



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NEKONVENČNÍ METODY TVÁŘENÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR
VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR
BRNO 2011

JIŘÍ BARCUCH
Ing. KAMIL PODANÝ Ph.D.

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Jiří Barcuch

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

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:

Nekonvenční metody tváření

v anglickém jazyce:

Unconventional methods of forming

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o zpracování literární studie netradičních metod při výrobě dílců tvářením. Rešerše bude obsahovat základní rozdělení a principy.

Cíle bakalářské práce:

Aktuální literární studie se zaměřením na nekonvenční metody tváření materiálu se zhodnocením jejich vhodnosti či nevhodnosti a s ukázkami použití.

Seznam odborné literatury:

1. HOLUB, Josef. Pryž jako konstrukční materiál. 1. vyd. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1965. 268 s. Redakce chemické literatury. DT 678.4:621.
2. LIDMILA, Zdenek. Teorie a technologie tváření. Brno: RVO VA, 1994. 214 s.
3. SAMEK, Radko. Technologické problémy při tváření elastomery. In Sborník VA v Brně. 1. vyd. Brno: VA, [1990?]. s. 79-85.
4. SAMEK, Radko. Využití polytanu ke tvarování dílců leteckých motoru. [s.l.]: [s.n.]. s. 231-272.
5. ŽÁK, Jan, SAMEK, Radko, BUMBÁLEK, Bohumil. Speciální letecké technologie I. 1. vyd. Ediční středisko VUT Brno. Brno : Rektorát Vysokého učení technického v Brně, 1990. ISBN 80-214-0128-1. s. 220.
6. Fibro. Elastomere - Desky a profily FIBROFLEXŽ [online]. Š 2004-2007. [cit. 2006-08-15].
Dostupný z WWW: <http://www.fibro.de/xdesk_neu/ximages/265/1217_teilg.pdf>.
[Http://www.gore.cz/index.php?view=article&catid=43%3Akatalogy-fibro-ke-staeni&id=87%3A12-elastomery&option=com_content&Itemid=70](http://www.gore.cz/index.php?view=article&catid=43%3Akatalogy-fibro-ke-staeni&id=87%3A12-elastomery&option=com_content&Itemid=70).
7. DVORÁK, Milan, GAJDOŠ, František, NOVOTNÝ, Karel. Technologie tváření: plošné a objemové tváření. 2. vyd. Brno: CERM, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/2011.

V Brně, dne

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

BARCUC H Jiří: Nekonvenční metody tváření

Nekonvenční metody tváření se užívají při výrobě prototypů, menších sérií a ověřování experimentů. Lze využívat technologie tváření pomocí nepevného nástroje a vysokorychlostního tváření. Nepevný nástroj se dá užít v podobě elastomerů nebo kapalných médií. Technologie vysokorychlostního tváření užitím výbuchu k formování rozměrné součásti z těžko tvařitelných materiálů, elektrohydraulického a elektromagnetického principu při tváření kovů a jejich slitin. Jsou popsány jejich principy, výhody a nevýhody při užití v praxi.

Klíčová slova: Nekonvenční tváření, nepevný nástroj, vysokorychlostní tváření

ABSTRACT

BARCUC H Jiří: Unconventional methods of forming

Unconventional forming methods are used in the manufacture of prototypes, small series and verification of experiments. Forming technology can be used in forming by an elastic tools and by high-velocity forming. An elastic tool can be used in the form of elastomers or liquid media. High-velocity forming using detonation for shaping large parts made of hard forming materials, the principle of electrohydraulic and electromagnetic forming of metals and their alloys. Description of their principles, advantages and disadvantages when used in practice.

Key words: Unconventional forming, an elastic tool, high velocity forming

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

BARCUCH, Jiří: *Nekonvenční metody tváření*. Brno, 2011. 27 s., CD. FSI VUT v Brně, Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí bakalářské práce Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou práci jsem vypracoval samostatně a to z uvedených zdrojů, za pomoci a rad vedoucího bakalářské práce.

V dne 27.5.2011

.....
Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Kamilu Podanému, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

	str.
1 ÚVOD	9
2 TVÁŘENÍ NEPEVNÝMI NÁSTROJI	10
2.1 Tváření elastomery	10
2.1.1 Otevřený nástroj.....	11
2.1.2 Uzavřený nástroj.....	11
2.1.3 Metoda Guerin.....	12
2.1.4 Metoda Marform.....	13
2.2 Tváření kapalinou	14
2.2.1 Metoda Hydroform.....	15
2.2.2 Thermal-supported Hydroforming.....	16
2.2.3 Metoda Wheelon.....	17
2.2.4 Hydromechanické tažení.....	18
3 TVÁŘENÍ VYSOKÝMI RYCHLOSTMI	20
3.1 Tváření výbuchem	20
3.1.1 Tváření střelivami a trhavinami.....	22
3.2 Elektrohydraulické tváření	23
3.2.1 Výboj přes jiskřiště.....	24
3.2.2 Výboj přes explodující drát.....	25
3.3 Elektromagnetické tváření	25
4 ZÁVĚRY	27

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratek

1 ÚVOD [7,9,12,13,14,15]

Technologie pojednává o výrobních postupech, materiálech, strojích a metodách, pomocí kterých je polotovár změněn v potřebný výrobek. Strojírenská technologie zahrnuje řadu činností – od výroby kovů a jejich slitin, přes tvorbu polotovarů, po zhotovení výrobku. Lze ji rozdělit na technologie obrábění, tváření, slévárenství, svařování a povrchové úpravy. Tato práce pojednává o metodách tváření.

Tváření je proces, při kterém účelným vyvoláním plastických deformací v materiálu získáme požadované změny tvaru. Hodnota napětí v dílci musí překročit hodnotu meze kluzu pro docílení plastické deformace. Při tom dochází k pozměnění fyzikálních vlastností i struktury tvářeného dílce, v důsledku čehož dochází ke změně mechanických vlastností materiálu. Tvářet je možno železné i neželezné kovy. Hlavním kritériem pro materiál polotovaru je jeho tvařitelnost – tj. v podstatě schopnost materiálu nechat se plasticky deformovat. Ta se pro různé materiály zjišťuje pomocí technologických zkoušek.

Mezi výhody tváření lze označit vysokou produktivitu, rozměrovou přesnost. Mezi nevýhody se řadí vyšší ceny nástrojů a omezení rozměrů výrobků.

Technologie tváření se dělí na objemové a plošné tváření za tepla a za studena. Z nich je odvozena řada tvářecích technologií. Dle využití metod se rozlišují na běžné, v hromadné

a sériové výrobě používané technologie, a tzv. nekonvenční metody užívané nejčastěji pro kusovou výrobu a vývoj. Ty se postupným rozšiřováním v průmyslu stávají konvenčními technologiemi.

Nekonvenční technologie se většinou odlišují charakteristickým rysem, převažujícím nad konvenčními metodami. Díky tomu mají neobvyklé výsledky v oblastech tváření, kde konvenční technologie nedostačují, ať se jedná o rozměrová omezení, nebo nevhodnost metody u určitého sortimentu materiálů. Proto se neustále vyvíjejí nové technologické postupy a jejich variace. Nové metody ale vyžadují ve většině případů i nové stroje nebo části zařízení. Ty jsou však výrazně nákladnější než konvenční stroje, proto je třeba užití nekonvenční metody důrazně zvážit i ze strany ekonomické.

Uvedené metody nekonvenčního tváření se zabývají tvářením pomocí nepevného nástroje a tvářením vysokými rychlostmi.



Obr. 1.1 - Díly vyrobené nekonvenčním tvářením [9]

2 TVÁŘENÍ NEPEVNÝMI NÁSTROJI [1,2,7,14,15,,16]

Nepevný nástroj se od běžného nástroje odlišuje tím, že jedna jeho pevná část je nahrazena elastomerem (pryž, polyuretan) nebo kapalným médiem (voda, olej).

Uvedené metody se využívají převážně v kusové nebo malosériové výrobě (výzkum a vývoj automobilového průmyslu). Největší výhodou je levný nástroj – elastomer, a univerzálnost části nástroje, díky čemuž se hodí pro menší počet vyrobených kusů a jsou tak výhodnější než návrh a konstrukce dražšího konvenčního nástroje z nástrojové oceli. Je možné také tváření materiálů s povrchovou úpravou, protože tyto metody povrch nepoškozují – dochází zde ke kontaktu elastomeru s materiálem, který nevyvolá takové třecí síly jako kov s kovem. Disponují také poměrně jednoduchým řízením a univerzálností pro užití různých tvarů a velikostí dílce, což docílíme výměnou pevné části nástroje.

Nevýhodou jsou nároky na požadovanou energii nutnou pro provedení tvářecího procesu a nízká životnost nepevného nástroje. Poměrně velké tlaky vyvozené v nádržích kapalin vyžadují také spolehlivé těsnění.

2.1 Tváření elastomery [7,14,16]

Nejčastěji používané elastomery při tváření jsou pryž – použití do max. tlaku 45 MPa a polyuretan – užití do tlaku 200 MPa.

