



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VYPÍNÁNÍ DÍLCŮ Z PLECHU

SHEET METAL STRETCH FORMING PROCESS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Tomáš Lorenc

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Eva Peterková, Ph.D.

BRNO 2020

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Tomáš Lorenc**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Eva Peterková, Ph.D.**
Akademický rok: 2019/20

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

Vypínání dílců z plechu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o vytvoření obecného přehledu metod vypínání dílců z plechu. Princip vypínání spočívá v ohýbání plechu za spoluúčasti tahové síly. Tímto způsobem se minimalizuje odpružení po ohybu a získávají se tak vysoce přesné a kvalitní dílce. Velké zastoupení má tato technologie v oblasti leteckého a automobilního průmyslu.

Cíle bakalářské práce:

Provedení průzkumu v oblasti tváření a vytvoření obecného přehledu metod vypínání dílců z plechu. Uvést základní princip této technologie, popis užívaných metod, příklady použití, výčet výhod a nevýhod, přehled nástrojů a strojů.

Práce bude doplněna názornou obrázkovou dokumentací a závěry.

Seznam doporučené literatury:

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

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

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

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

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

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

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

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

LORENC Tomáš: Vypínání dílců z plechů.

V této práci, zpracované v rámci bakalářského studia, je všeobecný přehled metody vypínání plechů. Procesy vypínání posouvají hranice tvářitelnosti materiálů spojením tažení a ohýbání do jedné operace. Právě proto je možné vytvářet dílce i z materiálů, které by jinými postupy výroby nebylo možné vyrobit ve stejné kvalitě. Pozitivky jsou minimalizace odpružení, výroba složitých, přesných povrchových tvarů atd. Přínos této práce je v systematickém shrnutí principů metody vypínání a dalším možným využití tohoto textu jako studijní materiál k výuce, případně jako podklad pro širší rozvinutí této metody.

Klíčová slova: vypínání, tváření, materiál, lis, odpružení

ABSTRACT

LORENC Tomáš: Sheet metal stretch forming proces.

In this work, elaborated in the bachelor study, there is a general overview of the sheet metal stretch forming methods. The stretch forming processes shift the boundary properties of the materials and merge process of drawing and bending into one operation. That's why it's possible to do products from materials, which can not be possible to form by other methods in the same quality. Positives of this technology are the minimization of cushioning, the production of complex, precise surface shapes, etc. The contribution of this work is a systematic summary of the principles that should be used as a tool for teaching or as a basis for the wider development of this method.

Keywords: sheet stretch forming, forming, material, press, suspension

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

LORENC, Tomáš. *Vypínání dílců z plechu* [online]. Brno, 2020 [cit. 2020-06-23]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/121610>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Eva Peterková.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 23.6.2020

.....
Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji paní Ing. Evě Peterkové, Ph.D za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce. Dále bych chtěl vyjádřit vděčnost za stálou podporu celé své rodině a přátelům.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

	Str.
ÚVOD	9
1 TECHNOLOGIE VYPÍNÁNÍ	10
1.1 Metody vypínání dílců z plechu	10
1.1.1 Prosté přetahování a přetahování s předpětím	10
1.1.2 Metoda nabalování	11
1.1.3 Metoda vypínání na průvlakové stolici.....	11
1.2 Vyráběné dílce	12
1.3 Rozbor namáhání plechu	13
1.4 Zpevnění a tepelné zpracování	14
1.5 Materiály	14
1.5.1 Oceli	15
1.5.2 Duraly	15
2 NÁSTROJE	16
2.1 Základní dělení nástrojů	16
2.2 Mazání	17
3 STROJE	18
3.1 Upnutí polotovaru a čelisti	21
4 VADY, ZHODNOCENÍ, POUŽITÍ	22
4.1 Vady	22
4.2 Zhodnocení	23
4.3 Použití	23
5 ZÁVĚRY	24

Seznam použitých zdrojů

Seznam obrázků

Seznam tabulek

ÚVOD [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12]

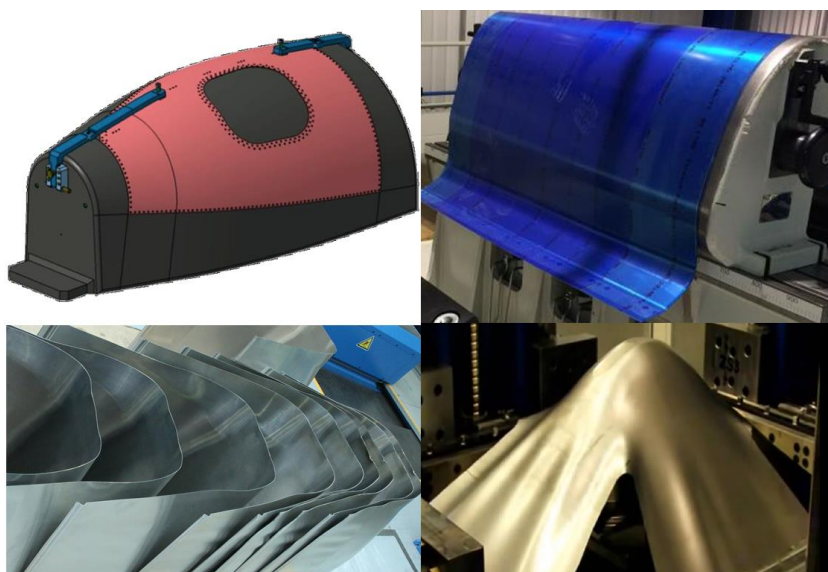
Pokrok ve strojírenství, snižování výrobních časů a zvyšování flexibility ve výrobě si v posledních letech vyžádaly nutnost zdokonalení výrobního procesu nedestruktivního tváření, mimo jiné i v oblasti technologie ohýbání. Díky tomu vznikla metoda vypínání kombinující ohybové a tahové napětí. Právě sloučením obou těchto napětí do jedné operace je dosaženo posunutí tvářitelnosti nad hodnoty, kterých materiál normálně dosahuje. Tato výrobní technologie je vhodná zejména pro výrobu kvalitních, tvarově složitých, většinou tenkostěnných dílců s malým výsledným odpružením a zároveň splňujících nejvyšší požadavky na přesnost. Jejich zástupci jsou na obr. 2. Vypínání lze použít jak v sériové, tak i v kusové výrobě.

Metodou vypínání lze pracovat též s materiály, které by jiným způsobem bylo velmi obtížné nebo nereálné tvářet. Nejpoužívanějšími materiály jsou duraly a oceli s dostatečnou tažností. Široké využití nachází technologie vypínání v automobilovém a leteckém průmyslu.

Tato práce je zaměřena na všeobecnou problematiku technologie vypínání plechů. Zahrnuje seznámení se s principem procesu, popis druhů používaných nástrojů a strojů, příklady použití metody v praxi a výčet výhod a nevýhod oproti ostatním používaným způsobům tvorby podobných dílců.



Obr. 1 Vypínací stroj [3]



Obr. 2 Dílce vyráběné vypínáním [10], [11], [12]

1 TECHNOLOGIE VYPÍNÁNÍ [1] [4] [5] [7] [13] [14] [15] [16] [17] [18] [19] [20]

Vypínání je výrobní proces, při němž je polotovar, který má být tvarován, na krajích pevně uchycen do čelistí a přetažen přes lisovnick. Tvar lisovnicku je negativem tvaru lisované součásti. Jedná se tedy o 3D ohyb, čímž se tento proces řadí mezi metody speciálního tváření. K vlastní deformaci a ztenčování plechu dojde díky kombinovanému zatížení ohybového a tahového napětí. Tím je docílena trvalá plastická deformace v celém průřezu tvářeného polotovaru, což zamezí velkému odpružení po provedení operace. Optimální, rovnoměrná deformace při vypínání je podmíněna dobrým mazáním, vnitřním uspořádáním vláken v materiálu, volbou rychlosti tváření a tvarem nástroje. Tato metoda tváření má velmi nízkou zmetkovitost, avšak odpad vzniklý ostřížením konců upnutých v čelistech a další nutné úběry materiálu dělají tuto metodu více nevhodnou, nežli jsou některé z konvenčních metod tváření. Dále se při vypínání musí počítat s tepelným zpracováním po daných operacích, poněvadž je materiál přetvářením deformačně zpevněn a není možné jej dále tvářet. Z toho důvodu se zařazují tepelná zpracování pro zvýšení tvárnosti.

