

**MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ
AGRONOMICKÁ FAKULTA**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BRNO 2016

ZBYNĚK ČECHAL



**Konstrukce lisovacích nástrojů pro stříhání výlisků
z plechu**

Bakalářská práce

Vedoucí práce:
Ing. Jiří Votava Ph.D.

Vypracoval:
Zbyněk Čechal



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Zpracovatel : **Zbyněk Čechal**
Studijní program: Zemědělská specializace
Obor: Provoz techniky
Název tématu: **Konstrukce lisovacích nástrojů pro stříhání výlisků z plechu**
Rozsah práce: 30-40 stran

Zásady pro vypracování:

1. Charakteristika a rozdělení tváření kovů za studena.
2. Materiály vhodné pro tváření za studena a jejich vlastnosti.
3. Materiály a způsoby tepelného zpracování pro výrobu lisovacích nástrojů.
4. Popis funkcí jednotlivých částí postupového prostřihovačla a princip stříhání.



Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci „*Konstrukce lisovacích nástrojů pro stříhání výlisků z plechu*“ vypracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou *Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací*.

Jsem si vědom, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne:.....

.....

podpis

Poděkování

Rád bych poděkoval Ing. Jiřímu Votavovi, Ph.D. za cenné rady, věcné připomínky a vstřícnost při konzultacích během vypracování bakalářské práce.

ABSTRAKT

Bakalářská práce je zaměřena na konstrukci střížných nástrojů pro výrobu výstřížků z plechu. Celá práce je rozdělena do čtyř částí, přičemž v první části je shrnuta charakteristika technologie tváření kovů s rozdělením tvářecích procesů podle různých hledisek. Zároveň je v této části popsáno tváření kovů za studena a rozdělení tvářecích operací plošného a objemového tváření. U uvedených tvářecích operací je podstatná část věnována výpočtům tvářecích sil. Další část uvádí přehled materiálů vhodných k plošnému i objemovému tváření včetně jejich vlastností. Ve třetí části práce, se nachází rozdělení a popis různých druhů materiálů, které se používají pro výrobu lisovacích nástrojů a zároveň je zde zmíněno i jejich tepelné zpracování. Samotnými střížnými nástroji se zabývá poslední část, ve které je uveden jejich popis včetně přehledu základních konstrukčních prvků, z nichž jsou nástroje sestaveny. Převážně je v této části popsána funkce a konstrukce jednoduchých a postupových stříhadel.

Klíčová slova: tváření za studena, stříhání, střížný nástroj, výlisek, lisovací nástroje

ABSTRACT

The thesis is focused on the construction of the metal sheet cutting tools. The first part is about characterization of metal forming processes which are divided into several categories according to various criteria. Cold metal forming and classification of the forming operations of flat and bulk metal forming are described in this part. A substantial part of this chapter deals with the calculations of the forming forces. Another part summarizes the description and properties of the materials suitable for flat and bulk forming. The third part is focused on the classification and characterization of different materials used for the production of forming tools and thermal processing of mentioned materials. Blanking tools are mainly discussed in the last section. This chapter includes description of the tools as well as an overview of the basic components for tools constructing. The major part of the last section deals with the function and construction of the progressive blanking tools.

Key words: cold metal forming, sheet metal cutting, blanking tool, metal stamping, forming tools

OBSAH

1	ÚVOD	8
2	CÍL PRÁCE	9
3	TECHNOLOGIE TVÁŘENÍ KOVŮ	10
3.1	Rozdělení tvářecích procesů pro zpracování kovů.....	11
3.2	Fyzikálně - metalurgické základy tváření	13
4	TVÁŘENÍ KOVŮ ZA STUDENA	15
4.1	Výhody vylisků	15
4.2	Nevýhody vylisků	15
5	ROZDĚLENÍ LISOVACÍCH OPERACÍ.....	16
5.1	Plošné tváření	17
5.1.1	Stříhání.....	17
5.1.2	Ohýbání.....	25
5.1.3	Tažení.....	31
5.2	Objemové tváření	36
5.2.1	Protlačování	37
6	MATERIÁLY KE TVÁŘENÍ ZA STUDENA	40
6.1	Ocelové plechy k plošnému tváření	40
6.2	Oceli pro objemové tváření.....	42
7	MATERIÁLY PRO LISOVACÍ NÁSTROJE.....	43
7.1	Konvenční materiály pro lisovací nástroje.....	44
7.1.1	Základní materiály	44
7.1.2	Ostatní a návarové materiály	45
7.2	Speciální materiály pro činné části nástrojů.....	46
7.2.1	Slinuté karbidy	47
7.2.2	PM nástrojové oceli	47
8	STŘIŽNÉ NÁSTROJE	48
8.1	Konstrukční prvky střížných nástrojů	49
8.2	Konstrukce nástrojů	50
8.2.1	Střížné nástroje bez vedení	50
8.2.2	Střížné nástroje s vedením	51
8.2.2.1	Nástroje s vodící deskou.....	52
8.2.2.2	Nástroje s vodícími sloupky	58
9	ZÁVĚR	59
10	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	60

11	SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	62
12	SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK	64
13	SEZNAM PŘÍLOH	65

1 ÚVOD

Mezi hlavní výrobní procesy strojírenské technologie patří neodmyslitelně technologie tváření kovů a jejich slitin, která je díky své vysoké produktivitě a hospodárnosti velmi perspektivní, a proto se používá stále častěji. Účelem technologie tváření je vyrábět pro průmyslová odvětví nejen polotovary, ale i součásti, zejména v hromadné výrobě. U součástí vyráběných tvářením se dosahuje mnohem vyšší pevnosti než u obráběných součástí. Rozdíl ve výsledné kvalitě a přesnosti výrobku, však spočívá v tom, jestli je tváření prováděno za tepla nebo za studena. V porovnání s obráběním, u něhož je ztráta materiálu průměrně 50 %, odpadá při tváření kovů jen asi 5 až 10 % materiálu. Strojní zařízení, které se používají pro tváření kovů, se vyznačují velkou výkonností. Technologické výrobní procesy lze velmi dobře mechanizovat i automatizovat, čímž se podstatně snižují výrobní náklady.

Na technologii tváření kovů působí do značné míry vlastní návrh konstrukce nástroje, přesnost jeho výroby, a také tvářený materiál. Tyto faktory mají rozhodující vliv na konečné rozměry, přesnost a potřebné vlastnosti tvářené součásti. Konstrukční návrh nástroje je vždy určen tvarovou náročností, úplnými rozměry a požadovanou přesností tvářeného výrobku. Dalšími faktory, které ovlivňují konstrukci nástroje je množství vyráběných součástí a jeho předpokládaná sériovost výroby.

Každý materiál se vyznačuje určitými vlastnostmi, které se zjišťují pomocí mechanických a technologických zkoušek, na jejichž základě se určí jeho schopnost nevratně se deformovat bez porušení tzv. tvařitelnost. Tvářením se zpracovávají převážně materiály s vysokou pevností a nízkou mezí pružnosti tj. tvárné materiály.

K nejčastěji používané operaci technologie tváření kovů patří stříhání. Jedná se o vysoce progresivní proces, při němž dochází k úplnému, nebo částečnému oddělování částic materiálu podél střížných hran nástroje. Materiál je oddělován vzájemným pohybem dvojice nástrojů, která vyvozuje potřebnou střížnou sílu. Stříh lze provést v daném místě pouze vhodně navrženou konstrukcí nástroje a jeho funkční části musí být vyrobeny s dostatečnou přesností, aby se dosáhlo požadované kvality výrobku respektive výstřížku. Stříhání se provádí buď nůžkami nebo střížnými nástroji tzv. stříhadly, které se vyrábějí v různém provedení a velikostech.

2 CÍL PRÁCE

Cíle bakalářské práce lze rozdělit do čtyř hlavních částí, na nichž je založena konstrukce lisovacích nástrojů pro stříhání výlisků z polotovaru ve formě plechu. První část má popsat a rozdělit technologii tváření kovů, zejména tváření kovů za studena. Zároveň by měly být charakterizovány jeho lisovací operace. Cílem druhé části je shrnout materiály vhodné ke tváření za studena a uvést jejich vlastnosti. Ve třetí části bude vytvořen přehled materiálů používaných k výrobě lisovacích nástrojů. Současně u nich budou zmíněny způsoby tepelného zpracování. V poslední části má být popsána funkce a konstrukce vybraných druhů střížných nástrojů.

3 TECHNOLOGIE TVÁŘENÍ KOVŮ

Technologie tváření kovů a slitin se řadí mezi technologie beztržiskového zpracování, které je založeno na tvárné deformaci. Jedná se o výrobní proces, při kterém dochází ke změně tvaru polotovaru nebo výrobku na požadovaný tvar, působením vnějších sil bez porušení soudržnosti materiálu. Výsledkem tvářecího procesu je trvalá změna tvaru základního materiálu. Pomocí tvářecích metod se vyrábí, buď polotovary určené pro další zpracování tvářením, obráběním, případně jinými výrobními procesy, anebo hotové výrobky různorodých tvarů a velikostí. Tváření nachází velký význam ať už v hutní, tak převážně ve strojírenské výrobě. Díky své vysoké hospodárnosti je nejvhodnější pro sériovou a hromadnou výrobu.

Tvářením je v dnešní době možné tvarovat téměř jakýkoliv kov nebo slitinu. Používané tvářecí nástroje a stroje jsou schopny zpracovat taktéž obtížně tvárné materiály s vysokou pevností. Důkazem je tváření mramoru a kovů s jemu podobnými vlastnostmi. Tváření těchto materiálů se provádí pomocí hydrostatického účinku kapaliny, kdy je tvářený materiál ponořen do určitého druhu kapaliny o tlaku až 5000 MPa. Nedostatky a nová řešení v technologii tváření hledá neustále probíhající technologický výzkum, jehož pozornost je upřena například nekonvenčním způsobům tažení plechu. Díky novým progresivním technologiím, které jsou postupně zaváděny, je možné navyšovat produktivitu práce, zlepšovat kvalitu výroby a dosáhnout nižších výrobních nákladů při dodržení bezpečnosti a ochrany životního prostředí. Je potřeba zabývat se zejména ekonomickým tvářením malých sérií výrobků, na jejichž výrobu má nepříznivý vliv pořizovací cena tvářecích nástrojů. Cílem je tvářet s maximální možnou přesností a použít co nejmenší počet dokončovacích převážně obráběcích operací. Zároveň je snahou minimalizovat při tváření podíl ruční práce z výrobního procesu a nahradit ji mechanizačními nebo zcela automatickými prostředky. Finanční náročnost tvářecích procesů lze snížit využitím jiných zdrojů energie (např. nahradit detonaci výbušnin explozí elektrické jiskry v kapalině), zařazením speciálních tvářecích jednotek s vysokou produktivitou, použitím nových levnějších materiálů na nástroje jako jsou umělé pryskyřice, železobeton nebo různé druhy pryže. (Dvořák M. a kol., 2000)

Tváření kovových materiálů se vyznačuje zejména výhodami, mezi které patří vysoká produktivita práce, maximální využití tvářeného materiálu a velmi dobrá rozměrová přesnost výrobků. Naopak hlavní nevýhodou je vysoká pořizovací cena

nástrojů, z čehož vyplývá použití převážně v hromadné výrobě a omezené finální rozměry výrobku. (www.ksp.tul.cz)

3.1 Rozdělení tvářecích procesů pro zpracování kovů

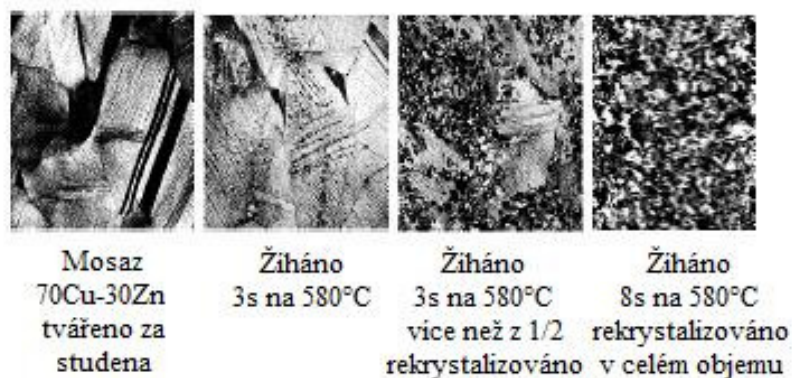
Technologické tvářecí procesy je možné rozdělit podle různých hledisek, mezi něž patří:

A. Teplota tvářeného materiálu (rekrytalizace)

Podle teploty, při jaké je materiál tvářen, se tvářecí pochody dělí na tvářením za studena, tvářením za částečného ohřevu (poloohřevu) a tvářením za tepla.

Tvářením za studena

Teplota tvářeného materiálu je při tomto způsobu tvářením nižší, než je teplota rekrytalizace tedy $T \leq 0,3 \cdot T_{TAV}$. Při technologických procesech dochází ke zpevňování materiálu a tvorbě deformační textury. Plasticita kovů se obnovuje použitím rekrytalizačního žhání při teplotě $T_{REK} = (0,35 \text{ až } 0,40) \cdot T_{TAV}$, čímž se zároveň zjemňuje struktura kovu (obr. 3.1). Materiál s výrazně směrovými vlastnostmi, které určuje deformační textura, lze získat za vhodně zvolených podmínek a stupně přetvoření. Rekrytalizační žhání způsobuje u jednotlivých zrn kromě vměstků zánik jejich uspořádání v podélném směru. Zrna pak narůstají do různých velikostí podle teploty žhání a stupně deformace. Tím dojde ke vzniku rekrytalizační textury, s řádkovým uspořádáním feritu a perlitu, která se vyskytuje obzvláště u nízkouhlíkových ocelí s vícefázovou strukturou. (Forejt M., Píška M., 2006)



Obr. 3.1 Zjemnění mikrostruktury kovu

Zdroj: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/01-uvod/10-rekrytalizace.jpg

Tváření za částečného ohřevu (poloohřevu)

Teploty, při nichž tváření probíhá, zapříčiňují tepelně aktivovaný pohyb dislokací a snižování jejich hustoty tzv. anihilací neboli zotavením. K procesu zotavování dochází již při nižších teplotách. Tváření za částečného ohřevu se provádí při teplotě, která je nižší než teplota rekrytalizace (obr. 3.2), proto u tvářecího procesu nastává deformační zpevnění při menších hodnotách přetvárného odporu. (Forejt M., Píška M., 2006)

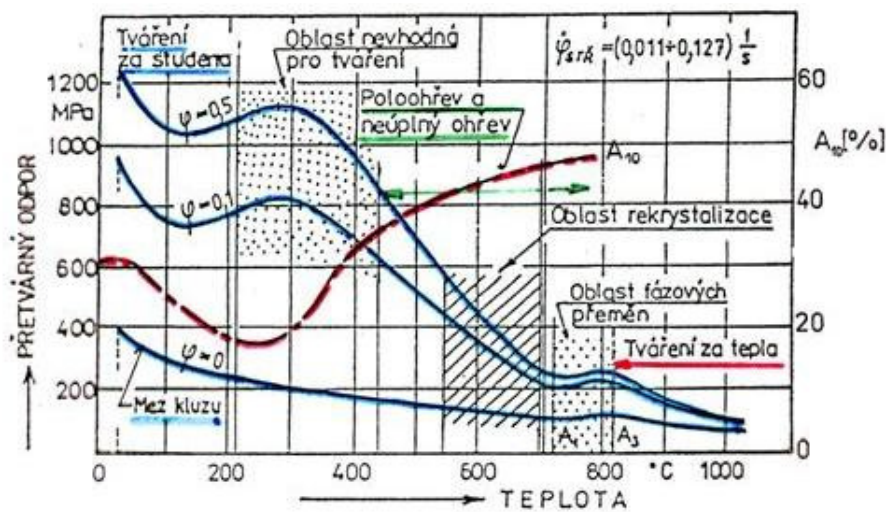
Tváření za tepla

Tvářený materiál je ohříván na teplotu vyšší, než je teplota rekrytalizace viz (obr. 3.2). Při tváření zároveň probíhá primární rekrytalizace, a prakticky neomezené přetvoření materiálu je umožněno opakovaným obnovováním tvaru zrna. Tváření za tepla se dokončuje na dolní hranici teplot, která je určena začátkem deformačního zpevnění. Překrytalizace způsobuje vznik zrn, jejichž jemnost je větší s rostoucí rychlostí ohřevu a ochlazování a současně s kratší výdrží na teplotě. Zrno lze překrytalizací stále více zjemňovat pomocí opakovaného ohřevu.

Volba kovacího režimu zahrnuje nutnost dodržovat určitá hlediska, jako jsou:

- ohřev na vtokovou teplotu přehřátí vede k okysličování a vzniku okují povrchové vrstvy,
- dlouhé setrvání nad teplotou A_1 a A_3 bez tváření způsobuje zhrubnutí zrna,
- vedle požadované změny tvaru je cílem zlepšení mechanických vlastností cestou zjemnění struktury.

(Forejt M., Píška M., 2006)



Obr. 3.2 Vliv teploty na přetvárný odpor materiálu

Zdroj: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/01-uvod/01.jpg

B. Tepelný efekt

K provedení tvářecího procesu je potřeba vyvinout energii, jejíž část se změní na teplo a vzniklé množství tepla je závislé jak na rychlosti deformace, tak i na pevnosti tvářeného materiálu. Možností je úplné nebo částečné odvedení tepla do okolního prostředí, jinak dojde k jeho uložení do tvářeného materiálu. Důsledkem toho vzniká jev zvaný tepelný efekt, který způsobí, že tvářený materiál se bude zahřívat. Tvářecí procesy je možné na základě množství tepla, využitého k navýšení teploty tvářeného materiálu, rozdělit do tří skupin a to na izotermické, adiabatické a polytropické. Nejčastější případ vyskytující se v technické praxi je polytropický způsob tváření, u kterého se část tepla odvede do okolí případně do nástroje a část tepla zůstane v tvářeném materiálu. (Doubravský M., 1985)

C. Účinek tvářecí síly

- a) tváření klidným tlakem (hydraulickým lisem)
- b) tváření rázem (na bucharu)

(Doubravský M., 1985)

D. Působení vnějších sil

- a) objemové tváření – nastává u něj deformace materiálu ve směru všech tří os souřadného systému (ražení, pýchování, protlačování, kování)
- b) plošné tváření – převládají u něj deformace materiálu ve dvou směrech (stříhání, ohýbání, tažení, tvarování)

(www.ksp.tul.cz)

3.2 Fyzikálně - metalurgické základy tváření

Působením vnějších sil je kovové těleso uvedeno do plastického stavu a tím dochází ke změně jeho tvaru. Zároveň vzniká v tělese napětí, jelikož síly uvnitř deformovaného tělesa zabraňují změně jeho tvaru. Účinek vnějších sil způsobuje změnu tvaru, která se nazývá plastickou deformací neboli přetvořením. Pokud je velikost vnějších sil malá, nastává pouze pružná (elastická) deformace, pro niž platí Hookův zákon. Pod zatížením se zároveň objevují jak pružná, tak i plastická deformace. Zamezením účinku vnějších sil na kovové těleso dojde k zániku pružné deformace. Plastická deformace zůstane zachována a způsobí trvalou deformaci tělesa.

Z hlediska tvářecích procesu je velmi významná deformace plastická. Plasticita je fyzikální vlastnost kovů, která umožňuje jejich plastickou deformaci. U krystalických materiálů se plastická deformace koná pohybem dislokací a to pomocí skluzu nebo dvojčatění. V obou případech se jedná o trvalou změnu tvaru, která je vyvolána dostatečně velkým smykovým napětím. Skluzové roviny jsou zpravidla krystalografické roviny s velkou hustotou uspořádaných atomů, u nichž dochází k pohybu dislokací tedy ke skluzu. Dvojčatění je náhlé přeskupení celé krystalografické mřížky v jedné z částí krystalu. Tento druh pohybu dislokací umožňuje pouze malé deformace, u kterých se vyskytuje poměrně velké zpevnění a to zejména u kovů a slitin se šesterečnou mřížkou.

(Dvořák M. a kol., 2000)

Jak rychle se dislokace pohybuje, závisí na působící síle, typu krystalové mřížky, vazbě mezi atomy a především na počtu poruch v mřížce. Různé překážky jako jsou bodové poruchy, atomy přísad v krystalech tuhého roztoku, vzájemné protínání dislokací, výskyt dalších dislokací o stejném znaménku apod. zabraňují pohybu dislokací. Následkem omezování pohybu dislokací je změna struktury a vlastností, která je zapříčiněna plastickou deformací. Se zvětšujícím se stupněm deformace dochází ke změně tvaru zrn. Nastává prodloužení původně mnohostěnných zrn ve směru převládající deformace, až dojde k jejich přeměně na výrazně protažená vlákna s relativně malými rozměry v příčném směru.