Pryž se získává pomocí procesu zvaného vulkanizace z přírodního nebo syntetického kaučuku. Při procesu vulkanizace se v uhlíkových řetězcích polymeru vytvoří polysulfidové můstky. Toho se docílí vmícháním oleje, sazí a síry do rozdrčeného kaučuku. Tak získá materiál vyšší pružnost. Poté je vzniklá směs stlačena a za přivádění tepla proběhne proces vulkanizace. Poté se pryž stane netvarovatelnou. Je pružná, odolná proti kyselinám a různým chemikáliím. Proto se nejčastěji využívá v potravinářském průmyslu. Pracovní teploty jsou v rozmezí $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ a tvrdost se pohybuje od 10 ShA do 80 ShA.

Polyuretan je ze skupiny polymerů. Vyrábí se ve třech podobách – pěnové, elastické a pevné (ta jediná se užívá při procesu tváření). Při výrobě pevného polyuretanu odléváním není třeba drahé formy. Díky tomu lze vyrobit i za ekonomicky výhodných podmínek malou sérii různých tvarů a rozměrů. Má vysokou otěruvzdornost a houževnatost. Tvrdost se pohybuje mezi 48 ShA a 98 ShA. Tvrdší polyuretany lze třískově obrábět. Je odolný proti ropným produktům, olejům, tukům a benzínu. Projevuje se vhodně při dynamické zátěži.

Polyuretan snese vyšší zátěžovou nosnost než konvenční plasty, v důsledku toho je užíván při výrobě pojezdových kol, těžkých spojek, kladek a pružin. Má také vysokou odolnost vůči kyslíku, ozónu, slunečnímu záření a obecným klimatickým podmínkám, proto je vhodný i do nechráněných pracovních prostor. Díky výborným elektroizolačním vlastnostem je úspěšně užíván v elektroprůmyslu.

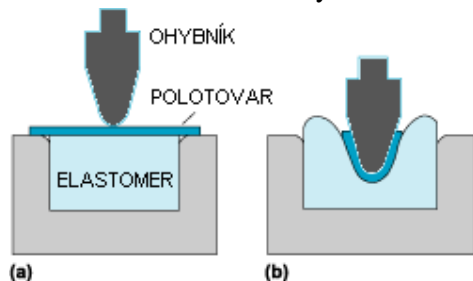
Při tváření elastomery je využíváno principů otevřeného a uzavřeného nástroje.



Obr.2.1 polyuretanové výrobky [16]

2.1.1 Otevřený nástroj [1,2,14]

Jedná se o metodu užití elastomeru v plošném tváření. Otevřený nástroj slouží pouze k ohýbání. Nepohyblivá ohybnice vyrobená z polyuretanu je uložena ve spodní části nástroje. V horní části nástroje se nachází pohyblivý ohybník. Ten je vyroben z pevného materiálu. Schéma metody na obr.2.2a.



Obr.2.2 Schéma otevřený nástroj [2]

Proces ohýbání probíhá následovně: Pohyblivý ohybník sjede dolů a plech zatlačí do nepevné ohybnice. Tím je plech ohnut na jeden krok, obr.2.2b.

Při tomto způsobu ohybu však vzniká nežádoucí efekt odpružení. Ten je zapříčiněn tím, že část deformace vyvolané na plech je elastická. Proto se touto metodou ohýbá o větší než požadovaný úhel. Lze rozlišit dva tvary ohybu a to ohyb do “V” a ohyb do “U”.

Při ohybu platí pravidlo, že pro ostřejší vrcholový úhel ohybu je třeba hlubšího vnoření do polyuretanového bloku. To lze usnadnit použitím dutých bloků. Ohybník může za užití menší síly vniknout hlouběji a také pružná ohybnice jej lépe obejme.

Při ohybu v tažnici nepůsobí po celém objemu stejné tlakové napětí. Proto se pružný blok elastomeru podkládá pevnými podložkami. Tím docílíme zvětšení boční síly na ohýbaný plech a ohyb je kvalitnější.

Ohyb se provádí na hydraulických lisech, které působí klidnou silou. Metoda se užívá pro ohyb leštěných plechů, nebo plechů s povrchovou úpravou, kde je nežádoucí poškození povrchu. Díky kontaktu pryže s plechem je poškození nepatrné, oproti konvenčním metodám, kdy jsou v kontaktu dva kovy. Díky tomu lze metodu užít i v sériové výrobě. Je vhodná i pro velmi rozměrné výrobky – z důvodu levné výroby rozměrné ohybnice. Při této metodě také nedochází ke zvlnění plechu.

2.1.2 Uzavřený nástroj [2,14]

Metoda se používá ke stříhu, ohybu a tažení. Na rozdíl od otevřeného nástroje je v horní pohyblivé části polyuretanová lisovnice a ve spodní části nepohyblivý lisovník.

Horní pohyblivá část sjede dolů a lisovnice dosedne na plech, tlakem jej začne tvarovat.

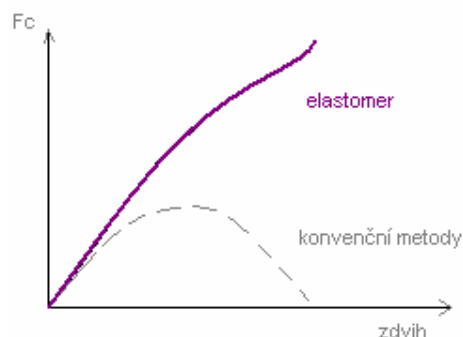
Síla potřebná pro tváření plechu – tedy celková síla F_c musí být oproti konvenčním metodám zvětšena o sílu potřebnou ke stlačení polyuretanu – F_p , a velikost vzniklého tření F_t .

$$F_c = F_{Tv} + F_t + F_p \quad (2.1)$$

F_{Tv} síla potřebná na přetvoření plechu

F_t síla potřebná k překonání tření

F_p síla potřebná ke stlačení polyuretanu



Obr.2.3 Průběh síly [v.t.]

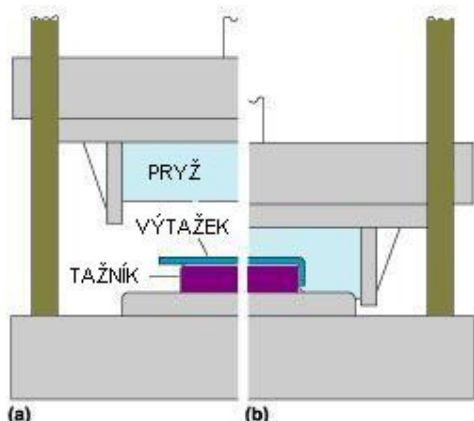
K přetvoření plechu je třeba síly F_{Tv} zajišťující dosažení deformačního napětí v plechu nad hranici plastické deformace. Tato síla zajišťuje samotný proces tváření. K překonání tření vzniklého během procesu mezi nástrojem a polotovarem slouží síla F_t . Poslední složka celkové síly slouží ke stlačení nepevného nástroje – v tomto případě elastomeru. Ta zapříčiňuje nepříznivý průběh pracovní síly oproti konvenčnímu tváření, protože odpor elastomeru se zdvihem značně roste jak je znázorněno na obr. 2.3.

Mezi výhody se řadí nulové odpružení, při tváření nedochází ke zvlnění dílce. Cena nástroje oproti konvenčním technologiím. Nedostatkem je nutnost užití těžkotonážních lisů a vyšší cena oproti otevřenému nástroji.

2.1.3 Metoda Guerin [1,2,7,14]

Metoda využívá nepevného nástroje pro stříh, ohyb a mělké tažení. Je zde charakteristický horní pohyblivý kontejner s elastomerem a spodní nepohyblivá část – lisovník.

Princip je založen na vrstvě desek z elastické pryže umístěných v ocelové skříně v horní pohyblivé části tažnice, která se pohybuje proti pevnému tažníku. Tažnice tím zaručuje univerzálnost při užití různých tvarů a rozměrů tažníku. Životnost tažnice je oproti tomu nevýhodou, při rychlém opotřebení pryžových desek (můžeme dosáhnout vyšší životnosti při pouhém otočení a prohození pružných bloků).



Během procesu není nutnost užití přidržovače. Samotná pryž tuto funkci zastoupí.

Při této metodě nedochází u ohybu k nechtěnému jevu odpružení (oproti otevřenému nástroji), ale je zapotřebí 2-3násobná síla pro provedení operace (oproti otevřenému nástroji).

Obr. 2 .4 Schéma metody Guerin [2]

Pomocí této metody lze také stříhat vnitřní otvory. Je však třeba dodržet podmínku vystřihnutí díry. Pracovní síla F_p musí být větší než síla střížná F_s , potřebná k ustřížení materiálu.

Pomocí vztahu (2.2) je vypočítána pracovní síla.

$$F_p = q \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} > \pi \cdot d \cdot s \cdot \tau_s = F_s \quad (2.2)$$

- q – pracovní tlak
- d – průměr stříhaného otvoru
- s – tloušťka plechu
- τ_s – mez pevnosti ve smyku

Mezi výhody této technologie patří především: snadné seřízení, univerzální metoda, poměrně levná, nedochází ke zvlnění na výtažku.

