochází k prohybu polotovaru na stejnou hodnotu pod všemi válci. Právě tato metoda je nejčastěji využívána v dělicích linkách, a to sice na předrovnání plechů. Tohoto způsobu je užíváno pro plechy o tloušťce vyšší jak 12 mm.



a) Rovnoběžné uspořádání válců



b) Sešikmené uspořádání válců

Obr. 33 Uspořádání válců v rovnačce [27]

V případě rovnaček se sešikmenými válci, kdy se rozteč horizontálních os protilehlých válců postupně zvětšuje, viz obr. 33 b, nastává největší ohyb pod válci prvními. Vlivem sešikmení horní sekce se průhyb pod válci směrem k výstupu z rovnačky stále snižuje. Oproti předešlému způsobu uložení horní sekce válců patří mezi hlavní klady této rovnačky právě nastavení velikosti průhybu pod posledními válci. Ty jsou tak schopny vyrovnat pás plechu do roviny na požadovanou velikost. Těto metody je užíváno zejména při rovnání tenkých pásů a plechu s tloušťkou menší jak 4 mm. Na obr. 34 lze vidět rovnačku plechu s rovnoběžným uspořádáním válců.



Obr. 34 Válcová rovnačka [28]

3.2.3 Ovlivňující parametry [27], [29]

Rovnění válců je ovlivňováno mnoha parametry, avšak mezi základní patří průměr válce, rozteč válce, délka těla válce, jejich počet, či například tloušťka rovnaného plechu. Zejména pak počet, průměr a rozteč válců mají vliv na kvalitu rovnání a velikost sil, působících na válc. Při velkých roztečích a průměrech válců není zajištěna požadovaná přesnost rovnání, kdežto naopak při malých velikostech těchto parametrů a velkém počtu rovnačích válců je přesnost rovnání vysoká, ale konstrukce rovnačky je složitější z důvodu působení velkých sil na jednotlivé válce. Rozteč a průměr válců se určuje na základě praxí ověřených vzorců, přičemž jsou tyto parametry závislé na tloušťce a šířce rovnaného polotovaru. Hodnota rozteče válců je nejčastěji počítána ze vzorce:

$$t = 1,1 \cdot D, \quad (3.2)$$

kde: t - rozteč válců [mm]

D - průměr válců [mm]

Mezi jeden z hlavních faktorů pro přesné rovnání patří bezpochyby užitý počet válců ve stroji. Obecně platí, že kvalitnějšího povrchu při rovnání plechů či pásů je dosaženo při větším počtu rovnačích válců. Pro různé tloušťky se užívá různého počtu válců. Při použití 9 až 11 válců se obvykle rovnají plechy s tloušťkou vyšší než 4 mm. Tenké pásy či plechy jsou pak rovnány pomocí 13 až 17 válců, přičemž může být jejich počet navýšen až na 19 až 23, má-li být dosaženo vysoké kvality vyrovnání rovnaného polotovaru.

Dalším důležitým parametrem je rychlost rovnání. Ta se v souvislosti s tloušťkou materiálu a výrobnosti daného zařízení volí na základě údajů získaných zpracováním a porovnáním parametrů provozovaných rovnaček. V tabulce 3 jsou uvedeny rychlosti rovnání pro danou tloušťku materiálu a daný způsob operace.

Tab. 3 Závislost rychlosti rovnání na tloušťce rovnaného plechu [27]

Typ plechu	Tloušťka plechu [mm]	Rovnění	Rychlost rovnání [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]
Tenké plechy	0,5 až 4	-	0,5 až 6
Tlusté plechy	4 až 30	za studena	0,1 až 0,5
		za tepla	0,3 až 1

Má-li být dosaženo potřebné přesnosti a kvality rovnaného materiálu, často dochází k podepření pracovních válců válci opěrnými, a to z důvodu zvýšení tuhosti rovnačky, viz obr. 35. Průměry těchto válců jsou voleny buďto stejné, nebo větší než u válců pracovních. Dle šířky tabule či rovnaného pásu je stanovena délka těla pracovních válců, podle níž je určena jak

Opěrný válec

Rovnačí válec



Obr. 35 Uspořádání válců v rovnačce [29]

délka, tak i počet válců opěrných, přičemž záleží na konstrukčním provedení dané rovnačky.

Materiálem jak pro rovnačí, tak opěrné válce bývá nejčastěji legovaná ocel, jenž má zvýšenou odolnost proti opotřebení, vysokou tvrdost a pevnost. Povrch těchto válců je

povrchově zakalen, přičemž je obvykle užíváno vysokofrekvenčního ohřevu na tvrdost 55 až 65 HRC. Válce užívané pro rovnání za tepla jsou nejčastěji zhotoveny ze středně legovaných ocelí, kde je jejich povrch navařován vrstvou tvrdokovu.

3.3 Strojní rovnání profilů [27]

Mezi rovnané polotovary za studena se neřadí pouze plechy, ale i profily, které jsou normovány. Jedná se o profily různých průřezů jako jsou například profily čtvercové, obdélníkové, kruhové či n-úhelníkové. Velmi často se lze ovšem setkat s rovnáním profilů rozmanitých tvarů (obr. 36), jako jsou profily C, I, L, T nebo například profily kolejnic.

3.3.1 Základní parametry rovnání profilů [27], [30]

Stejně jako u strojního rovnání plechů, tak i u rovnání profilů je rozlišováno několik základních parametrů mezi něž patří například rozteč, průměr a počet válců rovnačky, či maximální výška a průřezový modul profilu.

Dalším základním parametrem je i rychlost rovnání, která se pohybuje nejčastěji v rozmezí od 0,5 do 3 m·s⁻¹ a to v závislosti na požadované výrobnosti stroje. Některé moderní rovnačky jsou schopné rovnání při rychlostech dosahujících až 10 m·s⁻¹.