Během plastické deformace se zároveň mění i orientace mřížky, kdy počáteční nepravidelná orientace je přetvořena na usměrněnou. Tato usměrněná orientace mřížky se zrny nebo také změna tvaru zrn efektivním tvářením (např. válcování nebo tažení za studena) se nazývá textura kovu. Projevem vzniklé textury je podstatná anizotropie vlastností polykrystalického materiálu a například po válcování plechu ve směru podélném i příčném se zjišťují jeho vlastnosti. (Doubavský M., 1985)

U polykrystalických materiálů se nachází i další mechanismus plastické deformace, jehož princip je dán vzájemným pohybem a natáčením zrn. Tímto způsobem lze dosáhnout vysokého stupně deformace za konkrétních podmínek, jako je vysoká teplota materiálu a velmi malá rychlost deformace, a současně uvedený způsob tvoří základ tzv. superplasticity. (Dvořák M. a kol., 2000)

4 TVÁŘENÍ KOVŮ ZA STUDENA

Tváření za studena je charakteristické tím, že teplota tvářeného materiálu je nižší než rekrystalizační teplota. Tvářecí proces probíhá převážně za normální teploty, bez toho aniž by tvářený materiál byl přehřát. Existují však některé kovy nebo jejich slitiny, u nichž je tváření za studena (bez překrytí) potřeba provádět při jejich zvýšené teplotě. Jedná se například o titan, který se za studena tváří v rozmezí 300 až 400 °C (tváření za tepla u něj probíhá při 800 až 950 °C), nebo také protlačování ocelí se provádí při teplotách do 600 °C. (Řasa J. a kol., 2003)

Významné uplatnění našlo tváření plechů za studena všeobecně známé jako lisování v mnoha odvětvích strojírenského průmyslu. Využití nachází zejména v přesném strojírenství (70 – 85 %), automobilovém průmyslu (60 – 70 % dílů jsou výlisky), elektrotechnice (60 – 70 %), vzduchotechnice a vytápění, chladírenské technice, stavbě letadel atd. (Bednář B. a kol., 2005)

4.1 Výhody výlisků

Hlavními výhodami výlisků jsou:

- využití cenově dostupných hromadně vyráběných polotovarů,
- poměrně nízká hmotnost dílů,
- poměrně dobré možnosti pro uplatnění mechanizace a automatizace procesu, z čehož vyplývá nízká pracnost a vysoká produktivita zejména v sériové a hromadné výrobě,
- zpevnění materiálu v místech plastické deformace,
- omezené zdroje vad a výrobních odchylek, a proto nízké nároky na kontrolu jakosti,
- malé nároky na dokončující operace díky kvalitnímu povrchu součástí,
- výlisky jsou vzhledem k vlastnostem používaných materiálů a malým tloušťkám vhodnými polotovary pro svařované výrobky, u nichž je možné dosáhnout velmi příznivého poměru tuhosti (pevnosti) k hmotnosti.

(Bednář B. a kol., 2005)

4.2 Nevýhody výlisků

Hlavními nevýhodami výlisků jsou:

- vysoké pořizovací náklady na nástroje,

- dlouhý časový interval pro přípravu výroby (výjimkou jsou pracoviště s CNC lisy),
- obtížná volba materiálu pro výlisky s požadovanou vysokou pevností, která zamezuje dobrou tvařitelnost za studena,
- snížená tuhost a tím i přesnost rozměrnějších výlisků,
- omezená možnost lokálního navýšení tuhosti či pevnosti (nelze plynule měnit tloušťky stěn, použití prolisů, žlábků nebo lemů oproti žebrům u odlitků),
- omezená tvarová složitost,
- nízké využití materiálu u složitějších výlisků.

(Bednář B. a kol., 2005)

Nejčastěji používané základní rozdělení tváření za studena je na plošné a objemové tváření. Mezi plošné tváření se řadí následující operace:

- a) stříhání – prostřihování, děrování, nastřihování, přestřihování, ostřihování, přesné stříhání,
- b) ohýbání – V–ohyb, U–ohyb, profilování, lemování, stáčení,
- c) tažení – hluboké tažení, vypínání, kovotlačení, protahování, přetahování,
- d) tvarování – rovnání, zužování, rozšiřování.

Objemové tváření, které se provádí pod rekrystalizační teplotou tedy za studena, zahrnuje operace např. protlačování, pěchování a ražení. (Dvořák M. a kol., 2000)

5 ROZDĚLENÍ LISOVACÍCH OPERACÍ

Lisovací operace rozděluje norma ČSN 22 6000-84 podle způsobu změny tvářeného materiálu do tří následujících skupin:

- a) stříhání – materiál je touto operací oddělován v celém svém průřezu,
- b) plošné tváření (např. ohýbání a tažení) – tvar materiálu se mění, aniž by došlo k významné změně tloušťky tvářeného materiálu, kterým je většinou plech,
- c) objemové tváření (např. protlačování a ražení) – pomocí změny průřezu tvářeného materiálu se získává požadovaný tvar výlisku.

Lisovací nástroje používané pro dané operace se dělí:

- a) podle druhu operace na stříhadla, ohýbadla, tažidla, protlačovadla a razidla,
- b) podle složitosti operace na jednoduché, postupové, složené a sdružené.

(Řasa J. a kol., 2003)

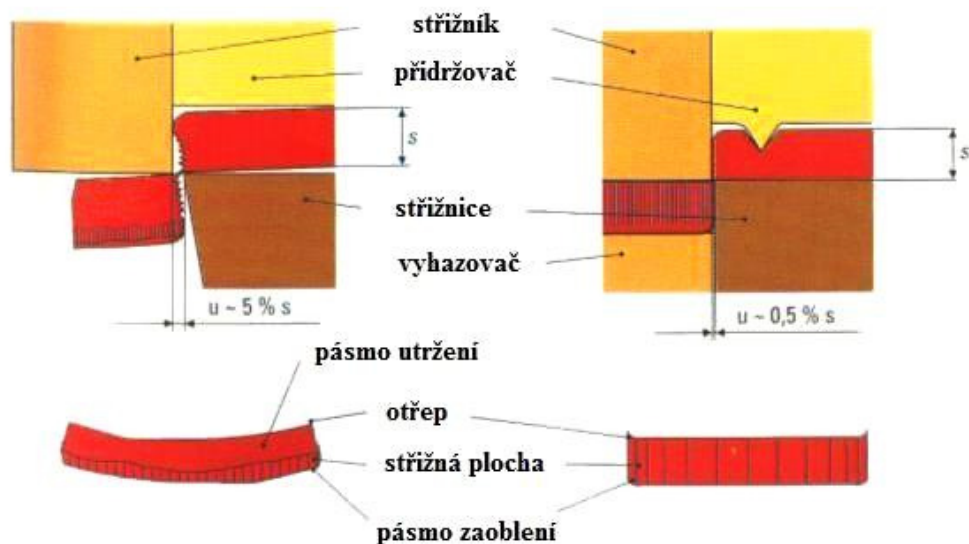
5.1 Plošné tváření

5.1.1 Stříhání

Stříhání je nejrozšířenější tvářecí operace ve strojírenské výrobě, která se používá zejména v lisovnách ke zpracování plechů na finální výrobky, nebo se pomocí ní dělí polotovary určené k dalšímu zpracování (např. stříhání tabulí plechu na pásy, rozdělování svitků). Stříháním dochází k porušení soudržnosti materiálu a částečnému nebo úplnému oddělení jeho části. Střížný proces vykonává protilehlá dvojice břitů nástroje, které se smykově pohybují podél křivky stříhu. (Čada R., 2005)

Na kvalitu a přesnost střížné plochy (obr. 5.1) má vliv mnoho faktorů a mezi nejvíce zásadní se řadí velikost střížné mezery, vlastnosti stříhaného materiálu, způsob stříhání, kvalita střížného nástroje apod. Průběh operace stříhání je možné ovlivnit provedením konstrukčních úprav na nástroji a zvláště pak zvoleným způsobem stříhání, čímž se zamezí vytvoření nekvalitní střížné plochy se širokým pásmem utržení a deformace tvaru výstřížku. Pro odstranění těchto negativních výsledků v kvalitě střížné plochy zhotovené pomocí klasického stříhání, se používá technologie přesného stříhání.

(Dvořák M. a kol., 2013)



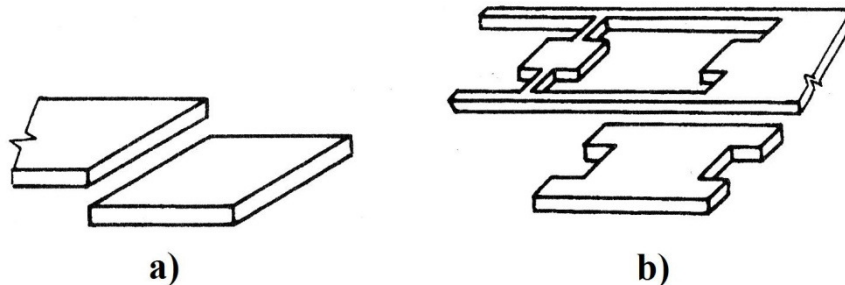
Obr. 5.1 Kvalita střížné plochy při klasickém a přesném stříhání

Zdroj: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/06-strihani/20.jpg

Rozdělení střížných operací do dvou hlavních skupin:

- stříhání po vnějším otevřeném obryse** (obr. 5.2a) – stříhají se tabule, pruhy, pásy, dráty a tyče na tabulových nůžkách, kotoučových nůžkách, křivkových nůžkách tvarových apod.

- b) **stříhání po uzavřeném obryse** (obr. 5.2b) – provádí se zpravidla speciálními nástroji na lisech při vzájemném sloučení s dalšími tvářecími operacemi v jednom nástroji a to například s tažidly. Stříhají se rovněž tabule, pruhy a pásy základního materiálu nebo polotovary. (Řasa J a kol., 2003)



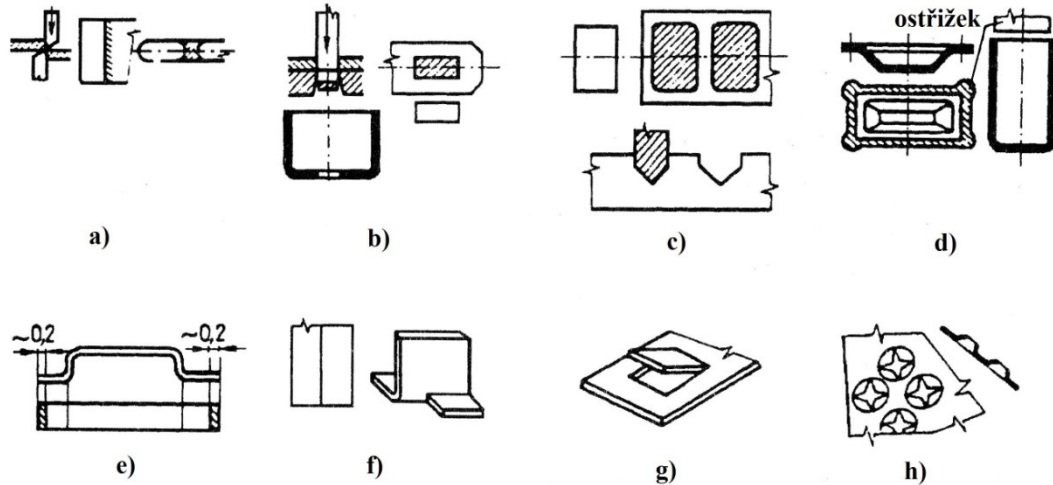
Obr. 5.2 Stříhání (Řasa J. a kol., 2003)

Norma ČSN 22 6001 rozlišuje provedení operace stříhání, tedy jak je výstřížek zhotoven, na jednotlivé pracovní činnosti:

- **prosté stříhání** (obr. 5.3a) – dělení materiálu (např. pásů, tabulí, tyčí) nůžkami nebo stříhadly,
- **děrování** (obr. 5.3b) – vytváření děr různých tvarů, kde část vystřižená děrovacím střížníkem je odpad,
- **vystříhování** (obr. 5.3c) – používají se dvě možnosti vystříhování, z nichž jedna je zhotovení výstřížku různého tvaru oddělením od materiálu po uzavřeném obryse (vystřiženou částí je výstřížek) za použití stříhadla, druhá možnost je oddělení okrajových částí materiálu (vystřižené části jsou odpad),
- **ostříhování** (obr. 5.3d) – slouží k odstranění přebytečných částí materiálu z výtažků, protlačků, výstřížků, výkovků apod. za pomoci stříhadla,
- **přistříhování** (obr. 5.3e) – využívá se pro dosažení přesných tvarů, rozměrů nebo hladkých ploch stříhadlem,
- **nastříhování** (obr. 5.3f) – materiál se stříhadlem do určité části naruší, ale nedojde k úplnému oddělení na dva a více kusů,
- **prostříhování** (obr. 5.3g) – materiál se stříhadlem částečně nastříhne v požadovaném tvaru uvnitř výstřížku,
- **protrhávání** (obr. 5.3h) – vytváření hrotů, děr a výstupků protržením materiálu.

(Řasa J. a kol., 2003)

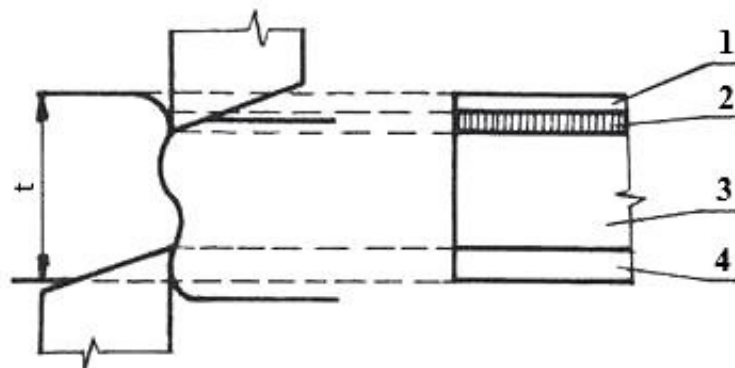
Mezi základní střížné operace plošného stříhání se taktéž řadí operace vysekávání, u které je materiál oddělován na podložce za pomoci nástroje tzv. výsečníku. Velmi významnou operací, pro dosažení přesných tvarů, rozměrů a hladkých ploch, je přesné stříhání. U přesného stříhání se navíc vhodným mazáním snižuje součinitel tření, zvyšuje se životnost funkčních částí stříhadel a kvalita střížné plochy. (Čada R., 2013)



Obr. 5.3 Operace stříhání (Řasa J. a kol., 2003)

Rozbor střížného procesu

Při stříhání je snaha oddělit materiál přesně v požadované rovině. Toho ale nelze dosáhnout, jelikož je dělený materiál elastický, tvárný a smykové napětí vyvozuje tlak nožů na celé ploše. Střížný proces se tak dá považovat za téměř čistý smyk. Stříhání probíhá ve třech fázích, při nichž vzniká střížná plocha, která je tvořena čtyřmi pásmy (obr. 5.4) a má tvar písmene „S“. (Dvořák M. a kol., 2000)



Obr. 5.4 Pásma na střížné ploše

Zdroj: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/06-strihani/02.jpg

1 – pásmo zaoblení tj. první fáze stříhání, která tvoří oblast pružné deformace a pásmo je vymezeno 5 až 8 % tloušťky stříhaného materiálu.

2 – pásmo vlastního stříhu tj. druhá fáze stříhání tvoří oblast plastické deformace a v závislosti na mechanických vlastnostech materiálu činí 10 až 25 % jeho tloušťky.

3 – pásmo utržení tj. třetí fáze stříhání tvořící nejvíce rozsáhlou oblast střížné plochy, je oblastí, kde dochází k oddělení materiálu. Čím více je materiál tvrdý a křehký, o to víc narůstá šířka pásma.

4 – pásmo otlačení vzniklé od spodního nože, kde se v závislosti na vlastnostech materiálu a střížné vůli mohou vyskytnout ostřiny z důvodu vytažení materiálu tahovým napětím.

(Dvořák M. a kol., 2000)

Při stříhání ve stříhadlech se výstřížek oddělí dříve, než střížník pronikne skrz celou tloušťku materiálu, a poté je výstřížek střížníkem vytlačen ven ze střížnice. To způsobuje, že okraje střížné plochy materiálu mají určitou drsnost, která je na této ploše rozložena nerovnoměrně. Hodnota drsnosti je větší ve všech místech střížné plochy, kde došlo k prvotnímu výskytu trhlin v materiálu. Stříhání se tak označuje za tvářecí operaci, při níž je porušení stříhaného materiálu žádoucí. Tento žádoucí efekt se ve výpočtu střížné síly se projeví tak, že místo hodnoty meze kluzu se do výpočtu dosadí hodnota meze pevnosti. (www.ksp.tul.cz)

Způsoby stříhání

Z hlediska konstrukce nožů (střížníků) a jejich pohybu lze rozdělit stříhání:

- 1) s rovnoběžnými noži – nože mají ostří vzájemně rovnoběžné
- 2) se skloněnými noži – ostří nožů jsou vůči sobě nakloněna pod určitým úhlem

(www.ksp.tul.cz)

Výpočet síly a práce při stříhání

A. Střížná síla a práce pro rovnoběžné nože

Teoretická střížná síla $F_{s,t}$ se vypočítá ze vztahu:

$$F_{s,t} = R_{ms} \cdot l \cdot t \quad [\text{N}]$$

kde je R_{ms} – mez pevnosti ve stříhu [MPa], l – délka střížné čáry [mm],
 t – tloušťka stříhaného materiálu [mm].

Tato síla je potřebná k oddělení stříhaného materiálu a je přímo úměrná střížné ploše S a mezi pevnosti ve stříhu materiálu. (Řasa J. a kol., 2003)

Hodnota pevnosti ve stříhu se přibližně vypočítá ze známé meze pevnosti v tahu R_m stříhaného materiálu podle následujícího vztahu a zároveň lze mez pevnosti ve stříhu vypočítat pro jednotlivé materiály podle empirických vztahů uvedených v (tab. 5.1).

$$R_{ms} = (0,75 \div 0,85) \cdot R_m \quad [\text{MPa}]$$

kde je R_m – mez pevnosti v tahu [MPa]

(Čada R., 2005)

Tab. 5.1 Empirické vztahy pro určení pevnosti ve stříhu (Čada R., 2005)

Materiál	R_{ms} [MPa]	Materiál	R_{ms} [MPa]
Ocel	$111,0 + 0,560 R_m$	Zinek	$100,7 + 0,750 R_m$
Mosaz	$117,1 + 0,287 R_m$	Dural	$117,3 + 0,230 R_m$

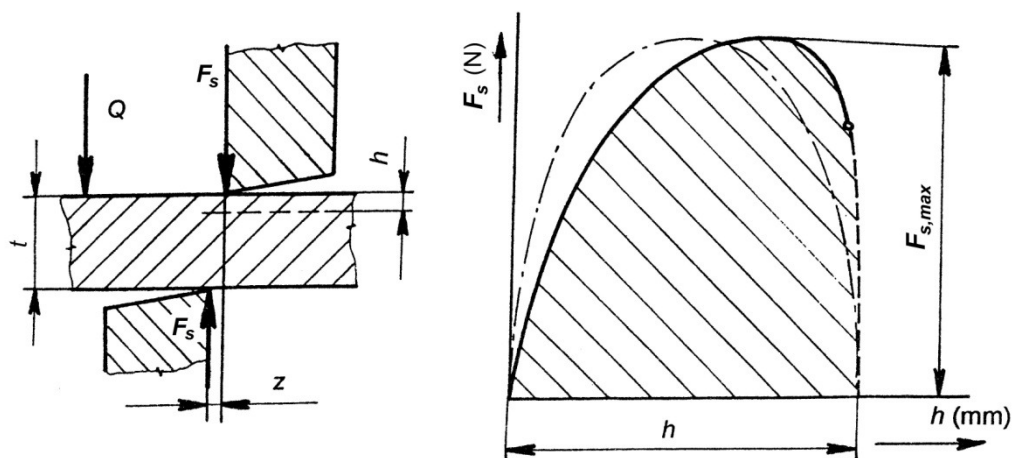
Při skutečném stříhání nevzniká dokonalý smyk (stříh), ale vytváří se u něj kombinované namáhání. Částečným ohybem materiálu dochází ke změně jeho průřezu na vyšší hodnoty a současně se snižuje ostrost nožů, což zapříčiňuje zvětšení maximální skutečné střížné síly o 15 až 30 %. (Dvořák M. a kol., 2000)

Maximální skutečná střížná síla $F_{s,max}$ (síla lisu) je dána vztahem:

$$F_{s,max} = F_{s,t} \cdot k = S \cdot R_{ms} \cdot k \quad [\text{N}]$$

kde je S – střížná plocha [mm^2], k – součinitel, zahrnující různé vlivy zvyšující střížnou sílu (otupení řezných hran, vliv seřízení nástroje, zvětšení mezery mezi noži opotřebením apod.) Jeho hodnota bývá v rozmezí 1,25 až 1,50.