Jako nedostatky metody lze zdůraznit: omezení pracovní tloušťky (ocel do 1mm, dural do 2mm), velký odpad, nutnost obrysového frézování jako dokončovací metoda (pro odstranění otrhaných okrajů), metoda je prováděna na velkých lisech.

Tato metoda je univerzální, jednoduchá a poměrně levná, přesto je použitelná jen pro kusovou výrobu z důvodu rychlého opotřebení. Jako další nedostatek musíme připočítat nutnost velkého lisu.

Technologie Guerin je v praxi využívána převážně v leteckém vesmírném průmyslu. Ve Spojených státech se výrobou lisů pro tuto technologii zabývá například firma Beckwood press CO. Jejich lis o síle 310 tun, specializovaný pro tváření metodou Guerin, je zobrazen na obr.2.5.

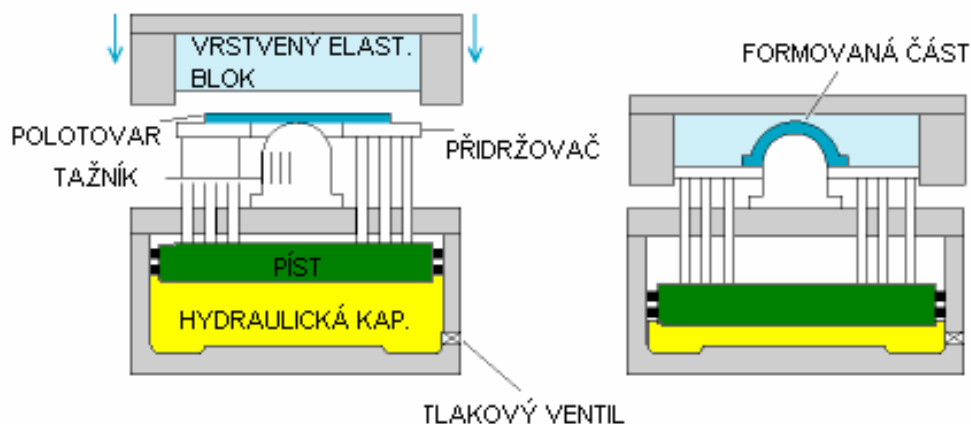


Obr.2.5 Lis Beckwood 310 [2]

2.1.4 Metoda Marform [1,8,14]

Vznikla odvozením metody Guerin za použití přidržovače. Rozdílné je také množství pryže – je alespoň 3x větší, než je výška výlisku – z důvodu zabránění rychlému opotřebení a ztráty elasticity u pryže. I forma pryže je odlišná – u metody Guerin se pro stříh využívá několika bloků, zde je užit monoblok, pro lepší podmínky při hlubokém tažení.

Tato metoda je vhodná pro hluboké tahy – využívá přidržovače, ten je řízen hydraulicky pomocí přepouštěcího ventilu, který reguluje přítlačnou sílu v závislosti na zdvihu. Stejně jako u předešlé metody zde nedochází k odpružení nebo zvlnění. Další výhodou je nižší součinitel tažení.



Obr. 2.6 Schéma metody Marform [1]

Proces tažení probíhá ve třech fázích. Nejdříve se polotovar ve formě plechu vloží na tažník s přidržovačem. V první fázi se tažnice pohybuje dolů až k taženému materiálu, dokud síla elastomeru na polotovar nedosáhne hodnoty požadované přidržovací síly. V druhé fázi tažnice stále sjíždí hlouběji, přičemž dochází k tažení výrobku. Po dotváření tažnice vyjede do horní úvrti a zařízení lisu vytlačí přidržovač do původní polohy.

Metoda je využívána v kusové nebo malosériové výrobě, protože při vyšším množství výrobků se vyplatí investice do konvenčních nástrojů, které mají vyšší životnost.

Tato metoda je tedy vhodná pro výroby prototypů, díky její nízké ceně a levnější údržbě. Je preferovaná pro tažení rozměrnějších tenkostěnných výtažků – při vývoji automobilové karosérie nebo vesmírného leteckého průmyslu. Užívá se také při nutnosti zachování neporušeného povrchu součástí – kdy nedochází k poškození povrchu díky kontaktu s pryží. Proto se užívá při výrobě rozměrnějších reflektorů, nádob.



Obr.2.7 Hydraulický lis Loewy [8]

Užití v praxi je omezeno potřebou velkokapacitních lisů s hydraulickým zařízením pro správnou funkci přidržovače. Na obr 2.7 je vyobrazen lis o síle 6500 tun zhotovený pro tažení metodou marform. V dnešních dnech je zařazen do internetové aukce za 575 tis. dolarů, podobně jako mnoho dalších zařízení stejného typu. Proto není v tuzemském průmyslu široce zastoupen.

2.2 Tváření kapalinou [1,6,10, 14]

Ke tváření se užívá kapalného média – vody, oleje nebo emulze. Technologie je nazývána plošně Hydroforming.

Nedávný průzkum ukázal, že hydroforming zaujímá centrální část průmyslové produkce komponentů v automobilovém zásobovacím sektoru. Nicméně to není jediný průmysl, ve kterém tato technologie projevuje progresivní růst. Příklady ostatních sektorů těžících z výhod hydroformingu jsou nábytkové, topnářské a zdravotnické zařízení. Přesto zůstává řídicím průmyslem ten automobilový, kde užití hydroformingu neustále expanduje.

Různé využití hydroformingu pro širokou škálu produktů značí, že tento proces se již ustálil v mnoha různých formách technologií. Geometrické tvary, které mohou být vyráběny, najdou široké využití pro komponenty určené pro řídicí soustavy, výfuky, nápravy, dokonce části motorů a spodní části karosérie u automobilů.

Stejně jako snížení množství energie a potřebného materiálu, hydroforming umožňuje úspory v oblastech spojovacích operací, realizaci forem optimalizovaných pro konkrétní aplikaci a realizaci nových koncepcí designu.

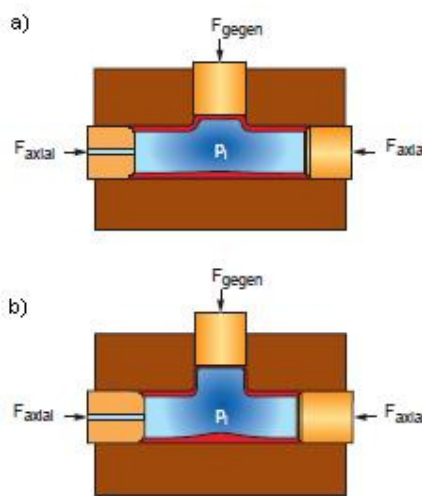
Jeho největší výhodou oproti elastomerům je možnost regulování tlaku v průběhu procesu. Jako další výhodu lze uvést prakticky nejlevnější nástroj, bez nutnosti seřizování.

Druhy tlakových médií s pracovními tlaky v příloze tab.5.

Další výhodou je rozložení tlaku po výtažku. Je rovnoměrné ve všech místech – tak jako v kapalině. Tím se snižuje riziko vzniku defektů v důsledku napěťové špičky.

Mezi nevýhody patří výrobní časy, které narůstají v důsledku poměrně pomalého nárůstu tlaku v kapalině, oproti ostatním metodám tažení. Obecně platí – čím složitější dílec, tím vyšší tlak.

Jako jednoduchý příklad tváření kapalinou je uvedeno tváření trubek. Na obr.2.8. Proces začíná napuštěním dutého polotovaru kapalným médiem. Poté jsou dva axiální ventily uzavřeny. Následně je dovnitř přiváděna další kapalina pod tlakem skrz vyvrtané otvory. V tu chvíli začíná proces tváření, kdy se zvyšuje tlak uvnitř kapaliny. Součást je poté kalibrována v další fázi pro dosažení finálního tvaru.