1.1 Metody vypínání dílců z plechu [1], [4], [8], [13], [14]

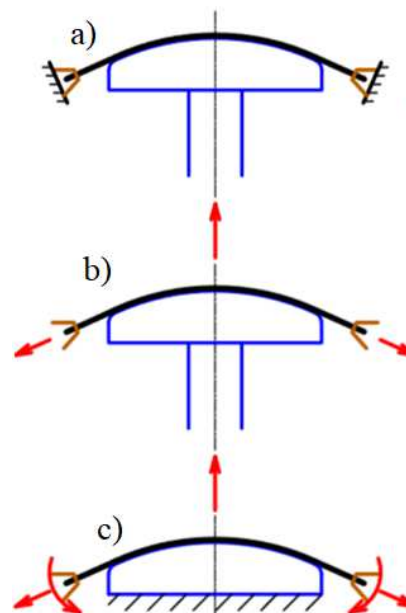
Mezi metody vypínání lze řadit:

- prosté přetahování,
- přetahování s předpětím,
- nabalování,
- tváření na průvlnkové stoličce.

1.1.1 Prosté přetahování a přetahování s předpětím [1] [4]

Princip znázorněný na obr. 3a) je typickým příkladem pro tzv. prosté přetahování. Další dva způsoby schematicky znázorněné na obr. 3b) a 3c) představují metodu přetahování s předpětím.

- Na obr. 3a) je znázorněn princip, kdy se polotovar nejprve ohne přes lisovnick a poté je zdvihem nástroje plech vypínán. Celý proces je zapříčiněn reakčními silami, které vznikají upnutím polotovaru v čelistech. Tyto síly jsou také nazývány pasivní.
- Obr. 3b) znázorňuje proces, při kterém se polotovar nejdříve upne do čelistí a poté je vyvozeno pohybem čelistí tahové napětí, které vypne díky vyvozeným silám polotovar. Lze dosáhnout prodloužení polotovaru, které je určitelné. Následně zdvihem lisovnicku je zahájen samotný proces ohýbání polotovaru přes lisovnick. Síla vypínací a síla zdvihu jsou při tomto principu aktivními silami.
- Poslední princip je na obr. 3c), kdy se polotovar nejdříve upne a poté je působením tahového napětí pohybem čelistí tvarován aktivní silou. Následným pohybem čelistí za stálého působení tahové síly je polotovar nabalován na lisovnick, který může být v tomto případě nepohyblivý.



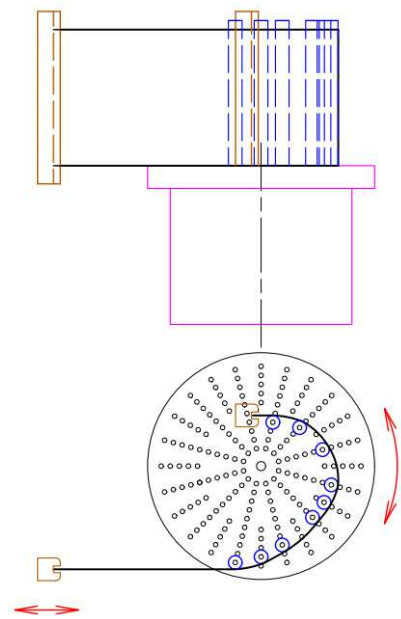
Obr. 3 Procesy vypínání [1]

1.1.2 Metoda nabalování

Principem této metody je upnutí plechu do čelistí a postupné nabalování plechu na jednodílný nebo vícedílný nástroj. Princip nabalování je znázorněn na obr. 4. Nástroj je s jednou čelistí připevněn na otočném stole a druhá čelist je uchycena na hydraulickém nebo mechanickém posuvném zařízení. Tento plech je společným pohybem stolu a posuvem čelisti nabalován na nástroj. Při správném nabalování pracovník kombinuje posuv stolu a pohyblivé čelisti pro co nejlepší vytvarování plechu na požadovaný výrobek.

Tato metoda je nejvhodnější pro výrobu jakýchkoli 2D a 3D tvarů. Rozměry vyráběných dílců závisí na výkonu stroje a velikosti nástroje.

Používána je také pro vypínání jiných polotovarů, jako jsou například profily, tyče, trubky atd., u kterých nevadí větší zdeformování průřezu. Pokud by deformace překročila únosnou mez, bylo by nutno použít výplně.



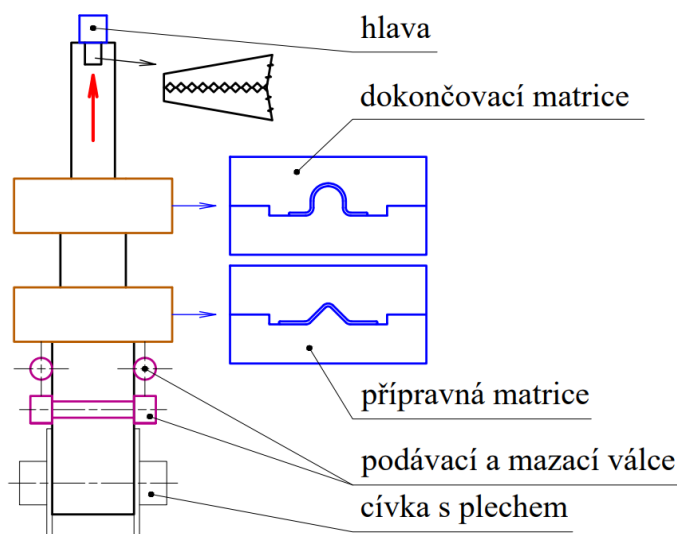
Obr. 4 Nabalovačka

1.1.3 Metoda vypínání na průvlnkové stolici

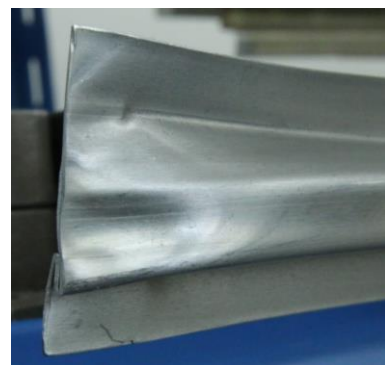
Při vypínání na průvlnkové stolici je plech uchycen v hlavě, která je v kolejničích, a táhne ji hydraulický válec nebo pohybový šroub. Postupně je plech protažen podávacími válci, mazacími válci, přípravnou a dokončovací matricí. Výsledný tvar profilu je postupně tvarován pomocí matic a svým konečným tvarem odpovídá tvaru dokončovací matrice. Princip této metody je znázorněn na obr. 5.

Velkou výhodou této metody je možnost výroby jakékoli matrice, tedy téměř jakéhokoli tvaru výsledného dílce. Je však nutno brát zřetel na postupné přetváření materiálu a matrice vhodně technologicky i mechanicky zabezpečit.

Nevýhodou této metody je nutnost vyrovnání profilu po samotné operaci a ostřížení konců, které byly při operaci zdeformovány vlivem upnutí v tažné hlavě a ustřížením hydraulickými nůžkami, viz obr. 6. Ustřížení nůžkami je voleno s ohledem na tvorbu pilin, které by se mohly zanést do stroje a mechanicky poškodit vyráběné dílce.



