



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

KAPALINA JAKO TVÁŘECÍ MÉDIUM

THE USE OF FLUID MEDIUM IN FORMING TECHNOLOGIES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

VÍT BŘEZINA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. KAMIL PODANÝ, Ph.D.

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student: Vít Březina

který 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:

Kapalina jako tvářecí médium

v anglickém jazyce:

The use of fluid medium in forming technologies

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o zpracování literární studie moderních a speciálních technologií, které využívají pro výrobu různých součástí kapalinu jako nepevný tvářecí nástroj. Rešerše bude obsahovat základní rozdělení, principy, výhody a nevýhody. Dále zde budou uvedeny příklady součástí a jejich užití v praxi.

Cíle bakalářské práce:

Aktuální literární studie se zaměřením na metody výroby součástí prostřednictvím kapaliny se zhodnocením jejich vhodnosti či nevhodnosti a s ukázkami použití.

Seznam odborné literatury:

1. ŽÁK, Jan, Radko SAMEK a Bohumil BUMBÁLEK. 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.
2. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. Technologie tváření: plošné a objemové tváření. 2. vyd. Brno: CERM, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.
3. PETRUŽELKA, Jiří. Tvařitelnost a nekonvenční metody ve tváření. 1. vyd. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2000. 156 s. ISBN 80-7078-635-3.
4. LIDMILA, Zdeněk. Teorie a technologie tváření. Brno: RVO VA, 1994. 214 s.
5. NOVOTNÝ, Karel a Zdeněk MACHÁČEK. Speciální technologie I: Plošné a objemové tváření 2. vyd. Technická 2, Brno: Nakladatelství Vysokého učení technického Brno, 1992. ISBN 80-214-0404.

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

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/2012.
V Brně, dne 15.11.2011

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

BŘEZINA Vít: Kapalina jako tvářecí médium.

Práce obsahuje rešerši aktuálně používaných technologií využívajících kapalinu jako tvářecí či doprovodné médium. Jedná se o popis metod Hydroform, ASEA, Wheelon, Flexform, hydromechanického tažení, Pillow hydroformingu a skupiny hydroformingu vysokotlakého, nízkotlakého a postupového. Součástí práce je i rozbor používaných médií k mazání styčných ploch během procesu tváření a provozních kapalin. Studie uvádí příklady firem používajících jednotlivé technologie a ukázky jejich produktů.

Klíčová slova: kapalina, Hydroform, ASEA, Wheelon, Flexform, hydromechanické tažení, Pillow hydroforming, vysokotlaký, nízkotlaký, postupový hydroforming, olej

ABSTRACT

BŘEZINA Vít: The use of fluid medium in forming technologies.

This publication includes a research of currently used technologies with liquid as a forming or supporting medium. There is a description of methods of Hydroform, ASEA, Wheelon, Flexform, hydro-mechanical forming, Pillow hydroforming and groups of high-pressure, low pressure and pressure sequence hydroforming. The publication also includes analysis of the media used for lubrication of contact surfaces during the process of forming and operating fluids. The publication shows examples of companies which are using this technologies and samples of their products.

Klíčová slova: liquid, Hydroform, ASEA, Wheelon, Flexform, hydro-mechanical forming, Pillow hydroforming, high-pressure, low pressure, pressure sequence hydroforming, oil

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

BŘEZINA Vít: *Kapalina jako tvářecí médium*. Brno, 2012. 29 s., CD. FSI VUT v Brně, Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 10.5.2012

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

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

OBSAH

ZADÁNÍ
ABSTRAKT
BIBLIOGRAFICKÁ CITACE
ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ
PODĚKOVÁNÍ
OBSAH

ÚVOD [8], [10], [14], [18]	9
1 METODY S MEMBRÁNOU	10
1.1 HYDROFORM [20], [38]	10
1.2 ASEA [2]	12
1.3 WHEELON [4], [28], [30]	13
1.4 FLEXFORM [2]	15
2 METODY BEZ MEMBRÁNY	16
2.1 HYDROMECHANICKÉ TAŽENÍ [18], [30]	16
3 TVÁŘENÍ KAPALINOU UVNITŘ POLOTOVARU	20
3.1 PILLOW HYDROFORMING [24]	20
3.2 VYSOKOTLAKÝ HYDROFORMING [17], [35]	21
3.3 NÍZKOTLAKÝ HYDROFORMING [19], [35]	24
3.4 POSTUPOVÝ HYDROFORMING [26], [27], [30]	26
4 KAPALINA JAKO MAZIVO [7], [32]	28
5 ZÁVĚR	29

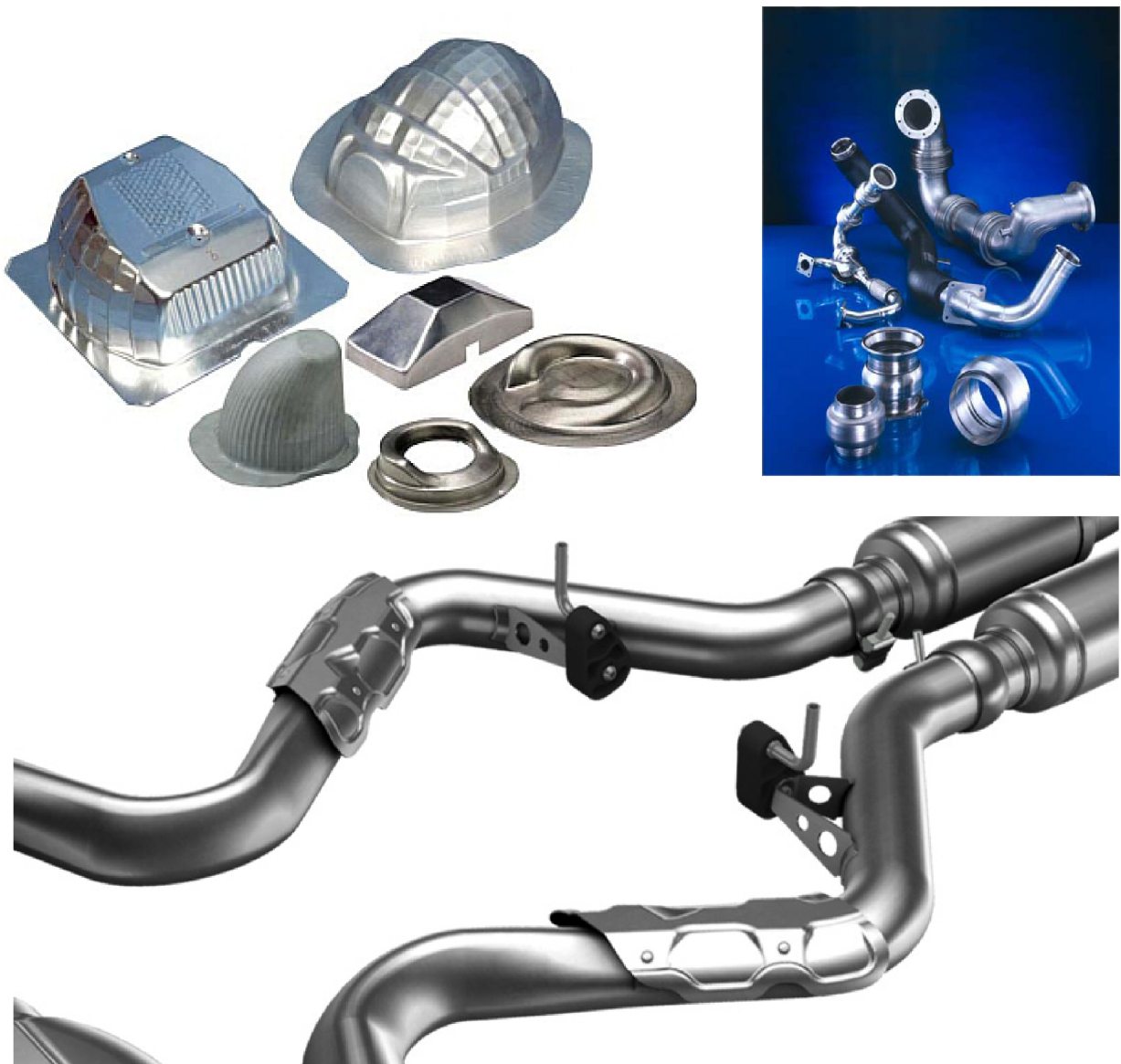
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ
PŘÍLOHY

ÚVOD [8], [10], [14], [18]

Dnešní moderní doba vyžaduje sofistikované a levné řešení technických problémů. Z konstrukčních a v neposlední řadě i designových důvodů vznikají tvarově složité součástky, které dříve nebylo možné vyrobit. Jedná se zpravidla o negativně tvarované plochy, složitě ohýbané trubkové profily a duté výrobky nepravidelných tvarů, viz obr. 1.

Složité součástky bývají drahé. Aby byla jejich sériová výroba co nejefektivnější a nejlevnější, jsou použity bezodpadové technologie, tedy nekonvenční metody plošného tváření, kdy je použito kapaliny jako hlavního, či doprovodného tvářecího média. Tyto metody lze rozdělit podle druhu těsnění kapaliny na nástroje s membránou, bez membrány a na metody, kdy kapalina vyplňuje dutinu polotovaru. Mezi základní metody nekonvenčního plošného tváření patří metody Hydroform, hydroforming, ASEA, Wheelon, Pillow forming, Flexform a další.

Kapalina také může plnit v některých procesech funkci mazadla. Vhodným mazáním lze efektivně snižovat tření při tváření, čímž se snižuje potřebná síla nutná k přetvoření materiálu a tím se snižují požadavky na zařízení a klesají tak výrobní náklady.