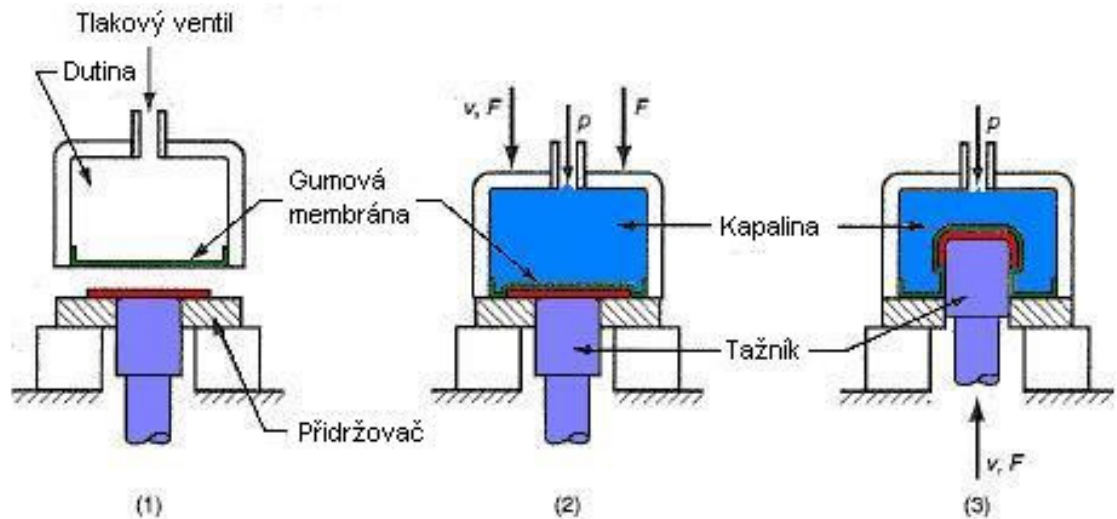


Obr.2.8 Tváření kapalinou [6]

2.2.1 Metoda Hydroform [1, 6,10, 14]

Je podobná metodě Marform, užívané pro hluboké tažení. Pryž je nahrazena nádobou s kapalným médiem, která má spodní část uzavřenou tenkou gumovou membránou. Touto technologií je možné formovat vnitřní i vnější díly sestavy zároveň v jednom kroku – a také jediným nástrojem. Z toho vyplývá značná úspora při fázích výroby, ceně nástroje a proto i celkové ceně výroby.

Proces probíhá v následujícím pořadí – horní rám s kontejnerem naplněný médiem sjede na přídržovač. Tím se vyvodí přídržovací síla na gumovou desku. Poté tažník - forma - zajede do kontejneru. Takto získáme počáteční tvar výtažku. Pomocí čerpadla zvýšíme tlak v kapalině – ten se přeneše na tvářený polotovár – tím docílíme dotvarování, popřípadě kalibrace výtažku.



Obr.2.9 Schéma tváření metodou Hydroform [1]

Mezi výhody metody patří nízký součinitel tváření, nezvlněný a nepotrhaný povrch součásti. Lze tvarovat i těžce tvařitelné materiály. Nevýhodou je nutnost výbavy speciálního zařízení a fakt, že metoda slouží pro dílce menších rozměrů.

Jako ukázkou technologie uvedeme konkrétní příklad - "B" sloupku z rámu automobilu. Ten se skládá z vnitřních a vnějších prvků. Nejprve je vytvořen model součásti a nasimulován proces. V našem případě bylo použito modulu bonnet

v měřítku 1:2.5, který je vyobrazen na obr. 2.11. Poté byl díl vyroben za užití konvenčních metod a pomocí metody hydroform. Při užití druhé metody jsme docílili snížení výrobní ceny o 15%, počet užitých nástrojů byl snížen ze 12 na 7.



Obr.2.10 sloupek automobilu [6] Obr.2.11 model sloupku [6]

Tím se také zkrátil pracovní čas. Tuhost komponentů byla navýšena o 20% při dosažení menšího odpružení. Pro lepší ekonomické výsledky je technologie hydroforming používána kombinovaně s ohýbáním, stříháním a děrováním. Příkladem je německá firma

Fraunhofer IWU. Odtud také pochází výše zmíněný výtazek. Společnost se zaměřuje na design součástí a nástrojů, tvorbu pracovních nástrojů, vzorků a prototypů. I produkci v malých sériích.

K tomu využívají lisu pro hydroforming SHP 50 000 vyrobený ve firmě Schuler Hydroforming GmbH & Co. KG zobrazeném na obr.2.12.



Obr.2.12 Lis SHP 50 000 kN [6]

2.2.2 Thermal-supported Hydroforming [6]

V podniku Fraunhofer IWU také vyvíjejí novou modifikaci metody hydroform zvanou Temperature-supported hydroforming. Využitím teploty jako jednoho z pracovních parametrů se snaží dosáhnout lepší tvárnosti a tím získat lepší potenciál přetvořitelnosti u lehkých materiálů jako jsou magnezium a aluminium.

Modifikace umožňuje kombinovat potenciál s výhodami tvářecích technik založených na aktivních médiích, jako jsou – tvorba geometricky komplexních komponent, realizace vysokého stupně tváření a pozitivní výsledek na vlastnostech finálního výrobku.

Ve společnosti Fraunhofer IWU v Chemnitz navrhli a sestrojili mobilní topnou jednotku pro vytvoření potřebné teploty pro hydroforming viz. Obr.2.13.

Užitím odděleného okruhu je jednotka schopna vyhřát používané médium na teplotu 330°C a vygenerovat tlak o velikosti 800 bar. Nicméně nejvyšší teplota je zatím nastavena na 280°C, kvůli limitovaným možnostem termálních olejů.



Obr.2.13 Výrobek T-SH [6]



Obr.2.14 Mobilní vyhřevná jednotka [6]

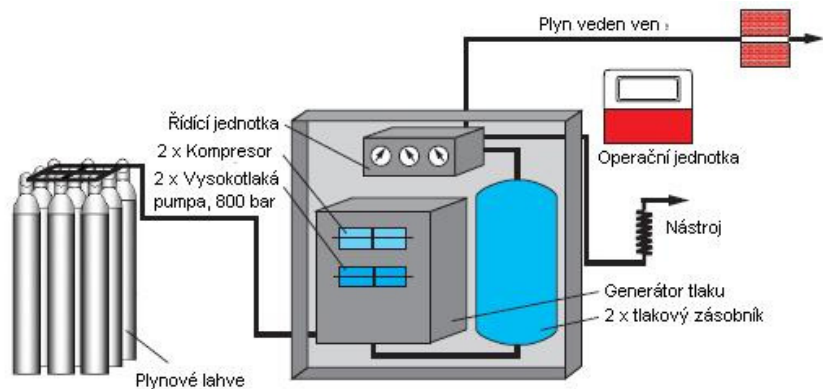
Využití kapalného média pro TSH je tedy limitováno teplotou pod 300°C a je vhodné pro lehké kovy kvůli specifickým chemickým a fyzikálním vlastnostem termálních olejů.

Ve snaze využít pracovní teploty nad touto hranicí a tím značně zvýšit tvárnost a s tím spojené způsobilosti lehkých kovů jako hliník a titanium je třeba využít plynná média.

Užitím plynných tvářecích médií jako jsou dusík a argon, je možné dosáhnout pracovních teplot do 1000°C v pracovním prostoru. Tím je umožněno za nižšího pracovního tlaku garantovat nebo vytvořit výrazné pokroky pro komplexní geometrie součástí, dostupné stupně tvařitelnosti a dodržení specifikací u finálního výrobku.

Pro zajištění potřebného tvářecího tlaku byl vyvinut a zbudován za spolupráce s firmou Maximor generátor stlačeného plynného média – schéma systému na obr.2.15. Z pohledu ovládání je tento systém kompatibilní s lisem SHP 50 000 a umožňuje tváření komplexních procesů při tlaku do 800 barů.

Na základě úspěšných experimentů s termal-supported hydroforming za použití plynných médií byl proces dále vyvíjen. Integrovaním generátoru stlačeného média do existujícího lisu SHP 50 000 ve společnosti FraunhoferIWU bylo umožněno po experimentálních zkouškách zajištění chodu zařízení v sériové výrobě.



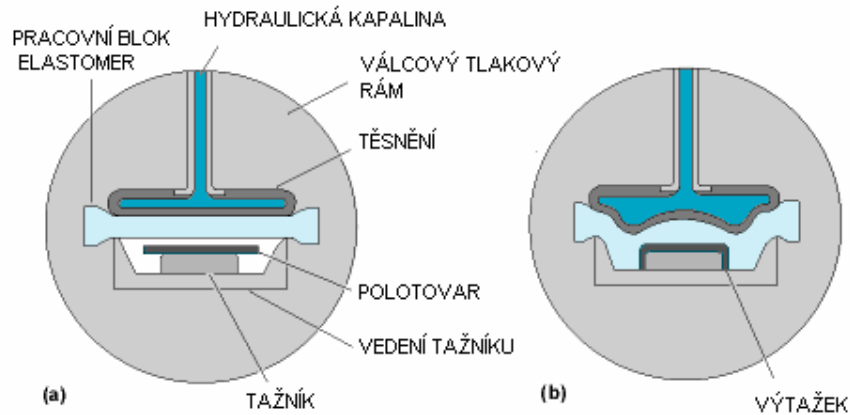
Obr.2.15 Generátor stlačeného plynného média [6]

V budoucnu se vývoj zaměří na

- redukcii hluku a emisí
- odstranění vazby stroj a nástroj
- zvýšení efektivní tvářecí teploty nad 1000°C

2.2.3 Metoda Wheelon [1,4,14]

Známý také pod názvem Verson-Wheelon byl vyvinut z metody Guerin. Užívá vyššího tlaku a je navržen primárně pro tváření mělkých součástí, užitím elastomerového bloku jako zápustky, nebo tažníku. Pružné články s hydraulickou tekutinou působí silou na pomocný elastický blok, který následuje kontury zápustky a vyvíjí tlak o téměř stejné velikosti ve všech bodech. Rozložení tlaku po stranách formy umožňuje tváření širších přírub než je tomu u procesu Guerin. Složitější součásti s ostrými detaily z materiálů jako jsou hliník, nízko uhlíkové oceli, nerezové oceli, tepelně odolné slitiny a titanium mohou být formovány v jediné operaci. Orville Albert Wheelon (Červen 12, 1906 – Leden 9, 1966) byl letecký inženýr, který tento proces vynalezl a jako jeden z prvních užil titanu v moderním leteckém průmyslu.