(Čada R., 2005)



Obr. 5.5 Průběh střížné síly při stříhání rovnoběžnými noži (Čada R., 2005)

Na (obr. 5.5) je znázorněn průběh sřížné síly v závislosti na hloubce vniknutí nože do materiálu. Vyšrafovaná plocha, která je vymezena křivkou skutečného průběhu síly, znázorňuje velikost práce vynaložené ke sříhu. Uvedenou plochu lze v pracovním diagramu přibližně vyjádřit i poloviční plochou eliptického tvaru, jejíž obsah je stejný.

(Čada R., 2005)

Sřížnou sílu (teoretickou i skutečnou) při sříhání ve sříhadlech lze vypočítat stejným způsobem podle výše uvedených vztahů. Při tomto způsobu sříhání je navíc nutné vypočítat sílu potřebnou k protlačení výsřížku $F_{pr,v}$ ze sřížnice, která je rovna poměrné části skutečné sřížné síly a platí pro ni vztah:

$$F_{pr,v} = (0,02 \div 0,05) \cdot F_{s,max} \quad [N]$$

Nižší hodnoty se volí pro slitiny neželezných kovů. (Řasa J. a kol., 2003)

Práci A vynaloženou ke sříhání lze vypočítat ze vztahu:

$$A = \frac{\pi}{2} \cdot F_{s,max} = \frac{\pi}{4} \cdot F_{s,max} \cdot h \quad [J]$$

kde je h – hloubka vniknutí nože do materiálu [m].

Hloubka vniknutí nože do materiálu h , která vzrůstá s ubývající tloušťkou materiálu a stoupající tažností, je vyjádřena vztahem:

$$h = k_1 \cdot t \quad [mm]$$

kde je k_1 – poměrná hloubka vniknutí nože do materiálu [–]

Práci u sříhadel s rovnými sřížnými hranami lze vypočítat pomocí vzorce:

$$A = m_s \cdot F_{s,max} \cdot t \quad [J]$$

kde je m_s – koeficient závislý na tloušťce a druhu materiálu [–], t – tloušťka sříhaného materiálu [m]

(Čada R., 2005)

B. Sřížná síla a práce pro skloněné (šikmé) nože

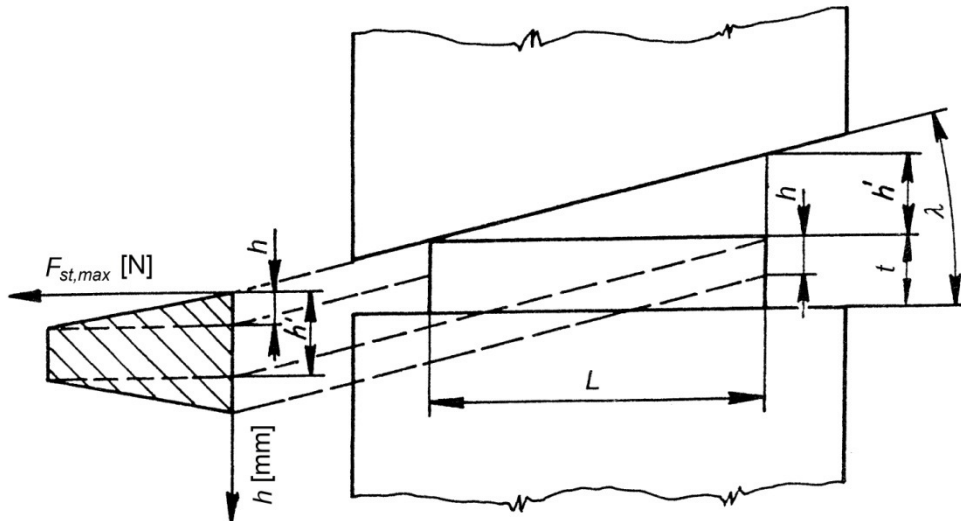
Maximální teoretická síla $F_{st,max}$ pro sříhání se skloněnými noži se vypočítá ze vzorce:

$$F_{st,max} = \frac{1}{2} \cdot \frac{t^2}{tg\lambda} \cdot R_{ms} \quad [N]$$

kde je t – tloušťka sříhaného materiálu [mm], λ – úhel sklonu nožů [°],
 R_{ms} – mez pevnosti ve sříhu [MPa].

(Dvořák M. a kol., 2000)

Jakmile skloněný nůž dosáhne záběru v celé tloušťce materiálu, velikost střížné síly se přestane měnit, tj. její průběh bude konstantní. Střížná síla se začne snižovat v důsledku pronikání nože materiálem a po úplném oddělení části materiálu hodnota síly bude nulová. Průběh vypočítané střížné síly při stříhání skloněnými noži je znázorněn na (obr. 5.6). (www.ksp.tul.cz)



Obr. 5.6 Průběh střížné síly při stříhání šikmými noži (Čada R., 2005)

K tomu aby byla zaručena podmínka samosvornosti a zároveň nedocházelo k ujíždění stříhaného materiálu před ostřím nože, se volí úhel sklonu nožů v rozsahu 1° až 5° , přičemž u tabulových nůžek obvykle $1^\circ 30'$. Tato velikost úhlu u tabulových nůžek zajišťuje, že dochází pouze k pružné deformaci u stříhaného materiálu, ale to platí výhradně u tenkých plechů. (Čada R., 2005)

Teoretickou hodnotu práce A potřebnou ke stříhání udává vztah:

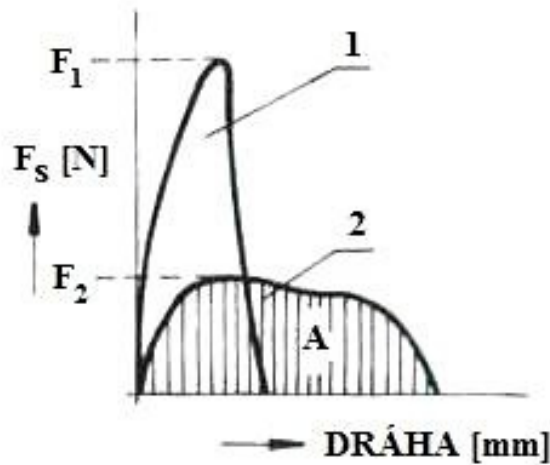
$$A = F_{st,max} \cdot h \quad [\text{N}]$$

kde je h – hloubka vniknutí nože do materiálu (dráha při stříhání) [mm].

(Dvořák M. a kol., 2000)

Velikost práce, stejně jako u rovnoběžných nožů, odpovídá ploše ohraničené křivkou střížné síly (obr. 5.7). Ke stříhání plechu o stejné tloušťce a délce stříhu pomocí skloněných nožů je potřeba vyvinout mnohonásobně menší střížnou sílu. Z toho vyplývá, že tento způsob stříhání je tak výhodnější oproti stříhání rovnoběžnými noži. Naopak dráha stříhu bude při stříhání šikmými noži značně delší. (www.ksp.tul.cz)

Nutno je však poznamenat, že při stříhání skloněnými noži je velikost práce o něco větší z důvodu deformace, která vzniká ohybem stříhaného materiálu. (Čada R., 2005)



Obr. 5.7 Porovnání průběhu střížné síly a velikosti práce při stříhání,

1 – rovnoběžné nože, 2 – skloněné nože

Zdroj: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/06-strihani/06.jpg

Střížná vůle

Střížná vůle je rozdíl mezi jmenovitými rozměry střížníku a střížnice a její hodnota má vliv na kvalitu střížné plochy, velikost střížné síly a trvanlivost břitů obou nástrojů. Stříháním vznikají trhliny, které se při správně zvolené velikosti střížné vůle, úhlopříčně setkají (obr. 5.8a) a v místě stříhu dojde k vyhovujícímu ustřížení materiálu. Kvalitní střížné plochy, při co nejmenší střížné síle, se dosáhne pouze správně zvolenou vůlí. Druh a tloušťka stříhaného materiálu jsou rozhodujícími faktory pro stanovení velikosti střížné vůle, která je v rozsahu 3 až 20 % tloušťky plechu. Menší vůle se používá u materiálů s větší tloušťkou a nižší tvrdostí. Při výrobě nástrojů se vždy do budoucna počítá s jejich opotřebením, proto je u nich vytvořena dovolená střížná vůle co nejmenší. (Čada R., 2005)

Na kvalitu střížné plochy má vliv nejen střížná vůle, ale i zkosení střížné hrany střížnice. Pokud je vůle mezi střížníkem a střížnicí příliš velká (obr. 5.8c), má to za následek vyvolání bočních sil, jejichž působením může dojít k vychýlení střížníků o menším průřezu. Naopak nedostatečná vůle (obr. 5.8b) zapříčiňuje zvýšení střížných sil na neúměrnou hodnotu. (Řasa J. a kol., 2003)

Velikost sřížné vůle z lze určit pomocí následujících vztahů:

- 1) pro tenké plechy o tloušťce do 3 mm

$$z = c \cdot t \cdot \sqrt{0,1 \cdot R_{ms}} \quad [\text{mm}]$$

- 2) pro tlusté plechy o tloušťce nad 3 mm (do 10 až 12 mm)

$$z = (1,5 \cdot c \cdot t - 0,015) \cdot \sqrt{0,1 \cdot R_{ms}} \quad [\text{mm}]$$

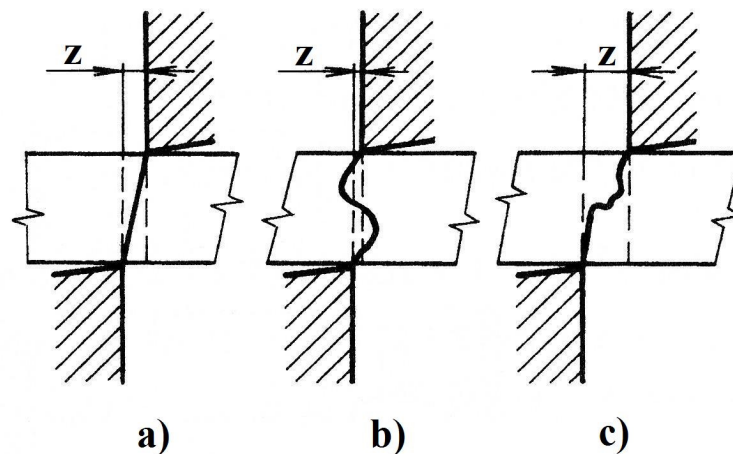
kde je R_{ms} – mez pevnosti ve sřížhu [MPa], t – tloušťka plechu [mm],

c – koeficient závislý na druhu sřížhání. Volí se v rozmezí $0,005 \div 0,035$.

$c = 0,005$ pro dosažení kvalitního povrchu sřížné plochy,

$c = 0,035$ pro dosažení minimální sřížné síly.

(Čada R., 2005)

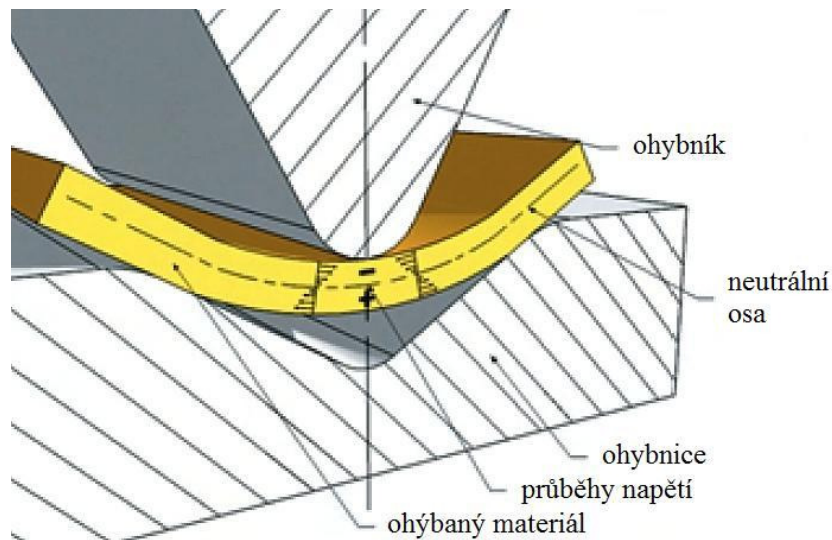


Obr. 5.8 Vliv zvolené sřížné vůle na kvalitu sřížné plochy (Řasa J. a kol, 2003)

a) správná vůle, b) malá vůle, c) velká vůle

5.1.2 Ohýbání

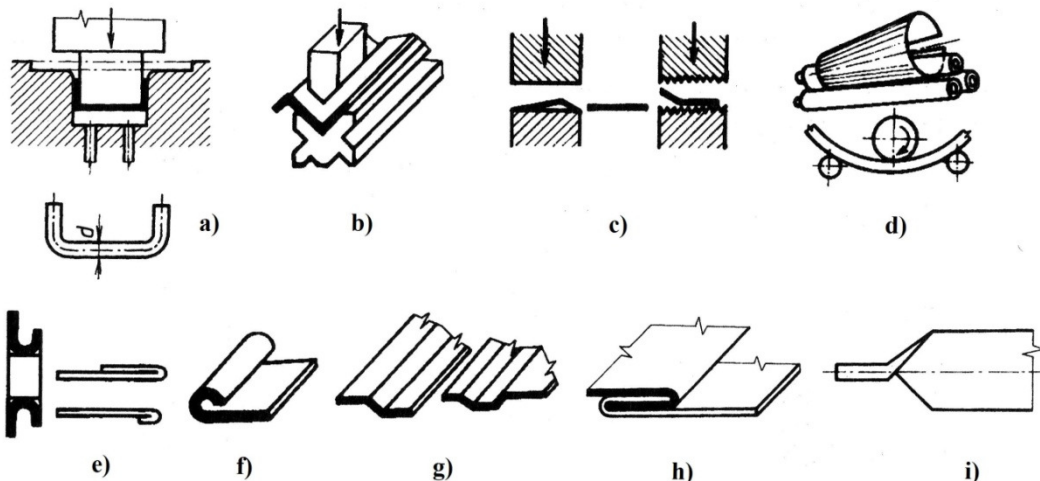
Jedná se o technologickou operaci, při níž dochází k trvalé změně tvaru ohýbaného materiálu vlivem působení ohybového momentu, který je vyvozen od ohybové síly. Při ohýbání materiálu vzniká pružně plastická deformace, na jejíž velikost má vliv kvalita a tloušťka materiálu v ohýbaném místě, umístění ohybu vzhledem ke směru válcovaných vláken, dále pak poloměr ohybu a velikost ohybových momentů. Na (obrázku 5.9) je znázorněn princip ohýbání včetně průběhu napětí v ohýbaném materiálu. (Dvořák M. a kol., 2000)



Obr. 5.9 Princip ohýbání s průběhem napětí v materiálu (www.mmspektrum.com)

Tváření materiálu ohybem se dělí podle normy ČSN 22 6001 na:

- **prosté ohýbání** (obr. 5.10a) – dochází k trvalé deformaci materiálu:
 - a) při plošném tváření – rovinné plochy se mění na plochy různě vůči sobě orientované vytvářením ostrých nebo oblých hran,
 - b) při objemovém tváření – ohýbání tyčí, profilů, polotovarů a výkovků,



Obr. 5.10 Operace ohýbání (Řasa J. a kol., 2003)

- **ohraňování** (obr. 5.10b) – ohýbání plechu na tzv. ohraňovacích lisech, které slouží k jednomu účelu, nebo pomocí tvářecích strojů se speciálními nástroji,
- **rovnání** (obr. 5.10c) – dodatečné rovnání plechu, přístřihu profilového materiálu i výlisku, výkovku apod.,

- **zakružování** (obr. 5.10d) – tváření rovinných a členitých ploch na válcové, kuželové plochy nebo části těchto ploch,
- **lemování** (obr. 5.10e) – ohýbání okraje rovinné nebo prostorové plochy pro dosažení ozdobného vzhledu, odstranění ostrých hran například výstřížků apod.,
- **obrubování** (obr. 5.10f) – vyztužování okraje rovinné nebo prostorové plochy za účelem zvýšení kvality okraje, vytvoření okraje pro závěsy apod.,
- **osazování** příp. **prosazování** (obr. 5.10g) – ohnutí pomocí promáčknutí v okraji nebo uvnitř rovinné plochy,
- **drápkování** (obr. 5.10h) – zahnutými okraji plechů se vytvoří pevné spojení jejich vzájemným zaklesnutím do sebe a společným stlačením
- **zkrucování** (obr. 5.10i) – natáčení polotovaru (popř. výkovku) plochého nebo profilového tvaru o určitý úhel vzhledem k jeho další části kolem společné osy.

U prostého ohýbání při objemovém tváření a u zkrcování je výrobkem výlisek a v některých případech výkovek. (Řasa J. a kol., 2003)

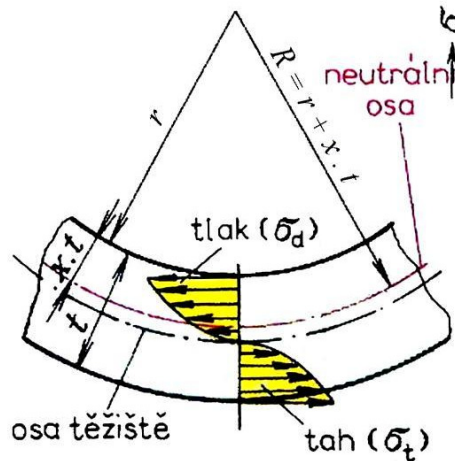
Průběh napětí a deformace průřezu

Při ohýbání se využívá stejných zákonů plasticity jako u ostatních způsobů tváření. Materiál lze ohnout do požadovaného tvaru (vzniklé tvary je možné znovu rozvinout) překročením jeho meze kluzu a tím se dosáhne oblasti plastické deformace. Plastická deformace je doprovázena zároveň deformací elastickou a v materiálu tak vzniká pružně plastická deformace, která má různý průběh od povrchu materiálu k neutrální ose. Ohyb vyvolává deformaci průřezu, kdy vyšší průřezy jsou více deformovány, než průřezy nižší. U širokých pásů materiálu o mnohem větší šířce vzhledem k jeho malé tloušťce ($b > 3t$) nevznikají deformace z toho důvodu, že v příčném směru proti nim působí odpor materiálu.

V jednotlivých místech průřezu ohýbaného materiálu má plastická deformace odlišný průběh (obr. 5.11). Vrstvy materiálu, respektive jejich vlákna, jsou na vnitřní straně ohybu stlačována (zkracují se) v podélném směru a roztahována (prodlužují se) v příčném směru. Naopak na vnější straně ohybu se vlákna v podélném směru prodlužují a v příčném se zkracují. U ohýbaných úzkých profilů jde tato změna profilu velmi znatelně poznat, ale u profilů velké šířky její projev viditelný není. Avšak v oblasti ohybu dochází v obou případech ke ztenčení materiálu. Uvnitř materiálu se nachází plocha, u níž nedochází k deformaci a v řezu se jeví jako čára. Jedná se o čáru

zvanou neutrální osa, jak lze vidět na (obr. 5.11). Neutrální osa neprochází středem průřezu, ale vyskytuje se blíže k vnitřnímu poloměru zaoblění tedy k vnitřní straně ohybu. (Řasa J. a kol., 2003) Neutrální osa se sice před ohýbáním vyskytuje uprostřed materiálu, ale po procesu ohýbání není totožná s osou těžiště ohýbaného materiálu.

(www.ksp.tul.cz)



Obr. 5.11 Průběh napětí a umístění neutrální osy

Zdroj: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/07-ohybani/01.jpg

Neutrální osa se používá k určení rozvinuté délky polotovaru před ohybem. Rozvinutá délka se pak zjistí z délky neutrální osy v ohýbaných úsecích a z délek rovných úseků. Při ohýbání tlustých plechů se musí s tímto rozdílem délek počítat, ale u tenkých plechů je rozdíl nepatrný. Poloha neutrální osy je určena vzdáleností označovanou x , která závisí na poměru vnitřního poloměru ohybu a tloušťce ohýbaného materiálu (obr. 5.11). (www.ksp.tul.cz)

Poloměr ohybu R neutrální osy je dán vztahem:

$$R = r + x \cdot t \quad [\text{mm}]$$

kde je r – vnitřní poloměr ohybu [mm], x – součinitel posunutí neutrální osy [–],
 t – tloušťka ohýbaného materiálu [mm].