Obr. 1 Ukázka dílců vyrobených jednotlivými metodami [8], [10], [14]

1 METODY S MEMBRÁNOU

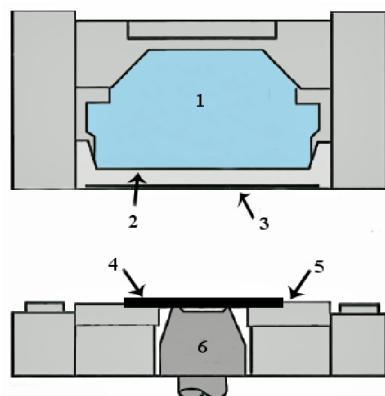
Základním kritériem pro rozdělení metod je koncept nekonvenčního nástroje, který obsahuje rám, tažník, polotovár a tažnou komoru s kapalinou, která nahrazuje pevnou tažnici. Není-li v tvářecím nástroji přístřih plechu v přímém kontaktu s hydraulickou kapalinou, je od ní oddělen membránou, viz obr. 2. Membrána tak slouží jako přenosové prostředí tvářecího tlaku kapaliny na ocelový polotovár. Její vlastnosti tak určují jaké tvary je schopna přetvarovat. Limitní bývá zpravidla nejmenší rádius na výrobku. Materiálem membrány je navulkanizovaná pryž, nebo polyuretan. Použití membrány zvyšuje těsnost soustavy.

1.1 HYDROFORM [20], [38]

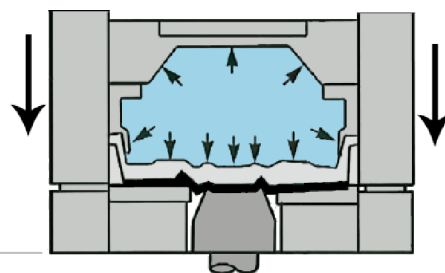
Nejstarší metodu Hydroform si v padesátých letech 20. století patentovali Fred Leuthesser a John Fox ze společnosti Schaible z města Cincinnati ve státě Ohio v USA. Impulsem k vyvinutí nové technologie byl požadavek na specifické povrchy kuchyňských doplňků, které se tak daly lépe povrchově upravovat, protože pomocí membrány lze odstranit vrypy na povrchu součásti, či je uměle vyrobit pomocí dezénu membrány. Například pochromování vyžaduje hladký povrch a smaltování právě naopak pórovitý.

Tvářecí nástroj se skládá z pohyblivého tažníku s výměnnou tvarovou částí, čím se rapidně snižují náklady na nástroj při změně dílu, a pohyblivé tažnice, kterou tvoří tlaková nádoba z jedné strany uzavřená pryžovou membránou a z druhé přepouštěcím ventilem tlakové kapaliny ze zásobníku. Princip metody umožňuje zaměňovat polohu tažníku a tažnice v lisu podle potřeby.

Při vlastním procesu přeměny plošného polotovaru na prostorový díl, viz obr. 2, vtláčuje tažník tvářený plech do pryžové membrány, která působí na kapalinu v komoře tažnice, kde vzniká hydrostatický tlak, který dovoluje deformaci polotovaru pouze podle tvaru tažníku a přídržovače, který reguluje pohyb plechu směrem do tažné komory. Polotovár je tedy tvářen tlakem kapaliny. Aby na výlisku nevznikly nežádoucí vlny, je potřeba regulovat objem kapaliny v pístu pod tažníkem a také v komoře tažnice. To znamená pod tažník napouštět a z tažnice odpouštět hydraulický olej. Tlak v komoře tažnice se plynule pohybuje v desítkách až dvou stovkách MPa. Životnost nástroje se pohybuje do 10 000 tahů a určujícím faktorem je použitý materiál membrány a druh tvářecí kapaliny. Životnost membrány lze zvýšit jejím povlakováním. Nejčastěji je použita vrstva grafitu, který maže a snižuje drsnost povrchu dílce. Na českém trhu je přední dodavatel hydraulických médií do komor tažnic firma Lubricant s.r.o.

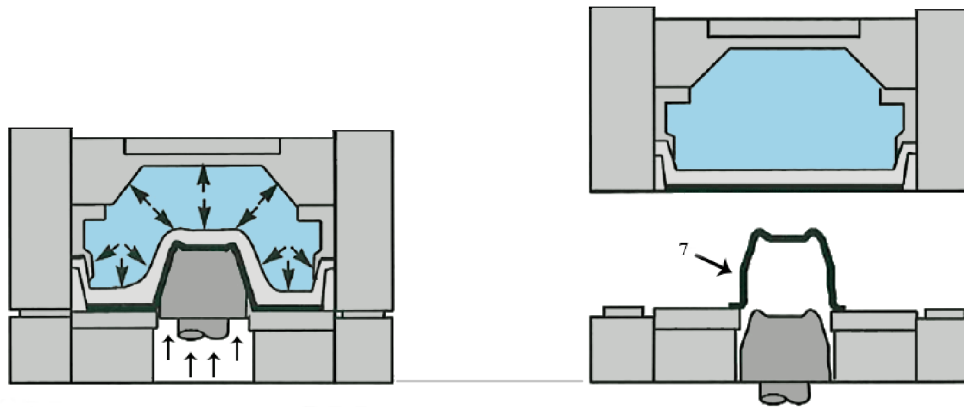


- 1 tažná komora
- 2 pružná těsnicí membrána
- 3 povlakovaná vrstva snižující opotřebení
- 4 polotovár (rondel)
- 5 doraz polotovaru
- 6 tažník
- 7 vyrobený díl



a) Založení polotovaru do nástroje

b) Přitlačení tažnice k tažníku a přivedení tlaku do komory tažnice



c) Tažník tlačí proti membráně, tlak v komoře tažnice tvaruje polotovar podle tvaru tažníku

d) Vrácení tažníku a tažnice do výchozí polohy a vyjmutí dílu

Obr. 2 Kroky metody Hydroform, upraveno dle [16]

- Výhody
- variabilita výroby – změnu dílu lze docílit pouze změnou tažníku a popřípadě přidržovače, čímž se snižuje pořizovací cena nástroje
 - metoda je vhodná pro velké série
 - odpadá středění spodní a horní části nástroje
 - lze tvářet běžné i zušlechťené oceli a většinu barevných kovů
 - tloušťka polotovarů se pohybuje od 0,2 do 10 mm
 - rovnoměrné rozložení síly, působí i na boky výtažku

- Nevýhody
- vysoké požadavky na těsnost tažnice a celého hydraulického systému
 - vysoká pořizovací cena celého kompletu
 - delší výrobní časy z důvodu prodlevy při zvyšování tlaku v komoře tažnice a to hlavně v případech, kdy je potřeba tvářet malé rádiusy

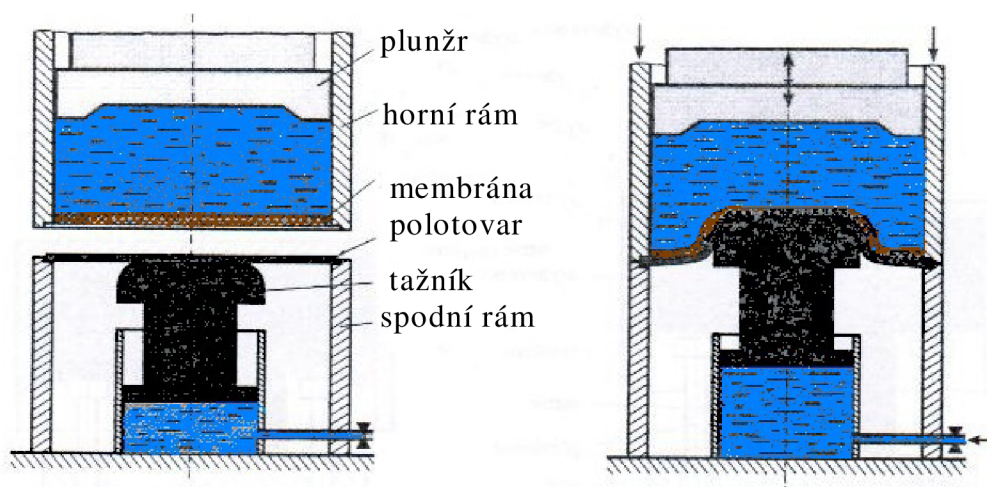
Tvářecí nástroje se zpravidla umísťují na hydraulické lisy se spodním beranem s přidanou hydraulickou jednotkou. Z důvodu použití pevného tažníku musí být výtažky bez negativních ploch. Vznikají tak hluboké výtažky většinou rotačního tvaru a výtažky tvaru vany. V České republice používá metodu Hydroform firma Žďas a.s. ze Žďáru nad Sázavou. Mezi jejich typické výrobky lze zařadit součástky pro tuzemský i zahraniční automobilový průmysl. Konkrétně vnitřní karoserie automobilů, viz obr. 3. Tuto metodu lze doporučit podnikům, které se zabývají velkosériovou výrobou a disponují kvalitním technickým zázemím.



Obr. 3 Příklad komponentů automobilky Ford [1]

1.2 ASEA [2]

Švédská metoda ASEA, viz obr. 4, je modifikace metody Hydroform, avšak uzpůsobená pro rozměrnější díly. Ve spodním dílu rámu je umístěn hydraulický válec, na jehož konci je výměnný tažník. Do spodního rámu se založí polotovar tak, aby se dotýkal tažníku. Následně sjede horní rám a sevře polotovar. Horní rám slouží jako přidržovač. V horním rámu je komora s hydraulickou kapalinou, která je utěsněna ve spodní části navulkanizovanou membránou a v horní pístem, nebo-li plunžrem. Následuje proces tváření, který lze rozdělit na dvě části. V první části dojde k napaštění kapaliny pod tažník, který tak vnikne do materiálu. Stlačením kapaliny vzroste tlak v tažné komoře, který vytvaruje polotovar podle tvaru tažníku. V druhé části se zvýší tlak v komoře posunem plunžru směrem dolů. V této části je hodnota tlaku uvnitř komory takzvaně kalibrační a dochází tak k dotvarování nejmenších tvarů a k maximálnímu roztažení membrány. Vyjmutí dílce lze provést po odpuštění kapaliny z válce tažníku a vrácení horního rámu do původní polohy.