Obr.2.16 Schéma metody Wheelon [1]

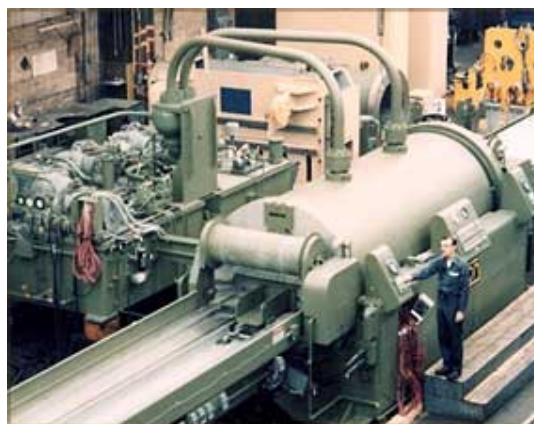
Wheelon lisy využívají zápustek z hliníku nebo nerezové oceli pro komplexnější tvary. Ty jsou umístěny ve vyjímatelném zásobníku. Přes ně jsou pokládány polotovary ve formě plechu. Na okraje polotovaru se pokládají podložky pro zmírnění ostroty okrajů výtažku. Poté je zásobník umístěn do tlakové komory. Zde jsou umístěny flexibilní komory s vysokotlakou hydraulickou kapalinou. Při zvýšení tlaku buňky expandují a proudí směrem dolů. Blok elastomeru následuje obrys zápustky viz.obr2.16b.

Na všech místech působí na polotovar stejný tlak. Při dosažení potřebného tlaku polotovar doslova obalí zápustku. Poté se tlak v kapalině sníží a veškeré elastické komponenty se vrátí do původního stavu.

Touto metodou lze zpracovávat polotovary z hliníku, titanu, nerezové oceli a dalších slitin. Dokončovací procesy často nejsou třeba díky vysoké kvalitě tažení.

Provádí se na speciálních hydraulických lisech typu Wheelon obr.2.17.

Využívá se především v leteckém průmyslu, např. Sikorsky Aircraft Corporation vyrábějící letouny a helikoptéry.



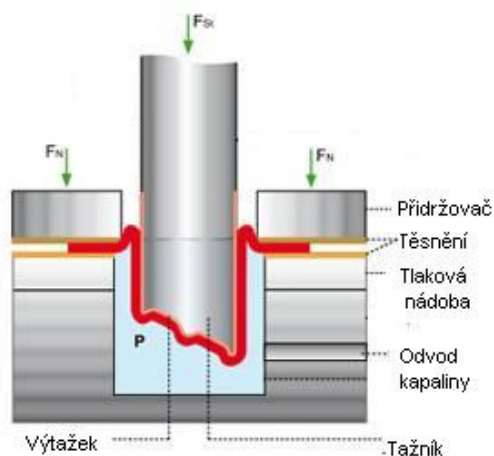
Obr.2.17. Wheelon lis firmy Sikorsky Aircraft plant [4]

2.2.4 Hydromechanické tažení [5,8,14,15]

Technologie hydromechanického tažení kombinuje prvky konvenčního hlubokého tažení a tváření kapalinou. Díky tomu je široce užívanou technologií v automobilovém a leteckém průmyslu. Při tomto procesu tažník deformuje materiál do jeho výsledného tvaru pohybem proti kontrolované stlačené kapalině. Je možné zhotovit hluboké duté nádoby, rotační i nerotační tvary, zpravidla s přírubou.

Hlavní částí je tažná komora. Ta představuje tažnici. Její vnitřní část – dutina je plněna pomocí hydraulického obvodu vodní emulzí. U tažné hrany je nutné těsnění, aby zabránilo úniku emulze během procesu. Přístřih plechu je založen na zakládací rovinu. Jeho spodní strana se dotýká hladiny kapaliny v tažné dutině.

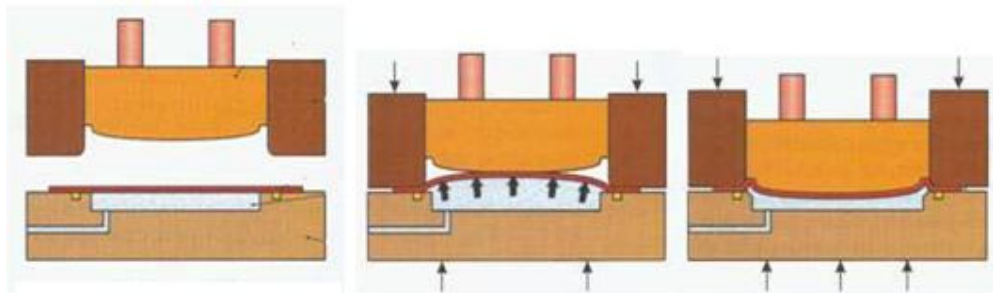
Po usazení přídržovače, upnutého na vnější část lisu, sesoustava uzavře a utěsní. Spuštěním tažníku na plech a jeho vnikem do dutiny tažnice dojde k nárůstu tlaku v kapalině a tím i tvarování plechu při jeho nabalování na tažník. Tlak se zvyšuje dokud není dosaženo konečného tvaru součásti. Pomocí regulačních ventilů se přebytečná kapalina vypouští z tažné komory pod nastaveným tlakem. Ten je během procesu upravován pomocí programovatelného hydraulického obvodu.



Obr.2.18 Schéma HMT[8]

Metoda je vhodná pro výlisky o větších rozměrech. Díky rozložení tlaku na celou plochu výlisku lze tvářet složitější dílce. Kuželové a sférické tvary lze táhnout v jediném kroku.

Mezi výhody se řadí možnost tažení tvarově složitých dílců, malá změna tloušťky stěny, při tažení nedochází k poškození povrchu materiálu, a možnost tažení hlubokých výtažků při menším počtu tažných operací.



Obr.2.19 Proces Hydromechanického tažení [15]

Z nevýhod lze vyčíst nutný vysoký přidržovací tlak, nízkou produktivitu a nutnost užití speciálních nástrojů a lisů.

Tlaková kapalina během procesu zamezuje ztrátě stability v oblasti nepřidržované plochy při optimálním tlaku. To je výhodné pro výtažky s tvarovým dnem. Kapalina také eliminuje vliv zaoblené hrany tažnice. Díky tomu se zmenší potřebná síla o hodnotu tření a ohybu na hraně tažnice. Díky postupnému nabalování přístřihu na tažník nevzniká nadměrné zeslabení plechu, ani praskliny v plášti, či na dně příruby.

Nevýhodou je potřebná síla při tažení. Oproti konvenčním způsobům musí být navýšena o velikost protitlaku kapaliny.



Obr.2.20 Výtažky z lisu ATP [5]



Obr.2.21 Lis firmy APT [5]

Technologie je široce užitá v mnoha odvětvích průmyslu, avšak hlavní oblastí zůstává letecký a automobilový průmysl. Výrobou strojů pro hydromechanické tváření se zabývá společnost HMT – Hydromechanical Deepdrawing se sídlem v Německu. Tuto technologii užívají díky mnoha výhodám – jako je koeficient hlubokého tažení β větší než 4,2, výborná kvalita povrchu bez známek tažení a bez zúžení stěny výtažku.

Díky těmto vlastnostem se dá využít technologie v oblastech výroby prototypů, v malých a středních sériích od 5000 do 100 000 kusů, pro díly s požadavkem na vyšší kvalitu povrchu

a křehké materiály. Je vhodná pro výtažky se šířkou stěny do 10 mm a lze zpracovat materiály jako molibden a titan.

Metoda je využívána také při testech funkčnosti nebo při zkoušce sestavitelnosti dílů díky jednoduché a ekonomické konstrukci nástroje.