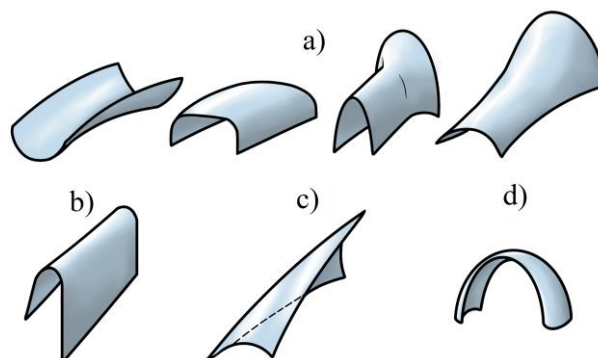
Obr. 5 Princip průvlnkové stolice



Obr.6 Zdeformovaný konec

1.2 Vyrábění dílce [1] [6] [19] [21] [22]

Technologií vypínání se vyrábějí většinou tenkostěnné dílce složitějších tvarů a větších rozměrů. Proces však lze využít i pro výrobu menších, užších, například polo-prstencových výrobků. Základní druhy vyráběných dílců lze spatřit na obr. 7. Dílce s 3D křivostí obr. 7a) jsou nejsložitějšími a ve výrobní praxi jedněmi z nejčastějších. Obr. 7b) zobrazuje dílec s 2D křivostí, kde površka je tvořena v příčném nebo podélném směru přímkami. Produkty, jež mají povětšinou nejdelší rozměr mírně stočen, jsou takzvané do šroubovice. Zástupce těchto dílců je na obr. 7c. Poslední ze základních druhů jsou polo-prstencové dílce, jejichž názorný příklad je na obr. 7d).



Obr. 7 Vypínané dílce [1]

U výrobků, které mají negativní tvary, je možné dle normy použít pro dotvarování určitý druh paličky nebo plácačky, který je pro daný tvářený materiál vhodný. Paličky se dále dělí jak podle materiálu, tak i podle hmotnosti nebo velikosti do mnoha dalších skupin.

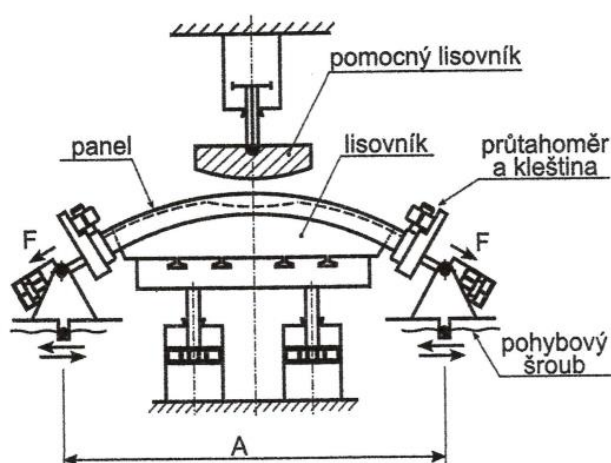
Lze využít i jiné metody pro dokončení, které jsou závislé na výsledném tvaru výrobku a druhu tvářeného materiálu. Na obr. 8 je zobrazeno dokončení negativního tvaru výsledného výrobku pomocí dotykové půlkulové hlavy. Tato hlava je upnuta v CNC stroji a dle předem nadefinovaného programu postupně vytváří požadovaný negativní tvar. Tato metoda je také známa pod názvem "Jednobodové tváření".



Obr. 8 Dokončení dotykovou hlavou [21]

V praxi se také pro dokončení celkového tvaru výlisku s negativními prolisy využívá pneumatických vibračních pistolí s nástavci ze silonu nebo jiných vhodných materiálů. Pomocí nich se ručně dotvaruje plech podle lisovníku na požadovaný finální dílec přímo na jednom pracovišti.

Další způsob výroby negativních tvarů je lisování protilehlým lisovníkem, viz obr. 9. Proces probíhá na jednom univerzálním stroji pomocí dvou lisovníků. Jeden lisovník slouží jako vypínací i pro vytvoření negativního tvaru. Druhý je pouze pro dotvarování negativního tvaru a může být použit před i po vypnutí, kdy samotný proces probíhá jako klasické lisování.



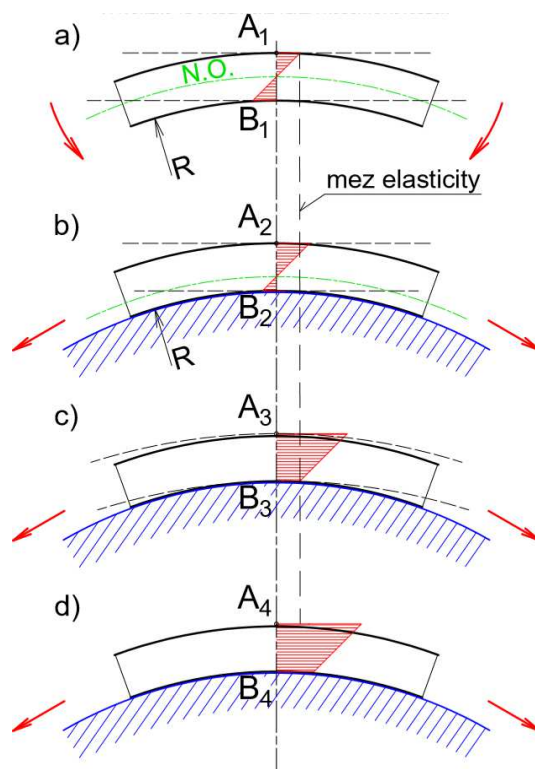
Obr. 9 Dokončení lisováním [1]

1.3 Rozbor namáhání plechu [7] [13] [14] [17]

V případě vypínání se z hlediska namáhání povětšinou jedná o trojosou napjatost. Je to způsobeno možnou kombinací působení normálového a tečného napětí v tvářeném polotovaru. Avšak pro vysvětlení této problematiky se analýza napětíovo-deformačního stavu situuje do roviny ohybu, kde se využívá několik zjednodušujících předpokladů jako jsou:

- jednoosá napjatost,
- síla a moment působí ve středu tloušťky plechu,
- model tuhoplastického materiálu pro určení vypínací síly,
- model materiálu pružně-plastický pro analýzu odpružení.

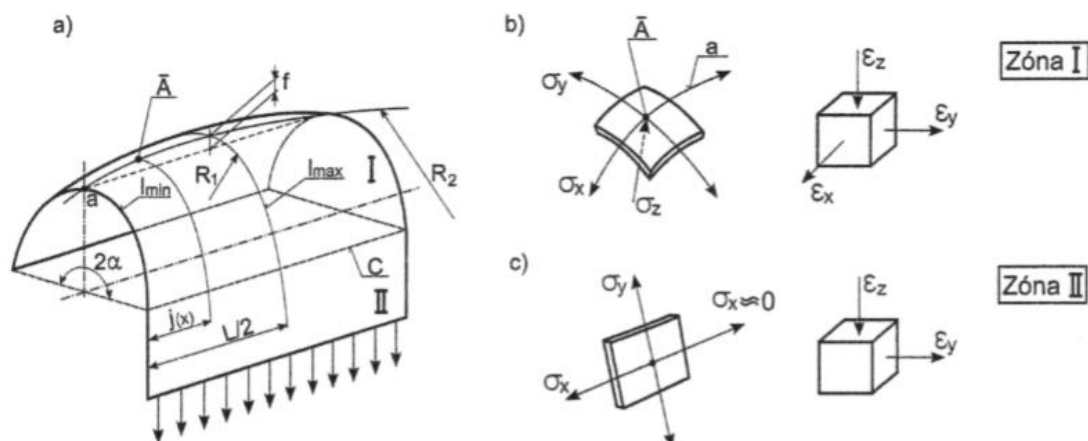
Jak je zřejmé z obr. 10, sloučením dvou napětí se v konečném důsledku dosáhne požadovaného průběhu. Dle postupu výroby se vyvodí napětí prostého ohybu, které způsobí nástroj obr. 10a). Následně je přidáno tahové napětí vyvozené natáhnutím plechu v čelistech obr. 10b). Postupným navyšováním tahového napětí se průběh napětí změní až na působení tahového napětí v celém průřezu obr. 10c). Po překročení meze kluzu materiálu dochází postupně k výslednému tváření. Tento konečný požadovaný průběh je znázorněn na obr. 10d), kde je plech vytvarován podle nástroje na požadovaný tvar a hodnoty maximálních tahových napětí v krajních vláknech plechu jsou větší než napětí na mezi kluzu daného materiálu.