Má-li být dosaženo požadované kvality rovnaného polotovaru, je potřeba zvolit vhodné nastavení rovnačky. Počet válců je volen na základě vstupní křivosti rovnaného polotovaru, přičemž jak je známo z teorie rovnání, jejich počet je tím větší, čím je vyšší hodnota zakřivení materiálu vstupujícího do rovnačky. Mezi další důležité faktory se řadí rozteč, či vzájemná velikost překrytí válců, a to jak při rovnání vertikálním, tak i horizontálním. Obecně lze říci, že zvětšením počtu, zmenšením rozteče a zvýšením hodnoty překrytí rovnacích válců je dosahováno nejlepších výsledků rovnání. Na základě praktických zkušeností s fungujícími rovnačkami byla sestavena tab. 4, ve které jsou uvedeny používané rozměry roztečí válců v závislosti na výšce rovnaného profilu a počtu válců rovnačky.

Tab. 4 Závislost výšky rovnaného profilu na počtu a rozteči rovnacích válců [27]

Název parametru:	Rozteč válců (t) [mm]	Výška rovnaného profilu (h) [mm]- ne více než
Počet válců: 9-11	80	10
	100	15
	125	20
	160	35
	200	60
	250	65
Počet válců: 6-9	320	70
	400	80
	500	110
	630	140
	800	190
	1000	230
	1250	300
	1400	350

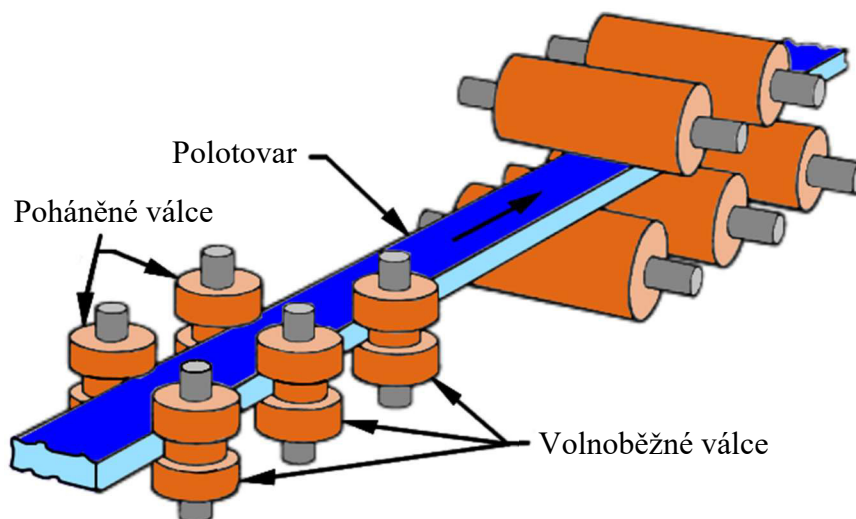


Obr. 36 Typy profilů [30]

3.3.2 Rovnání plochých a tvarových profilů [1]

Pro rovnání profilů se stejně jako u plechů používá technologie rovnání mezi válci, kde průběžně polotovar prochází mezi sadami válců s paralelními osami. Podle velikosti průřezu profilu nebo dle hodnoty meze pevnosti materiálu je možno nastavit rozteč mezi válci, či velikost jejich vzájemného překrytí. Rovnaný profil prochází rovnačkou na jeden průchod, přičemž prochází dvěma sadami rovnacích válců, jejichž roviny spolu svírají úhel 90° . V jednotce 1. nastává rovnání v horizontální rovině mezi válci, jenž rotují na hřídelích uložených vertikálně, kdežto v druhé jednotce dochází k vyrovnání v rovině vertikální mezi válci uloženými horizontálně. V první jednotce lze také vidět dva poháněné válce, které jsou stacionární, a kromě rotace se nijak nepohybují. Naopak tři volnoběžné válce jsou volně nastavitelné, a to směrem od nebo k polotovaru.

Jako příklad rovnání ve dvou rovinách lze uvést tyč s obdélníkovým průřezem (obr. 37).

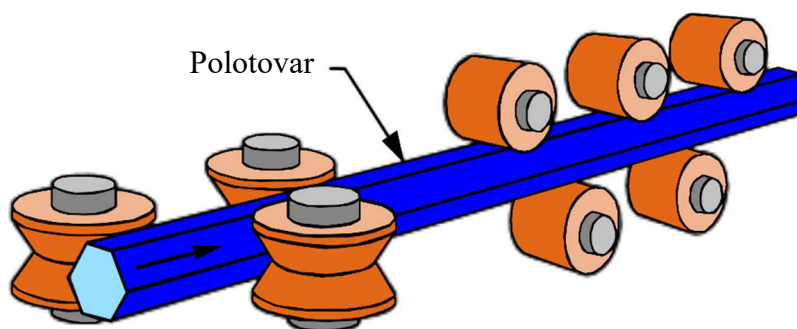


Obr. 37 Schéma rovnačky pro rovnání obdélníkových profilů [1]

Ta nejdříve vstupuje mezi vertikální válce opatřené drážkou tak, že leží na ploché straně, a to z důvodu, že je přirozené vkládat do rovnačky tyč plochou stranou z podávacího zařízení. Zároveň je také zvyklostí, že polotovar nejprve projde válci s drážkou, které kromě vyrovnání boční plochy polotovaru zajistí také správný vstup do druhé jednotky, mezi válce horizontální. Kdyby bylo zařízení obráceně orientováno, bylo by nutno vytvořit drážky na horizontálních válcích, aby byl zajištěn správný vstup mezi válce vertikální. Drážky na válcích pomáhají přesnému vedení tyčí, omezují narušení hrany a zkroucení tyče. Toto je účinné zejména pro rovnání tenkých plochých tyčí.