Obr.2.22 Příklady výtažků provedené firmou HMT Technology [8]

3 TVÁŘENÍ VYSOKÝMI RYCHLOSTMI [12,13,14,17]

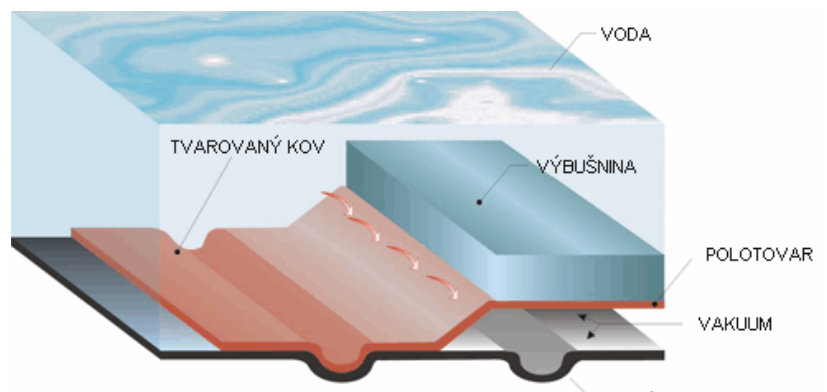
Nazývané také jako tváření vysokými energiemi, parametry, výkony. Při tomto druhu tváření je pohybová energie dodávána nástroji nebo přímo tvářenému materiálu. Jako zdroje této energie slouží chemické látky (trhaviny, vysoce výbušné směsi), elektrická zařízení (magnetické pole, jiskrový výboj), a pneumaticko-mechanické lisy (využívající expandující plyny).

Při tváření vysokými rychlostmi je dílec zatěžován dynamicky. V důsledku odlišnosti zátěže od konvenčního způsobu se také jedná o jiný princip tváření. Deformačním mechanismem pro plastickou deformaci není skluz, ale dvojčatění. Uvnitř materiálu také vznikají setrvačné jevy, které byly při konvenčním tváření zanedbatelné. V průběhu tvářecího procesu vzrůstá teplota, proto se označuje jako proces adiabatický. Pro orientaci uvedeme rozdíl tvářecích rychlostí mezi konvenčními a nekonvenčními metodami. U klasického kování se užívá rychlosti bucharu 10 ms^{-1} , u rychloběžného je to už $15\text{-}60 \text{ ms}^{-1}$. Při tváření výbuchem se podle užití výbušné směsi dosahuje $10\text{-}250 \text{ ms}^{-1}$ (viz tab.č7. příloha).

Díky dosažení vysoké plasticity materiálu lze vyrábět přesné součásti spolu s kalibrací tvaru a to s přebytkem energie. Základní metodou pro tváření vysokými rychlostmi je metoda tváření výbuchem.

3.1 Tváření výbuchem [12,14,17]

První využití této technologie je starší než 100 let. Výrazný rozvoj přišel za 2. světové války, kdy bylo financováno mnoho projektů zaměřených na vývoj torpéd a jiných zbraní zaměřených proti obrněným strojům.



Obr.3.1 Schéma tváření výbuchem [17]

Po ukončení války se americké letecké vesmírné společnosti staly vedoucím článkem ve vývoji tváření výbuchem a byly to především společnosti Rocketdyne, Aerojet General Corporation a Ryan Aeronautical.

Při tváření je práce nástroje nahrazena účinkem tlakové vlny vyvolané řízenou explozí. K explozi se užívá různých druhů náloží (nejčastěji semtex, který je vodě-odolný). K odpálení nálože je nutná rozbuška. Tlaková vlna může působit přímo na tvářený materiál, nebo je přenášena pomocí média. Nejčastější médium je voda, užívají se také písek, vzduch a oleje. V tuzemsku využívají této technologie především firmy Syntesia, Vítkovice, Poldi, Chepos.

Explosivní tváření je užíváno k výrobě dílů obtížně zhotovitelných konvenčními technologiemi. Vlastnost rychlé tvorby prototypu s vysokým stupněm přesnosti je velkou výhodou ve strojírenství. Nicméně tváření výbuchem není vhodná náhrada za konvenční techniky tváření ve větším objemu.

V dnešní době se tváření výbuchem využívá k tvorbě prototypů a malých sérií v letecko vesmírném průmyslu (trupy, motory, výzkum a vývoj) a také ve vojenském průmyslu.



Obr.3.2 Užití TV v oblasti architektury [5]

Příkladem je společnost Exploform B.V. využívající explozivní tváření v oblastech umění (komplikované tvary nezpracovatelné konvenčními metodami), architektury (pláště budovy z kovových slitin obr.3.2), vesmírném leteckém průmyslu (kryty motoru, tlakové nádoby pro pohonné látky, plynové turbíny) a energetickém průmyslu – výrobě částí plynových turbín z obtížně zpracovatelných materiálů na obr.3.3



Obr.3.3 Trubína firmy Exploform B.V. [5]

Hlavní parametry pro výbuchové tváření jsou :

- hmotnost a tvar nálože (sférické – ty jsou univerzální, válcové – tváření trubek, ploché – tvarování části výlisku)
- vzdálenost nálože od tvářeného předmětu a od stěn hraničního prostředí H
- přenosové médium

Tváření výbuchem plynových směsí je metoda tváření určena pro tenkostěnné výrobky menších rozměrů. Vyžaduje masivní zápusť složitě konstruovanou. Jako palivo slouží vodík, metan, propan butan. Palivo je ředěno inertním plynem (helium, argon, dusík, kyslík, uhlíkový) a mícháno s okysličovadlem (kyslík, vzduch).

Tato metoda není v praxi příliš rozšířena.

3.1.1 Tváření střeliviny a trhavinami [12,14,17]

Trhavinny a střeliviny jsou charakterizovány následně dle:

- výbuchového tepla (množství energie v 1 kg trhaviny [$\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$])
- detonační rychlosti (rychlost průběhu chemické reakce [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$])
- relativní pracovní schopnosti (RPS – součinitel účinnosti oproti účinku želatiny Nitroglykoli [%])

Střeliviny se vyznačují nižší rychlostí hoření oproti plynovým směsím (zhruba do 2000 ms^{-1}) a také nižším detonačním tlakem (zhruba do 2 GPa).

Díky tomu může být využit pomalejší vývin tepla ze střeliviny pro temperování součástí.

Pomocí této metody jsou tvářeny dílce menších rozměrů.

Parametry trhaviny užívaných pro tváření výbuchem lze najít v příloze – Tab. 7. Trhavinny značky Semtex dosahují výbuchového tepla od 1380 kJkg^{-1} do 3510 kJkg^{-1} o detonační rychlosti 1900 ms^{-1} až 3950 ms^{-1} . Nejvýkonnější trhavina nese název Pentrit (6169 kJkg^{-1} , 8000 ms^{-1}).

Jako nejčastější médium je volena voda nebo písek. Velikost nálože se určuje dle velikosti energie potřebné pro přetvoření součástí proti energii uvolněné hmotností nálože.

Je také třeba počítat se ztrátami při chemické reakci a při přenosu energie prostředím.

Ztráty se dají vyjádřit pomocí účinnosti:

$$\eta_c = \eta_{ch} \cdot \eta_{ch} \cdot \eta_d \quad (3.1)$$

kde η_c , η_{ch} , η_p , η_d jsou účinnosti celková, chemická, přenosu a deformační.

Účinnost metody je nižší 10%.

Tváření výbuchem může probíhat i postupně, vyvozený tlak nesmí dosáhnout kritické hodnoty. Tváření výbuchem je vhodnou technologií pro kusovou výrobu nadměrných součástí, které nelze vyrobit na konvenčních strojích nebo pro prototypy těžce tvařitelných materiálů.

zdroj energie	působení tlaku na polotovaru	druh polotovaru	
		plochý	prostorový
Plynné směsi a)hořící plyn b)kyslík	prostřednictvím kapaliny		
	bezprostředně		
	prostřednictvím pístu		
Střeliviny	bezprostředně		
	prostřednictvím kapaliny		
	pevným nástrojem		
Trhavinny	bezprostředně		
	prostřednictvím vzduchu		
	prostřednictvím kapaliny		
	sykým prostředím		

Obr.3.4 Klasifikace metod tváření výbuchem [12]

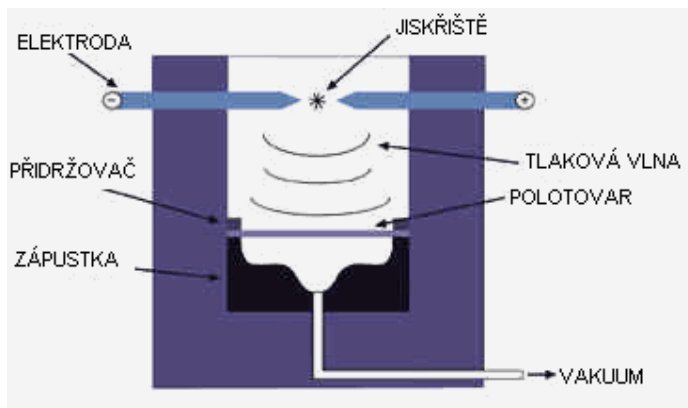
3.2 Elektrohydraulické tváření [3,10,12,14,18]

Elektrohydraulické tváření (dále jen EHT) je vysokorychlostní metoda plošného tváření. Byla rozsáhle studována od padesátých do sedmdesátých let. Výhody byly objeveny již ve čtyřicátých letech a byly využity v leteckém vesmírném průmyslu. Pár větších výrobců vyvinulo a sestrojilo stroje pro vlastní potřeby. Ale dnes je tato metoda užitá v průmyslu jen zřídka, i když má oproti konvenčním metodám řadu výhod.