Obr. 10 Průběh vnitřního napětí [1]

Schéma vypínání s druhy napjatosti ve znázorněných zónách přes nástroj s 3D křivostí zobrazuje obr. 11. Na tvářeném dílci zobrazeném na daném obrázku lze pozorovat:

- I. zónu - vyskytuje se zde trojosá napjatost, jedná se o oblast, kde je plech vypínán, respektive tvarován dle tvaru lisovníku.
- II. zónu - v této oblasti je oblast 2D napjatosti, která je vyvozena upnutím na přechodu mezi lisovníkem a čelistmi.

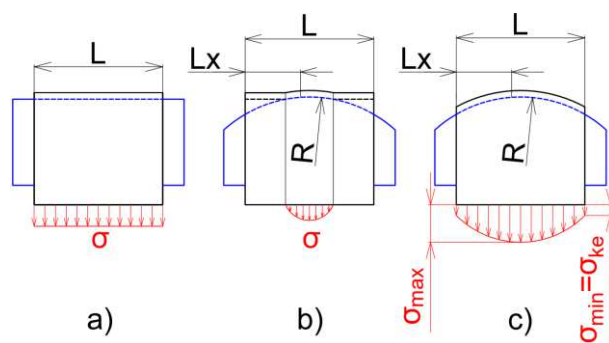


Obr. 11 Rozložení napětí přes nástroj [1]

Na obr. 12 lze spatřit, že rozložení napětí přes různé nástroje nabývá různých hodnot. Průběh na obr. 12a) je pro jednoduchý lisovník, jehož povrchu tvoří přímka. Dílce jsou ohýbané v jedné rovině a rozložení napětí je podél dílce rovnoměrné.

U tvarově složitějších lisovníků, kde je dílec tvarován ve více rovinách, vzniká nerovnoměrné rozložení napětí. Ve vrcholech dílce vznikají špičky napětí, které jsou maximální hodnotou obr. 12b) a 12c). Tyto obrázky spolu souvisejí a ukazují postup přiléhání plechu na tvarový lisovník. Proto je nutno při upínání v čelistech vyvodit tlak, který udrží právě nejvyšší napětí, aby nedocházelo k prokluzům. Jinou možností je mít čelisti, které budou tomuto průběhu technologicky přizpůsobeny.

Z obr. 12b) a 12c) je také patrné, že dílec musí být lisován tak, aby na konci procesu plech plně dolehl na plochu lisovníku. Zároveň se musí v krajních vláknech docílit takového prodloužení, které vyvolá napětí minimálně rovné, tzv. extrapolované mezi kluzu. Extrapolovaná mez kluzu je početně stanovená hodnota a je větší než udávaná mez kluzu materiálu. Jedině tak nedojde k odpružení a dílec je dokonale vylisován.



Obr. 12 Upínací napětí [1]

1.4 Zpevnění a tepelné zpracování [7] [14] [17]

Při vypínání dílců z plechu je nutno zohlednit i fakt, že při samotném procesu dochází ke zpevnění tvářeného materiálu. To je způsobeno plastickou deformací za studena, tzn. za teploty nižší, než je teplota rekrytalizace. Dochází ke skluzům a tvorbě nových dislokací v materiálu, což je způsobeno smykovým napětím. Zpevnění závisí na vnitřním uspořádání a velikosti atomů materiálu. Pohyb dislokací může probíhat několika různými mechanismy:

- deformační zpevnění
- příměsové zpevnění
- precipitační zpevnění
- zpevnění pomocí hranice zrn

Proto je povětšinou vypínání proces víceoperační, zahrnující několik tvarování s mezioperačními tepelnými zpracováními. Tepelným zpracováním se usiluje o docílení úplného odstranění zpevnění, případně snížení na hodnotu, která bude vhodná pro další zpracování. Nejčastěji používaným tepelným zpracováním je normalizační žihání. Tímto procesem se v materiálu obnoví struktura a je možno s dílcem dále pracovat.

Po ukončení všech operací, tedy dokončení výsledného tvaru dílce, se také zařazuje tepelné zpracování pro zlepšení mechanických vlastností. Dílec dostane výslednou pevnost a houževnatost a je dále poslán k dalšímu zpracování nebo montáži.

1.5 Materiály [7] [19] [20] [22] [23] [24] [25] [26] [27] [28] [29] [30]

Nejčastěji tvářené materiály při metodě vypínání jsou oceli, slitiny hliníku atd. Avšak lze tvářet jakékoli materiály s dostatečnou tvárností, vhodné pro tuto technologii. V praxi se upřednostňují materiály, které mají danou dostatečnou tvárnost samy od sebe. Někdy je nutné tvářet i materiály s nedostatečnou tvárností pro výrobu daného dílce. V takovém případě je nutno po prvním nebo druhém kroku zařadit do procesu výroby tepelné zpracování pro obnovení tvárnosti. U materiálů je nutno počítat i s jejich anizotropií. Usiluje se o její potlačení již při výrobě tabulí nebo svitků. Níže je uveden příklad nejvíce používaných materiálů pro výrobu dílců.

1.5.1 Oceli [25] [26]

1.4541 (ČSN 17247, AISI 321, X5CrNi 18-10, AKVS 7-8)

- chrom niklová austenitická stabilizovaná ocel
- nově značená dle ČSN 10088-1 1.4541 (X6CrNiTi 18-10)
- nemagnetická, nekalitelná
- má sklon ke zpevňování za studena při tažení
- zpracovává se stříháním, ohýbáním, tažením (přetahováním)

1.4301 (ČSN 17240, AISI 304, X6CrNiTi 18-10, AKV 7)

- chrom niklová austenitická nestabilizovaná ocel
- nově značená dle ČSN 10088-1 1.4301 (X5CrNi 18-10)
- nemagnetická, nekalitelná
- má sklon ke zpevňování za studena při tažení

1.5.2 Duraly [27] [28] [29] [30]

Materiál 2024.0 má vysokou pevnost po tepelném zpracování a nízkou korozní odolnost. Dílce pracující při teplotě nad 100°C musí být vytvrzovány za tepla. Maximální provozní teplota je 150°C a za určitých podmínek vhodný ke svařování.

Používá se na středně a silně namáhané součásti, u nichž se požaduje zvýšená životnost při proměnném namáhání nebo pod vlivem krátkodobě zvýšené teploty, pro letadla (kostry pro potahy, přepážky, žebra, nosníky, táhla řízení), kolejová vozidla, automobily a jiné dopravní prostředky, jakož i pro stavebnictví.

Tepelné zpracování dílců z hliníkových slitin.

- T3 – Po rozpouštěcím žihání, tváření za studena a přirozeném stárnutí k dosažení dostatečně stabilního stavu. Dílce, pro zlepšení pevnosti tvářené za studena po rozpouštěcím žihání nebo dílce, u kterých má tváření za studena při vyrovnání nebo napřímení významný vliv na meze mechanických vlastností.
- T6 – Po rozpouštěcím žihání a umělém stárnutí. Dílce, které nejsou po rozpouštěcím žihání tvářené za studena, nebo u kterých se tváření za studena při vyrovnání nebo napřímení neprojeví na mezích mechanických vlastností.
- T8 – Po rozpouštěcím žihání, tváření za studena a umělém stárnutí. Dílce tvářené za studena pro zlepšení pevnosti nebo dílce, u kterých má tváření za studena při vyrovnání nebo napřímení významný vliv na meze mechanických vlastností.

Možné náhrady materiálu 2024.0:

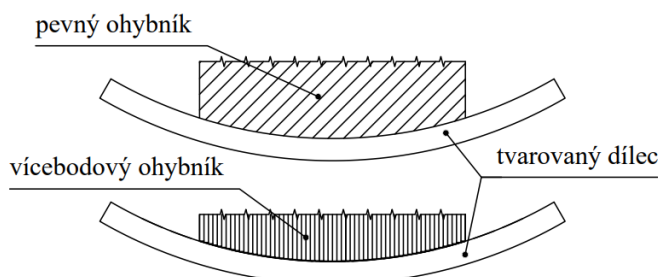
- D16 - plátované, bez tepelného zpracování,
- D16AM - s normálním pokovováním,
- D16AT - s normálním pokovováním, tvrzeným, přirozeným stárnutím,
- 424253.11.