Obr. 4 Schéma metody ASEA, upraveno dle [39]

- Výhody
- výroba rozměrných dílů
 - dobrá geometrická přesnost dílů díky plynulé regulaci tlaku
- Nevýhody
- vysoká pořizovací cena stroje
 - vysoké nároky na těsnost hydraulického systému



Obr. 5 Výrobky metody ASEA [2]

Díky velké ložné ploše lze tvářet rozměrné díly z oceli a barevných kovů, které bývají zpevněny žebry a zároveň ohraněny v jedné operaci. Hlavní produkty míří do leteckého průmyslu jako krycí části pláště letounu či vnitřní výtuhy konstrukce. Proto lze tuto metodu doporučit podnikům, které se zabývají výrobou rozměrných plechových dílů se zpevňovacími prvky, protože touto metodou vyrobí všechny prvky na jedno upnutí a odpadne tak chyba při zakládání polotovaru na více strojů.

1.3 WHEELON [4], [28], [30]

Metoda Wheelon vyřešila zrychlení výrobního procesu nekonvenčního tváření kapalinou. Zrychlení výrobních časů vyžaduje v tomto případě řazení více tažných jednotek za sebe a je vhodné použít pro ně pouze jeden tažný vak. Tak vznikla koncepce metody Wheelon v americké firmě Verson. Avšak u rozměrnějších dílů se do lisu řadí pouze jeden tažník.

Rozdíl oproti výše uvedeným metodám je ten, že v tomto případě je ocelový tažník, který má negativní tvar výrobku, pevně upevněn na stole lisu. Dle výrobků dělíme stroje na ty s pohyblivým a nepohyblivým stolem ve smyslu manipulace s přístřihem a výliskem mimo samotný proces tažení. Na pohyblivém stole, viz obr. 6, je upevněn tažník, který se pohybuje horizontálně. Obsluha založí přístřih na tažník a ten následně zajede do pracovního prostoru. Tento typ se používá pro rozměrné výrobky. Stroj s nepohyblivým stolem, viz obr. 7, se používá pro výrobky menších rozměrů, kdy lze polotovar odvíjet ze svitku plechu. Je vhodný pro velké série.

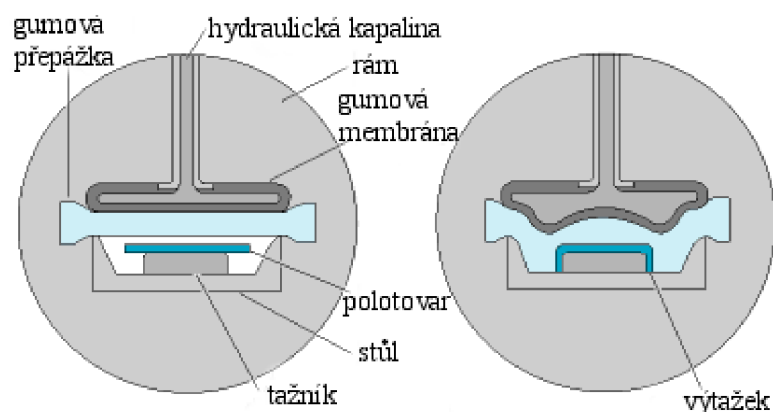


Obr. 6 Stroj s pohyblivým stolem [28]



Obr. 7 Stroj s pevným stolem [4]

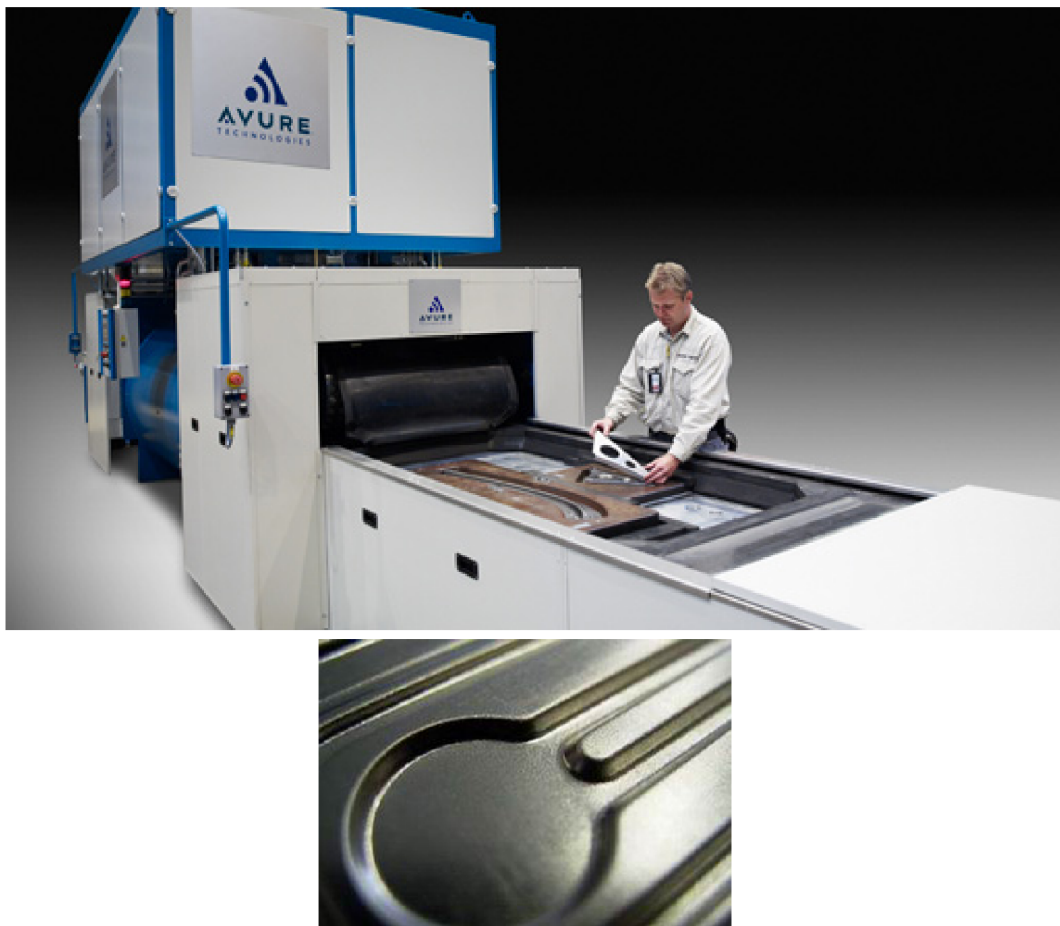
Rám stroje zcela netradičně tvoří ocelová, nebo litinová armatura trubkového tvaru. V její spodní části je uložen stůl. Obsluha vloží na výše zmíněný tažník přístřih a zapne hydraulické čerpadlo. Ve vaku naroste tlak a dojde tak ke kontaktu pryžové membrány s polotovarem. U jistých modifikací této metody můžeme najít mezi pryžovou membránou a polotovarem gumovou přepážku. Tato přepážka prodlužuje životnost membrány a její navulkanizovaná vrstva zaručuje dobrou kvalitu povrchu výtažku. Pracovní tlak se pohybuje až okolo 70 MPa. Povrch výtažku je bez nežádoucích vln, neboť se tváří mělké tvary, zpravidla zpevňující žebra a tvářecí tlak je tím pádem rovnoměrně rozložen po celé ploše. Absence přidržovače znamená vysokou flexibilitu stroje, protože stačí vyměnit tažník a hned lze vyrábět výtažek stejných rozměrů.



Obr. 8 Schéma metody Wheelon, upraveno dle [31]

- Výhody
- vhodnost jak pro velké série, tak i pro zkoušení prototypů nástrojů, protože pouhá úprava tažníku je levnější, než úprava dvou částí konvenčního nástroje
 - v jednom stroji lze tvářet více různých dílů najednou
 - při použití gumové přepážky lze vyrábět různé dezénované povrchy
 - energetická nenáročnost stroje
 - tichý chod stroje
- Nevýhody
- vysoká pořizovací cena stroje
 - velké rozměry stroje
 - požadavek na těsnost hydraulického systému

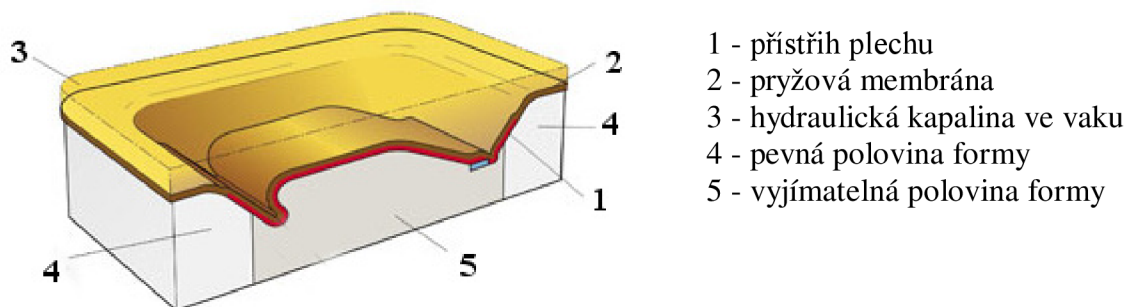
Na lisech firem Verson a Avure vznikají mělké výlisky všech velikostí, zpravidla se jedná o díly se zpevňovacími žebry a s ohraněným obvodem. Tento druh dílů se často používá na vnitřní pláště trupů v leteckém průmyslu. Co se týče tvářeného materiálu, je metoda velmi univerzální, neboť můžeme zpracovávat uhlíkovou, korozivzdornou a vysoce legovanou ocel, hliník a slitiny hliníku, které mohou být v tenkých foliích, barevné kovy, které též mohou být v tenkých foliích, či letecké slitiny titanu. Tuto metodu lze doporučit jak výzkumným centrům na výrobu prototypů, tak i podnikům, které vyrábějí ve velkých sériích mělké výlisky a kde se jako polotovar používá svitek plechu, jelikož pak lze celou linku plně automatizovat.