(Řasa J. a kol., 2003)

Ohýbací síly

Pokud by se zohlednily všechny faktory, které mají vliv na ohybový proces, výpočet ohýbací síly by byl velmi složitý. Avšak v běžné praxi se využívá postup podle normy ČSN 22 7340, ve které jsou obsaženy směrnice pro výpočet a konstrukci ohýbadel.

(Dvořák M. a kol., 2000)

Z důvodu plastických (trvalých) deformací, které vznikají při ohybu v materiálu, není možné provést výpočet nosníků pomocí obvykle používaných vztahů z oblasti pevnosti a pružnosti. Na základě způsobu ohybu a působení ohýbací síly je u každého jednotlivého případu vyžadována úprava vztahu. (Řasa J. a kol., 2003)

A. Ohýbání do tvaru V

Výpočet ohybového momentu M_o :

$$M_o = \frac{F_o \cdot l}{4} = W_o \cdot R_{mo} \cdot (1,3 + 0,8 \cdot \varepsilon) = \frac{1}{6} \cdot b \cdot t^2 \cdot R_{mo} \cdot (1,3 + 0,8 \cdot \varepsilon) \quad [\text{N} \cdot \text{mm}]$$

kde je W_o – modul průřezu v ohybu [mm^3], b – šířka ohýbaného materiálu [mm],
 t – tloušťka ohýbaného materiálu [mm], R_{mo} – mez pevnosti v ohybu [MPa],
 ε – poměrné prodloužení [-].

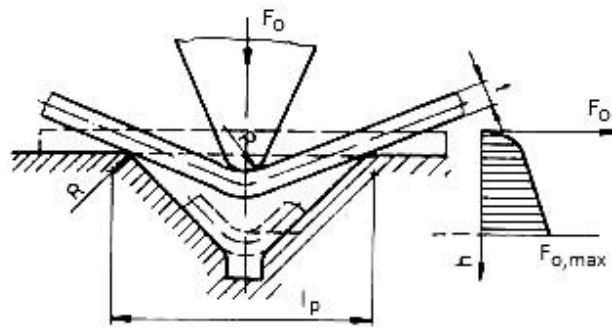
(Dvořák M. a kol., 2000)

Potom velikost ohýbací síly F_o , která působí na materiál uprostřed mezi dvěma podporami (obr. 5.12), se určí ze vztahu:

$$F_o = \frac{4}{6} \cdot \frac{b \cdot t^2}{l_p} \cdot R_{mo} \cdot (1,3 + 0,8 \cdot \varepsilon) \quad [\text{N}]$$

kde je l_p – vzdálenost podpor ohybnice [mm].

(Řasa J. a kol., 2003)



Obr. 5.12 Ohýbání do tvaru V a průběh ohýbací síly

Zdroj: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/07-ohybani/13.jpg

Polotovár se při ohýbání posouvá po funkčních částech ohýbadla, čímž vzniká tření, které musí překonávat. Tím pádem je nutné vyvinout větší ohýbací sílu o sílu potřebnou k překonání tření F_T . Při součiniteli tření f , se síla F_T vypočítá ze vzorce:

$$F_T = f \cdot F_o \quad [\text{N}]$$

Celková síla $F_{o,c}$ potřebná k ohybu je pak dána vztahem:

$$F_{o,c} = F_o + F_T = 1,3 \cdot F_o \quad [\text{N}]$$

Norma ČSN pro výpočet ohýbací síly při ohýbání do tvaru V doporučuje provést výpočet pomocí vztahu:

$$F_o = R_e \cdot \frac{b \cdot t^2}{2 \cdot R} \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \quad [\text{N}]$$

kde je R – poloměr ohybu neutrální osy [mm], R_e – mez kluzu v tahu [MPa],
 α – úhel sevření [°].

(Řasa J. a kol., 2003)

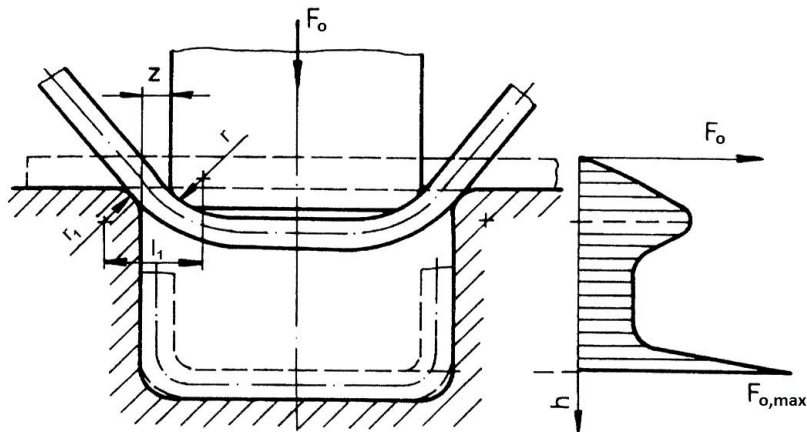
B. Ohýbání do tvaru U

Pro výpočet ohýbací síly F_o platí vztah:

$$F_o = R_e \cdot (1 + 7 \cdot f) \cdot \frac{b \cdot t^2}{r + t} \quad [\text{N}]$$

kde je R_e – mez kluzu v tahu [MPa], f – součinitel tření [–], b – šířka ohýbaného materiálu [mm], t – tloušťka materiálu [mm], r – vnitřní poloměr ohybu [mm].

(Řasa J. a kol., 2003)



Obr. 5.13 Ohýbání do tvaru U a průběh ohýbací síly

Zdroj: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/07-ohybani/18-ohyb%20tvarU.jpg

C. Ohýbání s přídržovačem

Pro tento případ ohýbání platí pro výpočet ohybového momentu M_o vztah:

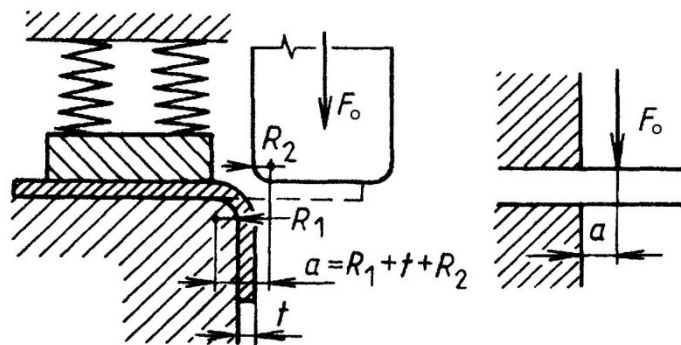
$$M_o = F_o \cdot a = W_o \cdot R_{mo} \cdot (1,3 + 0,8 \cdot \varepsilon) = \frac{1}{6} \cdot b \cdot t^2 \cdot R_{mo} \cdot (1,3 + 0,8 \cdot \varepsilon) \quad [\text{N} \cdot \text{mm}]$$

Z (obr. 5.14) je patrné, že proměnné rameno a na kterém ohýbací síla působí, se vypočítá ze vztahu:

$$a = R_1 + R_2 + t \quad [\text{mm}]$$

kde je R_1 – poloměr ohýbací hrany ohybnice [mm], R_2 – poloměr ohýbací hrany ohybníku [mm], t – tloušťka materiálu obrobku [mm].

Rameno se při pohybu ohybníku směrem dolů postupně zmenšuje až na hodnotu tloušťky materiálu. (Řasa J. a kol., 2003)



Obr. 5.14 Působení ohýbací síly za použití přidržovače (Řasa J. a kol., 2003)

Ohýbací síla je dána vztahem:

$$F_o = \frac{b \cdot t^2}{6 \cdot a} \cdot R_{mo} \cdot (1,3 + 0,8 \cdot \varepsilon) \quad [\text{N}]$$

Stejně jako při ohýbání do tvaru V se celková ohýbací síla vlivem tření vypočítá $F_{o,c} = F_o + F_T = 1,3 \cdot F_o$ [N]. Aby přidržovač dostatečně přitlačil ohýbaný materiál, je potřeba celkovou ohýbací sílu zvětšit o sílu přidržovače F_p působící na materiál. Síla přidržovače se vypočítá ze vztahu:

$$F_p = (0,25 \div 0,3) \cdot F_o \quad [\text{N}]$$

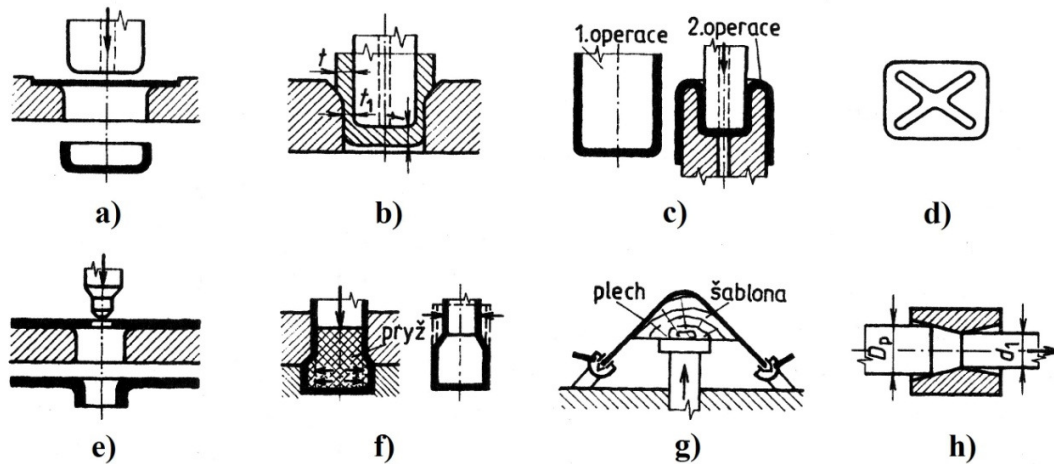
(Řasa J. a kol., 2003)

5.1.3 Tažení

Tažení je technologický proces tváření, kterým lze zhotovit z rovného plechu (přístřihu) jedním nebo více tahy (tzv. hluboké tažení plechu) duté těleso neboli polozavřenou nádobu (obr. 5.15a). Jedná se o velmi rozšířený způsob zpracování plechu, pomocí něhož je možné docela snadno vyrobit různé prostorové součásti, jako

jsou válcové nebo hranaté výtažky, bez toho aniž by se výrazně změnila tloušťka výchozího materiálu. (Dvořák M. a kol., 2000)

Přehled a názvosloví tažných operací uvádí norma ČSN 22 6001 *Názvosloví technologie tváření kovů*, která procesy tažení rozděljuje a blíže definuje následovně (obr. 5.15):



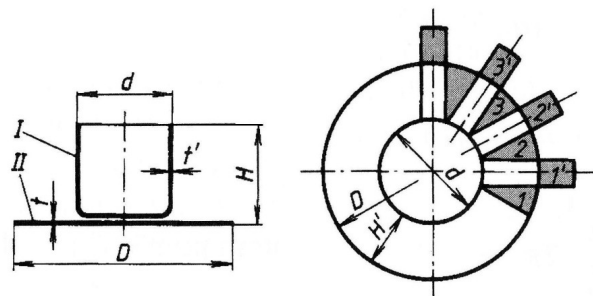
Obr. 5.15 Operace tažení (Řasa J. a kol., 2003)

- **prosté tažení** (obr. 5.15a) – tváření rovinné plochy přístřihu v polozavřené nádobu nebo rovinného polotovaru na duté těleso bez podstatné změny tloušťky výchozího materiálu (tažení bez přidržovače a s přidržovačem),
- **tažení se ztenčením stěny** (obr. 5.15b) – objemové tváření polotovaru, při němž se mění tloušťka stěny výtažku, ale dno výtažku se nemění,
- **zpětné tažení** (obr. 5.15c) – v druhé nebo další operaci je prováděno tažení v obráceném směru k původnímu směru tažení, používá se pro hluboké tahy z tenkých plechů,
- **žlábkování** (obr. 5.15d) – vytlačování mělkých prohlubenin ke zvýšení tuhosti polotovaru,
- **protahování** (obr. 5.15e) – okraje materiálu jsou po vnějším nebo vnitřním obvodu protahovány tak, aby se vytvořila kolmá válcová plocha,
- **rozšiřování** nebo **zúžování** (obr. 5.15f) – zvětšování nebo zmenšování obvodu části výchozího výtažku,
- **přetahování** (obr. 5.15g) – tváření rovinného polotovaru v prostorovou plochu napínáním přes šablonu,
- **objemové tažení** (obr. 5.15h) – objemové tváření výchozího polotovaru (drátu).

(Čada R., 2005)

Princip tažení

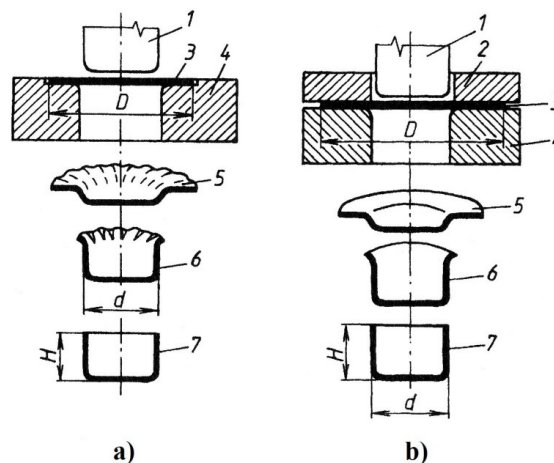
Tažení se provádí z přístříhu plechu (výstřížku) o průměru D a tloušťky t , ze kterého se vytvaruje výtažek o průměru d a výšce H . Pokud výška H vzniklého výtažku bude větší než šířka mezikruží $H' = (D - d) / 2$, tak z toho vyplývá, že při tažném procesu došlo k přesunu materiálu z daného mezikruží. K vytlačování materiálu dochází působením tangenciálního tlakového napětí σ . Materiál je při tažení vytlačován směrem k obvodu, což zapříčiňuje nárůst výšky výtažku. Na (obr. 5.16) je pomocí trojúhelníků s označením 1, 2, 3 atd. znázorněn objem materiálu, který se postupně přemísťuje na místa obdélníků o stejném objemu označených 1', 2', 3' atd. (Dvořák M. a kol., 2000)



Obr. 5.16 Rozměry výtažku a přemístění objemu materiálu (Řasa J. a kol., 2003)

I – výtažek (výrobek), II – výstřížek (polotovar)

Prostorové výtažky zhotovené z přístříhů nebo pásů plechu jsou tělesa s nerozvinutelným tvarem, a podle jejich tvaru lze proces tažení dělit na tažení mělké a hluboké, tažení bez a se ztenčením stěny, tažení rotačních a nerotačních tvarů a také tažení nepravidelných tvarů (tzv. karosářské výlisky). (www.ksp.tul.cz)



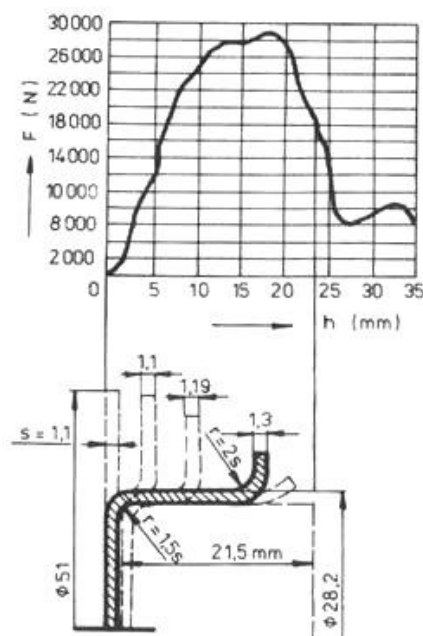
Obr. 5.17 Způsoby tažení (Řasa J. a kol., 2003)

1 – tažník, 2 – přidržovač, 3 – polotovar (výstřížek), 4 – tažnice, 5 – obrobek v průběhu tažení, 6 – výtažek, 7 – ostřížený výtažek (výrobek)

Při tažení bez přidržovače (obr. 5.17a) dochází ke zvlnění tvářeného plechu na jeho okrajích vlivem většího stupně deformace a při přemísťování většího objemu materiálu. Tažením vysokých nádob a tenkého plechu se za určitých podmínek překládají záhyby přes sebe. Vyvolání nadměrného odporu zapříčiní utržení dna výtažku v případě, že mezi tažník a tažnici je vtažen plech trojnásobné tloušťky. Proti vzniku zvlnění u plechu je možné použít přidržovač (obr. 5.17b). Zvlnění plechu nenastává, pokud je stupeň deformace malý a tažený plech má větší tloušťku. (Řasa J. a kol., 2003)

Tažná síla

V praxi se při výpočtu tažné síly F_t vychází z toho, že dovolené napětí v nebezpečném průřezu musí být menší, než napětí na mezi pevnosti taženého materiálu. Největší tažná síla musí být tedy menší, než síla, která způsobí utržení dna výtažku od bočních stěn. (www.ksp.tul.cz)



Obr. 5.18 Průběh tažné síly v jednotlivých fázích tažení

Zdroj: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/09-tazeni/08.jpg

Na (obr. 5.18) je znázorněn průběh tažné síly v jednotlivých fázích tažení a ze závislosti tažné síly na výšce výtažku je patrný nárůst síly od nuly po maximum, které se nachází přibližně v polovině tahu. (www.ksp.tul.cz) V první fázi tažení tažná síla vzrůstá až do bodu, který udává hloubku tažení. Na další nárůst síly má vliv zpevňování materiálu, po němž nastane zlom a velikost síly se začne zmenšovat. Ke stanovení

vhodného lisu je důležité znát právě maximální tažnou sílu v závislosti na výšce výtažku. (Dvořák M. a kol., 2000)

Při tažení se musí pomocí tažné síly překonávat vnitřní odpor materiálu a tření vzniklé mezi přidržovačem, materiálem a tažnicí. Tažná síla je závislá na několika faktorech, kterými jsou poměr rozměru výtažku (nádoby) d a výstřižku D ($d : D$), tloušťka t taženého materiálu, poloměr zaoblení tažné hrany R_h a mez pevnosti R_m taženého materiálu. (Řasa J. a kol., 2003)

Velikost tažné síly F_t se pro kruhový tvar výtažku a nástroj bez přidržovače, pro první a další tahy se vypočítá podle vztahu:

$$F_t = S_m \cdot R_m \cdot K_t = \pi \cdot d_s \cdot t \cdot R_m \cdot K_t \quad [\text{N}]$$

kde je S_m – plocha materiálu namáhaného na tah [mm^2], d_s – střední průměr výtažku [mm], t – tloušťka taženého materiálu [mm], R_m – mez pevnosti v tahu [MPa], K_t – součinitel tažné síly [–], $K_t < 1$ (tab. 5.2).

Tab. 5.2 Hodnoty součinitele K_t v závislosti na poměru $d : D$ (Řasa J. a kol., 2003)

$d : D$	0,550	0,575	0,600	0,625	0,650	0,675	0,700	0,750	0,775	0,800
K_t	1,00	0,93	0,86	0,79	0,66	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40

Velikost tažné síly pro pravouhlý tvar výtažku je dána vztahem:

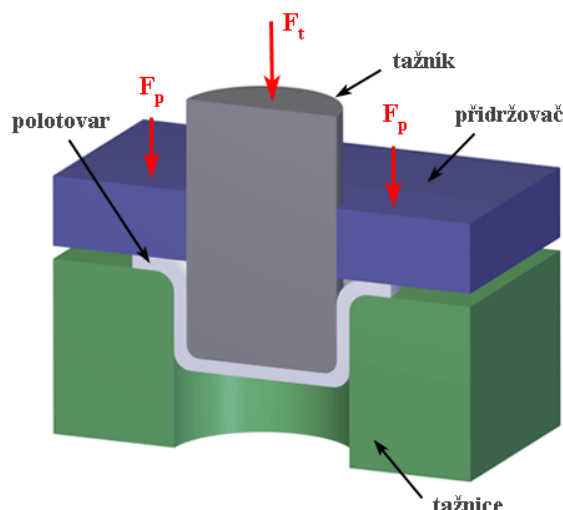
$$F_t = R_m \cdot 2 \cdot (\pi \cdot r_s + a_1 + b_1 - 2 \cdot t) \cdot t \cdot K_t \quad [\text{N}]$$

kde je r_s – střední poloměr rohů tažníku [mm], a_1, b_1 – délky stran polotovaru [mm].