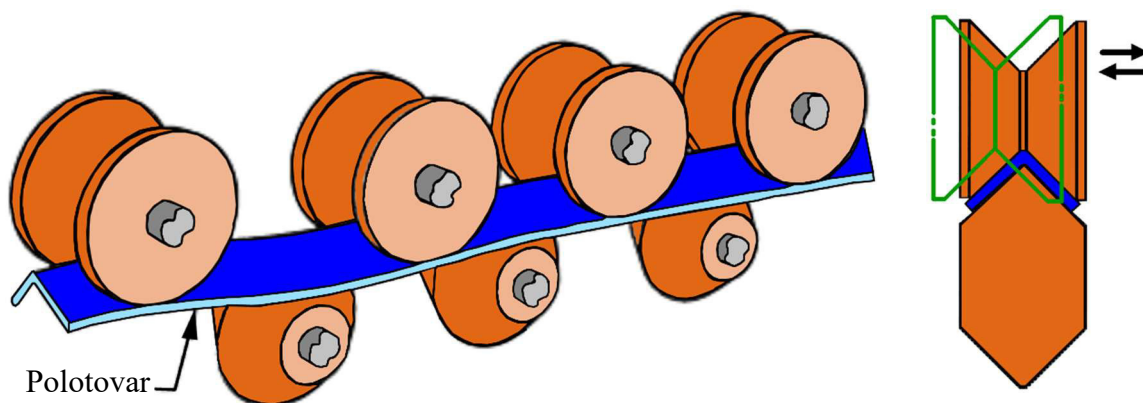
Občas také dochází k rovnání jen pomocí jedné sady válců. Právě u tohoto způsobu musí být polotovar po prvním průchodu rovnačkou pootočen o 90° a poté opět vložen do rovnačky. Rovnání probíhá jen v jedné, a to sice ve vertikální rovině mezi válci rotujícími na hřídelích, jenž jsou umístěny horizontálně.

Jak lze vidět na obr. 38, u rovnání šestihranné tyče také nejprve dochází k rovnání materiálu v horizontální rovině mezi vertikálními válci opatřené tvarovou drážkou a poté mezi válci plochými, kdy dochází k rovnání ve vertikální rovině mezi horizontálně uloženými válci. Všeobecně se dá u tohoto způsobu rovnání říci, že princip zůstává stále stejný, ale mění se pouze tvar válců používaných na rovnání.



Obr. 38 Schéma rovnačky pro rovnání šestiúhelníkových profilů [1]

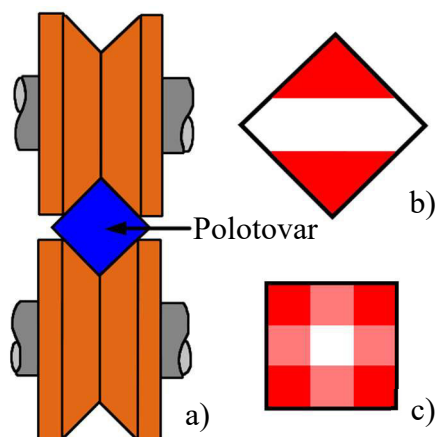
Polotovary, které jsou souměrné v obou rovinách, se dají rovnat jednodušším způsobem než ty s nesymetrickými průřezy. Polotovary s úhlovým průřezem lze nejnázorněji rovnat na rovnačkách s horizontálními válci, nastavitelnými jak ve vertikální, tak i v horizontální rovině, jak je zobrazeno na obr. 39. Axiální seřízení horní sady válečků je pro rovnání tohoto typu polotovaru nezbytné. Polotovar putuje z podávacího zařízení tak, že jeho vrcholový úhel je nahoře. Jeden či dva horní válce jsou axiálně nastavitelné proto, aby byly schopny odklonit úhel v tomto směru.



Obr. 39 Schéma rovnačky pro polotovary s úhlovým průřezem [1]

Tyče s čtvercovým nebo téměř čtvercovým průřezem mohou být vyrovnány rovnačkou zobrazenou na obr. 40 a). Je zde užito válců ve tvaru písmene “V”, které rovnají pouze v jedné rovině. Jedná se o podobný typ válců, kterých bylo užito na horní straně při předešlém způsobu rovnání. Při této metodě dochází k namáhání za hranici pružnosti jen v částech zobrazených červenou barvou na obr. 40 b), což nemusí vést k uspokojivým výsledkům. Z tohoto důvodu je proto lepší rovnat čtvercové tyče na rovnačkách, jenž rovnají ve dvou rovinách, tedy s využitím dvou jednotek rovnacích válců pootočených o 90°. Plochy namáhané za hranici pružnosti jsou zde pak větší a symetričtější, jak je vyobrazeno na obr. 40 c).

Metoda rovnání válců je užívána pro čtvercové či šestihranné tyče o maximální šířce 102 mm, u plochých tyčí je uváděna jejich maximální šířka 305 mm. Pro polotovary o větších rozměrech jsou používány lisy.



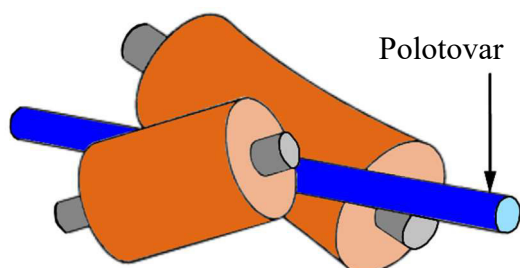
Obr. 40 Schéma rovnačky pro rovnání čtvercových tyčí [1]

3.3.3 Strojní rovnání tyčí [1], [31], [32], [33]

Pro rovnání tyčí kruhového průřezu je nejčastěji používáno rovnacích strojů dvou základních typů, a to sice kosoúhlých rovnaček a strojů rotačních. Jejich základním principem je to, že polotovar je posouván kupředu a současně je odkláněn kosoúhlým válcem, který se rovněž otáčí. Velikost tohoto vybočení musí být taková, aby v materiálu došlo k překročení meze kluzu a vytvoření malých plastických deformací. V průběhu rotace je povrch tyče vystaven střídavému tahovému a tlakovému napětí. Pro tento způsob rovnání jsou nejčastěji používány rovnačky se dvěma až devíti válci.