Obr. 9 Typický výrobek metody Wheelon na lise AVURE [2], [4]

1.4 FLEXFORM [2]

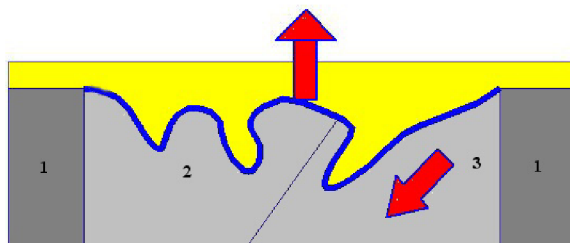
Metoda Flexform vyřešila problém výroby dílů s negativními plochami, které nelze vyrobit pevným tažníkem. Stačí k tomu dělená forma a jeden pryžový vak o velké rozpínavosti naplněný hydraulickou kapalinou, viz obr. 10.



Obr. 10 Princip metody Flexform [2]

Hlavní funkci v nástroji vykonává elastický pryžový vak, který se tvaruje podle tvarů formy, čímž dává tvar přístřihu, který se vkládá na spodní pevnou část nástroje. Pryžová membrána zároveň vykonává funkci přidržovače. Aby bylo možné tvářet materiál podle složitých tvarů, přičemž nesmí vzniknout nežádoucí vlny a i ty nejmenší rádiusy musí být dotvořeny, je nutné přivedení hydraulického oleje pod tlakem až 1400 barů, což odpovídá síle 150 000 tun. Z toho vyplývá, že pryžová membrána je nejexponovanější místo nástroje a jsou na ní kladeny vysoké elastické a pevnostní požadavky.

Je-li polotovar vytvarován, hydraulický olej se vypustí do zásobníku. Membrána se stáhne do své výchozí polohy. Aby bylo možné vyjmout výtažek, který má negativně zapuštěné tvary do matrice, je nutné použít dělení, viz obr. 11. Nástroj se tak skládá z rámu lisu 1, dále z nepohyblivé části 2 a z pohyblivé části 3, která sjede dolů a výtažek tak lze vyjmout.



Obr. 11 Schéma dělené formy

Největším odběratelem výrobků metody Flexform jsou světové automobilky. Americká firma FlexForm Technologies vyrábí metodou Flexform vnitřní výplně dveří automobilů. Tvářeným materiálem tak je ocel i hlukotěsné textilní materiály, které se musí taktéž tvarovat podle složitých forem. Na obr. 12 je vidět kombinace ocelového a textilního výtažku se



Obr. 12 Dveřní výplň automobilu [9]

stejnými tvary. Tato metoda je také vhodná k výrobě prototypových dílů. Dále lze doporučit výrobu stejného dílu, ale s rozdílnou tloušťkou a z rozdílného materiálu v jednom nástroji. Stačí totiž případně změnit tlak hydraulické kapaliny.

2 METODY BEZ MEMBRÁNY

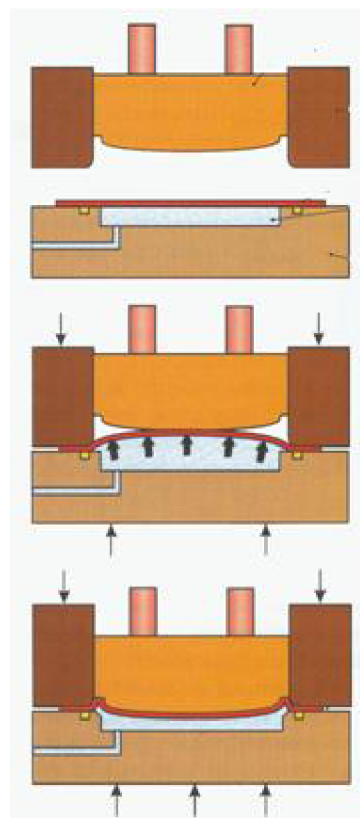
Je-li rovinný přístřih v nástroji z jedné strany v přímé interakci s kapalinou a z druhé strany s tažníkem, nástroj postrádá pryžovou membránu, jejíž těsnicí funkci zajišťuje samotný polotovar. Zvyšují se tak pevnostní nároky na stroj, protože síla přidržovače musí zajistit těsnost soustavy, viz obr. 13, a je tedy vyšší než u koncepce s membránou. Nástroj je také doplněn pryžovým těsněním podél obvodu tažné komory, které je zapuštěno v drážce. Toto uspořádání nástroje je výrobně jednodušší než s membránou a absencí membrány se zvyšuje životnost nástroje bez nutnosti výměny dílů.

2.1 HYDROMECHANICKÉ TAŽENÍ [18], [30]

Zvláště vhodnou metodou pro hluboké tahy rotačních součástí je hydromechanické tažení, protože hydraulická kapalina je nejvhodnější tlakové prostředí, které dokonale kopíruje tvar tažníku a vytvoří tak nejdokonalejší styk polotovaru s tažníkem. Dalším typickým výrobkem této metody jsou velmi rozměrné a mělké vany. Absence pryžové membrány umožňuje umístit do nástroje různé doprovodné tvarovací prvky, kterým je například protipíst, pohyblivá tažná komora atd.

Základní koncepci nástroje pro hydromechanické tažení tvoří pohyblivý tažník umístěný na beranu lisu, přidržovač a tažnice s vanou pro tlakovou kapalinu. Z důvodu stoprocentní funkce přidržovače se doporučuje používat dvojčinný lis. Tažník a přidržovač tak nejsou propojeny systémem pružin a tím lze efektivně měnit a seřizovat poměr sil mezi tažníkem a přidržovačem.

Ve výrobním procesu lze rozlišit tři fáze, viz obr. 13. V první fázi obsluha lisu založí polotovar na tažnici a následně dojde k sevření přidržovače. Tlak vyvolaný přidržovačem zaručí těsnost mezi polotovarem a tažníkem. Úniku hydraulické kapaliny ze systému zabráňuje také pryžované těsnění, které je vloženo po obvodu tažnice do vyfrézované drážky. Následuje zvýšení tlaku v tažnici na pracovní hodnotu a dochází k částečné deformaci polotovaru dle tvaru tažníku. Ve druhé fázi tlačí beran lisu tažník směrem dolů. Dochází tak k vnikání tažníku do pružného prostředí tažnice. Polotovar v této soustavě tvoří zároveň membránu. Tlak ve vaně tažnice se reguluje tak, aby materiál mohl plynule téci a nevznikaly na něm nežádoucí vlny. Faktor jakosti povrchu výrobku ovlivňuje použitý tvářecí olej. Ten se volí podle hloubky tahu, maximálního tlaku ve vaně tažnice a podle použitého materiálu. Při zvolení vhodného média lze tvářet všechny druhy ocelí a barevných kovů. Vhodné produkty dostupné na našem trhu jsou shrnuty v tab. 1. Ve třetí fázi je tažník ve své dolní úvrati a nehýbe se. Dochází k navýšení tlaku ve vaně tažnice na takzvanou kalibrační hodnotu, při níž dochází k dotváření prvků malých rozměrů. Jsou to malé poloměry a reliéfy povrchu.