Pro nástroj s přidržovačem se celková tažná síla $F_{t,c}$ potřebná k tažení pro první a další tahy vypočítá jako součet tažné síly F_t a síly přidržovače F_p . (Řasa J. a kol., 2003)

Síly působící na přidržovač

Tažený materiál se při tažení přitlačuje k tažnici silou vyvinutou pomocí přidržovače, která zabrání zvlnění taženého materiálu (obr. 5.19). Požadavky na tlak vyvolaný přidržovačem jsou protikladné, jelikož malý tlak přidržovače nezabrání vytvoření zvlnění a naopak velkým tlakem dochází k zadírání materiálu a je u něj vyžadována příliš velká tažná síla, která může být příčinou utržení dna výtažku. Přidržovač musí vyvolat tlak, který bude po celé styčné ploše rovnoměrně rozložen, jinak bude docházet k jednostrannému vytažení okraje. (Řasa J. a kol., 2003)



Obr. 5.19 Síly působící na materiál při tažení

Zdroj: <http://www.custompartnet.com/wu/images/sheet-metal/deep-drawing.png>

Síla přidržovače, která vyvodí potřebný tlak, se vypočítá ze vztahu:

$$F_p = p \cdot S_{př} \quad [\text{N}]$$

kde je p – tlak přidržovače [MPa], $S_{př}$ – účinná plocha přidržovače [mm²].

(Řasa J. a kol., 2003)

Doporučené hodnoty tlaku přidržovače p , který závisí na taženém materiálu:

- $p = 2,5$ až $3,5$ MPa pro měkkou ocel,
- $p = 0,8$ až $1,2$ MPa pro hliník a jeho slitiny,
- $p = 1,0$ až $1,5$ MPa pro měď.

(Dvořák M. a kol., 2000)

5.2 Objemové tváření

Objemové tváření za studena je vysokoproduktivní metoda výroby strojních součástí, která se vyznačuje svou hospodárností. Lze pomocí ní zhotovit kvalitní výrobky a slouží jako optimální náhrada za třískové obrábění. Součástky vyráběné objemovým tvářením jako jsou šrouby, svorníky, matice, aj. mají mnohem lépe zpevněný povrch a usměrněná nepřerušovaná vlákna zvyšující únavovou pevnost. Mezi objemové tváření za studena patří následující operace:

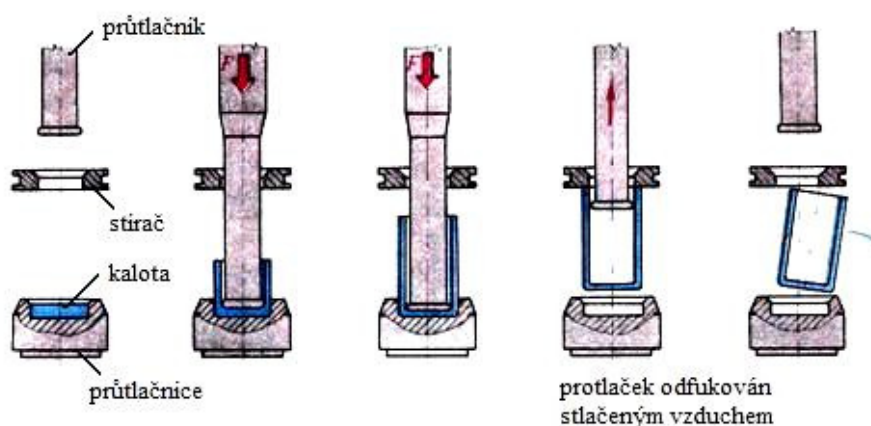
- pěchování (např. přířezů z tyčí),
- protlačování (dopředné, zpětné, sdružené a stranové),
- redukování (např. tyčí a drátů),

- vtlačování (např. tváření funkčních dutin nástrojů),
- doplňkové metody tváření povrchů (např. ražení, válcování závitů a drážek).

(<http://ust.fme.vutbr.cz>)

5.2.1 Protlačování

Protlačování je operace, kterou lze provádět jak za tepla, tak i za studena případně za poloohřevu. V přetvářeném elementu materiálu vzniká napjatost ve všech třech osách, která je všestranné tlaková. Nástroje používané k protlačování jsou protlačovadla, jejichž konstrukcí je určen směr pohybu tvářeného materiálu, který se přemísťuje a vzniká tak výrobek zvaný protlaček (obr. 5.20). (www.ksp.tul.cz)



Obr. 5.20 Princip operace protlačování

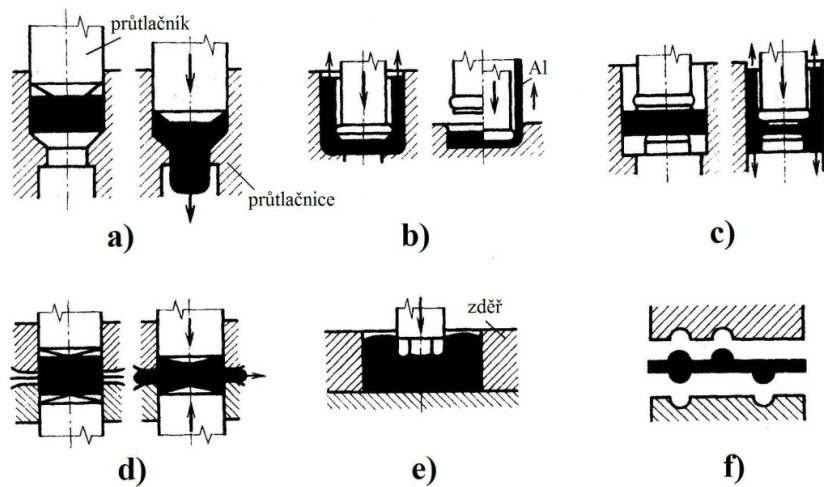
Zdroj: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/05-protlacovani/01.jpg

Protlačování za studena

Protlačování za studena je operace technologie tváření, která se používá ke změně polotovaru (špalík, kalota) na výrobky převážně rotačního symetrického tvaru. Přeměny se dosáhne působením tlaku průtlačníku na materiál, který se stává plastický vlivem působení prostorového stavu napjatosti a tím dojde k přemístění částic materiálu. Naopak molekulární vazba v materiálu zůstává neporušena. (Dvořák M. a kol., 2000)

Podle směru tečení materiálu vzhledem k pohybu průtlačníku v tvářecím nástroji se rozeznávají čtyři základní způsoby protlačování a to zpětné, dopředné, sdružené a stranové, které jsou znázorněny na (obr. 5.21). Během protlačování je kov uveden do plastického stavu a chová se jako tekutina, jejíž tlaky působí všemi směry přibližně stejně. Tvářený kov má před samotným procesem protlačování zpravidla normální

teplotu 20 °C. Za této teploty je potřeba na kov působit extrémně vysokými tlaky, aby se přeměnil do plastického stavu. (Řasa J. a kol., 2003)



Obr. 5.21 Operace protlačování (Řasa J. a kol., 2003)

a) dopředné protlačování, b) zpětné protlačování, c) sdružené protlačování, d) stranové protlačování, e) vtlačování, f) prosté ražení

Pomocí protlačování lze vytvořit tvary stejné jako lisováním z plechu, ale oproti tažení plechu je protlačování ekonomicky výhodnější. Důvodem je použitý výchozí polotovár, kterým je u protlačování špalík kruhového nebo čtvercového průřezu a u tažení je jím plech o vysoké pořizovací ceně. Výhodou je také vysoká výrobní přesnost a kvalita povrchu, jelikož se dosahuje stupně přesnosti IT 8 a IT 7. Zařazením dalších tvářecích operací (např. kalibrování) je možné získat až stupeň přesnosti IT 6. Výběr materiálů vhodných k protlačování je naopak omezen a u této operace nelze navíc zaručit přesnou délku a výšku protlačků. Z toho důvodu se protlačky upravují třískovým obráběním na finální tvar. (Dvořák M. a kol., 2000)

Protlačovací síla

Beran lisu musí při protlačování vyvinout dostatečně velkou sílu, která závisí na druhu protlačovaného materiálu, tepelném zpracování protlačovaného materiálu, čelní činné ploše průtlačníku, tloušťce stěn průtlačku, drsnosti pracovních ploch nástroje a způsobu mazání.

Potřebná protlačovací síla F_{pr} se vypočítá z následujícího vztahu:

$$F_{pr} = \sigma_p \cdot S_p \quad [\text{N}]$$

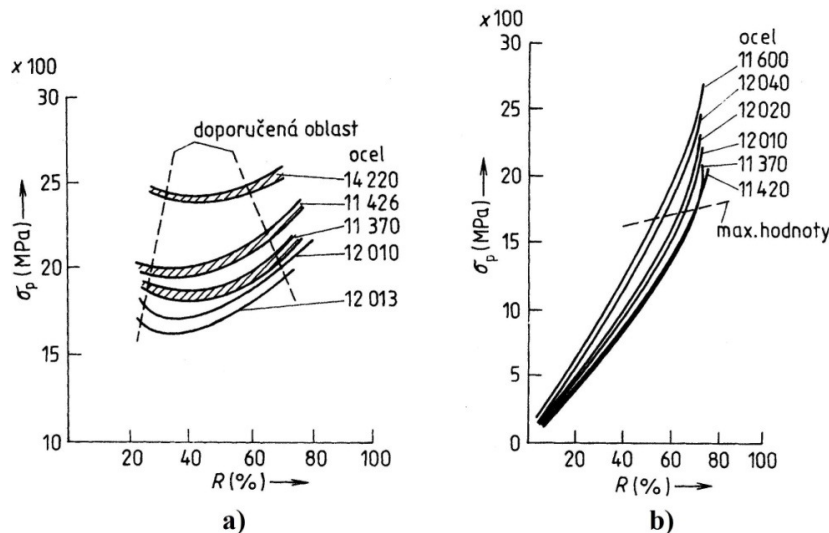
kde je σ_p – přetvárný odpor [MPa], S_p – obsah činné plochy průtlačníku [mm^2].

Přetvárný odpor σ_p je závislý na stupni deformace, kterou lze při protlačování posuzovat podle redukce průřezu výchozího polotovaru R_p a ta je dána vztahem:

$$R_p = \frac{S_0 - S_1}{S_0} \cdot 100 \quad [\%]$$

kde je S_0 – obsah plochy průřezu výchozího polotovaru [mm^2], S_1 – obsah plochy redukovaného průřezu protlačku [mm^2].

(Řasa J. a kol., 2003)



Obr. 5.22 Diagram závislosti přetvárného odporu na redukci (Řasa J. a kol., 2003)

a) při zpětném protlačování, b) při dopředném protlačování

Z diagramu závislosti přetvárného odporu je zřejmé, že se zmenšující se tloušťkou stěn, tj. s rostoucí redukcí, dochází k prudkému nárůstu potřebného tlaku (obr. 5.22). Nástroje a lisy používané pro výrobu metodou protlačování proto musí mít dostatečně tuhou konstrukci.

Platnost výše uvedeného výpočtu síly a přetvárných odporů jednotlivých materiálů v závislosti na redukci je nicméně omezena. Přetvárné odpory polykrystalických kovů, obvykle se vyskytujících v technické praxi, jsou ve skutečnosti závislé na mnoha činitelích, mezi které patří např. chemické složení a fyzikální stav tvářeného materiálu, stav napjatosti vyvolaný vnějšími silami, rychlost deformace, teplota materiálu aj.

K přesnějšímu stanovení protlačovací síly se používá deformační odpor σ_d a protlačovací síla se tak vypočítá ze vzorce:

$$F_{pr} = \sigma_d \cdot S_p \quad [\text{N}]$$

kde je σ_d – deformační odpor [MPa]

(Řasa J. a kol., 2003)

6 MATERIÁLY KE TVÁŘENÍ ZA STUDENA

Materiály vhodné ke tváření se rozlišují podle podmínek tvářecích procesů na materiály pro objemové tváření za studena, pro objemové tváření za tepla a pro plošné tváření za studena. Materiály vhodné pro zpracování plošným tvářením se dále pak rozlišují na materiály pro stříhání, ohýbání a tažení. (Hlavatý, I., Hrubý, J., 2012) Ke tváření se nejvíce používá ocel v rozsahu od nízkouhlíkových ocelí až po nástrojové oceli. Technologií tváření se kromě ocelí zpracovává celá řada dalších materiálů převážně kovů, jako jsou lehké a barevné kovy včetně jejich slitin, jedná se zejména o hliníkové a hořčíkové slitiny, mosazi atd. (Dvořák M. a kol., 2000)

6.1 Ocelové plechy k plošnému tváření

Ocelové plechy určené k tažení se vyrábí buď jako neuklidněné (stárnoucí) mezi které patří např. 11 301, 11 304, 11 321 a 11 331, nebo jako uklidněné (nestárnoucí), což jsou např. 11 305 a 11 325 (označování ocelových plechů dle ČSN).

V nízkouhlíkových hlubokotažných ocelích se kromě uhlíku a manganu nachází malé množství křemíku, fosforu, síry, ale také plyny a další doprovodné prvky. Doprovodnými prvky, které se do těchto ocelí dostávají ze surového železa a ocelového odpadu, jsou chrom, měď, nikl, cín a molybden. U hlubokotažných ocelí uklidněných nedochází ke stárnutí, jelikož obsahují malé množství stabilizačních prvků, kterými jsou hliník, vanad, titan, niob, zirkonium a bór. (Dvořák, M. a kol., 2013) Množství vybraných chemických prvků, které obsahují ocelové plechy k tažení, uvádí (tab. 6.1).

Tab. 6.1 Směrné chemické složení ocelových plechů k tažení (Čada R., 2005)

Označení oceli dle ČSN	uhlík <i>C</i> [max. %]	mangan <i>Mn</i> [max. %]	fosfor <i>P</i> [max. %]	síra <i>S</i> [max. %]	hliník <i>Al</i> [min. %]
11 301	0,08	0,40	0,030	0,030	–
11 304	0,07	0,40	0,025	0,025	–
11 305	0,07	0,40	0,025	0,025	0,025
11 321	0,10	0,45	0,035	0,035	–
11 325	0,10	0,45	0,035	0,035	0,020
11 331	0,11	0,45	0,035	0,035	–

Mechanické vlastnosti hlubokotažných plechů válcovaných za studena jsou ovlivněny především obsahem uhlíku, jehož obsah má být u kvalitních plechů maximálně 0,07 %. Mangan, zvyšuje pevnost a tvrdost plechů, ale na druhou stranu tím snižuje houževnatost plechu. Křemík je obsažen pouze v ocelích uklidněných,

v neuklidněných ocelích se nachází v nepatrném množství, jelikož zpevňuje materiál a zhoršuje tak plasticitu. Velmi nežádoucími prvky jsou dusík a kyslík, které vytvářejí nekovové vměstky a jsou nejvíce škodlivými plyny v ocelích. Způsobují stárnutí oceli a snižují plastické vlastnosti hlubokotažných plechů. Zásadní vliv na mechanické vlastnosti a tvařitelnost hlubokotažných ocelí má však také jejich mikrostruktura.

Pomocí mechanických a technologických zkoušek je možné zjistit celou řadu parametrů, na jejichž základě lze předvídat chování materiálu během tváření tj. tvařitelnost plechu. Tahovou zkouškou respektive z tahového diagramu se zjišťují základní mechanické vlastnosti materiálu jako je mez kluzu R_e , mez pevnosti R_m , tažnost A_{80} , kontrakce Z a poměr R_m / R_e . V (tab. 6.2) jsou pro ocelové plechy k tažení uvedeny požadované hodnoty některých mechanických vlastností. Dobré tvařitelnosti u tenkých hlubokotažných plechů lze dosáhnout při následujících doporučených hodnotách: $R_e \leq 190$ MPa, $R_m \geq 270$ MPa, $A_{80} \geq 36$ % a poměr $R_m / R_e \leq 0,7$. Pro velmi náročné výtažky, je potřeba poměru $R_m / R_e \leq 0,65$ a naopak při poměru $R_m / R_e > 0,75$ je tvařitelnost u tenkých plechů obtížná. Na kvalitu tvářecího procesu ukazuje u tahové zkoušky také průběh závislosti prodloužení na zatížení a to zejména oblast meze kluzu. Vhodný průběh tahové zkoušky je plynulý bez výrazné horní a dolní meze kluzu a Lüdersovy deformace, která je důsledkem zvýšení drsnosti povrchu výlisku. (Dvořák, M. a kol., 2013) Proto se tenké ocelové plechy dodávají tepelně upravené rekrytalizačním žíháním a lehce převálcované za studena, čímž se odstraní výrazná mez kluzu a již zmíněná deformace. (Čada R., 2005)

Tab. 6.2 Požadované hodnoty mechanických vlastností plechů k tažení (Čada R., 2005)

Označení oceli dle ČSN	R_e napříč [MPa]	R_m napříč [MPa]	A_{80} napříč [min. %]	Hloubení dle Erichsena [mm]
11 301.21	230	290 ÷ 370	31	6,8 ÷ 12,2
11 304.21	220	300 ÷ 360	36	8,9 ÷ 12,3
11 305.21	max. 215	290 ÷ 360	36	8,9 ÷ 12,3
11 321.21	240	290 ÷ 390	29	6,6 ÷ 12,0
11 325.21	240	290 ÷ 390	30	8,3 ÷ 12,0
11 331.21	260	290 ÷ 410	25	7,9 ÷ 11,8

Povrchově upravené plechy vhodné ke tváření

Povrchově upraveného plechu se dosáhne nanesením různého kovového nebo plastického povlaku na kovový základ (ocelový plech). Jako základ se k výrobě povrchově upravených plechů používají ocelové plechy válcované za studena, které

jsou ve formě tabulí nebo svitků. Jedná se o plechy vyrobené převážně z oceli třídy 11 popř. z oceli třídy 10. K povrchové úpravě plechů se nejvíce používají povlaky zinkové, cínové, hliníkové, chromové, povlaky z plastických hmot a dále se povrch plechu lakuje nebo se na něj nanáší plastové fólie (mohou být snímatelné). Účelem nanášených povlaků je ochrana proti korozi případně dosažení určitých funkčních nebo vzhledových vlastností základního plechu. (Dvořák, M. a kol., 2013)

6.2 Oceli pro objemové tváření

Oceli vhodné k objemovému tváření za studena lze rozdělit do tří skupin:

- a) oceli zvlášť vhodné ke tváření

Dle ČSN jsou to konstrukční nelegované oceli třídy 11 (11 300, 11 320, 11 330, 11 343, 11 373), oceli třídy 12 (12 010, 12 011, 12 013) a dále pak oceli podle zvláštních přejímacích podmínek,

- b) oceli dobře tvařitelné při běžném tepelném zpracování a povrchové úpravě

Patří sem konstrukční oceli 11 350, 11 375, 11 423, 11 425, 11 523, 12 020, 12 030 14 120 a 14 220 (označování ocelí dle ČSN),

- a) oceli tvařitelné za studena pouze při důkladném tepelném zpracování, vyhovující povrchové úpravě a vhodném mazání

Výrobní proces je potřeba rozložit na několik tvářecích operací, protože tyto oceli mají nízkou tvárnost. Při tváření zde působí velké měrné tlaky (max. 2500 MPa, výjimečně až 2700 MPa) na činné části protlačovacích nástrojů a mají tak negativní vliv na jejich životnost. Jedná se o oceli několika tříd, konkrétně 11 500, 11 600, 12 040, 12 050, 15 260, 16 220, 16 221, 17 021, 17 027, 17 115 a 17 255 (označování ocelí dle ČSN).

Pro objemové tváření za studena jsou vhodné oceli s malým sklonem ke zpevnění a dostatečně velkou tvárností. Z toho důvodu se ve většině případů používají oceli nízkouhlíkové a nízkolegované. Pouze pro součásti jednoduchých tvarů se ojediněle používají oceli se středním obsahem uhlíku a legované oceli.

Ke tváření protlačováním je zpravidla nejvíce vhodná ocel tepelně zpracovaná žíháním na měkko. Použitím kombinovaného žíhání je možné dosáhnout vhodné struktury. Tento druh žíhání je složen z normalizačního žíhání (docílí se jím rovnoměrnějšího rozložení zrna) a následného žíhání na měkko (slouží k dosažení co nejnižší tvrdosti a nejvyšší tvárnosti). U ocelí pro objemové tváření za studena se

požadují následující mechanické vlastnosti jako je velmi nízká hodnota meze kluzu, velmi vysoké procento tažnosti a kontrakce (min. 55 %) a poměr R_e / R_m má být v rozsahu 0,5 až 0,6. Aby bylo dosaženo vyhovující chemické složení, musí mít tyto oceli nízký obsah uhlíku, minimální obsah fosforu a síry, nízký obsah nekovových vměstků a minimální výskyt staženin a vycezenin. (Čada R., 2005) Hodnoty pevnosti po žíhání základních druhů ocelí, které se používají pro výrobu součástí objemovým tvářením, jsou uvedeny v (tab. 6.3).