Dvouválcová kosoúhlá rovnačka (obr. 41 a obr. 42) se skládá ze dvou válců, jenž leží přímo proti sobě a oba jsou poháněny. Jeden z těchto válců má tvar konkávní, druhý má relativně rovnou plochu (většinou mírně konvexní). Nastavení úhlu válců způsobuje rotaci tyče, a tak i jeho průchod právě mezi nimi. Hodnota ohnutí tyče, která prochází skrz rovnací válce závisí

zejména na úhlu rovinacích válců k ose rovinané tyče a tlaku mezi nimi. Tlak se mění nastavením jednoho z válců směrem k druhému či od něj. Nastavení těchto parametrů závisí na velikosti rovinaného polotovaru a jeho mechanických vlastnostech. Obecně lze říci, že pro zachování stejných mechanických vlastností se úhel natočení válce nastavuje tím větší, čím je větší polotovar.



Obr. 41 Schéma dvouválcové kosoúhlé rovnačky [1]

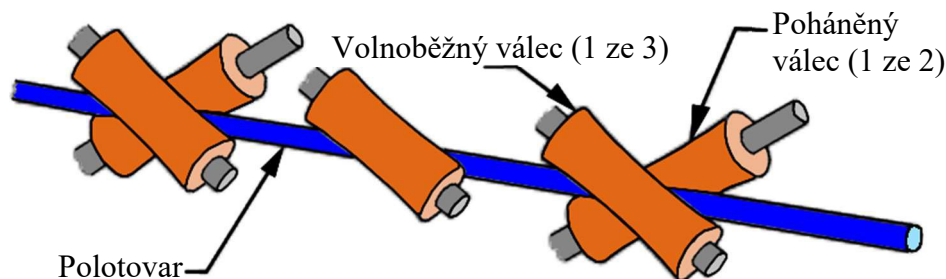


Obr. 42 Dvouválcová kosoúhlá rovnačka [31]

U tohoto způsobu rovnání je tyč vystavena neustálému rovnání od vstupu až po výstup z válců. Z tohoto důvodu lze dvouválcovou kosoúhlou rovnačku také využít pro rovnání krátkých tyčí, kdy je dosaženo vyrovnání v celé jejich délce. Uplatnění tohoto typu strojů lze také najít při rovnání konců dlouhých tyčí, jenž byly předtím rovnány za studena. Dvouválcových rovnaček se užívá také při válcování tyčí za tepla, a to zejména pro jejich dimenzování či korekci kulatosti. U měkkých kovů může docházet při příliš velkém tlaku či úhlu naklonění válce ke zmenšení průměru rovinané tyče.

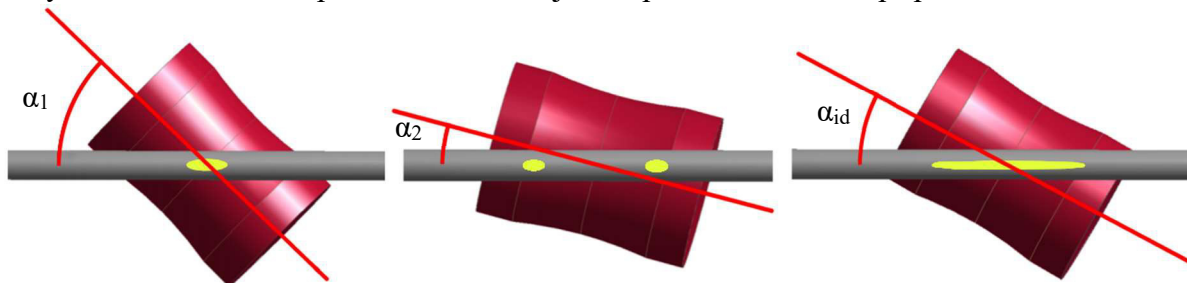
U dvouválcových rovnaček je dosahováno daleko nižších průchozích rychlostí než u rovnaček víceválcových. Nicméně rychlost rotace tyče je vzhledem k její průchozí rychlosti daleko vyšší. Rozpětí, na němž probíhá ohyb je podstatně menší u dvouválcových rovnaček než u rovnaček rotačních víceválcových, a to z důvodu, že všechny ohyb probíhá v délce válců, a nikoliv z válce na válec, jako v případě víceválcových rovnaček. Na takto krátkém rozpětí musí být na rovinanou tyč vyvinuta daleko větší síla pomocí rovinacích válců než u rovnání víceválcovými stroji. Na tomto typu stroje je možno rovnat tyče kruhového průřezu s průměrem od 1,6 mm do 255 mm.

Jak již bylo poznamenáno výše, další metodou pro rovnání tyčí je rovnání pomocí víceválcových strojů. Tento typ strojů využívá kosoúhlého rovnání s konkávními válečky. Na obr. 43 je zobrazeno rovnání rovnačkou s pěti konkávními válci, kde dva z nich jsou poháněné a tři volnoběžné. Dva volnoběžné válce jsou uloženy naproti válcům poháněným a mezi nimi leží střední válec, jenž tlakově působí na rovinanou tyč. Střední válec je nastaven tak, aby byla tyč dostatečně ohnuta a překročila tak mez pružnosti kovu. Jak tyč putuje rovnačkou a rotuje mezi rovinacími válci, jenž jsou nastaveny tak, aby na tyč působily určitým tlakem, dochází k ohýbání tyče ve všech směrech kolmo na podélnou osu rovinaného polotovaru. Takto se dosáhne vyrovnané tyče se symetrickým namáháním.



Obr. 43 Schéma pětiválcové kosoúhlé rovnačky [1]

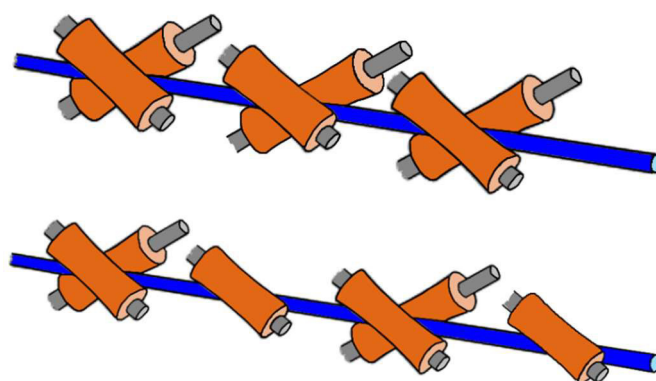
Konkávni válce mají nastavitelný sklon, aby bylo dosaženo maximální délky styku mezi válci a rovnáním polotovarem. Není-li sklon válců nastaven správně, dochází k jejich opotřebení. Jak lze vidět na obr. 44, je-li nastaven příliš velký úhel (α_1), dochází k takzvanému jednobodovému styku, naopak je-li úhel příliš malý (α_2) dochází ke styku dvojbodovému. V případě nastavení ideálního úhlu (α_{id}) je styk válců s polotovarem rozprostřen do větší spojité délky a nedochází tak k opotřebování válců jako v předchozích dvou případech.