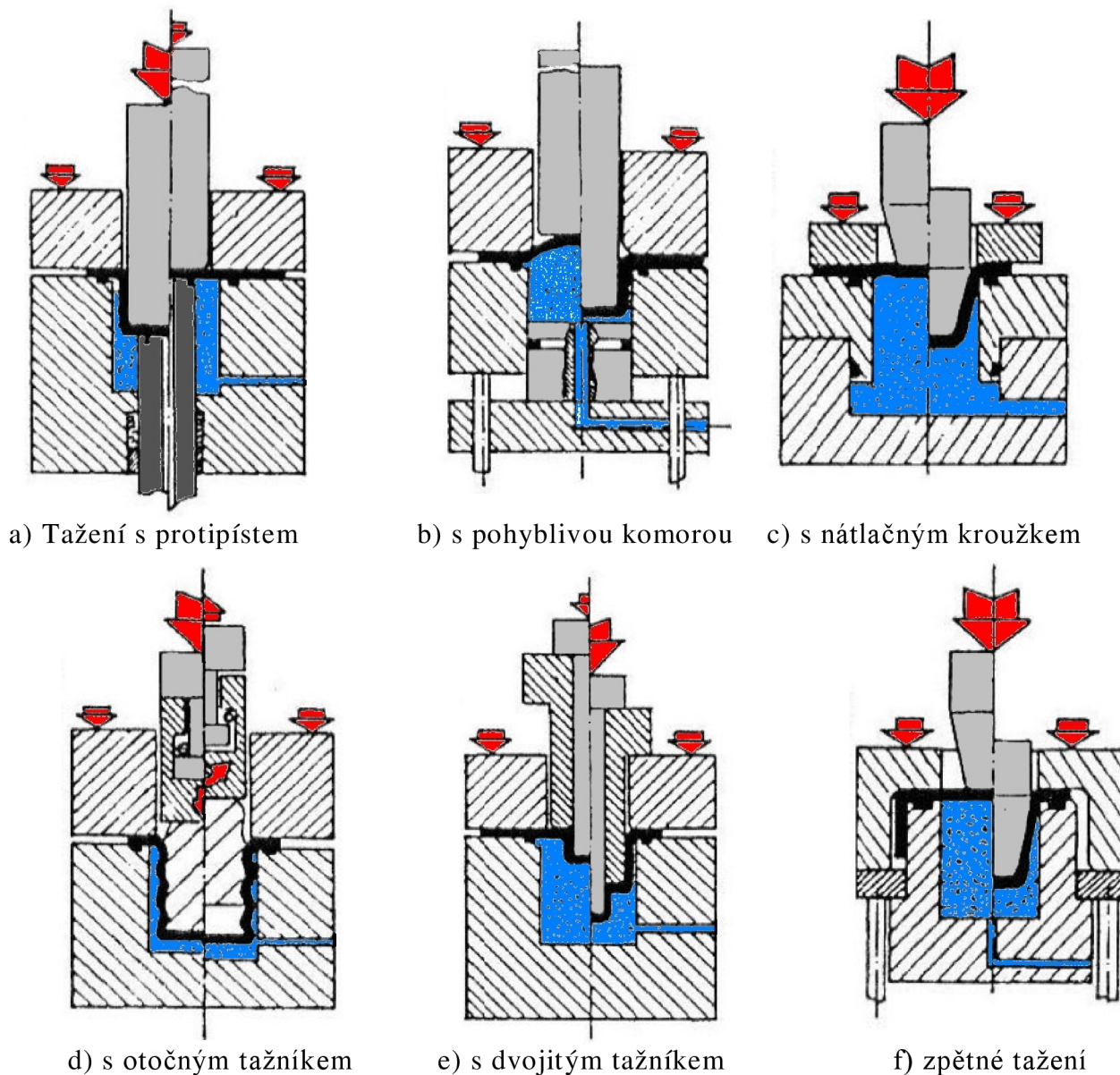


Obr. 13 Fáze hydromechanického tažení [18]

Pro komplikovanější tvary se používají složitější varianty nástrojů. Zpravidla je tažník, či tažná komora doplněna doprovodným prvkem.

Tab. 1 Kapaliny pro hluboké tažení [20]

BERUFORM STE 5023	Lisování a hluboké tažení nelegovaných a legovaných ocelí. Středně těžké až těžké tvářecí operace. Provozní koncentrace 8 - 35%.
BERUFORM STO 1356	Lisování a hluboké tažení složitých dílů z normálních hlubokotažných jakostí, galvanicky pokovených a nerezových ocelí a hliníku.
BERUFORM STO 844	Lisování a hluboké tažení tenkých plechů z hlubokotažných jakostí, galvanicky pokovených a nerezových ocelí a hliníku. Lehká až středně těžká tvářecí.



Obr. 14 modifikace hydromechanického tažení, upraveno dle [5]

Varianta s protipístem, viz obr. 14a, umožňuje táhnout tenké, křehké a nevhodné materiály k tažení, protože protipíست tvoří oporu dna a tak nedojde k jeho utržení. V jistých případech se touto variantou táhnou rotační součástky bez ztenčení dna.

Tažení s pohyblivou komorou, viz obr. 14b, umožňuje výrobu různě hlubokých výtažků. Není vhodné táhnout malý výtažek ve velmi hluboké komoře. Kapalina by měla vyplňovat pouze nezbytný objem, kterým je schopna tvářet materiál dle tvarů tažníku. Komora se tak může nastavit vždy na určitý objem potřebný pro daný dílec,

čímž se zvyšuje využitelnost stroje. Nebo se může pohybovat i při samotném procesu. Nevýhodou je nutnost těsnit komoru za vysokých tlaků.

Je-li třeba vyrobit rotační součást se šroubovitým pláštěm, je vhodná metoda s otočným tažníkem, viz obr. 14d. Beran lisu vtlačuje tažník do materiálu a zároveň je realizována rotace tažníku. Při pohybu zpět musí být reverzovány otáčky tažníku. Kalibračním procesem lze dosahovat vysoké geometrické přesnosti.

Dvojitý tažník umožňuje výrobu dílce se „dvěma dny“ na jeden tah, viz obr. 14e. Výhoda oproti konvenčnímu nástroji je použití jedné tažnice s pružným prostředím. Při nekonvenčním zpětném tažení se provede první tah běžným sduženým tažidlem, vytáhne se rotační výtažek a ve druhé operaci se provede tažení v obráceném směru. Konvenční protitažník zde nahradí hydraulická kapalina. Pokud je tažník dvojitý, dojde v dolní úvrati k vysunutí jádra směrem nahoru a nárůstem tlaku uvnitř tažné komory tak dojde ke zpětnému vytažení materiálu směrem nejmenšího odporu, tedy směrem do tažníku. Ve druhém případě dojde v dolní úvrati k vysunutí jádra směrem dolů. Můžeme tak jedním tažníkem vyrábět rozdílně hluboké součástky. Po prvotním vytažení následuje nárůst tlaku v tažné komoře a výtažek je tak dotvarován dle tvaru přídržovače. Jedná se zejména o výrobu mělkých zpevňovacích drážek na lemu výtažku.

Zvláště vhodný materiál pro hluboké tahy je nízkouhlíková ocel. Tvářet lze i korozivzdorné oceli. Vhodný je též hliník a jeho slitiny.

Výhody

- výroba složitého tvaru na jeden tah, tím odpadá mezioperační žihání a snižuje se cena výtažku
- velká geometrická přesnost dílu díky závěrečné kalibrační fázi
- při použití správného tvářecího média se dosahuje vysoké jakosti povrchu a lze tvářet i povlakované materiály

Nevýhody

- lze tvářet jen výtažky s přírubou, která napomáhá k těsnosti soustavy polotovaru-nástroj
- vysoký tlak přídržovače kvůli těsnosti
- nižší produktivita díky kalibrační fázi
- nutnost použít speciální tvářecí média
- nutnost výkonného hydraulického agregátu, který je schopen dodat do soustavy kapalinu při jejím úniku mezi polotovarem a přídržovačem, aby nedošlo ke zvlnění či přetržení tvářeného materiálu

Nástroje se upínají převážně do dvojčinných hydraulických lisů. V České republice lze zakoupit například lis s označením ZH se stojanem ve tvaru C, viz obr. 15, který vyrábí firma Presshydraulika s.r.o. z Opavy. Tyto lisy jsou vybaveny spodním a horním přídržovačem a vyhazovačem, optoelektronickou zábranou, elektronickým řízením síly a rychlosti, kontinuálním snímačem polohy beranu a dalšími moderními prvky.



a) hydraulický agregát

Pomocí hydromechanického tažení vznikají na jeden tah hluboké rotační vylisky, nerotační součástky typu vany, zejména pro automobilový průmysl. Tuzemským firmám proto lze tuto metodu tažení doporučit z důvodu rozvinutého domácího automobilového průmyslu a možnosti zakoupit a servisovat české lisovací agregáty, viz obr. 15. Tyto agregáty lze doporučit i pro ostatní výše a níže zmíněné nekonvenční metody, protože lze externě připojit ke každému lisu či nástroji v něm a dovedou dodávat stabilní tlak a průtok hydraulické kapaliny i při případné netěsnosti soustavy.



b) lis pro hydromechanické tažení

Obr. 15 Hydraulický agregát a lis pro hydromechanické tažení [25]



Obr. 16 Výtazky, některé s dodatečně odstraněným lemem [21]

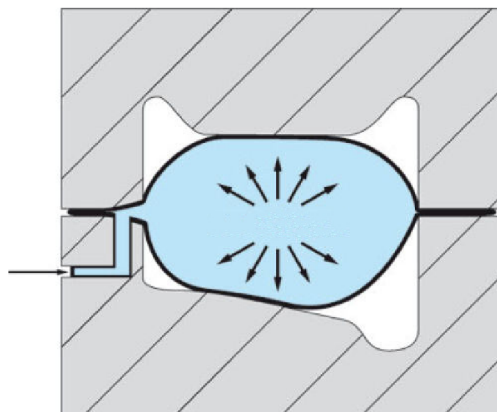
3 TVÁŘENÍ KAPALINOU UVNITŘ POLOTOVARU

Problém s výrobou dutých a složitě tvarovaných součástí, které nešlo dříve vyrobit v jedné operaci, se vyřešil pomocí kapaliny, kterou se pod tlakem plní polotovary. Vnitřní tlak vyvine na stěnu sílu, která překoná odpor materiálu vůči přetvoření a materiál tak teče cestou nejmenšího odporu. Tvaruje se tedy podle tvarů formy, ve které je vložen. Na tomto jednoduchém principu fungují níže popsané metody, u kterých však nemusí hlavní přetvoření vykonat kapalina, ale mechanický nástroj, a tlak kapaliny slouží jako kalibrace konečného tvaru.

3.1 PILLOW HYDROFORMING [24]

V konstrukci letadla není ponecháno žádné prázdné místo bez využití. Pro výrobu složitě tvarovaných palivových nádrží uložených v křídlech letadla byla vyvinuta metoda Pillow hydroforming.