Vybitím kondenzátoru v kapalině uvolníme elektrickou energii pomocí výboje. Tím vyvodíme tlakovou vlnu. V kulové tlakové vlně dosahuje v intervalu 10^{-6} sec amplituda tlaku až 10^5 MPa. Polotovár který je v kontaktu s pracovním médiem (voda nebo olej), je tlakovou vlnou deformován do tvaru zápusky. Tímto způsobem lze provádět vybulování plechu a trubek, lemování, tažení a děrování. Polotovár je formován rychlostí až 200 ms^{-1} .

Způsoby uvolnění výboje:

- mezi dvěma elektrodami (svíčkou, přes jiskřiště) - vhodný pro opakované impulsy
- přes explodující drátek.



Obr.3.5. Schéma elektrohydraulického tváření [3]

Elektrohydraulické tváření je variantou již zmíněné metody tváření výbuchem.

Základní rozdíl mezi těmito metodami je ve zdroji získávané energie a možnosti opakování procesu. K vytvoření stejného množství energie jsou zapotřebí velkých kondenzačních zásobníků, oproti podstatně menšímu množství výkonné trhavy.

Díky tomu je EHT vhodné pro velké výtažky.

Na druhou stranu byla tato metoda mnohem lépe uzpůsobena pro automatické řízení díky jednoduchému opakování procesů pomocí částečného vybití.

V roce 1960 se ve Spojených státech zabývaly 3 podniky výrobou elektrohydraulických systémů, ale do roku 1980 všechny podniky přerušily provoz. V dnešní době je tento systém tváření užíván zejména v leteckém vesmírném průmyslu. Nicméně tato technologie se nikdy široce nerozšířila.

Nutnost objemné nádrže na kapalinu a potřeba výměny elektrod zanechala tuto metodu více problematickou, než elektromagnetické tváření.



Obr.3.7 Testované vzorky na soustavě z obr.3.6 [3]



Obr.3.6 Soustava pro experiment s EHT [3]

3.2.1 Výboj přes jiskřiště [3,10,12,14]

Tlaková vlna vzniká v místě zvaném jiskřiště. Velikost tlaku je dána velikostí vybité energie, indukčností, délkou pracovního jiskřiště a geometrií elektrod (počtu a rozložení).

V procesu vznikají ztráty energie, proto musíme celkovou energii vloženou do procesu navýšit o tyto ztráty. Toho dosáhneme pomocí vztahu:

$$W_E = 1/2CU^2 = \eta_{\text{celkové}} W_{\text{def}} \quad (3.2)$$

W_E energie nahromaděná v kondenzátoru

C – kapacita [F]

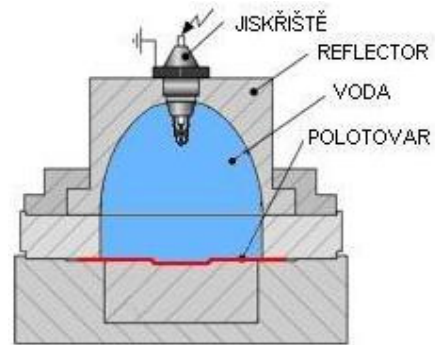
U – napětí [V]

$\eta_{\text{celkové}}$ je součinem účinností výboje η_E , přenosu η_t a účinnosti deformační η_d .

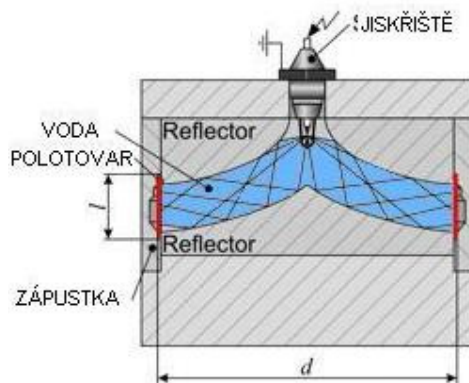
Tlak v čele rázové vlny je funkcí $p = f(W_E, \text{indukčnosti, pracovní délky jiskřiště, geometrie elektrod})$.

Zařízení pro tuto metodu obsahuje zdroj a technologický blok. U rozměrnějších součástí a dílců se složitější geometrií lze vlnu koncentrovat reflektory. To jsou části tlakové komory tvarově uzpůsobené k usměrnění tlakové vlny do potřebných míst, obr.3.9.

Typy kapalného prostředí dělíme na prostředí s vysokou vodivostí – např. roztoky soli. U těchto roztoků stačí malé napětí k proražení toku elektrického proudu mezi elektrodami, což vyvolá přeměnu kapaliny v páru a tím daný vznik tlakové. Druhým typem je prostředí s nízkou vodivostí – čistá voda. Výboj je zde závislý na velikosti napětí a vzdálenosti elektrod v jiskřišti.



Obr.3.8 EH tváření přes jiskřiště[10]



Obr.3.9 Užití reflektorů ke koncentraci vlny. [10]



Obr.3.10 Elektrohydraulický lis HDEP vyráběný firmou Ari-Hetra [10]

V dnešním Rusku se vyrábí elektrohydraulické lisy PEG25,60,100 a UEGO 100 a 150.

Čísla v názvu uvádějí danou nebíjecí energii v kJ.

V USA firma Cincinnati vyrábí stroje s energetickou hodnotou 150kJ

3.2.2 Výboj přes explodující drát [3,10,12,14]

Liší se od předchozí metody přemostěním jiskřiště pomocí drátku. Drát se taví a vypařuje, tím zvyšuje tlakové působení náboje. Je možné drátem tvarovat dráhu výboje, ale jen do určité míry (lépe jsou využitelné reflektory uvedené výše). Při užití tohoto druhu výboje je třeba menšího napětí než u předchozí metody.

Pomocí drátku lze přemostit jiskřiště a tím získat tyto výhody:

- páry odpařující se z drátu zvyšují tlak
- lze směřovat postup vlny
- vyšší účinnost při menším napětí

Nevýhodou je nutnost opětovného vkládání nového drátku po každém výboji.

Koncem roku 2008 vznikl projekt na rozšíření elektrohydraulického tváření v americkém automobilovém průmyslu. Ten ročně vyprodukuje přibližně 17 milionů vozidel. Každé z vozidel obsahuje přibližně 290 kg ocelových plechových dílů. Ke zpracování takového množství materiálu pomocí konvenčních metod je třeba stále více energie a často vyžadují více kroků ke zhotovení. Díky odolnějším materiálům také narůstá množství energie nutné pro zpracování takových materiálů pomocí konvenčních metod.

Cílem projektu je vyvinutí EHT procesu vhodného pro plošné tváření v automobilovém průmyslu, který by redukoval rostoucí spotřebu energie a emise oxidu uhličitého. Projekt je veden v rámci Ministerstva energetiky U.S. a partnery Ford Motor Company, IAP Research, United States Steel Corporation, Pacific Northwest National Laboratory.

3.3 Elektromagnetické tváření [9,12]

Elektromagnetické formování je jedinou vysoce rychlostní tvářecí technologií přijatou v komerčním kovo zpracování. Bylo užíváno ve výrobě posledních 30 let v USA. Většinou plnilo roli technologie pro spojování a montáž koncentrických součástí.

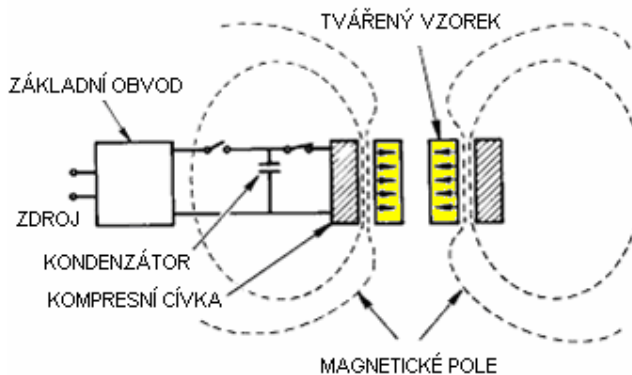
Díky minimálnímu zpětnému odpružení, dosaženému díky vysoké rychlosti tváření, je metoda vhodná pro spoje vysoké kvality s hlavním využitím v automobilovém průmyslu – nádrže olejových filtrů.

Princip metody (patent z USA 1958) spočívá ve využití odpudivých sil dvou magnetických polí.

Kondenzátorová baterie je vybita v průběhu 10 – 100 ms přes indukční cívku, v důsledku čehož vzniká silné magnetické pole.

V materiálu vloženém do tohoto pole se začíná indukovat proud, který si vytvoří vlastní magnetické pole.

Obě pole se navzájem odpuzují, přičemž se dosahuje tlaků v řádech 1000MPa, tím se formuje polotovár do tvaru zápustky.