2 NÁSTROJE [6] [12] [15] [31] [32]

Lisovníky pro vypínání dílců jsou vyráběny s ohledem na dostatečnou tuhost činných částí, typ nástrojového materiálu, konstrukci nástroje a velikost tvářecích sil. Tyto síly závisí také na tvářeném materiálu. Z toho vyplývá, že pro výrobu nástroje je důležité znát zároveň materiály, které budou na tomto nástroji tvarovány. Je nutné rovněž počítat s dalšími materiálovými vlivy spojenými s tvářením. Vyhodnocení těchto vlivů se znesnadňuje s rostoucím množstvím tvářeného objemu materiálu, který je během tvářením plasticky deformován. Zároveň se vyhodnocení zhoršuje, čím více je v tomto objemu složitější napjatostní charakteristika. Výsledný tvar dílce vždy závisí na použitém lisovníku, jehož tvar je negativem výrobku.

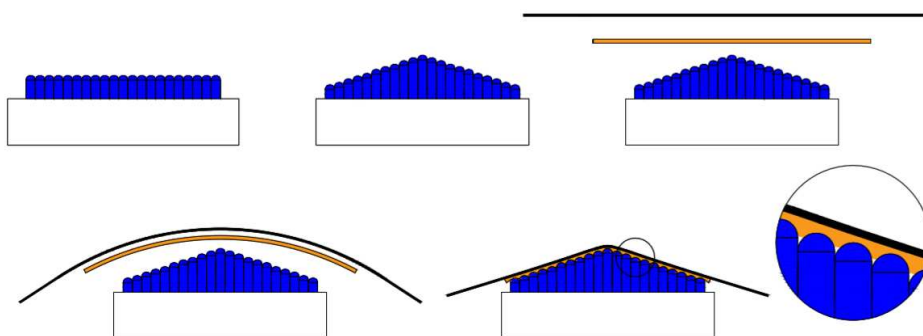
2.1 Základní dělení nástrojů [6] [12] [31] [32]

Nástroje lze dělit podle více hledisek. Prvním z nich je, zda je nástroj vícebodový nebo jednodílný obr. 13. U jednodílných nástrojů lze dosáhnout kvalitnějšího výsledného výlisku, ale je určen pouze pro výrobu jednoho dílce. Naopak vícebodové nástroje mají nevýhodu v menší přesnosti výroby, avšak je možno jimi vyrábět velké množství dílců, díky možnosti rekonfigurace na různé tvary.



Obr. 13 Druhy nástrojů [31]

V případě vícebodového nástroje obr. 14 je před samotným procesem nutné nakonfigurovat nástroj do požadovaného tvaru a vložit mezi nástroj a polotovar mezivložku, která rozloží napětí z bodového na plošné. Posléze je další postup stejný jako u pevného nástroje.



Obr. 5 Vícebodový rekonfigurovatelný nástroj [31]

Tyto nástroje jsou v praxi hojně využívány kvůli možnosti vyrábět velké množství dílců pomocí jednoho nástroje. Jejich konstrukce musí být uzpůsobena tlaku, jenž musí přenést, a proto jsou většinou jednotlivé části vhodně zaobleny.

Dalším kritériem, podle kterého lze nástroje dělit, je materiál. Hlavním požadavkem, který musí materiál nástroje splňovat, je ošetrivost. Důležitými materiálovými charakteristikami jsou rovněž houževnatost, pevnost, atd. V dnešní době se pro výrobu nástrojů nejčastěji používají:

- ocel – např. 19312, 19436, 11700, 14100
- dural,
- dural + pryskyřice,
- textit,
- SikaBlock M,

2.2 Mazání [31]

Při metodě vypínání nelze zanedbat ani vliv mazání. Zmenšuje tření mezi materiálem a nástrojem, snižuje napětí a výlisek je díky tomu chráněn proti vzniku vad.

Maziva musí:

- být schopná vydržet značné tlaky,
- vytvořit stejnoměrně rozloženou vrstvu,
- dobře přilnout,
- snadno se odstraňovat z povrchu součástí,
- být chemicky odolná a neškodná,
- vytvářet pevné, souvislé, nevysychající vrstvy,
- nepoškozovat mechanicky nebo chemicky povrch nástroje a součástí.



Obr. 6 Namazaný nástroj

Při výrobě se používá velkého množství maziv různého složení, lze je dále členit na maziva bez plnidel a na maziva s plnidly. Pokusy bylo zjištěno, že maziva bez plnidel jsou méně vhodná díky tvorbě nedostatečně pevné vrstvy a poměrně snadnému vytlačení. Z toho důvodu je vhodnější použít maziva s větším obsahem plnidel (grafit, křída, mastek), jež zvýší trvanlivost.

Důležitým faktorem u maziv je v dnešní době také nezávadnost vůči životnímu prostředí, ale zároveň jejich snadné odstranění z tvářených dílců. V této oblasti je snahou dosáhnout kompromisu mezi těmito vlastnostmi a vynalézt nová a kvalitnější maziva.

Nanášení maziv se liší dle druhu maziva, funkčního určení dílce, požadované přesnosti a druhu nástroje. Nanášet maziva lze těmito postupy:

- natíráním,
- stříkáním,
- máčením,
- poléváním,
- posypáním.

Maziva pro oceli

Při vypínání oceli se pro lehčí tahy používá řepkový olej. Těžší tahy vyžadují maziva s plnidly, např. směs řepkového či živočišného oleje a plavené křída, nebo směs řepkového oleje s bělobou olovnatou.

Maziva pro duraly

Při vypínání duralu se používají minerální oleje, mýdlové roztoky a emulze, případně pro tváření při vyšších tlacích se volí živočišné či rostlinné tuky.

Používaná maziva pro duraly:

- Martol AL 100,
- ZET – cut VR 32,
- MG AP.

Maziva pro plasty

Při vypínání plastů se používají minerální oleje, případně lze aplikovat plniva. U některých plastů se maziva použít nemusí, díky vlastnostem daného plastu.

3 STROJE [1] [5] [8] [9] [33] [34]

Při výrobě technologií vypínání se nejvíce používají lisy různých konstrukcí. Při jejich výrobě je kladen důraz na zkušenosti z předchozí konstrukce a provozu, ve kterém bude daný stoj používán. V dnešní době jsou stroje nejčastěji univerzální, avšak v praxi je každý z nich používán na určený typ operace, na který je vhodnější, případně je vyroben na míru.

Pro tváření dílců technologií vypínání se využívají především tažné lisy. Mohou být jedno i vícečinné. Standardní typové lisy dodává řada výrobců s dlouholetou tradicí, mimo jiné německá firma Schuler, firma Dieffenbacher s pobočkou v Brně, ŽĐAS apod. Takové stroje lze využít pro tažení, ohýbání atd. Jako vícečinné jsou pak vyráběny na zakázku podle přesně zadaných parametrů a požadavků zákazníka. Jejich upravené modifikace doplněné například o mikrometrické posuvy, výměnné čelisti, spárování vozíků a válců, pokud stroj obsahuje více válců. Při výrobě dopravních prostředků, zejména letadel, je často nutné vypínat dílce nestandardních rozměrů, vyrábět potahy jedné i dvojí křivosti, tvářet obtížně tvářitelné materiály při dodržení vysoké přesnosti, stejnoměrného vypnutí a ztenčení dílce. Následně je zde uveden přehled jednotlivých typů strojů využívaných ve firmě Aircraft Industries:

- ACB FEKD 200-400

Stroj FEKD 200-400 francouzské výroby je typem univerzálního tvářecího stroje se čtyřmi hydraulickými válci. Je poháněn hydraulicko-mechanickým systémem, což je v současnosti asi nejvhodnější řešení pro tento typ strojů. Maximální výkon výrobce uvádí 250 barů, rozměry stolu jsou 4750 x 355 milimetrů. FEKD má rovné, segmentové, hydraulické, výklopné čelisti s výjimečnou délkou čtyři metry. Velkou výhodou tohoto typu jsou mikrometrické posuvy a možnost spuštění předem připraveného programu se zadáním hodnoty tlaku v čelistech a hlavních válcích, určením požadovaných posuvů.