Tab. 6.3 Základní druhy ocelí k objemovému tvářením za studena (Čada R., 2005)

Označení oceli dle ČSN	Pevnost R_m v žíhaném stavu [MPa]	Označení oceli dle ČSN	Pevnost R_m v žíhaném stavu [MPa]
11 341	340 ÷ 420	12 050	550
11 426	420 ÷ 500	13 240	750
11 523	520 ÷ 640	14 120	600
12 013	400	14 220	700
12 010	340	14 221	700
12 020	400	14 331	800
12 024	400	15 230	700
12 031	400	15 260	800
12 040	450 ÷ 600	16 220	600

Uklidněné oceli tedy s odolností proti stárnutí se přednostně používají k protlačování. Hliníkem uklidněné oceli slouží k výrobě nejnáročnějších protlačků. Provedením tepelného zpracování před tvářením se u protlačků zajistí stálost mechanických vlastností. V ocelích neuklidněných, které nemají odolnost proti stárnutí, není prakticky obsažen žádný křemík. Povrchová vrstva těchto ocelí je čistá s nízkým obsahem uhlíku, fosforu a síry, ale mají naopak větší množství vycezenin. Jejich použití je omezeno pouze na součásti, u nichž jsou kladeny menší nároky na tvařitelnost a zároveň není zaručena možnost je zušlechtit. (Čada R., 2005)

7 MATERIÁLY PRO LISOVACÍ NÁSTROJE

Tváření kovů za studena je moderní výrobní technologií, jejíž efektivita je určována převážně kvalitou tvářecích nástrojů. Výkon a trvanlivost tvářecích nástrojů jsou závislé na celé řadě výrobních a provozních faktorů a mezi základní faktory patří materiál nástroje a jeho tepelné zpracování. Převážnou část spotřeby k výrobě činných částí tvářecích nástrojů (např. střížníku a střížnice) představují nástrojové oceli, avšak ve většině případů se z důvodu technických a ekonomických hledisek volí levnější lité

nebo tvářené konstrukční oceli či litiny. U vysoce výkonných nástrojů je vyžadováno použití vložkování ze slinitých karbidů nebo povlakování pomocí materiálů vyznačujících se vysokou odolností proti opotřebením. (www.tribotechnika.sk)

7.1 Konvenční materiály pro lisovací nástroje

Nástroje pro plošné tváření se vyrábějí z různých materiálů, které lze rozdělit do třech skupin:

- a) konstrukční oceli, šedé litiny a oceli na odlitky,
- b) nástrojové oceli,
- c) ostatní materiály.

Bylo zjištěno, že velké nástroje jsou tvořeny z 93 % skupinou materiálu, kam patří uhlíkové oceli, oceli na odlitky a litiny, naopak u nástrojů menších rozměrů je tato skupina materiálů zastoupena pouze v 65 %. Použitím legovaných materiálů se podstatně zvyšují výrobní náklady na nástroje nejen z hlediska materiálu, ale i pracnosti. Materiálů, jako jsou slitinové oceli, slinité karbidy a keramika, se využívá pouze v případě výroby velkých sérií, snadné údržbě nástrojů, vyšší kvalitě výrobků apod. (Kotouč J. a kol., 1993)

7.1.1 Základní materiály

Pro velkou část výroby lisovacích nástrojů pro práci za studena se používají především konstrukční oceli, šedá litina, oceli na odlitky a v menší míře také nástrojové oceli. Některé konstrukční prvky nástrojů jsou zhotoveny z konstrukčních ocelí obvyklých jakostí, které se zpravidla tepelně nezpracovávají, nebo z ocelí ušlechtilých. Konstrukční oceli ušlechtilé se dále dělí na uhlíkové nebo slitinové, které v porovnání s ocelmi obvyklých jakostí mají přesnější chemické složení a lepší mechanické vlastnosti, jelikož se obvykle dále tepelně zpracovávají např. cementováním, povrchovým kalením apod.

Z šedé litiny se vyrábí jen základové části nástrojů. Ocel na odlitky se používá buď uhlíková obvyklých jakostí, nebo uhlíková, u níž je zaručena vrubová houževnatost a tavná svařitelnost. Ocel na odlitky obvyklých jakostí má uplatnění tam, kde šedá litina pevnostně nevyhovuje. (Novotný K., 1992) V (příloha 1) jsou uvedeny nejčastěji používané konstrukční oceli, litiny a oceli na odlitky.

Výroba činných částí nástrojů se provádí z nástrojových ocelí uhlíkových a slitinových, jejichž přehled se nachází v (příloha 2). U nástrojových ocelí uhlíkových

lze dosáhnout vysoké povrchové tvrdosti, jelikož se dají dobře kalit. Na druhou stranu mají nízkou prokalitelnost, která způsobuje, že nástroje se zakalí jen do určité hloubky. Využívá se jich pouze na méně namáhané nástroje menších rozměrů. Jejich hlavní nevýhoda spočívá v tom, že se popouštějí při relativně nízkých teplotách a ztrácejí tím potřebnou tvrdost. Nástrojové oceli slitinové mají díky přísadovým prvkům zvýšenou prokalitelnost a odolnost proti oťeru. Z důvodu jejich prokalitelnosti až do jádra křehnou a nejsou schopny odolávat větším ohybovým namáháním. Odolnost proti opotřebení mají vyšší než oceli uhlíkové, ale povrchová tvrdost je u nich částečně snížena.

Nástrojové oceli pro výrobu střížných nástrojů musí mít dostatečnou tvrdost a odolnost proti opotřebení břitů oťerem a zároveň musí být houževnaté proti vylamování ostří. Pro tvářecí nástroje ohýbací a tažné, které při práci vyvíjejí tlak, se používají nástrojové oceli s dostatečnou tvrdostí, a také je u nich vyžadována pevnost v tlaku při dobré houževnatosti. (Novotný K., 1992) Tepelné zpracování nástrojových ocelí sloužících k výrobě činných částí nástrojů je uvedeno v (příloha 3).

7.1.2 Ostatní a návarové materiály

V některých případech se používají jiné druhy materiálů z důvodu zvýšení životnosti nástroje jako např. slituté karbidy nebo proto, že jejich pořizovací cena je nižší a dají se snadno zpracovat. Použitím nástrojů z těchto materiálů se tedy dosahuje optimálního poměru mezi cenou nástroje a počtem výlisků, které je možné nástrojem vyrobit. Mezi významněji rozšířené materiály pro výrobu lisovacích nástrojů patří celá řada kovových a nekovových materiálů. Některé z těchto materiálů jsou uvedeny níže.

(Novotný K., 1992)

Plastické hmoty

Laminované epoxidové a polyesterové pryskyřice se nejvíce hodí pro výrobu velkých nástrojů na tažení a ohýbání plechu, které slouží zejména pro součásti automobilových a leteckých karoserií. Další používané plastické hmoty jsou vhodné pro zalévání např. vložek, střížnic a střížníků, a případně je možné přímo z nich odlévat vodící vložky nástroje. Jedná se o lité pryskyřice a technický dentakryl.

Slitiny hliníku a zinku

Slitiny hliníku jsou vhodným materiálem hlavně pro tažné nástroje, jelikož mají vlastnost dobře odolávat zadírání a jejich použitím je možné vyrobit výlisek s hladkým povrchem zvláště z koroziivzdorných ocelí. Slitiny zinku nachází využití v kusové

výrobě složitých výlisků, jejichž polotovarem jsou plechy z lehkých kovů. Velká výhoda slitin zinku (např. při tvorbě prototypů) spočívá v jednoduché výrobě nástroje, ale za to jejich životnost je malá.

Technická pryž

Její použití se uplatňuje pro výrobu pružných prvků nástrojů (stěrače, přidržovače, segmenty tlumící rázy aj.), nebo jí lze nahradit jednu ohýbací nebo tažnou čelist, případně se z ní vyrábí střížnice pro stříhání tenkých plechů.

(Novotný K., 1992)

Keramika

Používá se na výrobu vložek pro tažnice malých a středních nástrojů. U tažnic se při procesu tažení vyskytuje jak ohybové namáhání, tak i tahové napětí, které keramické vložky nejsou schopny snášet, jelikož jsou velmi křehké. Proto je potřeba vložky vkládat do zděří z nástrojové oceli a současně se musí zajistit vyměnitelnost zděří v nástroji. U keramických tažnic se zvyšuje tažná síla, ale naopak díky jejich mikroporézní struktuře je povrch výtažku hladký.

Návarové materiály

Pomocí těchto materiálů lze vytvářet návarové vrstvy na činných částech střížných a tažných nástrojů. Přehled návarových materiálů a jejich použití uvádí (příloha 4). Návary se zhotovují obalenými elektrodami, přičemž pro střížnice a tažnice se používají jiné elektrody než pro střížníky a životnost návaru určuje jeho kvalita přichycení v základním materiálu. Požadavkem je, aby tloušťka návaru byla dostatečně velká z toho důvodu, že návarové materiály mají vždy nižší houževnatost než základní materiál. Tento požadavek platí zvláště pro návary ze speciálních práškových materiálů s označením K 40 až K 60, u kterých má být dostatečná vrstva návaru na čele a válcové části střížníku a střížnice, popř. na činné části tažnice.

(Kotouč J. a kol., 1993)

7.2 Speciální materiály pro činné části nástrojů

Pro zpracování plechu jsou běžně užívané nástrojové oceli chromové a jejich typickými představiteli je nástrojová ocel s 5 % a 12 % obsahem chromu. V případě tváření ocelí se zvýšenou pevností nemusí být tyto nástrojové oceli správnou volbou. Jejich tažnost a houževnatost nenabývá takových hodnot, aby byly pomocí nástrojů

z těchto materiálů prováděny operace, u kterých jsou vyšší požadavky na mechanické vlastnosti v porovnání s obvyklými tvářecími operacemi. U nástrojů pro stříhání, vystřihování a děrování se získává otěruvzdornost rozptýlením tvrdých částic, obzvláště karbidů v různých typech materiálů. (www.tribotechnika.sk)

7.2.1 Slinuté karbidy

Nástroje ze slinutých karbidů se používají běžně jako nástroje s dlouhodobou životností. Ocelí vázané karbidy (TiC s ocelovou maticí) mají střední úroveň odolnosti proti opotřebení mezi nástrojovými oceli a slinutými karbidy wolframu v kobaltové matici (WC-Co). Tento druh karbidů s ocelovým pojivem je složen z 25 až 45 % obj. karbidů titanu (TiC), které jsou homogenně rozptýleny v ocelové matici. Matici může tvořit nástrojová ocel, vysokopevnostní ocel nebo ocel korozivzdorná. Karbidy s ocelovým pojivem lze tepelně zpracovat, a pokud je matrice v žíhaném stavu, lze karbidy obrábět běžnými metodami. Jejich použití se uplatňuje při výrobě razníků a raznic pro práci za studena. (www.tribotechnika.sk)

7.2.2 PM nástrojové oceli

Jedná se o nástrojové oceli vyráběné práškovou metalurgií, které se používají při tváření za studena tam, kde je vyžadována kombinace dobré odolnosti proti opotřebení a pevnosti v tlaku (vysoké tvrdosti). Prášková metalurgie umožňuje vyrábět nástrojové oceli s karbidy vanadu (VC), které mají schopnost odolávat velkému opotřebení. PM nástrojových oceli vanadových se využívá při konstrukci střížníků a střížnic ke stříhání za studena a pro razníky a raznice na lisování. Slouží jako cenově efektivní náhrada místo slinutých karbidů WC-Co a nástrojů z kompozitu karbidu TiC – ocel, v případě kdy tyto materiály mají zvýšenou citlivost na vylamování nebo porušení, a také když cena těchto materiálů je nepřiměřeně vysoká. Vanadové PM nástrojové oceli jsou vhodné především pro práci za studena. Vyznačují se výbornou kombinací odolnosti proti otěru s houževnatostí a brusnou charakteristikou v širokém rozmezí tvrdostí. (www.tribotechnika.sk)

8 STŘIŽNÉ NÁSTROJE

K provedení operace stříhání se používají zařízení, mezi které patří buď nůžky sloužící pouze k přestřihování tedy dělení materiálu, nebo nástroje zvané stříhadla pomocí nichž se ze základního materiálu převážně děrují a následně vystřihují výlisky respektive výstřížky. Stříhání ve stříhadlech je možné provádět zejména pomocí lisů, do kterých se stříhadla upínají. Stříhadla se skládají z horní pohyblivé části, která je upnuta pomocí stopky do beranu lisu, a dolní pevné části, která se připevňuje ke stolu lisu upínacími prvky. (Čada R., 2013) Funkčními částmi stříhadel jsou dva nože – střížník a střížnice, přičemž střížník zastává funkci horního pohyblivého nože a střížnice je ve funkci dolního pevného nože. (www.ksp.tul.cz)

Při stříhání je přesnost vyrobených součástí závislá na velké řadě činitelů, mezi něž patří i použitý nástroj, u kterého hraje podstatnou roli jeho druh a stav, přesnost zhotovení střížníku a střížnice jak uvádí (tab. 8.1) a ustavení polotovaru v nástroji. Na přesnost výstřížku má vliv také takt použitého stroje, ve kterém je nástroj připevněn. Stříháním v nástrojích bez vedení se dosahuje, u výstřížků z materiálu o tloušťce do 4 mm a rozměrech menších než zhruba 200 mm, přesnosti zaručující průměrné ekonomické podmínky v rozmezí základní tolerance IT 12 až IT 14. Nástroji se zvýšenou přesností tedy nástroji vybavenými vedením pomocí vodících sloupků je možné dosáhnout stupně přesnosti IT 9 až IT 11. Zároveň je však u nich potřeba, k dosažení této přesnosti, použít zařízení k přidržení polotovaru tzv. přidržovač. Ve skutečnosti lze u výstřížků dosáhnout stupně přesnosti IT 6 až IT 8 pomocí speciálních nástrojů pro přesné stříhání. (www.mmspektrum.cz)

Tab. 8.1 Závislost přesnosti výstřížku na přesnosti nástroje (www.mmspektrum.cz)

Výrobní tolerance IT výstřížku	8 - 9	10	11	12	13	14	15
Výrobní tolerance IT střížníku a střížnice	5 - 6	6 - 7	7 - 8	8 - 9	10	11	12

Nástroje pro tváření se dají rozdělit v podstatě podle stejných hledisek jako samotná technologie tváření. Tvářecí nástroje v tomto případě střížné nástroje je možné dělit:

- a) podle druhu a počtu operací na:
 - **jednoduché nástroje** – provádějí pouze jednu operaci na jednom výstřížku na jeden zdvih

- **postupové nástroje** – několik operací je prováděno na více zdvihů, operace následují postupně za sebou a poslední operací je výlisek kompletně zhotoven
 - **sloučené nástroje** – výlisek je zhotoven najednou, sloučením několika pracovních úkonů stejného druhu, které vykonává jeden nástroj na jeden zdvih, např. děrování a vystřihování se provede současně
 - **sdužené nástroje** – jedná se o nástroje postupové, v nichž je sloučeno několik pracovních úkonů různého druhu, které se provádí za sebou na jeden zdvih, např. stříhání a tažení nebo ohýbání
- b) podle způsobu zavádění a vyjímání polotovarů na:
- nástroje s volným ručním vkládáním bez použití dorazů nebo s dorazy
 - nástroje mechanizované
 - nástroje částečně nebo plně automatizované
- c) podle použitých pomocných zařízení na nástroje:
- bez přidržovače nebo s přidržovačem
 - bez vyhazovačů nebo s vyhazovači
 - bez vedení nebo s vedením

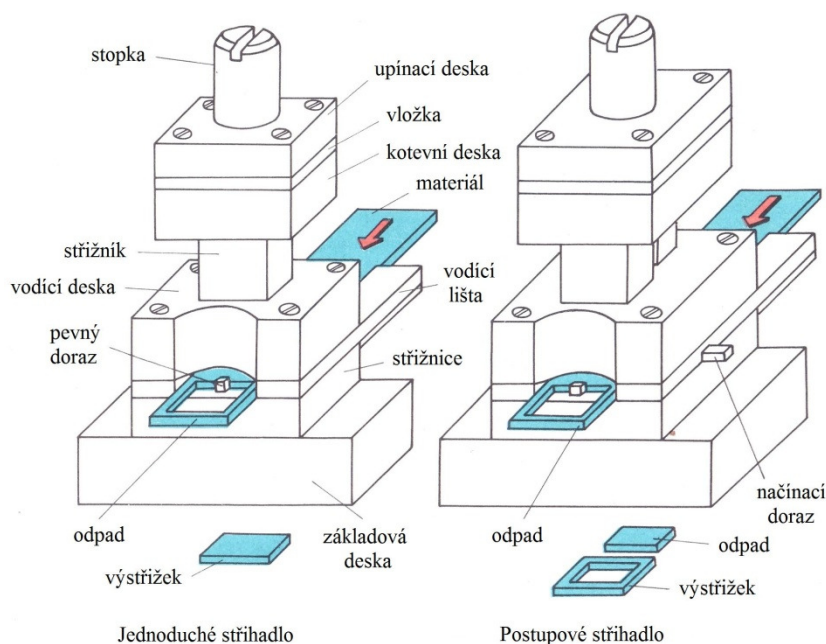
(Novotný K., 1992)

Střížné nástroje lze ještě rozdělit podle druhu vedení na otevřené (bez vedení), s vodící deskou, s vodícími sloupky a se sduženými vedeními nebo také podle počtu výlisků na jednonásobné a vícenásobné. (Čada R., 2013)

8.1 Konstrukční prvky střížných nástrojů

Každý střížný nástroj se podle složitosti skládá ať už z malého nebo většího počtu konstrukčních prvků mezi které patří základová deska, upínací deska, kotevní deska, vodící deska, vložka (kalená opěrná deska), stopka, vodící lišty, dorazy a hledáčky a v neposlední řadě střížníky a střížnice. Na (obr. 8.1) jsou jednotlivé prvky popsány na jednoduchém a postupovém střížném nástroji. Všechny tyto prvky střížných nástrojů jsou normalizované kromě střížníků a střížnic. (www.sst.opava.cz) Z jednotlivých prvků se sestavují horní a dolní část nástroje. Horní část nástroje se nazývá upínací hlavice a dolní část tvoří střížná skříň. Prvky jsou mezi sebou spojeny pomocí šroubů a jejich vzájemná poloha je zajištěna kolíky. (Novotný K., 1992)

Základní konstrukční prvky všech tvářecích nástrojů tvoří činné části nástroje, které jsou v přímém kontaktu s tvářeným materiálem a rozhodujícím způsobem se podílí na jejich tvaru. Na rozdíl od jednoduchých nástrojů (např. pro obrábění) nemohou tyto části pracovat samostatně. Aby funkce tvářecího nástroje byla správná, je nutné zajistit vzájemnou geometrickou polohu činných částí nástroje (např. střížníku a střížnice) vedením nástroje a možnost upnutí na stroj pomocí upínacích a středících prvků. Současně je potřeba zajistit zakládání a posun tvářeného materiálu a hlavně bezpečnost obsluhy. (Solfronk P., 2014)



Obr. 8.1 Jednoduchý a postupový střížný nástroj (Hluchý M. a Beneš J., 1981)

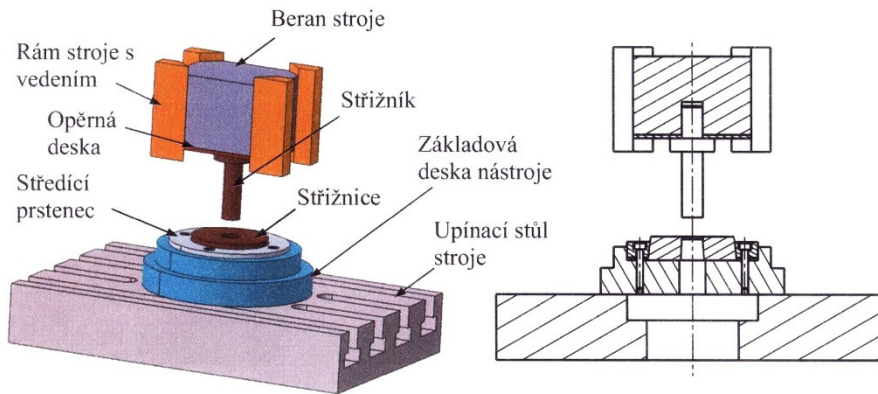
8.2 Konstrukce nástrojů

8.2.1 Střížné nástroje bez vedení

Jednoduché střížné nástroje jsou převážně konstruovány jako nástroje bez vedení, které nacházejí uplatnění při výrobě menšího množství malých a středně velkých jednoduchých výrobků, u nichž není vyžadována vysoká přesnost stříhu. Vzájemná poloha obou funkčních částí tj. střížníku a střížnice je zajištěna pouze beranem lisu a jeho rámem. (Řasa J. a kol., 2003)

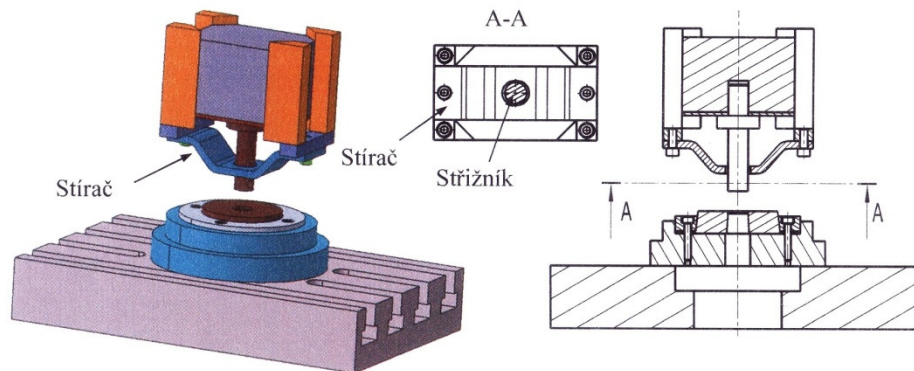
Výhodou u nástrojů bez vedení je velký manipulační prostor se stříhaným materiálem, který omezuje jen rám stroje, jak lze vidět na (obr. 8.2). Nástroje tohoto

typu jsou vhodné pro stříhání po otevřeném obryse (např. vystřihování v okraji plechu, odstříhování rohů atd.), jelikož není u nich potřeba stírat materiál ze střížníku.