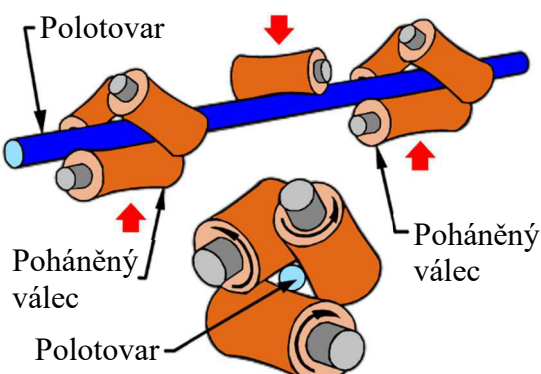
Obr. 44 Kontaktní oblasti mezi válcem a tyčí při nastavení různých úhlů [32]

Víceválcové rovnačky se liší uspořádáním válců ve stroji. Podobné uspořádání válců jako v předešlém případě je i u šestiválcové rovnačky, viz obr. 45. Šestý válec je přidán buďto naproti střednímu válci (na obr. 45 zobrazeno nahoře), nebo až na výstupu ze stroje (obr. 45 dole).

Sedmiválcové rovnačky (obr. 46) nejčastěji užívají uspořádání dvou skupin válečků po třech, kde navíc mezi jednotlivými skupinami je jeden volnoběžný válec. Tohoto způsobu je využíváno zejména pro rovnání trubek s průměrem od 60 mm do 610 mm či pro tenké tyče o průměru okolo 8 mm.



Obr. 45 Uspořádání válců v šestiválcové rovnačce [1]



Obr. 46 Schéma sedmiválcové rovnačky [1]

V praxi jsou rovnací válce nastavitelné tak, aby vyhovovaly různým velikostem tyčí. Právě v závislosti na velikosti tyče je volena velikost úhlu obvykle od 28° do 30° . Příklady velikostí úhlů v závislosti na velikosti tyče u rovnaček s pěti válci jsou uvedeny v tabulce 5.

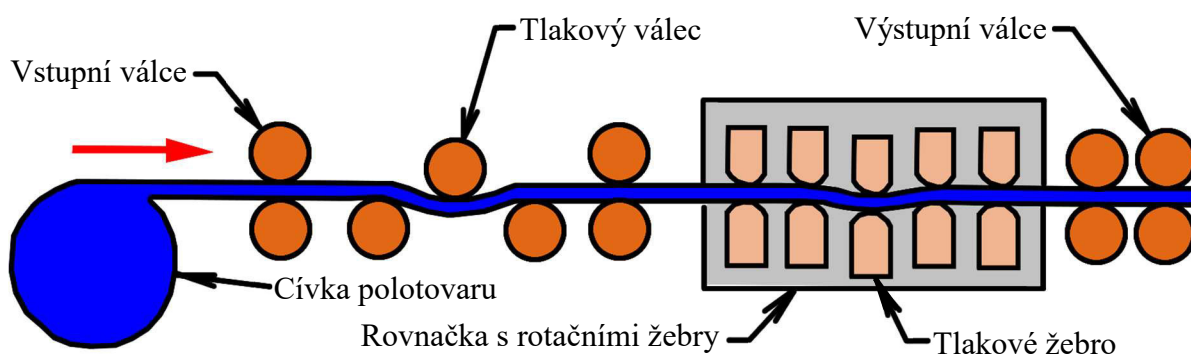
Tab. 5 Velikosti úhlů sklonu válců [1]

Průměr tyče [mm]	19	25	32	38	44	50	57	64
Nastavení úhlu $^\circ$	26,625	26,875	27	27,25	27,5	27,75	28	28,25
Průměr tyče [mm]	70	75	83	89	95	102	108	114
Nastavení úhlu $^\circ$	28,5	28,75	29	29,25	29,5	29,625	29,875	30

Rovnačky s rotačními žebry (obr. 47) se používají pro rovnání stočených tenkých tyčí a drátů o jejich maximálním průměru 32 mm. Schéma takového zařízení je zobrazeno na obr. 48. Tím, jak polotovár prochází strojem a lisovníky kolem něj rotují dochází k vyrovnání tyče či drátu. Rotační část obsahuje 5 párů litinových žebër, která jsou rovnoměrně umístěna s pevnou vzdáleností mezi nimi. Prostřední pár žebër je oproti ostatním vychýlen o určitou hodnotu. Žebër mají zvonovitý tvar z důvodu lepšího vstupu polotovaru do rovnačích stroje a jsou zajištěny šrouby. Prostřední pár žebër působí na polotovár tlakovou silou a způsobuje tak jeho ohyb. Zbývající žebër způsobují ohyb v opačném směru než v případě žebër prostředních. Správné nastavení prostředních žebër je nezbytné pro správné vyrovnání polotovaru. Je-li vyrovnaný polotovár ohnutý, znamená to, že je třeba nastavit větší tlak na prostředních žebrech, naopak tlak je třeba ubrat, je-li polotovár po průchodu rovnačkou zvlněný. Během tohoto způsobu rovnání taktéž dochází ke zvětšení průměru tyčí (až o 0,15 mm) a to zejména u oceli s obsahem uhlíku vyšším než 0,15 %. Rychlost pohybu polotovaru v tomto typu rovnačky se obvykle pohybuje v rozmezí od 23 do 61 m·min⁻¹, a to v závislosti na velikosti rovnačky či typu rovnání polotovaru.