Základní parametry stroje.

maximální výkon	250 bar
tonáž	400 t
náklon stolu	15°
mikroposuv	až 15 mm/s
max. zdvih	1,2 m
rozměry beranu	4750x355 mm
délka čelistí	4 m
typ čelistí	rovný, segmentový



Obr. 7 ACB FEKD 200-400



Obr. 8 ACB FEKD 200-400

Tab. 1 ACB FEKD rozměrová charakteristika plechů [34]

Max. rozměr potahu	Šířka [mm]	Délka [mm]	Tloušťka [mm]	Průřez [mm ²]
Podélné tažení	1 500	5 000	až 3	4 500
Příčné tažení	4 000 (4 500)	2 000 (6 000)	až 3	13 000

- RO-1M

Označení RO-1M má stroj ruské výroby (vzhledem k datu výroby 1957 sovětské) vhodný zejména pro podélné vypínání s délkou dílců až 6,5 metru. Umožňuje rovněž vypínání profilů. Stejně jako předchozí typ má hydraulicko-mechanický pohon, který je vybaven mikrometrickými posuvy. Velkou výhodou tohoto stroje jsou výměnné čelisti a upínací hlavy, kterými je vybaven jako jediný z uvedených strojů.

Základní parametry stroje

maximální výkon	80-120 bar
maximální délka	6,5 m
posuv x	až 10 mm/s
posuv y	až 8 mm/s
lisovací válce	2x
náklon stolu	15°
typ čelistí	rovný, tvarový segmentový



Obr. 9 RO-1M



Obr. 10 RO-1M

- HAHN a KOLB

Tažný lis výrobce HAHN a KOLB je vzhledem k roku výroby 1940 unikátní nejen v České republice, ale zřejmě i na světě. Zároveň je důkazem, že i několik desítek let starý stroj se vyplatí nechat upravit, aby vyhovoval současným požadavkům, neboť jeho srovnatelná náhrada, např. nový stroj firmy Dieffenbacher, je investicí v řádu desítek milionů korun. Jedná se o univerzální stroj hydraulicko-mechanické konstrukce. V praxi se využívá spíše pro příčné vypínání převážně kratších výrobků. Maximální délka vypínaných dílců je 1,72 metru.

Jeho nevýhodou je analogový vstup, z čehož vyplývá zpomalená reakce čerpadel. Tento stroj nemá mikroposuvy, tudíž vyžaduje obsluhu s vyšší zkušeností, zručností a citem pro materiál.



Obr. 11 HAHN a KOLB

- Dieffenbacher PV 250

Stroj PV 250 z produkce tradičního výrobce, firmy Dieffenbacher, je jedinečný a specifický. Byl vyroben na zakázku dle požadavků zákazníka. Je sinumerický a určen spíše pro příčné vypínání dílců. Jako jediný z uvedených má unikátní čistě hydraulický mechanismus. Jeho maximální výkon činí 300 barů, ovšem délka vypínaných dílců je do 1,75 metru. Mikrometrické posuvy a možnost spárování válců i vozíků s náklonem až 15 stupňů napomáhají jednodušší, plynulejší a rychlejší výrobě.



Obr. 12 Dieffenbacher PV 250

Základní parametry stroje

maximální výkon:	300 bar
maximální délka dílce:	1,75 m
náklon stolu (x)	15°
náklon vozíků (z)	15°

- Průvlaková stolice

Pro tažení profilů je určena průvlaková stolice. Slouží k tažení nepřeborného množství různých typů profilů o maximální délce 7 metrů. Variabilitu umožňují výměnné matrice nabízející tvorbu velkého množství výrobků. Pro samotné tváření se využívá pouze 30 % výkonu stroje, jehož maximum je 80 kN. Mírnou nevýhodou jsou deformace konců plechu. Ty vznikají uchycením v tažné hlavě, což je zachyceno na obr. 23 a ostřížením výrobku obr. 24.



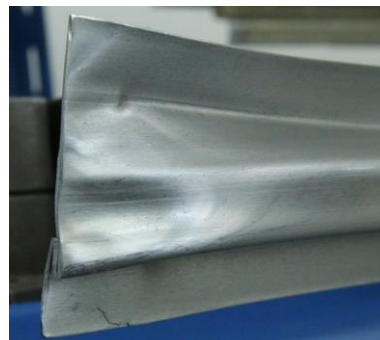
Obr. 13 Průvlaková stolice

Základní parametry stroje

maximální výkon:	80 kN
maximální délka dílce:	7 m



Obr. 14 Deformace uchycením



Obr. 15 Deformace ostřížením

3.1 Upnutí polotovaru a čelistí [1] [33] [34]

Upínání se provádí pomocí různých typů čelistí a člení se do dvou základních skupin, na upínání podélné a příčné obr. 25. Příčné upínání je určeno pro výrobu menších rádiusů a delších výrobků. Podélné upínání je spíše určeno pro výrobu větších rádiusů a kratších výrobků.

Tvar čelistí obr. 26 musí splňovat požadavky na tuhost, přesnost a zároveň musí zajistit, aby materiál v nich uchycený neprokluzoval, nepraskal nebo se jinak mechanicky poškozoval. Čelisti jsou rozdělovány především podle materiálu polotovarů v něm uchycených. Čelisti pro oceli mohou mít vroubkovaný nebo drážkovaný povrch pro zarytí čelistí do polotovaru. Naopak čelisti pro slitiny hliníku bývají hladké, broušené, leštěné a mají složitější profil pro zachycení.

V praxi se však v dnešní době na strojích nejčastěji používají univerzální čelisti, které jsou vroubkované nebo zoubkované. Důvodem je urychlení výroby, i když čelisti nejsou nejvhodnější z hlediska uchycení materiálu.

Čelisti se dále dají rozdělit dle mechanismu uchycení na:

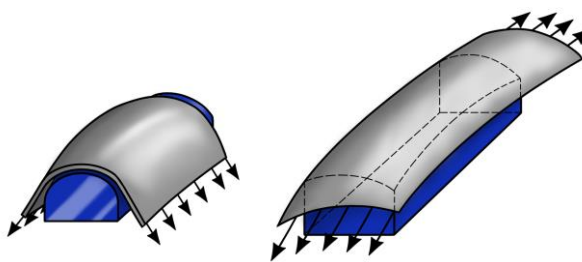
- mechanické,
- elektrické,
- hydraulické,
- pneumatické,
- kombinované.

Hodnota přídržného tlaku přenášeného čelistmi na upínaný polotovar musí být pouze tak velká, aby nedošlo k mechanickému poškození. Zároveň musí být tlak dostatečný k zabránění sebemenšího prokluzu. Proto jsou hlavně pro vypínání slitin hliníku vhodnější vícečinné lisy s hydraulickými čelistmi, u kterých lze přídržný tlak velmi přesně regulovat.

V provozech se dále využívá příložek obr. 27 a dalších pomůcek, které díky snížení počtu tahů nebo nutnosti mezioperačního tepelného zpracování dopomáhají co nejlepšímu a nejjednoduššímu vytvarování výsledného výrobku.