Obr. 8.2 Jednoduchý střížný nástroj bez vedení (Solfronk P., 2014)

Naopak při stříhání po uzavřeném obryse je nutné zvolit vhodný způsob setření materiálu ze střížníku, protože materiál je v důsledku vzniklého odpružení obtížné ručně sejmout. Proto se na jednoduché nástroje připevňují stírače plechu v různých provedeních. Konstrukční provedení, kdy je stírač uchycen na rámu stroje je vidět na (obr. 8.3).



Obr. 8.3 Jednoduchý střížný nástroj se stíračem umístěným na rámu stroje (Solfronk P., 2014)

U jednoduchých nástrojů se jako univerzální řešení pro stírání plechu ze střížníku používá stírače, který je tvořen dvěma stíracími segmenty přichycenými na nosných ramenech. (Solfronk P., 2014)

8.2.2 Střížné nástroje s vedením

Z hlediska přesnosti jsou nástroje s vedením výhodnější, ale naopak jejich výroba je o to více náročná a tím pádem i finančně nákladná. Nástroje s vedením se využívají

v případech, kdy vedení beranu nezaručuje dostatečnou přesnost výstřížku nebo pokud jsou u nich kladeny vyšší požadavky na přesnost. (Novotný K., 1992) Použitím vedení je u nástrojů zajištěna velikost střížné vůle, rovnoměrnost stříhu, a také vyrovnaní klopných momentů v nástroji vlivem střížných sil. Podle požadavku na přesnost vedení se používají v zásadě dva typy vedení a to vedení pomocí vodící desky nebo vodícími sloupky. (Kotouč a kol., 1993)

8.2.2.1 Nástroje s vodící deskou

Jedná se o rozšířený způsob konstrukce nástrojů, kde je zajištěno vedení střížníku proti střížnici pomocí vodící desky, která nejčastěji tvoří pevnou součást spodní části nástroje. Vodící deska současně slouží ke stírání materiálu ze střížníku při zpětném zdvihu stroje a její použití se uplatňuje u jednoduchých a postupových střížných nástrojů. (Solfronk P., 2014)

Jednoduchý nástroj s vodící deskou bez vymezení posuvu plechu

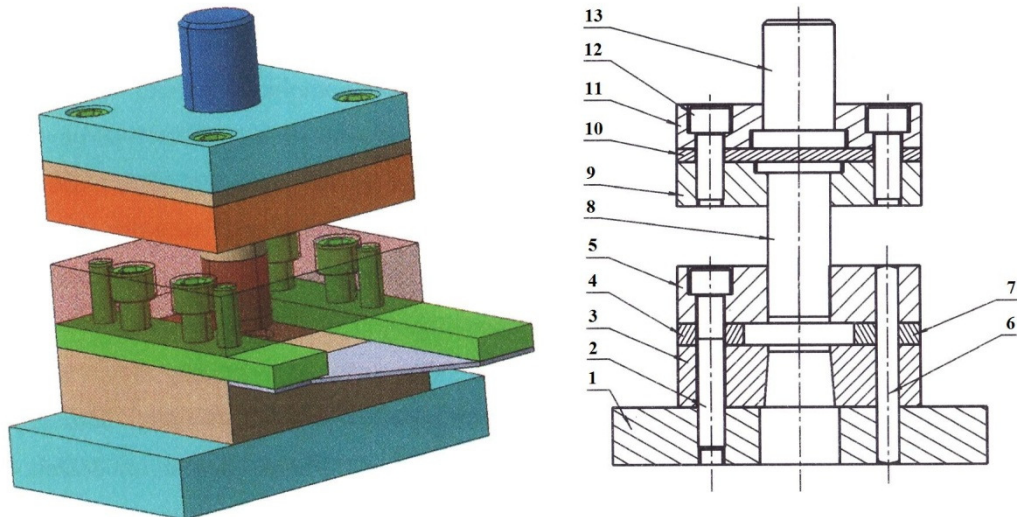
Horní část nástroje je sestavena z několika prvků, které jsou spojeny pomocí šroubů (pozice 12). Pro upnutí střížníků slouží kotevní deska (pozice 9). Střížníky jsou v kotevní desce zpravidla uloženy s vůlí, aby se u nich zamezilo vzniku přídavného ohybu a tím nedocházelo k nadměrnému opotřebení vodící desky. Vedení střížníku (pozice 8) zajišťuje vodící deska (pozice 5). Účelem kalené opěrné desky (pozice 10) je zabránit střížníkům v otlacení na upínací desce. Upínací deska slouží pro uchycení všech konstrukčních prvků horní části nástroje. Tato horní část se upíná do beranu lisu pomocí stopky (pozice 13) a zároveň se tak vymezí poloha nástroje vůči lisu. Stopka se umísťuje na upínací desku do předem vypočítaného těžiště tvářecích sil.

Spodní část nástroje je spojena pomocí kolíků (pozice 6) a šroubů (pozice 2). Kolíky je vymezena vzájemná poloha všech spojovaných prvků a vzdálenost mezi nimi má být co největší. Spojení všech prvků je zajištěno šrouby. Aby hodnota střížné mezery byla po obvodu stříhu stejná, musí být dodržena požadovaná přesnost vzájemné polohy střížnice (pozice 3) a vodící desky. Ostatní prvky jako je základová deska (pozice 1) a vodící lišta (pozice 4 a 7) není potřeba spojovat pomocí kolíků, avšak z důvodu jednodušší montáže se obvykle všechny prvky spodní části nástroje spojují šrouby i kolíky. Funkcí vodících lišt je navádět materiál do nástroje a pro jeho snadné navádění

se lišty zhotovují tak, že na jedné straně přesahují z nástroje o různou délku. K lištám se ze spodní strany připevňuje podpěrný plech, který zajišťuje lepší vedení pásu materiálu.

(Solfronk P., 2014)

Konstrukční řešení nástroje s pevnou vodící deskou bez vymezení posuvu plechu je znázorněno na (obr. 8.4).



Obr. 8.4 Střížný nástroj s vodící deskou (Solfronk P., 2014)

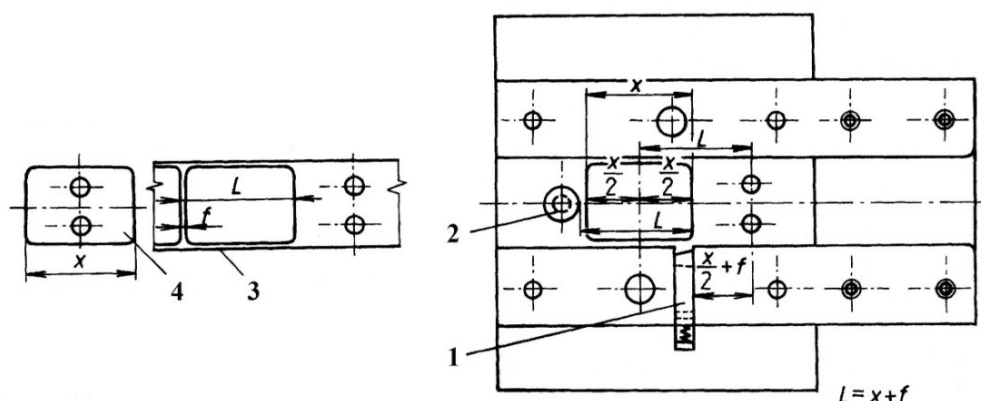
1 – základová deska, 2 – šroub, 3 – střížnice, 4 – levá vodící lišta, 5 – pevná vodící deska, 6 – kolík, 7 – pravá vodící lišta, 8 – střížník, 9 – kotevní deska, 10 – opěrná deska, 11 – upínací deska, 12 – šroub, 13 – stopka

Postupové nástroje

Jsou sestaveny ze stejných konstrukčních prvků jako jednoduché nástroje. Rozdíl je pouze v tom, že v nástroji je upevněno více střížníků podle složitosti tvaru výstřížku a navíc je pro jejich správnou funkci potřeba použít dorazy. (www.sst.opava.cz) Postupovými stříhadly se zhotovují výstřížky postupně v jednotlivých krocích. V prvním kroku se provádí děrování a další krok slouží k vystřížení obvodu součásti (výstřížku). Podle způsobu krokování se postupové nástroje mohou rozlišovat na:

A. Postupový nástroj s pevným dorazem

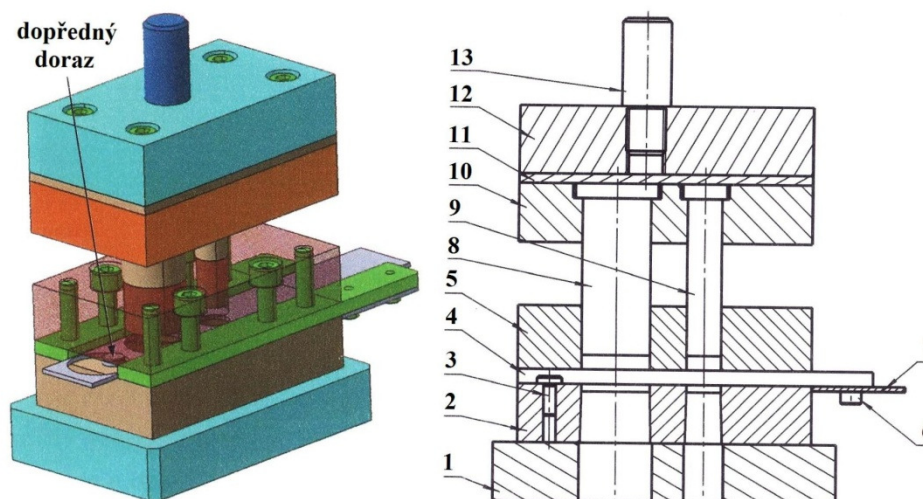
Tento druh střížného nástroje se používá na lisech s ručním podáváním polotovaru v podobě pásů plechu. Pro zajištění vytvoření díry na prvním výstřížku musí být nástroj vybaven načínacím dorazem (obr. 8.5), který se použije vždy při vložení nového pásu plechu. (Řasa J. a kol., 2003)



Obr. 8.5 Postupové stříhadlo s načínacím a pevným dorazem (Řasa J. a kol., 2003)

1 – načínací doraz, 2 – pevný doraz, 3 – odpadový pás plechu, 4 – výstřížek

Postupovým střížným nástrojem s pevným dorazem, který je zobrazen na (obr. 8.6), lze zhotovit výstřížek ve dvou krocích. Stříhaný materiál je proto nutné vždy posunout v nástroji o hodnotu, která odpovídá vzdálenosti obou stříhaných otvorů v plechu, jak je vyznačeno na (obr. 8.5). Z toho důvodu je v nástroji umístěn pevný (dopředný) doraz, do kterého naráží plech při posuvu a zachycuje se o něj tzv. můstkem mezi otvory. Stříhaný plech je pokaždé potřeba nadzvednout a přenést přes pevný doraz, aby bylo možné jej posunout dále. (Solfronk P., 2014)

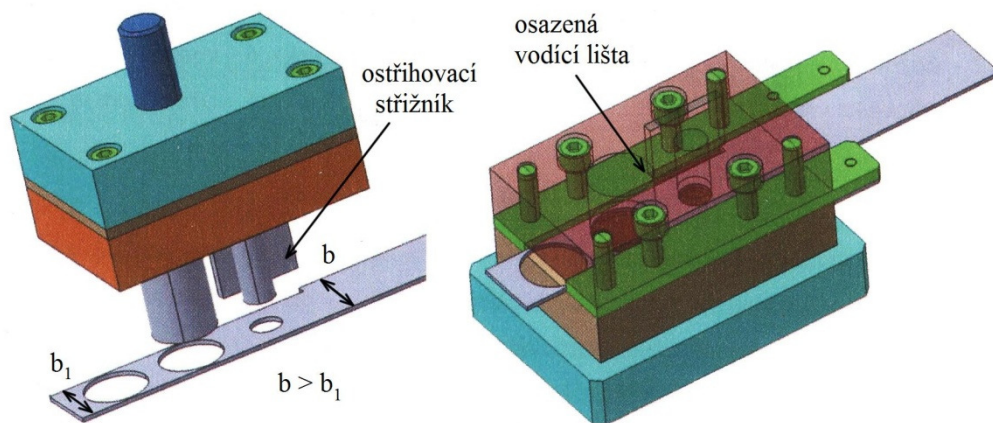


Obr. 8.6 Střížný nástroj s vodící deskou a dopředným dorazem (Solfronk P., 2014)

1 – základová deska, 2 – střížnice, 3 – pevný dopředný doraz, 4 – vodící lišta, 5 – vodící deska, 6 – šroub, 7 – podpěrný plech, 8 – střížník obvodu, 9 – děrovací střížník, 10 – kotevní deska, 11 – opěrná deska, 12 – upínací deska, 13 – stopka

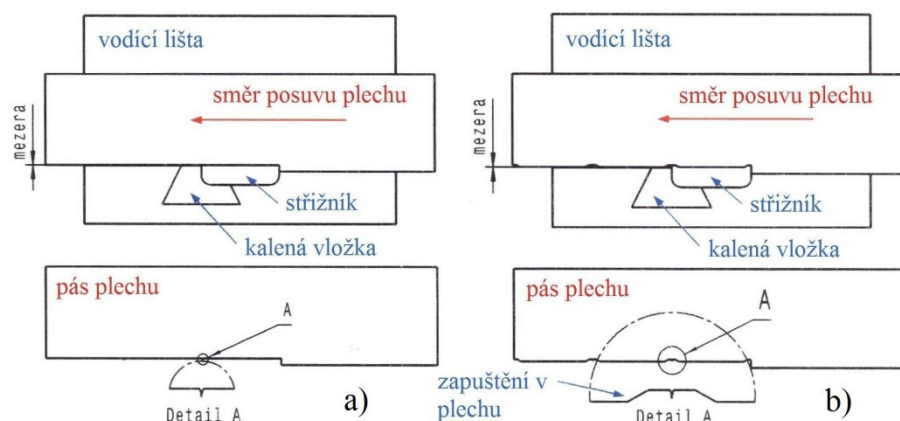
B. Postupový nástroj s ostříhovačem

Nevýhodou nástroje s pevným dorazem je obtížná manipulace s materiálem, kterou odstraňuje konstrukce nástroje s tzv. ostříhovačem (obr. 8.7). Rozdíl spočívá ve vymezení posuvu plechu v nástroji, kde polohu plechu určuje osazení vytvořené na vodící liště, která zastává stejnou funkci jako pevný doraz. Pro další posuv plechu je nutné zmenšit šířku plechu o velikost osazení vodící lišty. Šířka plechu se zmenšuje za pomoci ostříhovacího střížníku umístěného na okraji pásu plechu, který zajistí další posuv materiálu tím způsobem, že při každém zdvihu zmenší šířku plechu na požadovanou hodnotu. Pro zajištění přesnosti (souososti) stříhaných otvorů musí být délka ostříhovače stejná jako vzdálenost středů obou otvorů. (Solfronk P., 2014) Postupové nástroje s ostříhovačem se používají na lisech, u nichž je posuv pásů plechu zajištěn mechanickým způsobem. (Řasa J. a kol., 2003)



Obr. 8.7 Postupový střížný nástroj s ostříhovacím střížníkem (Solfronk P., 2014)

U osazené vodící lišty, která slouží jako doraz pro plech, je nejvíce namáhána její hrana rázy vzniklémi posuvem plechu a může tak u ní docházet k nadměrnému opotřebení. Řešením je použít kalenou vložku popř. vložku ze slinutého karbidu, která se vloží do vodící lišty, což znázorňuje (obr. 8.8), nebo je možné celou lištu tepelně zpracovat kalením. Při ostříhování plechu vzniká na stříhané hraně tzv. ostřina, kterou zobrazuje detail stříhaného plechu na (obr. 8.8a). Vzniklá ostřina může bránit v posuvu plechu do nástroje. Proto je vhodné použít ostříhovač s upraveným tvarem, který v plechu vytvoří zapuštění, v němž zároveň vznikne i ostřina. (Solfronk P., 2014) Na detailu (obr. 8.8b) je vidět zapuštění v plechu vytvořené tvarově upraveným ostříhovačem včetně vzniklé ostřiny.

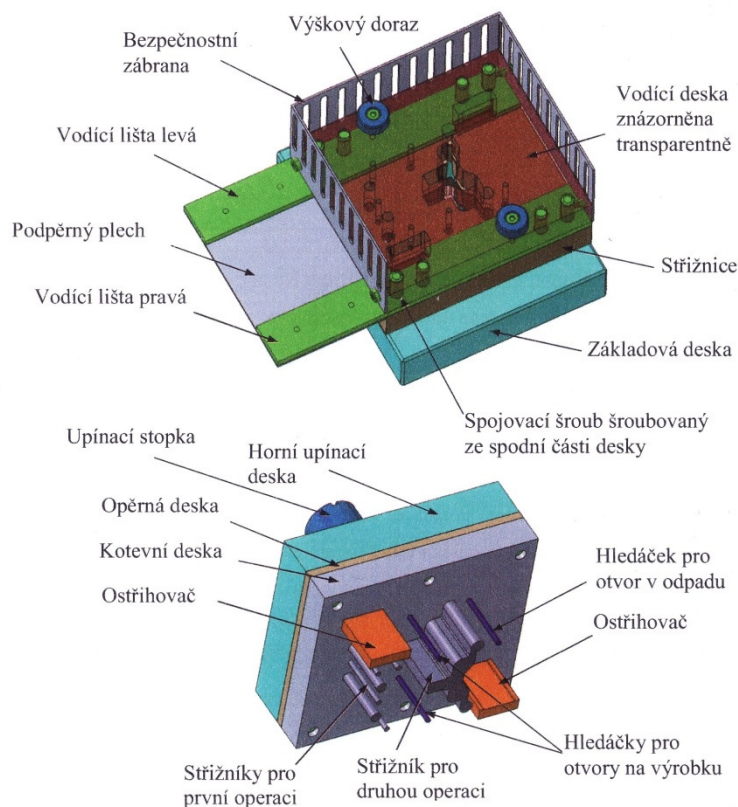


Obr. 8.8 Použití kalené vložky a tvarová úprava ostříhovače při stříhání (Solfronk P.,2014)

a) ostříhovač bez tvarové úpravy, b) ostříhovač s upraveným tvarem

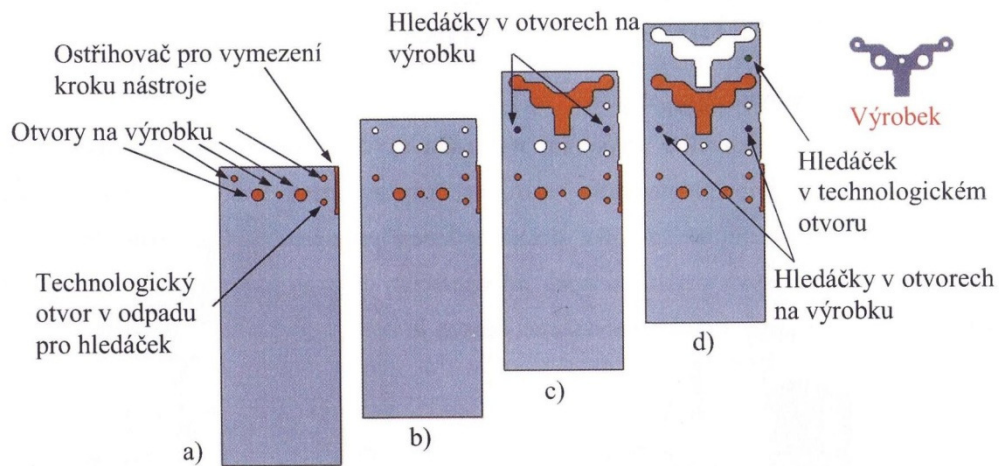
C. Postupový nástroj s ostříhovačem a hledáčky

Postupový střížný nástroj vybavený hledáčky se používá v případě, kdy je požadována zvýšená přesnost roztečí stříhaných ploch. Pomocí hledáček umístěných v nástroji se zajišťuje poloha plechu vzhledem ke střížníku. Horní a dolní část postupového střížného nástroje s ostříhovačem a hledáčky je zobrazena na (obr. 8.10).