Základní polotovar tvoří dva ocelové přístřihy, které jsou po obvodu svařeny zpravidla laserem, neboť při jeho použití nedochází k ovlivnění struktury materiálu v blízkosti svaru, což by mohlo při následné plastické deformaci působit potíže ve smyslu nehomogenity materiálu a tím způsobené nerovnoměrné tečení materiálu. V jednom místě obvodu je ponechán otvor pro přívod tlakové kapaliny. Svařenec je založen do formy, viz obr. 17. Následuje sevření spodní a horní části formy, která má tvar finálního produktu. Tím se zaručí následná souosost horní a spodní části produktu, ke které by nemuselo dojít, kdyby ke svařování došlo u již vytažených částí. Následuje přívod tlakové kapaliny do nitra polotovaru. Vlivem tlaku dochází k tečení materiálu, který se tvaruje podle tvarů formy. Vzniká tak pomyslný polštář (anglicky pillow). Je-li tvar složitější a obsahuje-li malé rádiusy či zpevňovací žebra, následuje nárůst tlaku na kalibrační hodnotu, při které dojde k dotvoření kritických míst. Po vyjmutí může následovat odstranění přebytečného lemu po obvodu vzniklého dutého výrobku.



Obr. 17 Princip Pillow hydroformingu [24]

Kritickým místem této metody je spojení hydraulického řádu s plechovým svařencem. Často se do místa, kde byl ponechán otvor, přivaří šroubení, které se ve finální operaci odstraní současně s přebytečným lemem.

Pro výrobu nádrží jsou vhodné chemicky stálé korozivzdorné oceli. Tuto metodu lze doporučit pro výrobu dutých symetrických součástí, viz obr. 18.



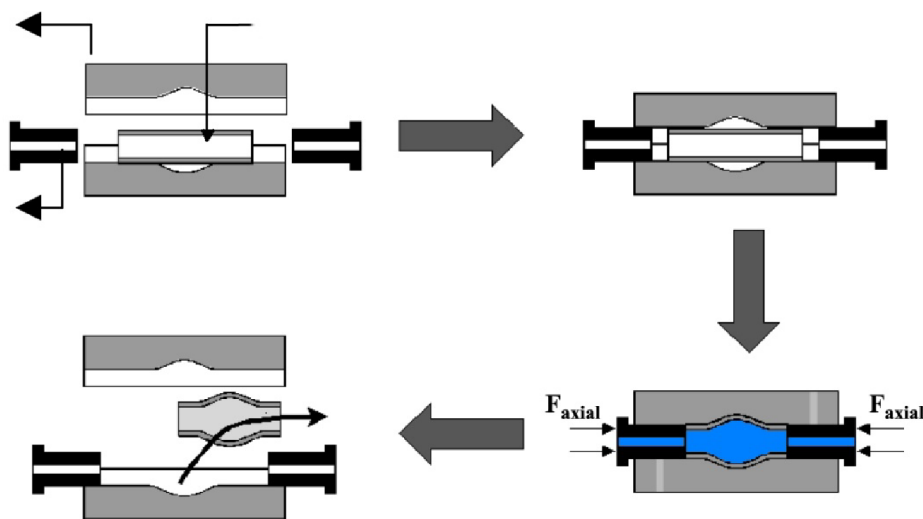
Obr. 18 Korozivzdorná nádrž [24]

- Výhody
- výroba složitých nepravidelných dutých součástí, bez výrazného ztenčení stěny
 - díky stejnému rozloženému tlaku se eliminuje odpružení, které by mohlo nastat u součásti lisované konvenčním nástrojem a následným svařováním dvou částí
- Nevýhody
- přidružené operace odstraňování lemu a šroubení

3.2 VYSOKOTLAKÝ HYDROFORMING [17], [35]

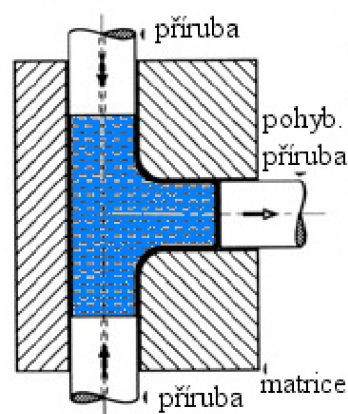
Je-li potřeba realizovat výrobu a provoz konstrukce, která má přenést velké zatížení a je-li zároveň kladen požadavek na nízkou hmotnost, jsou běžné normalizované kruhové, čtvercové či T profily, které se sériově dodávají z hutí, nevyhovující. Je třeba vyrobit polotovary dle požadavku konstruktéra na základě pevnostního výpočtu. Je zcela normální, že konstruktér navrhne profily s proměnným průřezem a proměnnou tloušťkou stěny. Typickým zástupcem takovéto konstrukce je moderní jízdní kolo, kterému se komponenty rámu „ušíjí na míru“ pomocí nekonvenční technologie výroby dutých profilů, česky zvanou vysokotlaký hydroforming.

Princip této metody je jednoduchý, viz obr. 19. Po založení polotovaru do formy dojde k jejímu uzavření a následuje sevření axiálních přírub, které jsou připojeny k hydraulickému řádu. Zároveň s přívodem kapaliny vzrůstá axiální síla na přírubách, aby soustava dokonale těsnila. Tlak kapaliny musí být tak velký, aby výsledná síla na stěnu polotovaru překonala odpor materiálu vůči plastické deformaci a níže zmíněné tření mezi polotovarem a formou. Hodnota tohoto tlaku je až 200 MPa dle tloušťky a typu tvářeného materiálu. Po přetvoření polotovaru bývá poměr obvodů až o 50 % jiný. Proto musí být tvar formy leštěný a mazaný, aby docházelo k dokonalému klouzání materiálu po stěně. K výrobě dokonalého povrchu jsou potřeba nekonvenční metody obrábění. Jednou je například elektroerozivní vyjiskřování, kterým se vyrobí malé rádiusy a reliéfy s nízkou drsností povrchu.



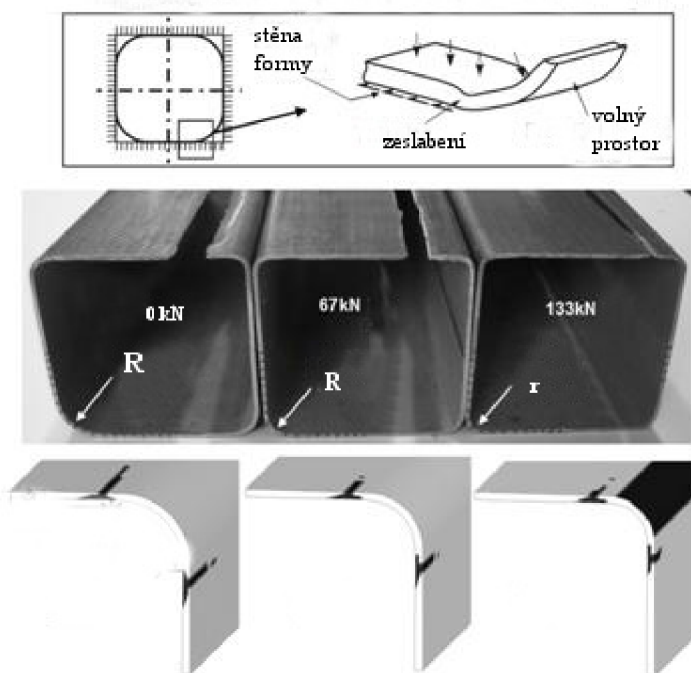
Obr. 19 Kroky vysokotlakého hydroformingu [11]

Velký potenciál vysokotlakého hydroformingu spočívá v možnosti sériové výroby normalizovaných komponentů, které se používají při instalacích inženýrských sítí. Jedná se zejména o rozbočky, těla ventilů a různé elementy používané při instalaci rozvodů vody a topení ve stavebnictví a také v potravinářském průmyslu, kde je vyloučena možnost použití plastových komponentů. Jsou tak vyráběny zejména měděné a korozivzdorné komponenty dle obr. 20. Princip spočívá v tečení materiálu cestou nejmenšího odporu.



Obr. 20 Výroba odboček, upraveno dle [15]

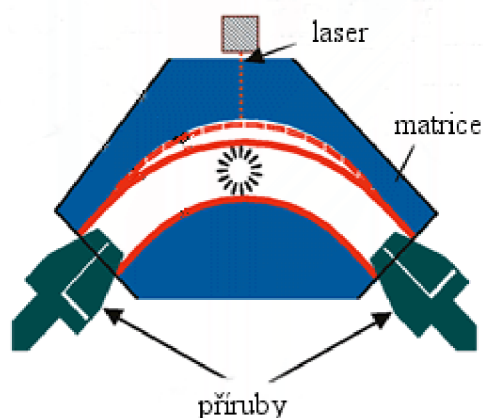
Aby se překonaly výše zmíněné odpory materiálu, ke kterým lze také připočítat místní mikrosvary mezi polotovarem a stěnou formy, následuje kalibrační fáze. Při té vzroste tlak uvnitř polotovaru až na cca 250 MPa. Obr. 21 popisuje rozdílné rozměry rádiusů čtvercových profilů vyrobených ve stejné formě, avšak bez použití kalibrační fáze a při rozdílných hodnotách kalibračních tlaků. Na počátku kalibrační fáze jsou větší tvarové plochy již dotvořeny, ale malé rádiusy a plošky mají ještě mezi sebou a formou volný prostor. Po navýšení tlaku sice vzroste síla na element plochy, čím se dotvoří malé rádiusy, ale materiál není schopen kluzu a vzniká tak lokální zeslabení materiálu v místě rádiusu, viz obr. 21 .