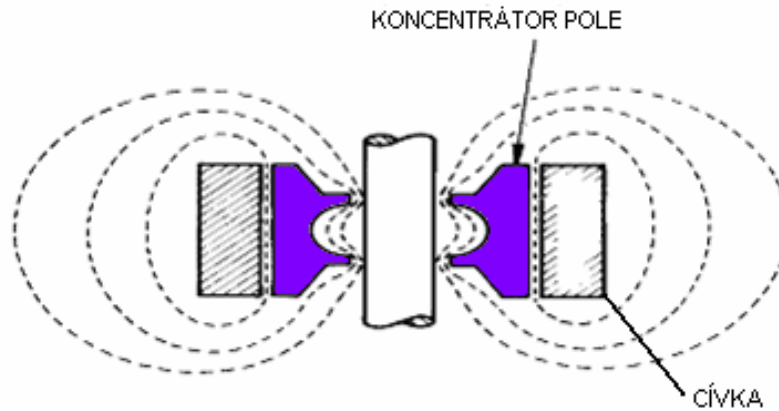


Obr.3.11 Schéma elektromagnetického tváření [12]

Tlak na součást je vyvozený jen magnetickou silou a odporovou silou zápustky. Tím se získá neporušený povrch výrobku, který se jen velmi obtížně docílí jinou metodou tváření.

Technologie je založena na bázi magnetických polí – díky tomu je vhodná pro analytické a numerické modelování.

K usměrnění magnetického pole do potřebných míst se užívají tzv. koncentrátory – obdoba zápusky. Součást, která ovlivní tvar magnetického pole. viz obr.3.12.



Obr.3.12 Využití koncentrátorů k usměrnění mag. pole [12]

Výhody metody

- technologická pružnost (díky různým tvarům koncentrátorů)
- jednoduchost
- spolehlivost
- malá hlučnost
- rovnoměrné tlaky i při vyšších řádech MPa
- hmotnost zařízení.

Nutnost vodivosti tvářeného materiálu lze nahradit obalem nebo unašečem.

Tuzemské země disponují stroji YEM 7 a YEM 30 (kJ) s produktivitou 4ks/min.

Americká firma Gulf General Atomic strojem MAGNEFORM s výkonem 100kJ a 10ks/min.



Obr.3.13 Díly vytvořené elektromagnetickým tvářením [9]

4 ZÁVĚRY

Existují nekonvenční technologie tváření pomocí nepevného nástroje a vysokorychlostního tváření. Mezi nepevné nástroje patří elastomery a kapalná média. Do kategorie vysokorychlostního tváření spadá tváření výbuchem, elektrohydraulické a elektromagnetické tváření. Pro své specifické užití nelze obecně zařadit tyto technologie do sériové či hromadné výroby. Převážná většina se využívá v kusových a malosériových výrobcích, nebo při vývoji a tvorbě prototypů. Největší zastoupení nekonvenčních technologií se jednoznačně prokázalo v leteckém, vesmírném a automobilovém průmyslu. Díky tomu nachází uplatnění zejména v zemích jako jsou USA, Rusko a Čína.

Užití tváření za pomoci nepevného nástroje v podobě elastomeru je vhodné zejména díky nejlevnějšímu nástroji, který má ale značně kratší životnost oproti konvenčním nástrojům. Proto se hodí pro výrobu malých sérií v oblasti vývoje automobilového průmyslu.

Tváření pomocí kapalného média je oproti tomu využito ke zpracování hůře tvařitelných materiálů. S možností tvorby složitějších sestav dílů v jediném kroku nachází uplatnění v automobilovém a leteckém průmyslu. Velké zastoupení má také při výrobě potrubí a armatur.

Tváření výbuchem disponuje možností formování rozsáhlých součástí za vysokého stupně přesnosti z materiálů nevhodných pro konvenční zpracování. Uplatňuje se ve vesmírném, architektonickém a energetickém průmyslu.

Metoda využívající elektrohydraulického tváření není v praxi příliš rozšířena, zřejmě díky složitějšímu řízení procesu a vyšší pořizovací ceně zařízení. Rozšíření v automobilovém průmyslu by mohl přinést úspěch projektu ze Spojených států. Tím by se snížily rostoucí energetické náklady a také redukovala produkce CO₂.

Elektromagnetické tváření pracující na bázi magnetických sil je vhodné pro analytické modelování a díky procesu bez tření je možno tvářet bez poškození povrchu součástí. Užívá se pro spoje s vysokou kvalitou, převážně v automobilovém průmyslu.

Využití nekonvenčních technologií má i v budoucnu své jisté zastoupení. S největší pravděpodobností nalezne uplatnění v neustále se rozrůstajícím automobilovém průmyslu a v oblastech, kde konvenční metody nedostačují, jako jsou vesmírné projekty, vyžadující materiály se stále vyšším potenciálem, které si vynucují speciální metody při zpracování. Nekonvenční technologie nabízejí také ekologicky příznivější možnosti tváření.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. *Accessscience* [online]. 2010 [cit. 2011-05-08]. Sheet-metal forming. Dostupné z WWW: <<http://www.accessscience.com/overflow.aspx?searchStr=Sheet-metal+forming&styp=10&topic=ENG:OTH:DESIGN&term=Sheet-metal+forming>>.
2. *Answers.com* [online]. 2011 [cit. 2011-05-08]. Sheet-metal forming. Dostupné z WWW: <<http://www.answers.com/topic/sheet-metal-forming>>.
3. BJÖRKSTRÖM, Daniel . *FEM simulation of Electrohydraulic Forming*. Stockholm, 2008. 88 s. Diplomová práce. Swerea KIMAB
4. *Enprotech* [online]. 2011 [cit. 2011-05-08]. Efficient, low-volume Verson Wheelon hydraulic fluid cell presses . Dostupné z WWW: <<http://www.enpromech.com/wheelon.htm>>.
5. *Expansor* [online]. 1990 [cit. 2011-05-08]. Dostupné z WWW: <<http://www.expansor.nl>>.
6. *Fraunhofer Institute for Machine Tools and Forming Technology IWU* [online]. 2011 [cit. 2011-05-08]. Dostupné z WWW: <<http://www.iwu.fraunhofer.de/english/index.htm>>.
7. GROOVER, Mikell P. *Fundamentals of modern manufacturing :Materials, processes, and systems*. Third Edition. Lehigh University :Hamilton Printing Company, 2007. 1015 s. ISBN-13 978-0-471-74485-6, ISBN-10 0-471-74485-9.
8. *Hydromechanical Deepdrawing* [online]. 1997 [cit. 2011-05-08]. Dostupné z WWW: <<http://www.hmt.at/>>.
9. *IAP Research, Inc.* [online]. 2001 [cit. 2011-05-08]. Dostupné z WWW: <<http://www.iap.com/index.html>>.
10. *International Impulse Forming Group IIFG* [online]. 2008 [cit. 2011-05-08]. High Velocity Hydroforming. Dostupné z WWW: <<http://iifg.org/hydroforming.php>>.
11. *KELLER, A. + E. Kaltumformtechnik* [online]. 1996 [cit. 2011-05-08]. Dostupné z WWW: <<http://www.aekeller.com/en/index.htm>>.
12. PETRUŽELKA, Jiří. *Nekonvenční metody tváření*. 1. verze. Ostrava : [s.n.], 2007. 179 s.
13. PETRUŽELKA, Jiří ; BŘEZINA, Richard. *Tvařitelnost kovových materiálů*. VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ-TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA Fakulta strojní : [s.n.], 2001. 143 s.

14. PETRUŽELKA, Jiří ; BŘEZINA, Richard. *Úvod do tváření II*. VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ-TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA Fakulta strojní : [s.n.], 2001. 115 s.
15. *Strojírenská technologie*. Fakulta výrobních technologií a managementu Univerzity J.E. Purkyně V Ústí nad Labem : [s.n.], 2007. 41 s.
16. *San Diego plastics, Inc.* [online]. 1996, 2010 [cit. 2011-05-08]. POLYURETHANE. Dostupné z WWW: <<http://www.sdplastics.com/polyuret.html>>.
17. Taran, V.; V., Vovk; A., Vovk. *Explosive Forming of Metal Blanks*. Otto-von-Guerick University Magdeburg, Magdeburg, Germany : [s.n.], 2007. 5 s.
18. *The Department of Materials Science and Engineering* [online]. The Ohio State University : 2011 [cit. 2011-05-08]. Dostupné z WWW: <<http://www.matsceng.ohio-state.edu>>.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
C	Kapacita	[F]
D	průměr stříhaného otvoru	[mm]
EHT	Elektrohydraulické tváření	[-]
F_c	Celková síla	[N]
F_p	síla potřebná ke stlačení polyuretanu	[N]
F_{Tv}	síla potřebná na přetvoření plechu	[N]
HMT	Hydromechanické tváření	[-]
q	pracovní tlak	[N/mm]
TV	Tváření výbuchem	[-]
s	tloušťka plechu	[mm]
U	Napětí	[V]
v.t.	Vlastní tvorba	[-]
W_E	Energie kondenzátoru	[J]
η_c	Celková účinnost	[%]
η_d	Účinnost deformační	[%]
η_E	Účinnost výboje	[%]
η_{ch}	Chemická účinnost	[%]
η_t	Účinnost přenosu	[%]
η_p	Účinnost přenosu	[%]
τ_s	mez pevnosti ve smyku	[MPa]