Obr. 8.9 Postupový nástroj s vodící deskou, ostříhovačem a hledáčky (Solfronk P., 2014)

Nástroj je vybaven výškovými dorazy, které jsou umístěny na horní ploše vodící desky, což je patrné z (obr. 8.9). Dorazy se používají z toho důvodu, aby při manipulaci s nástrojem zabránily zasouvání střížníků do střížnice. Na střížném nástroji je navíc připevněna bezpečnostní zábrana, která je taktéž vidět na (obr. 8.9) a jejím použitím se zamezí přístup obsluhy do nebezpečného prostoru nástroje. Tímto postupovým střížným nástrojem se zhotovuje výstřížek ve třech střížných operacích. (Solfronk P., 2014) Postup jednotlivých střížných operací znázorňuje (obr. 8.10).



Obr. 8.10 Postup jednotlivých střížných operací (Solfronk P., 2014)

Po vložení plechu do nástroje, je poloha plechu určena osazením (dorazem) na pravé vodící liště. Provedením první střížné operace tedy při prvním zdvihu se na pásu plechu vytvoří 6 otvorů, z toho 5 otvorů funkčních a jeden technologický. Současně se při této operaci zmenší šířka plechu pomocí ostříhovače o hodnotu kroku (délka ostříhovače) v nástroji a následně se plech o zmenšené šířce posune do nástroje o vzdálenost odpovídající velikosti kroku. Při druhé střížné operaci (druhý zdvih) se opakuje stejný postup. V další fázi se plech posune opět dopředu a provede se třetí střížná operace (třetí zdvih), při které dochází jak k děrování, tak i k prvnímu vystřížení obvodového tvaru výstřížku. Po provedení třetího zdvihu se při každém dalším zdvihu zhotoví výstřížek. Do nástroje jsou upevněny tři hledáčky a při této třetí operaci vykonávají funkci dva z nich. Třetí hledáček, který je umístěný mimo obrys výstřížku, se do činnosti zapojuje až při čtvrtém zdvihu a celý postup stříhání se opakuje.

(Solfronk P., 2014)

8.2.2.2 Nástroje s vodícími sloupky

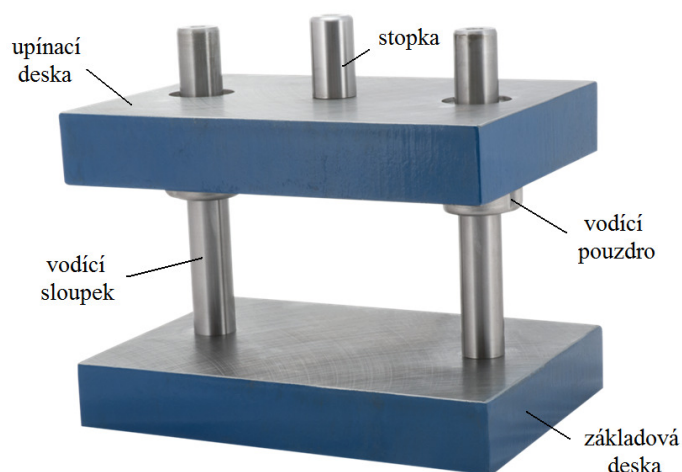
Střížné nástroje, u kterých je vedení střížníku a střížnice zajištěno vodícími sloupky (obr. 8.11), mají horní část přišroubovanou k upínací desce a dolní část je připevněna k základové desce pomocí speciálních upínek. (Řasa J. a kol., 2003)



Obr. 8.11 Střížný nástroj s vodícími sloupky

Zdroj: http://www.seeger-stanzwerkzeuge.de/massivbau_s2gr_03.html

Vedení většinou tvoří dva nebo čtyři vodící sloupky, které jsou upevněny v základové desce. Po vodících sloupcích se pohybuje upínací deska, která je opatřena vodícími pouzdry pro kluzné nebo valivé vedení. Sestava základové desky se sloupky a upínací desky s pouzdry tvoří tzv. vodící stojánek (obr. 8.12). (Řasa J. a kol., 2003)



Obr. 8.12 Univerzální vodící stojánek

Zdroj: <http://www.wdsltd.co.uk/images/7633/11/die-set-steel-standard-centre-pillar-rectangular-plate-wds-9009>

9 ZÁVĚR

V současnosti si již neumíme představit sériovou a hromadnou výrobu součástí bez použití technologie tváření kovů. Tváření za studena resp. lisování se rozšířilo díky svým přednostem prokázaným praxí v moderní průmyslové výrobě. Pro každou tvářecí operaci, ať už plošného nebo objemového tváření za studena, je potřeba vypočítat velikost tvářecí síly, která je nezbytná pro správný návrh konstrukce nástroje, a také pro vhodnou volbu tvářecího stroje. Tvářením za studena se vyrábějí součásti přesnějších tvarů i rozměrů s velmi dobrou kvalitou povrchu. Naopak nevýhodou je nutnost použít větší tvářecí síly, kvůli čemuž dochází k rychlejšímu opotřebení nástrojů.

Na přesnost a kvalitu tvářeného dílu má kromě konstrukce nástroje zásadní vliv i jakost použitého materiálu. Materiál použitý pro výrobu součástí tvářením bývá zpravidla kompromisem konstrukčních, technologických, ale také ekonomických hledisek. Velmi důležité je zvolit takový materiál, který zaručí správnou funkci součásti a zároveň umožní její optimální výrobní proces. Vhodné však je, aby zvolený materiál byl i v dostupné cenové relaci. Tvářením za studena se z velké části zpracovávají uhlíkové oceli, lehké a barevné kovy většinou ve formě slitin, ale také kovy s povlakem kovovým nebo nekovovým. Jako polotovary se používají převážně tabule, pásy nebo přístřihy plechů.

Pro výrobu lisovacích nástrojů je z technického a ekonomického hlediska velmi důležité zvolit vhodný druh materiálu, jelikož má zásadní vliv na výkon, životnost a pořizovací cenu nástroje a tím i na hospodárnost lisování. Výkon a životnost nástroje ovlivňuje také použitý způsob tepelného zpracování a v neposlední řadě jeho povrchová úprava. Lisovací nástroje se obvykle vyrábějí z běžně dostupných materiálů, avšak jejich použití je vcelku omezené, proto jsou nahrazovány speciálními materiály, které jsou sice dražší, ale díky svým vlastnostem zvládnou i ty nejnáročnější operace.

Konstrukce střížných nástrojů tzv. stříhadel je velmi rozmanitá a odvíjí se od složitosti tvaru a množství vyráběných součástí, přičemž nástroje jednoduché jsou vhodné pro malosériovou výrobu a složité nástroje (např. postupové) nacházejí uplatnění v hromadné výrobě. Jednoduchými stříhadly lze na jeden zdvih v jedné operaci zhotovit pouze jednoduché výstřižky. Naopak postupová stříhadla jsou efektivní z toho důvodu, že provádějí několik operací na více zdvihů a vyrábí se pomocí nich i výstřižky složitých tvarů. Vyšší přesnosti nástrojů lze dosáhnout použitím vodících prvků, které eliminují vůli stroje, zvyšují přesnost stříhání i životnost nástroje.

10 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

Literární zdroje

BEDNÁŘ B., ŠANOVEC J., ČERMÁK J. a MICHÁLEK L., 2005: *Technologičnost konstrukce I*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 146 s. ISBN 80-01-03268-X.

ČADA R., 2005: *Technologie I: část tváření a slévání: (návody do cvičení)*. 2. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 180 s. ISBN 80-248-0795-5.

DOUBRAVSKÝ M., MACÁŠEK I., MACHÁČEK Z. a ŽÁK J., 1985: *Technologie slévání, tváření a svařování*. 2. opr. vyd. Brno: Vysoké učení technické, 246 s. Učební texty vysokých škol.

DVOŘÁK M. a kol., 2000: *Technologie II*. Brno: PC-DIR Real, 238 s. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-85895-24-2.

DVOŘÁK M., GAJDOŠ F. a NOVOTNÝ K., 2013: *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. 5. vyd., V Akademickém nakladatelství CERM 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 169 s. Učební texty vysokých škol. ISBN 978-80-214-4747-9.

FOREJT M., PÍŠKA M., 2006: *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

KOTOUČ J., ŠANOVEC J., ČERMÁK J. a MÁDLE L., 1993: *Tvářecí nástroje*. Praha: České vysoké učení technické, 349 s. ISBN 80-01-01003-1.

NOVOTNÝ K., 1992: *Tvářecí nástroje*. Brno: Vysoké učení technické, 186 s. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-0401-9.

ŘASA J., KAFKA J. a HANĚK V., 2003: *Strojírenská technologie 4: návrhy nástrojů, přípravků a měřidel: zásady montáže*. Praha: Scientia, pedagogické nakladatelství, 503 s. ISBN 80-7183-284-7.

SOLFRONK P., 2014: *Nástroje pro plošné tváření*. Liberec: Technická univerzita, 106 s. ISBN 978-80-7494-155-9.

Elektronické zdroje

ČADA R., 2013: *Technologie tváření a slévání – teoretický základ: plošné stříhání* [online]. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava. ISBN 978-80-248-3015-5. [cit. 2016-04-15]. Dostupné z:

http://projekty.fs.vsb.cz/463/edubase/VY_01_004/Technologie%20tv%C3%A1%C5%99en%C3%AD%20a%20sl%C3%A9v%C3%A1n%C3%AD%20-%20Teoretick%C3%BD%20z%C3%A1klad/02%20Text%20pro%20e-learning/publikovat/kapitoly/4.%20PLO%C5%A0N%C3%89%20ST%C5%98%C3%8DH%C3%81N%C3%8D.pdf

DVOŘÁK M., MAREČKOVÁ M., 2006: *Technologie tváření* [online]. Vysoké učení technické v Brně. Poslední změna 29. 4. 2013 [cit. 2016-03-17]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/technologie_tvareni/kapitola_3.htm

HLAVATÝ I., HRUBÝ J., 2013: *Technologičnost konstrukcí* [online]. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava. ISBN 978-80-248-2772-8 [cit. 2016-03-25]. Dostupné z: http://projekty.fs.vsb.cz/459/ucebniopory/Technologicnost_konstrukci.pdf

LENFELD P., 2005: *Technologie II* [online]. Technická univerzita v Liberci. Poslední změna 26. 11. 2008 [cit. 2016-03-05]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/obsah_kovy.htm

SUCHÁNEK J., 2012: Možnosti zvýšení životnosti nástrojů pro plošné tváření. *TriboTechnika* [online]. Žilina: TechPark, 5(3), 58-62 [cit. 2016-04-15]. ISSN 1338-0524. Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-32012/moznosti-zvyseni-zivotnosti-nastroju-pro-plosne-tvareni.html>

ŠPINLEROVÁ M., 2007: *Technologie: obor Nástrojář* [online]. Opava: Střední škola technická Opava. [cit. 2016-04-16]. Dostupné z: <http://sst.opava.cz/technologie/technologie.pdf>

TATÍČEK F., PILVOUSEK T., 2010: Akademie tváření: Stříhání. *MM Průmyslové spektrum* [online]. Praha: MM publishing, 10(6), 72 [cit. 2016-04-15]. ISSN 1212-2572. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-strihani.html>

11 SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbol / Zkratka	Jednotka	Popis
a	[mm]	proměnné rameno ohýbací síly
a ₁	[mm]	délka strany polotovaru
A	[J]	práce
A ₁	[°C]	austenitizační teplota
A ₃	[°C]	austenitizační teplota
A ₈₀	[%]	tažnost
b	[mm]	šířka tvářeného materiálu
b ₁	[mm]	délka strany polotovaru
c	[-]	koeficient závislý na druhu stříhání
d	[mm]	průměr výtažku
d _s	[mm]	střední průměr výtažku
D	[mm]	průměr výstřížku
f	[-]	součinitel tření
h	[mm]	hloubka vniknutí nože do materiálu
H	[mm]	výška výtažku
H'	[mm]	šířka mezikruží
F _o	[N]	ohýbací síla
F _{o,c}	[N]	celková ohýbací síla
F _{s,max}	[N]	maximální skutečná střižná síla
F _p	[N]	síla přidržovače
F _{pr}	[N]	protlačovací síla
F _{pr,v}	[N]	síla k protlačení výstřížku ze střižnice
F _{st}	[N]	teoretická střižná síla
F _{st,max}	[N]	maximální teoretická střižná síla
F _t	[N]	tažná síla
F _{t,c}	[N]	celková tažná síla
F _T	[N]	síla potřebná k překonání tření
h	[mm]	hloubka vniknutí nože do materiálu
k	[-]	součinitel zahrnující vlivy zvyšujících střižnou sílu
k ₁	[-]	poměrná hloubka vniknutí nože do materiálu
K _t	[-]	součinitel tažné síly
l	[mm]	délka střižné čáry
l _p	[mm]	vzdálenost podpor ohybnice

m_s	[-]	koeficient závislý na tloušťce a druhu materiálu
M_o	[N · mm]	ohybový moment
p	[MPa]	tlak přidržovače
r	[mm]	vnitřní poloměr ohybu
r_s	[mm]	střední poloměr zaoblených rohů
R	[mm]	poloměr ohybu neutrální osy
R_1	[mm]	poloměr ohýbací hrany ohybnice
R_2	[mm]	poloměr ohýbací hrany ohybníku
R_e	[MPa]	mez kluzu v tahu
R_h	[mm]	poloměr zaoblení tažné hrany
R_m	[MPa]	mez pevnosti v tahu
R_{ms}	[MPa]	mez pevnosti ve stříhu
R_{mo}	[MPa]	mez pevnosti v ohybu
R_p	[%]	redukce průřezu výchozího polotovaru
S	[mm ²]	střižná plocha
S_0	[mm ²]	obsah plochy průřezu výchozího polotovaru
S_1	[mm ²]	obsah plochy redukovaného průřezu protlačku
S_m	[mm ²]	plocha materiálu namáhaného na tah
S_p	[mm ²]	obsah činné plochy průtlačníku
$S_{př}$	[mm ²]	účinná plocha přidržovače
t	[mm]	tloušťka tvářeného materiálu
T	[K]	teplota tvářeného materiálu
T_{REK}	[K]	teplota rekrytalizačního žhání
T_{TAV}	[K]	teplota tavení
W_o	[mm ³]	modul průřezu v ohybu
x	[-]	součinitel posunutí neutrální osy
z	[mm]	střižná vůle
Z	[%]	kontrakce
ϵ	[-]	poměrné prodloužení
λ	[°]	úhel sklonu nožů
π	[-]	Ludolfovo číslo
σ	[MPa]	tangenciální tlakové napětí
σ_p	[MPa]	přetvárný odpor
PM	[-]	prášková metalurgie
VC	[-]	karbid vanadu
WC	[-]	karbid wolframu

12 SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Seznam obrázků

Obr. 3.1 Zjemnění mikrostruktury kovu.....	11
Obr. 3.2 Vliv teploty na přetvárný odpor materiálu	12
Obr. 5.1 Kvalita střížné plochy při klasickém a přesném stříhání.....	17
Obr. 5.2 Stříhání (Řasa J. a kol., 2003).....	18
Obr. 5.3 Operace stříhání (Řasa J. a kol., 2003).....	19
Obr. 5.4 Pásma na střížné ploše.....	19
Obr. 5.5 Průběh střížné síly při stříhání rovnoběžnými noži (Čada R., 2005)	21
Obr. 5.6 Průběh střížné síly při stříhání šikmými noži (Čada R., 2005).....	23
Obr. 5.7 Porovnání průběhu střížné síly a velikosti práce při stříhání,.....	24
Obr. 5.8 Vliv zvolené střížné vůle na kvalitu střížné plochy (Řasa J. a kol, 2003).....	25
Obr. 5.9 Princip ohýbání s průběhem napětí v materiálu (www.mmspektrum.com).....	26
Obr. 5.10 Operace ohýbání (Řasa J. a kol., 2003)	26
Obr. 5.11 Průběh napětí a umístění neutrální osy.....	28
Obr. 5.12 Ohýbání do tvaru V a průběh ohýbací síly	29
Obr. 5.13 Ohýbání do tvaru U a průběh ohýbací síly	30
Obr. 5.14 Působení ohýbací síly za použití přidržovače (Řasa J. a kol., 2003).....	31
Obr. 5.15 Operace tažení (Řasa J. a kol., 2003)	32
Obr. 5.16 Rozměry výtažku a přemístění objemu materiálu (Řasa J. a kol., 2003)	33
Obr. 5.17 Způsoby tažení (Řasa J. a kol., 2003).....	33
Obr. 5.18 Průběh tažné síly v jednotlivých fázích tažení	34
Obr. 5.19 Síly působící na materiál při tažení	36
Obr. 5.20 Princip operace protlačování	37
Obr. 5.21 Operace protlačování (Řasa J. a kol., 2003).....	38
Obr. 5.22 Diagram závislosti přetvárného odporu na redukci (Řasa J. a kol., 2003).....	39
Obr. 8.1 Jednoduchý a postupový střížný nástroj (Hluchý M. a Beneš J., 1981).....	50
Obr. 8.2 Jednoduchý střížný nástroj bez vedení (Solfronk P., 2014)	51
Obr. 8.3 Jednoduchý střížný nástroj se stíračem umístěným na rámu stroje (Solfronk P., 2014).....	51
Obr. 8.4 Střížný nástroj s vodící deskou (Solfronk P., 2014).....	53
Obr. 8.5 Postupové stříhadlo s načínacím a pevným dorazem (Řasa J. a kol., 2003)	54
Obr. 8.6 Střížný nástroj s vodící deskou a dopředným dorazem (Solfronk P., 2014)	54

Obr. 8.7 Postupový střížný nástroj s ostříhovacím střížníkem (Solfronk P., 2014)	55
Obr. 8.8 Použití kalené vložky a tvarová úprava ostříhovače při stříhání (Solfronk P., 2014)	56
Obr. 8.9 Postupový nástroj s vodící deskou, ostříhovačem a hledáčky (Solfronk P., 2014)	56
Obr. 8.10 Postup jednotlivých střížných operací (Solfronk P., 2014)	57
Obr. 8.11 Střížný nástroj s vodícími sloupky	58
Obr. 8.12 Univerzální vodící stojánek	58

Seznam tabulek

Tab. 5.1 Empirické vztahy pro určení pevnosti ve stříhu (Čada R., 2005).....	21
Tab. 5.2 Hodnoty součinitele K_t v závislosti na poměru $d : D$ (Řasa J. a kol., 2003).....	35
Tab. 6.1 Směrné chemické složení ocelových plechů k tažení (Čada R., 2005)	40
Tab. 6.2 Požadované hodnoty mechanických vlastností plechů k tažení (Čada R., 2005)	41
Tab. 6.3 Základní druhy ocelí k objemovému tváření za studena (Čada R., 2005).....	43
Tab. 8.1 Závislost přesnosti výstřížku na přesnosti nástroje (www.mmspektrum.cz) ...	48

13 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Použití konstrukčních ocelí, litin a ocelí na odlitky

Příloha 2: Použití nástrojových ocelí

Příloha 3: Tepelné zpracování nástrojových ocelí

Příloha 4: Použití návarových a ostatních materiálů