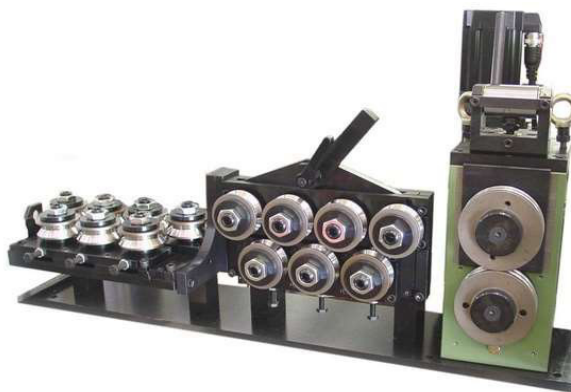
Obr. 47 Rovnačka s rotačními žebry [33]



Obr. 48 Schéma zařízení s rovnačkou s rotačními žebry [1]

3.3.4 Strojní rovnání drátů [1], [34], [35]

Ve strojírenství je velice složité určit, kde je hranice průměru, od kterého se jedná o tenkou tyč či tlustý drát. Proto v mnoha případech rovnání drátů lze užít metod z předchozí kapitoly o rovnání tyčí. Nejčastějším případem pro rovnání drátů je však rovnačka, která užívá rovnání ve dvou rovinách s válečky (obr. 49), které jsou opatřeny tvarovou drážkou pro specifický tvar průřezu drátu. Na takových rovnačkách lze rovnat dráty o průměrech od 0,1 do 15 mm.



Obr. 49 Rovnačka drátů [34]

3.3.5 Strojní rovnání trubek [1]

Pro rovnání trubek se užívá vícero metod, přičemž většina z nich byla již popsána v předchozím textu. Účelem rovnání trubek je zlepšit jejich přímost a ovalitu. Při rovnání trubek je nutné brát ohled především na tvar a velikost průřezu trubky, tloušťku stěny a materiál, ze kterého je trubka zhotovena. Dále je velmi důležité správně nastavit tlak, který je vyvíjen rovnacími válci na polotovary, a to zejména u tenkostěnných trubek, kde může docházet k trvalé deformaci průřezu. Tlak působící na polotovar může být snížen zvětšením vzdálenosti mezi body, kde dochází ke styku nástroje a trubky, nebo například zvětšením kontaktní plochy mezi trubkou a rovnacími válci. Často ještě před samotným rovnáním ve válcových rovnačkách dochází k vyrovnaní v lisech. Těch se užívá zejména pro rovnání zakřivených konců rovnaných trubek.

Trubky jsou také často rovnány na dvouválcových kosoúhlých rovnačkách. V tomto případě zůstává princip naprosto stejný jako při rovnání plné tyče. Poháněné válce, jenž mají předem definovaný úhel sklonu způsobují rotaci trubky, která je tak poháněna skrz stroj v přímém směru. Dvouválcových kosoúhlých rovnaček je užíváno pro trubky s poměrem průměru ku tloušťce stěny maximálně 15:1, není-li trubka předem předrovnána například na lisu. Stejně jako při rovnání plných tyčí je jeden válec konkávní a druhý konvexní nebo s rovnou plochou. Válce jsou uspořádány ve vodorovné rovině, ovšem u některých moderních strojů mohou být i v rovině svislé. Z důvodu krátké kontaktní plochy, na rozdíl od víceválcových rovnaček, se tohoto způsobu rovnání neužívá pro tenkostěnné trubky. Ve většině případů jsou válce nastaveny na úhel v rozmezí od 15 ° do 25 °. Zároveň je v některých situacích potřeba válců s odlišnou konkávností. Válců s mělkou konkávností je užito, má-li materiál nízkou mez elasticity, naopak hlubší konkávnosti je užito v případě materiálu s vyšší mezí elasticity.

Na rovnání trubek se také používá rovnaček s větším počtem válců. Této metody je využíváno zejména pro rovnání tenkostěnných trubek či trubek tlustostěnných s vysokým poměrem jejich průměru k tloušťce stěny. Vzhledem k možnosti nastavení většího úhlu válců je u víceválcových rovnaček dosahováno daleko vyšších rychlostí než u jiných druhů rovnaček. Nastavení úhlů válců závisí na vnějším průměru rovnané trubky. Velikost úhlu pro rovnání tenkých trubek o průměru od 6,4 mm do 19 mm je obvykle 45 °. Pro trubky o vnějším průměru od 50 mm do 152 mm je běžně užíváno úhlu 30 °, pro průměry od 455 mm do 610 mm u trubek tlustých pak 17 °. Víceválcových rovnaček se neužívá jen pro rovnání, nýbrž i pro dimenzování a leštění trubek. Touto metodou nelze vyrovnat zahnuté konce trubek tak, jak je tomu v případě dvouválcových kosoúhlých rovnaček.

4 ZÁVĚRY

V bakalářské práci byl proveden průzkum v oblasti tváření, jehož cílem bylo vytvořit všeobecný přehled metod rovnání polotovarů. Tento přehled je zde rozdělen do dvou hlavních částí, a to sice na metody ruční a metody strojní. Práce je doplněna obrázky, které umožní vytvořit přesnou představu o principu jednotlivých metod.

V úvodu se práce zabírala důvody rovnání a základními principy rovnání, u kterých byl uveden stručný a zjednodušený popis napětově-deformačních stavů během samotného procesu rovnání, a byly tak odvozeny základní vztahy pro jednotlivé deformace.

Další kapitola pojednávala o základních metodách ručního rovnání, ať už za studena či za tepla, a to za pomoci různých nástrojů. Z provedeného průzkumu lze vyvodit fakt, že ručního rovnání je užíváno jen zřídka, pro případ malé sériovosti výroby, či rovnání polotovarů menších rozměrů, u kterých není možno použít rovnání strojního.