Obr. 21 Kalibrační proces, zeslabení stěny [35]

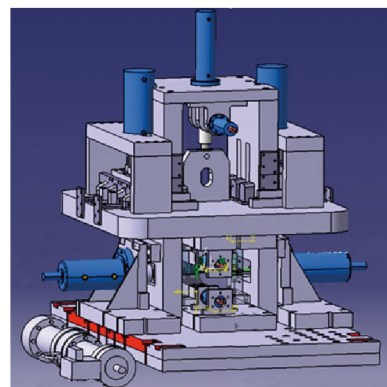
Toto zeslabení může v rozích dosahovat hodnoty až 20 %. Jakmile dochází k zeslabování stěny, je třeba začít snižovat tlak uvnitř polotovaru, neboť s klesající tloušťkou materiálu klesá i síla potřebná k tečení materiálu. Zeslabení stěny je jev nežádoucí a zejména na velkých plochách může způsobit deformaci profilu. Abychom zajistili funkčnost zeslabené stěny, frézujeme nebo jinak vyrábíme do stěny formy drážky. Do nich při kalibrační části teče materiál a vzniknou tak zpevňovací žebra.

Vysokotlaký hydroforming lze využít jako doprovodnou operaci při ohýbání trubek. K rovnému polotovaru se upevní příruby a dojde k naplnění polotovaru tlakovou kapalinou. Následuje založení do matrice a ohyb ohybníkem upevněným na beranu lisu. Nízký tlak kapaliny zabrání ztenčení stěny při ohybu, vzniku ovality či zvlnění materiálu na vnitřní straně ohybu. Následuje navýšení tlaku uvnitř soustavy na hodnotu postačující k tečení materiálu a trubka či profil jsou dotvořeny dle tvarů matrice. Moderní nástroje disponují laserovým měřením tvaru, viz obr. 22, čímž lze v omezeném množství používat pro více podobných výrobků jeden nástroj, což zlevňuje výrobu.



Obr. 22 Ohýbání trubek a dotvoření kapalinou [17]

Tato metoda přinesla revoluci do výroby a návrhu lehkých a vysoce namáhaných dílců, které se vyrábějí přímo pro daný problém. Je patrné, že impuls k vyvinutí této technologie přišel z leteckého průmyslu. V České republice se málo firem na svých webových stránkách viditelně prezentuje výrobou součástí pomocí vysokotlakého hydroformingu. Výjimkou je například firma Ragazzon vyrábějící výfukové rozvody pro silniční vozidla. Výrobky, které lze zakoupit na našem trhu, tak pochází většinou ze zahraničí. Významnými výrobci jsou firmy Fisher group z Německa či Graebener Group Technologies z USA. Proto lze tuzemským podnikům doporučit tuto metodu ke studiu a následné uvedení do provozu, protože v sobě skýtá velký potenciál. Tím je myšlena jednoduchost stroje. Ten se skládá z hydraulického agregátu, formy, která je upevněna k podlaze haly, a přípojných hadic s přírubami, viz obr. 23. Odpadá tak rozměrný rám jako například u hydromechanického tažení a hala nemusí být vysoká, což by mohla být obtíž při startu podnikatelského záměru. Lze také doporučit začít vyrábět nejprve jednodušší díly a to zejména prostorově tvarované trubky pro potravinářský průmysl, či tvarovky a odbočky pro instalátérské práce a po zavedení na trh se pustit do spolupráce s automobilním či leteckým průmyslem.



Obr. 23 Model a zařízení v praxi [13]

Další výhodou je možnost tvářet širokou paletu materiálů. Zejména hliník a slitiny hliníku, měď a slitiny mědi i legovanou ocel.

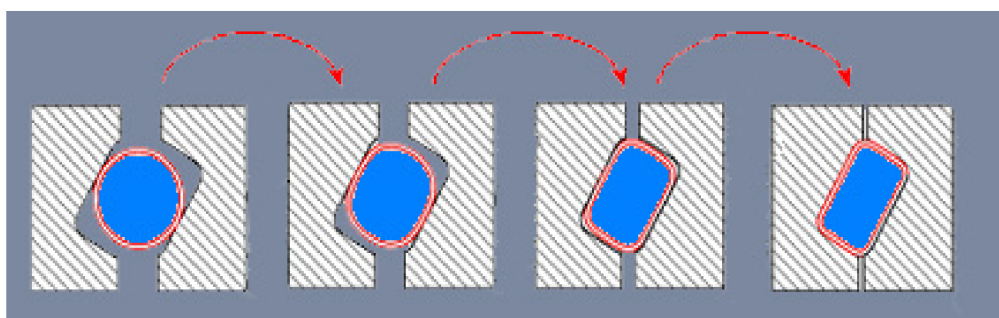
- | | |
|----------|---|
| Výhody | <ul style="list-style-type: none"> - bezodpadová technologie, neboť příruby přivádějící kapalinu nejsou k polotovaru šroubovány, ale tlačeny velkou axiální silou - možnost vyrábět složité a proměnné tvary profilů dle požadavků zákazníka - relativně nízké náklady na výrobu formy |
| Nevýhody | <ul style="list-style-type: none"> - vysoké pevnostní nároky na rám formy z důvodu vysokých axiálních sil působících na příruby - požadavky na těsnost systému - u složitých tvarů se z důvodu kalibrační části zdelšují výrobní časy |



Obr. 24 Produkty vysokotlakého hydroformingu [12], [29]

3.3 NÍZKOTLAKÝ HYDROFORMING [19], [35]

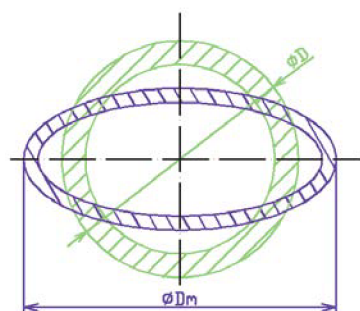
Své využití najde kapalina při přetváření trubkových polotovarů dodávaných z hutí na atypické tvary, viz obr. 25. Hlavní činnost vykonává ocelový nástroj, který je rozdělený na pevnou a pohyblivou část a má negativní tvar požadovaného profilu. V prvním kroku dojde k připojení hydraulického řádu k polotovaru na jedné straně a zaslepením na straně druhé. Při druhém kroku dochází k zavírání formy. Voda uvnitř polotovaru je nestlačitelná a tak nedojde ke zborcení materiálu a ani k zúžení stěny. To je zásadní rozdíl oproti vysokotlakému hydroformingu, protože po přetvoření profilu je obvod stále stejný. Při třetím kroku je již forma nad dolní úvrátí a tvářený materiál už má finální tvar. Ve čtvrtém kroku je forma zcela uzavřena a uvnitř výrobku dojde k nepatrnému navýšení tlaku z důvodů geometrické kalibrace tvaru.



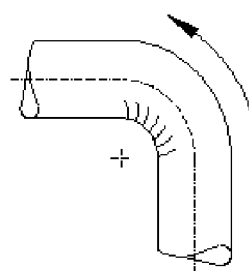
Obr. 25 Fáze tváření, upraveno dle [19]

Typickým výrobkem jsou tenkostěnné hliníkové montážní profily, které se například používají na stavění veletřních stánků. V České republice dodává kompletní sortiment firma AXEL GROUP s.r.o.

Při ohýbání trubek a výrobě profilů z trubkových polotovarů často dochází k defektům vlivem špatně zvolené technologie tváření. Vyplněním dutiny polotovaru kapalinou můžeme zabránit těmto defektům: deformaci stěny, vzniku ovality, viz obr. 26, či zvlnění stěny na vnitřním poloměru ohybu, viz obr. 27.



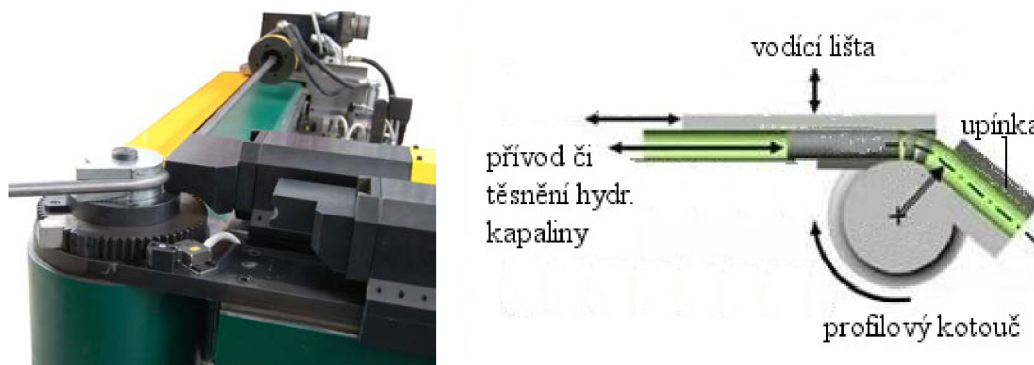
Obr. 26 Vznik ovality [3]



Obr. 27 Vznik vln [33]

Při nízkotlakém hydroformingu se používá hydraulická kapalina jako doprovodný prvek, který zabraňuje výše zmíněným defektům při výrobě. Principiálně se jedná o zákon zachování objemu, kdy kapalina díky své nestlačitelnosti zabrání zborcení stěny směrem dovnitř. Rovnoměrně rozložený tlak uvnitř polotovaru přispívá ke kvalitnějšímu povrchu vůči konvenčním metodám. Kvalitní povrch je důležitý pro nanášení antikorozi ochrany. Jedná se zejména o chromování a žárové zinkování. Na drsném povrchu by vrstva obětovaného kovu nedržela a loupala by se.