Obr. 18 Příložka



Obr. 16 Příčné a podélné upínání [1]



Obr. 17 Druhy upínacích čelistí

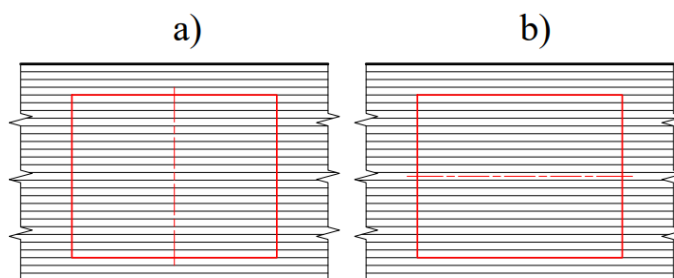
4 VADY, ZHODNOCENÍ, POUŽITÍ [3] [4] [5] [8] [9] [15] [20] [23] [31] [35]

Důležitou kapitolou při jakékoli technologii výroby je zjištění vad a pokud je to možné, zabránění jejich vzniku. Především jim dá pomoci počítačových simulací, technologickými a mechanickými zkouškami, dodržением technologie výroby, správnou orientací vláken polotovaru vůči tváření a pravidelnou kontrolou stavu nástroje a stroje. V praxi je u tohoto výrobního procesu normou povoleno určité procento porušení vláken či jiných vad, které neovlivní užité vlastnosti daného dílce

Je také velmi důležité zhodnotit, zda výroba dílce není vhodnější pro jinou metodu výroby. Hledisek, podle kterých se lze orientovat je mnoho.

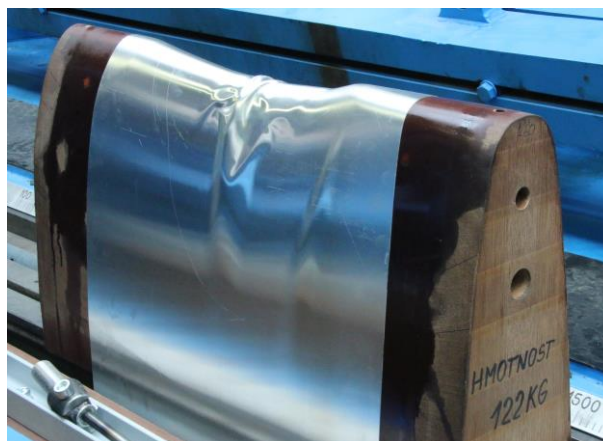
4.1 Vady [4] [5] [8] [9] [15] [31] [35]

Základní nedostatek, který může vzniknout, bývá způsoben lidskou chybou. Jedná se o orientaci vláken v polotovaru. Tato chyba je znázorněna na obr. 28, správná orientace vůči vypínání na obr. 28 a) a špatná obr. 28 b).



Obr. 19 Orientace polotovaru na tabuli plechu

Většina vad vzniklých při technologii vypínání, je způsobena špatně zvolenou technologií výroby, příliš vysokými tlaky, nevhodně zvoleným nástrojem, příliš rychlým nebo pomalým tvářením, špatným mazáním. Příklad zvlnění je na obr. 29, tato vada byla způsobena příliš rychlým vypínáním.

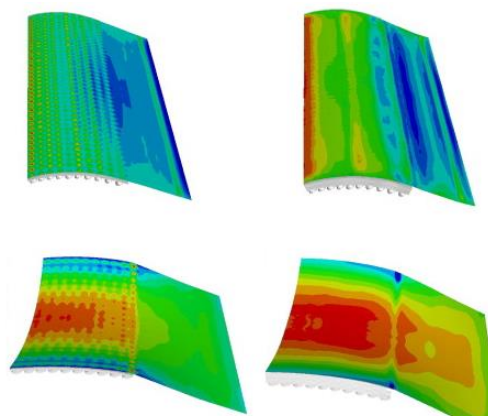


Obr. 20 Zvlnění polotovaru

Další skupinou vad, které mohou vzniknout, jsou vady mechanickými nečistotami na nástroji nebo na upínacích čelistech stroje. Tím vzniknou vrypy nebo škrábance, které jsou koncentrátoři napětí.

Významnou skupinou jsou materiálové vady. Může se jednat o vměstky v materiálu, vnitřní uspořádání vláken nebo rozměry daného polotovaru.

Důležité je předcházení jakékoli možnosti vzniku vady, proto se využívají technologické zkoušky nebo počítačové simulace, ty však nikdy nedokáží plně nahradit reálné zkoušky, díky nedokonalosti vnitřní stavby materiálu a dalším vlivům.



Obr. 21 Simulace procesu vypínání [31]

Numerické simulace obr. 30 pro metodu vypínání jsou sofistikovanější než u tradičních metod. Je nutno do nich zahrnout trojosou napjatost, odpružení a nelineární prodloužení polotovaru. U vícebodových nástrojů se musí počítat i s vlivem nespojitého kontaktu nástroje s tvarovaným plechem. Nelze tedy použít klasických lineárních metod konečných prvků.

4.2 Zhodnocení [20] [31]

Vypínání jako nekonvenční metoda tváření v jedné operaci spojuje tažení a ohýbání. Právě díky této kombinaci je dosaženo snížení výsledného odpružení. Proces vypínání dovoluje i výrobu dílců s 3D křivostí, což tuto metodu činí výjimečnou a v mnoha ohledech nenahraditelnou. Výhodou je také možnost výroby s použitím pouze jednoho nástroje, který může být zhotoven z levnějších nebo lépe zpracovatelných materiálů.

Avšak na druhou stranu, je důležité u těchto procesů při výpočtu přístřihu počítat s natáhnutím plechu při samotné operaci, přidavkem na upnutí a případně technologickými přidavky. Z toho vyplývá menší efektivnost, co se týče spotřeby materiálu. Dále je podstatné zamezit vzniku vad mazáním. Proto je nutno zvolit správné mazivo, nejlépe samovypařitelné, lehce odstranitelné a nezávadné vůči životnímu prostředí. Tato metoda vyžaduje i velmi kvalifikovaný a zručný personál. Důležitý je především cit pro materiál a znalost výrobního i technologického procesu. Kvůli deformačnímu zpevnění je nutno zařadit tepelné zpracování a z toho vyplývající další přípravné operace. Ty zahrnují přípravu dílce po vypnutí, přesněji řečeno odmaštění, očištění a přípravu na samotné tepelné zpracování. Nakonec je dobré zdůraznit i nekonvenčnost strojů, které jsou díky jejich konstrukci atypické a zřejmě dražší nežli konvenční.

4.3 Použití [3] [20] [23]

Vypínáním plechů lze vyrábět velké množství výrobků různých tvarů i velikostí. Největší využití nachází tato metoda v dopravním průmyslu. Jedná se zejména o letecký a automobilový průmysl, kde nejtypičtěji vyráběnými dílci jsou:

- náběžné hrany,
- potahy křídel,
- potahy ocasních ploch,
- tvarové potahy trupu,
- kapoty,
- karoserie.



Obr. 22 Dílce vyráběné vypínáním použité na letadle [3]

5 ZÁVĚRY

Metoda vypínání, jež patří do jedné z nejméně rozvíjených oblastí tváření, se v dnešní době čím dál více prosazuje mezi ostatními moderními metodami plošného tváření. Při vypínání je tvarovaný polotovár na krajích pevně uchycen do čelistí a přetažen přes lisovník. Technologický postup probíhá za studena a liší se uspořádáním nástroje, způsobem uchycení plechu. Dosažení trvalé plastické deformace v celém průřezu působením ohybového a tahového napětí v jedné operaci docílí velmi malého odpružení. Optimální deformace při vypínání závisí na vnitřním uspořádání vláken materiálu a je podmíněna volbou vhodného tvaru nástroje a dodržáním technologického postupu, který zahrnuje například počet tahů, rychlosti tváření, mezioperační tepelné zpracování a způsob mazání. Procesy vypínání posouvají hranice tvářitelnosti materiálů a je možno právě proto vytvářet délce i z materiálů, které by jinými postupy výroby nebylo možné vyrobít ve stejné kvalitě. Je tomu tak kombinací dvou napětí tvořících nenahraditelný postup při výrobě přesných dílů, převážně v automobilovém a leteckém průmyslu, kde nachází široké uplatnění. Tato odvětví jsou specifická svými požadavky na zpracování obtížně obrobitelných materiálů při dodržení vysoké přesnosti, kvalitě povrchu a nízké zmetkovitosti. Typickými příklady jsou kapoty, karoserie, náběžné hrany, potahy křídel a podobně.