V další fázi práce byl vypracován přehled rovnání polotovaru metodami strojními, které byly rozděleny dle typu rovnaného polotovaru. Z provedené studie lze vyvodit, že takového rovnání je užíváno v případě potřeby vysoké kvality vyrovnání polotovaru, či v případě velké sériovosti výroby velkých polotovarů ve větších závodech. Rychlost i kvalita je daleko vyšší než u rovnání ručního, ovšem na úkor ceny rovnacího stroje.

Závěrem lze říci, že rovnání polotovarů bylo, je a bude nedílnou a nenahraditelnou součástí procesu tváření.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [36]

1. ASM INTERNATIONAL. *Metals handbook volume 14: Forming and forging*. 9. vyd. Metals Park, Ohio: American Society for Metals, 1988. ISBN 978-0-871-70020-9.
2. MACHEK, Václav et al. *Zpracování tenkých plechů*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1982. 272 s. DT 621.98.
3. STRACHOTA, Antonín. *Rovnění součástí ohřevem*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1966. Knihnice strojírenské výroby. ISBN 621.98-229.6.
4. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. Vyd. 5., V Akademickém nakladatelství CERM 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-80-214-4747-9.
5. Trubka konstrukční 20 x 1,5 mm. *Dama* [online]. Praha [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <https://www.idama.cz/hutni-material/trubka-konstrukcni-20-x-1-5-mm-detail-36079>
6. RUUKKI - Hladký plech Svitek 620mm 0,5mm Purex HB - Tmše. *Coleman S.I.* [online]. [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <https://e.coleman.cz/svitek-620mm-05mm-purex-hb-tmse-p-020459-cz>
7. OCELOVÝ RÁDLOVACÍ DRÁT MĚKKÝ ČERNĚ ŽÍHANÝ (4 MM). *INVEST-STAR.cz* [online]. [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <https://eshop.invest-star.cz/prislusenstvi-pro-stavebni-ocel/ocelovy-radlovaci-drat-mekky-cerne-zihany-4-mm/>
8. EN19 ALLOY Steel Round Bar. *Indiamart* [online]. [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <https://www.indiamart.com/proddetail/en19-alloy-steel-round-bar-13476647848.html>
9. *ELUC* [online]. Olomouc, 2015 [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz>
10. ČABELKA, Jozef. *Mechanická technológia*. 1183. Bratislava: Vydavateľstvo Slovenskej akadémie vied, 1967. 71-044-67.
11. NOVOTNÝ, Karel a Zdeněk MACHÁČEK. *Speciální technologie I*. Vyd. 2. Brno: VUT, 1992. Učební texty vysokých škol (Vysoké učení technické v Brně). ISBN 80-214-0404-3.
12. *Ruční zpracování kovů: rovnání a ohýbání, sekání, nýtování* [online]. [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <https://digit.isste.cz/ops/assets/793230837126.%20Rucni%20zpracovani%20kovu%20rovnani%20a%20ohybani,%20sekani,%20nytovani.pdf>
13. ZAJÍČEK, Miroslav. *ZÁKLADY RUČNÍHO ZPRACOVÁNÍ KOVŮ: ROVNÁNÍ A OHÝBÁNÍ* [online]. 2010 [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <http://int.spsou-ub.cz/projekty/ov3000/STROJ/MECHANIK%20SERIZOVAC/MSI-2.5%20Zaklady%20rucniho%20zpracovani%20kovu-Rovnani%20a%20ohybani.pdf>
14. *Tipy pro praktiky: Rovnání plamenem* [online]. [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <http://www.vildman.eu/getattachment/9740220f-ff3d-44d1-b3c6-42882e2649bc/Tpp-Rovnani-plamenem.aspx>
15. Kladivo zámečnické. *Zbirovia* [online]. Zbiroh [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <http://www.zbirovia.cz/cs/naradi/kladiva/28-kladivo-zamecnicke>
16. Kladiva- paličky: Měděná palička. *Dovavanik* [online]. Praha [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <http://www.dovavanik.cz/KLADIVA---PALICKY-.html?vyhledavani=&vsude=&list=2>
17. Forged Anvils Portable stand fits all anvils Forged Anvils. *Ridgid* [online]. Northampton [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <https://www.ridgid.eu/ie/en/forged-anvils#>

18. Deska rovnací se žebrem hoblovaná 300x 300. *HHW* [online]. Praha [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: https://www.hhw.cz/cz/Shop/Dílenské%20potřeby/Rovnací%20desky/71710101/Deska_rovnací_se_žebrem_hoblovaná_300x_300
19. Ruční rovník drátu - rovný. *Elron Elektro* [online]. Kladno [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <http://www.elron.cz/cz/eshop/product-rovnacka-3k-fezn-rucni-rovnak-dratu-rovny-3-koliky-1419>
20. Ruční kladičkové rovnačka. *Profing* [online]. Piešťany [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <http://www.profing.sk/cz/rovnacky-dratu/rucna-rovnacka/?type=98>
21. Rovnání plechu. In: *Youtube* [online]. 23. 5. 2016 [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=qGksGtI_fMA
22. Rovnání drátu. In: *Youtube* [online]. 23. 5. 2016 [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=99KroVqGVoM>
23. Žihání: Naměkko (650-720 °C). In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Žihání_\(metalurgie\)](https://cs.wikipedia.org/wiki/Žihání_(metalurgie))
24. Tepelné zpracování ocelí: Základní typy žihání u ocelí. *Slideplayer* [online]. [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <http://slideplayer.cz/slide/2810347/>
25. LENFELD, Petr. Technologie plošného tváření - rovnání. *Technologie II* [online]. Liberec [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/08.htm
26. MARCINIAK, Zdisław. *Teorie tváření plechů*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1964. DT 621.777.001.
27. POKORNÝ, Arnošt. *Tvářecí stroje: podélná a příčná doprava a manipulátory, dělicí a rovnací stroje*. Ostrava: Vysoká škola báňská, 1990. ISBN 80-707-8068-1.
28. Straightening Machine. *Indiamart* [online]. Delhi [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <https://dir.indiamart.com/ahmedabad/straightening-machines.html>
29. Rovnací stroj na plech. *Exapro* [online]. [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <https://www.exapro.cz/rovnaci-stroj-na-plech-wmw-gotha-ubr-16x25001-10k-p70111125/#prettyPhoto>
30. Knihovna ocelových profilů. *ZWSOFT* [online]. [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <http://www.zwsoft.cz/n/knihovna-ocelovych-profilu>
31. Rovnačky pro rovnání tyčí. *ŽďAS* [online]. Žďár nad Sázavou [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <https://www.zdas.com/cs/produkce/zarizeni-rovnani-materialu/>
32. BENEŠOVSKÝ, M. Výpočtová simulace kosoúhlého rovnání tyčí. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 105 s. Vedoucí diplomové práce prof. Ing. Jindřich Petruška, CSc..
33. Rotary Wire Straighteners. *Novo Precision* [online]. Bristol [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <https://www.novoprecision.com/products/rotary-wire-straighteners-rotary-tube-straighteners/>
34. Rovnačky drátu. *MECALUX Logismarket* [online]. Praha [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <https://www.logismarket.cz/p-a-bohemia/rovnacky-dratu/2551935893-1347582268-p.html>
35. MODULAR WIRE STRAIGHTENER. *PA Industries* [online]. Bloomfield [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <http://www.pa.com/products/detail.aspx?catid=285>
36. CITACE PRO. Generátor citací [online]. 2013 [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: <http://citace.lib.vutbr.cz/info>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
D	průměr válců	[mm]
F	rovnací síla	[N]
p	rovnací měrný specifický tlak	[MPa]
s	tloušťka polotovaru	[mm]
S	plocha součásti	[mm ²]
t	rozteč válců	[mm]
ε_0	velikost nežádoucí deformace před rovnáním	[-]
ε_C	celková deformace	[-]
ε_R	velikost deformace při rovnání	[-]
ρ_0	poloměr neutrální osy před rovnáním	[mm]
ρ_R	poloměr neutrální osy při rovnání	[mm]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Příklad používaných polotovarů [5], [6], [7], [8]	9
Obr. 2 Princip rovnání [10]	10
Obr. 3 Působení úderu na materiál [9]	12
Obr. 4 Zámečnické kladivo [15]	12
Obr. 5 Měděná palice [16]	12
Obr. 6 Kovadlina [17]	12
Obr. 7 Rovnáci deska [18]	12
Obr. 8 Ruční rovnačka [19]	13
Obr. 9 Kladková rovnačka [20]	13
Obr. 10 Směr úderu palicí na materiál [12]	13
Obr. 11 Diagram s oblastí žihání naměkko [24]	13
Obr. 12 Rovnání vřetenovým lisem [12]	14
Obr. 13 Protahování drátu průvlakem [12]	14
Obr. 14 Přetahování přes dřevěný váleček [12]	14
Obr. 15 Rovnání drátu pomocí válečku [22]	15
Obr. 16 Rovnání drátu pomocí dvou dřívěk [22]	15
Obr. 17 Průběh a pořadí úderů [9]	15
Obr. 18 Průběh a pořadí úderů k napravení deformace [9]	16
Obr. 19 Průběh a pořadí úderů k napravení deformace [9]	16
Obr. 20 Směr úderů kladiva u plechu: a) s vypouklinou uprostřed, b) se zvlněným okrajem [12].	16
Obr. 21 Rovnání kovové fólie vyhlazováním [13]	17
Obr. 22 Typy hořáků [14]	17
Obr. 23 Rovnání prohnuté desky [3]	18
Obr. 24 Rovnání desky s úhlopříčným průhybem [3]	18
Obr. 25 Rozdíl mezi bodovým a pásovým ohřevem [3]	18
Obr. 26 Umístění počátku klínu [3]	19
Obr. 27 Působení klínového ohřevu [3]	19
Obr. 28 Zlomy po vyrovnání několika klíny [3]	19
Obr. 29 Rovnání plechu tlakem mezi rovnými deskami [4]	20
Obr. 30 Schéma tvaru čelistí pro bodové a bradavkové rovnání [25]	21
Obr. 31 Funkční plocha rovnacího nástroje s výstupky [4]	21
Obr. 32 Rovnání mezi válci [26]	22
Obr. 33 Uspořádání válců v rovnačce [27]	23
Obr. 34 Válcová rovnačka [28]	23
Obr. 35 Uspořádání válců v rovnačce [29]	24
Obr. 36 Typy profilů [30]	25
Obr. 37 Schéma rovnačky pro rovnání obdélníkových profilů [1]	26
Obr. 38 Schéma rovnačky pro rovnání šestiúhelníkových profilů [1]	26
Obr. 39 Schéma rovnačky pro polotovary s úhlovým průřezem [1]	27
Obr. 40 Schéma rovnačky pro rovnání čtvercových tyčí [1]	27
Obr. 41 Schéma dvouválcové kosoúhlé rovnačky [1]	28
Obr. 42 Dvouválcová kosoúhlá rovnačka [31]	28
Obr. 43 Schéma pětiválcové kosoúhlé rovnačky [1]	28
Obr. 44 Kontaktní oblasti mezi válcem a tyčí při nastavení různých úhlů [32]	29
Obr. 45 Uspořádání válců v šestiválcové rovnačce [1]	29
Obr. 46 Schéma sedmiválcové rovnačky [1]	29
Obr. 47 Rovnačka s rotačními žebry [33]	30
Obr. 48 Schéma zařízení s rovnačkou s rotačními žebry [1]	30
Obr. 49 Rovnačka drátů [34]	30

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Rovnací měrné specifické tlaky pro daný typ čelisti a tloušťku materiálu [25]	21
Tab. 2 Rovnací měrné specifické tlaky pro daný typ materiálu [4]	21
Tab. 3 Závislost rychlosti rovnání na tloušťce rovnaného plechu [27]	24
Tab. 4 Závislost výšky rovnaného profilu na počtu a rozteči rovnacích válců [27]	25
Tab. 5 Velikosti úhlů sklonu válců [1]	29