V porovnání s konvenčními metodami tváření má vypínání mnoho výhod z hlediska technologického i ekonomického. Pozitivem je spojení tažení a ohýbání do jedné operace, minimalizace odpružení, výroba složitých, přesných povrchových tvarů atd. Uplatnění nachází především v sériové a kusové výrobě, což je způsobeno vyšší pořizovací cenou strojů a mnohdy jejich jednostranným využitím. To je také důvodem, proč tato metoda plně nenahradí nejrozšířenější metody tváření, jakými jsou například lisování nebo ohýbání. Při výrobních procesech se tradiční postupy a zkušenosti spojují s moderními technologiemi tak, aby hotová součást obstála v rychle se měnícím prostředí globálního trhu. Díky takovým dílcům je možno vytvářet lehčí, pevnější, efektivnější nebo aerodynamičtější konstrukce, které umožňují další rozvoj.

Přínos této práce spatřuji v systematickém shrnutí principů metody vypínání a dalším možném využití tohoto textu jako studijní materiál k výuce, případně jako podklad pro širší rozvinutí této metody.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. SAMEK, Radko a Eva ŠMEHLÍKOVÁ. Speciální technologie tváření. Část I. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2010, 134 s. : il. ISBN 978-80-214-4220-7
2. *Sheet Stretch Forming Overview* [online]. [cit. 2014-04-09]. Dostupné z: <http://www.cyrilbath.com/stretchforming/sheet-stretch-forming.html>
3. *Fuselage Skin Stretch Forming Press* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=-b0h2qsCfKU>
4. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013, 169 s. : obr., tabulky, grafy. ISBN 978-80-214-4747-9.
5. SUCHY, Ivana. *Handbook of die design*. Second edition. New York: McGraw-Hill, 2006, xiii, 729 stran : ilustrace. ISBN 0-07-146271-6.
6. KOTOUČ, Jiří. *Tvářecí nástroje*. Praha: ČVUT, 1993, 349 s. : obr., tabulky, grafy, schémata ; 21 cm. ISBN 80-01-01003-1.
7. LIDMILA, Zdeněk. *Teorie a technologie tváření: processes - machines - tools*. Brno: Univerzita obrany, 2008. ISBN 978-80-7231-579-6.
8. *Handbuch der Umformtechnik*. Berlin: Springer, 1996, 565 s. ISBN 3-540-61099-5.
9. TSCHÄTSCH, Heinz. *Metal forming practise: processes, machines, tools*. Berlin: Springer, 2006, xii, 405 s. : il., čb. fot., tabulky ; 25 cm. ISBN 3-540-33216-2.
10. *Gparkereng*. [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <http://www.gparkereng.com/portfolio/sheet-metal-detail-tooling.html>
11. *TRANSVERSE/ LONGITUDINAL SHEET STRETCH FORMING PRESS (VTL)* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://www.cyrilbath.com/en/transverse-longitudinal-sheet-stretch-forming-press-vtl>
12. *Incremental Sheet Forming* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=eSVi7dC5L_Q
13. MARCINIAK, Zdzislaw. *Teorie tváření plechů*. Praha: SNTL, 1964, 259 s. DT 621.777.001.
14. MACHEK, Václav, Ladislav VESELÝ, Milan VESELÝ a Jaroslav VIŠŇÁK. *Zpracování tenkých plechů*. Praha: SNTL, 1983, 266 s
15. *Sheet metal forming proces chapter 7* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://slideplayer.com/slide/10673763>
16. *Stretch forming* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <http://mold-technology4all.blogspot.com/2011/08/stretch-forming.html>
17. *Stretch Forming Process - Advantages and Disadvantages* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <http://learnmech.com/stretch-forming-process-advantages-and-disadvantages/>
18. D. Cooper *Sheet metal forming* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: http://web.mit.edu/2.810/www/files/lectures/2015_lectures/lec6-sheet-metal-forming-2015.pdf

19. ZHENG Kailun, Denis J. POLITIS, Liliang WANG, Jianguo LIN *A review on forming techniques for manufacturing lightweight complex-shaped aluminium panel components* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S258884041830012X#fig1>
20. *Aluminum in Aerospace and Automobile Parts* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://www.sciencepark.or.th/index.php/th/download/947/autoparts-seminar-2560/>
21. *Flexible Forming* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <http://www.ibf.rwth-aachen.de/cms/IBF/Forschung/Querschnittsthemen/~peqk/Flexible-Umformtechnik/?lidx=1>
22. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. : il. ISBN 80-214-2374-9.
23. ŠAANOVEC Jan, Tomáš PILVOUSEK *Lehké konstrukce karoserií osobních automobilů* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <http://www.digitovarna.cz/clanek-84/lehke-konstrukce-karoserii-osobnich-automobilu.html>
24. *Hliníkové slitiny* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://www.primapol.cz/produkty/hlinik/>
25. NEREZOVÁ OCEL 1.4301 [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <http://www.inoxspol.cz/nerezova-ocel-14301.html>
26. NEREZOVÁ OCEL 1.4541 [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <http://www.inoxspol.cz/nerezova-ocel-14541.html>
27. *Slitiny hliníku* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://www.ehlinik.cz/prilohy/zakladni-technicke-informace.pdf>
28. *Hliníkové plechy a pásy* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <http://www.alfun.cz/hlinik>
29. *Číselné označování hliníku a jeho slitin dle ČSN EN 5731:2005 (42 1401)* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://www.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-prirucka/barevne-kovy/hlinikove-slitiny>
30. *DATABASE OF STEEL AND ALLOY (MAROCHNIK)* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: http://m-s-s.ru/mar/en/e_mat_start.php-name_id=1438.htm
31. TOKITA Yuichi, Tatsuya NAKAGAITO, Yoshikiyo TAMAI, Toshiaki URABE *Stretch formability of high strength steel sheets in warm forming* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924013608001325#fig2>
32. *Nástrojové bloky* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://www.tooling.cz/nabidka/sika/nastrojove-bloky-sika/>
33. *Tváření plechů a profilů z Al-slitin* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: http://www.let.cz/clanek_324_tvareni-plechu.html
34. *ACB LOIRE SKIN* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://www.multistation.com/second-life/product/acb-loire-skin/>
35. *Stretch forming* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <http://stampack.com/my-product/stretch-forming/>
36. Citace PRO. *Generátor citací* [online]. 2012 [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <http://citace.lib.vutbr.cz/>

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Vypínací stroj [3]	9
Obr. 2 Dílce vyráběné vypínáním [10], [11], [12]	9
Obr. 3 Procesy vypínání [1].....	10
Obr. 4 Nabalovačka	11
Obr. 5 Zdeformovaný konec.....	11
Obr. 6 Princip průvlakové stolice	11
Obr. 7 Vypínané dílce [1].....	12
Obr. 8 Dokončení dotykovou hlavou [21].....	12
Obr. 9 Dokončení lisováním [1].....	12
Obr. 10 Průběh vnitřního napětí [1]	13
Obr. 11 Rozložení napětí přes nástroj [1].....	13
Obr. 12 Upínací napětí [1].....	14
Obr. 13 Druhy nástrojů [31]	16
Obr. 14 Vícebodový rekonfigurovatelný nástroj [31]	16
Obr. 15 Namazaný nástroj.....	17
Obr. 16 ACB FEKD 200-400	18
Obr. 17 ACB FEKD 200-400	18
Obr. 18 RO-1M	19
Obr. 19 RO-1M	19
Obr. 20 HAHN a KOLB.....	19
Obr. 21 Dieffenbacher PV 250.....	19
Obr. 22 Průvlaková stolice	19
Obr. 23 Deformace uchycením.....	19
Obr. 24 Deformace ostřížením	19
Obr. 25 Příčné a podélné upínání [1].....	19
Obr. 26 Druhy upínacích čelistí.....	19
Obr. 27 Příloška.....	19
Obr. 28 Orientace polotovaru na tabuli plechu.....	19
Obr. 29 Zvlnění polotovaru	19
Obr. 30 Simulace procesu vypínání [31].....	19
Obr. 31 Dílce vyráběné vypínáním použité na letadle [3].....	19

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 ACB FEKD rozměrová charakteristika plechů [34]	18
---	----