Ohýbání trubek s kapalnou výplní se může provádět metodou navíjení, pokud z nějakého důvodu nelze použít segmentový trn, viz obr. 28. Polotovar je veden v liště s odpovídající profilovou drážkou. Polotovar je upevněn k profilovému kotouči pomocí upínky. Následuje otočení kotouče o požadovaný úhel. Při tomto procesu se nachází v trubce kapalina o maximálním tlaku 1 MPa. V tomto případě se jako tekuté médium používá voda. Aby byla tato metoda bezodpadová, používá se ke spojení trubky a přívodní hadice bezzávitová rychlospojka. Vypuštění kapaliny se provádí v době, kdy je trubka sevřena mezi kotoučem a upínkou, aby se zabránilo případnému odpružení. Tato metoda má využití při výrobě velkých sérií, neboť je potřeba vyrobit pro každý rozměr trubky odpovídající vodící lištu, profilový kotouč a upínku. Hojně se této metody využívá při ohybu tenkostěnných trubek.



Obr. 28 Ohýbání trubek [22], schéma upraveno dle [35]

Výhody

- ohýbání tenkostěnných profilů
- zamezení defektů při ohybu
- výroba atypických tvarů

Nevýhody

- nutnost montáže bezzávitových spojek
- jen pro velké série

Podle výše uvedených poznatků lze tuto metodu doporučit pro těžší průmysl, tedy podnikům vyrábějícím specifické profily z hutních polotovarů a pro lehký průmysl, tedy například dodavatelům automobilového a leteckého průmyslu, kteří vyrábí složitě tvarované rozvody provozních náplní z kovových materiálů. Další uplatnění kovových tvarovaných rozvodů lze najít ve výměnících tepla, či v potravinářském průmyslu.

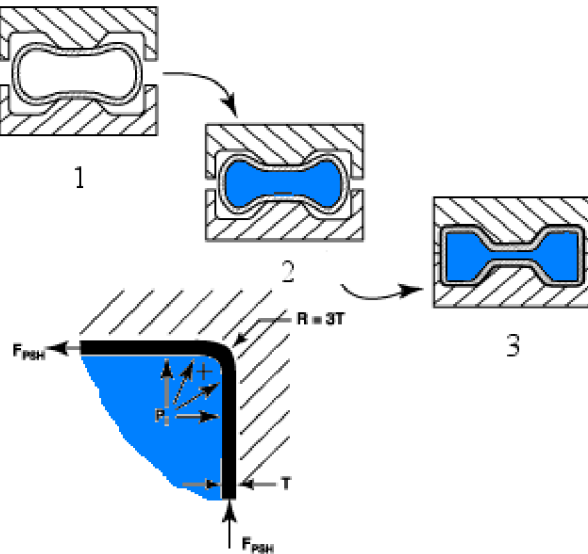


Obr. 29 Výrobky vhodné pro nízkotlakový hydroforming [6], [34]

3.4 POSTUPOVÝ HYDROFORMING [26], [27], [30]

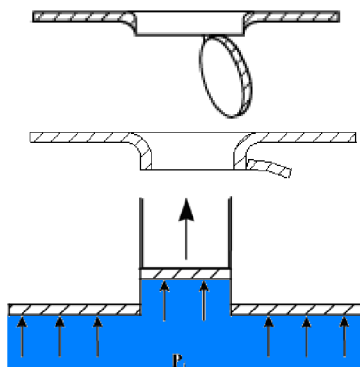
Je-li potřeba vyrobit rám karoserie automobilu z co nejmenšího počtu dílů, je nezbytně nutné vyrobit složitě tvarované nosné profily s často proměnným průřezem a s mnoha montážními otvory po obvodu. Nejlépe při jedné operaci v jednom nástroji. Postupový hydroforming umožňuje v několika málo krocích jednoho nástroje vyrobit z hutního polotovaru hotový díl, kterému chybí pouze povrchová úprava.

Rozlišují se tři hlavní fáze, viz obr. 30. V první je založen polotovár do formy a dochází k částečnému sevření polotovaru mezi pevnou a pohyblivou část formy. Následuje zaplnění polotovaru vodou. V této fázi se tlak uvnitř pohybuje v rozmezí 35 až 70 MPa. Ve druhé fázi následuje dovírání formy a vnitřní tlak podporuje pohyb stěny polotovaru v dutině formy. Materiál tak snadno překoná tření bez nutnosti nanášení maziv mezi polotovár a dutinu. Tlak kapaliny uvnitř polotovaru zajišťuje konstantní objem vnitřního prostoru, a proto je dutina formy navržena tak, aby výsledný tvar měl stejně velký obvod jako polotovár. Tímto opatřením není polotovár tažen a tím se zamezí ztenčení stěny.



Obr. 30 Fáze postup. hydroformingu [26]

Při třetí fázi je již forma zcela uzavřená. Vnitřní tlak však zcela nedotvořil malé rádiusy a ostré přechody tvaru. Proto následuje navýšení tlaku až na 170 MPa. Tím dojde ke geometrické kalibraci dílce a případnému dotvoření reliéfu, jehož negativ bývá vytvořen ve stěně dutiny. Vysoký vnitřní tlak také umožňuje vystřihování montážních otvorů pro šrouby, nýty, samořezné vruty či pro průchodky elektroinstalace, viz obr. 31. Střížníky jsou součástí nástroje a jejich střížné plochy zpočátku tvoří tvar dutiny. Jejich rozměry se pohybují od průměru tří milimetrů do tvaru o rozměrech 40 x 45 mm. Pohyb všech střížníků směrem dovnitř dutiny se děje zároveň. Pohyb je zpravidla zajištěn pneumatickými válci, protože stlačený vzduch reaguje oproti hydraulické kapalině okamžitě na sepnutí spínače. Je nutné, aby hydraulický řád reagoval na případný pokles tlaku dodáním kapaliny do soustavy, neboť může dojít k netěsnostem mezi materiálem a střížníkem. Takto vyrobené otvory mají nejdokonalejší vzájemnou polohu, protože se eliminuje chyba, která by vznikla při následných upínáních výrobku do přípravků. Po navrácení střížníků do počáteční polohy dojde k odčerpání kapaliny z dutiny výrobku a stlačeným vzduchem se odstraní z dutiny odpad vzniklý vystřihováním otvorů.



Obr. 31 Děrování, děrování s lemem, děrování kalibračním tlakem, příklad z praxe [37]

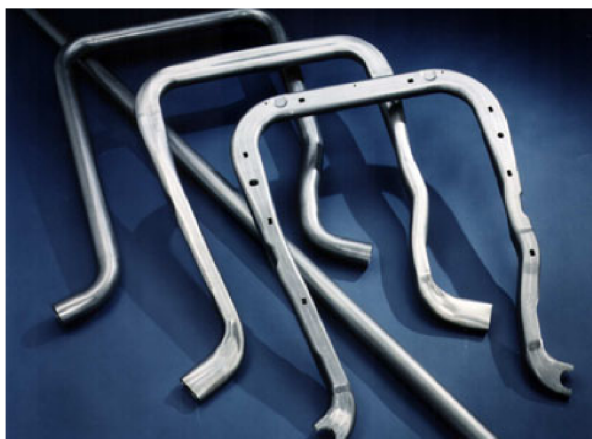
Jelikož při postupovém hydroformingu nedochází ke změně rozměru obvodu, není tato metoda náročná na tvařitelnost materiálů jako vysokotlaký hydroforming, při kterém dochází k přeměně obvodu až o 50 % a tím pádem i ke ztenčení stěny. Tím, že se při postupovém hydroformingu vnitřní tlak kapaliny používá jako doplňkové médium, nedochází ke ztenčení stěny ani u malých rádiusů a lze tak použít špatně tvařitelné materiály, které však plně vyhovují své následné funkci v zástavbě. Jedná se zejména o legované oceli, nerezové oceli, vytvrzené slitiny hliníku a další. V menší míře se do formy zakládají polotovary s již nanesenou povrchovou úpravou, která se při tváření nepoškodí.

Jelikož vývoj celých výrobních linek je velmi nákladný, setkáme se s touto metodou ve většině případů v přidružených závodech velkých automobilek či u velkého dodavatele dílů pro letecký průmysl. Aby byla linka rentabilní, musí pracovat nepřetržitě celý den. Z toho vyplývá, že k výrobě dutin forem se musí používat kvalitní oceli, které jsou odolné vůči abrazivnímu poškození.

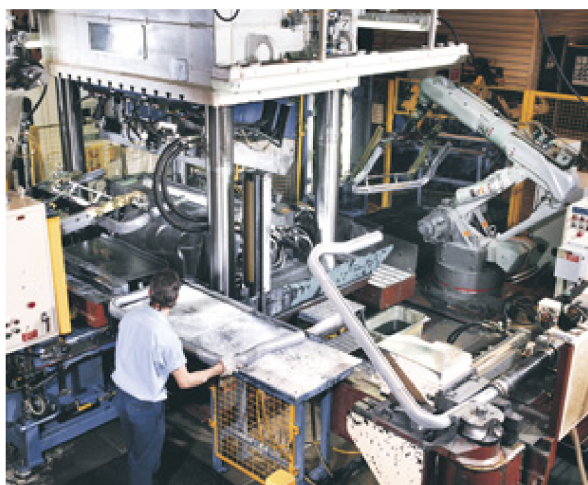
- Výhody
- možnost vyrábět složité tvarované dílce v jednom nástroji
 - možnost tvářet špatně tvařitelné materiály a jejich slitiny
 - možnost tvářet již povrchově upravený polotovar
 - sdružení ohýbání a stříhání v jednom nástroji
 - přesná poloha jednotlivých prvků vůči sobě
 - pro velkosériovou výrobu

- Nevýhody
- rozměrné zařízení, požadavky na plochu
 - vysoké pořizovací náklady formy

Vzhledem k vysoké pořizovací ceně složitého nástroje lze tuto metodu doporučit dodavatelům automobilového a leteckého průmyslu, kteří budou mít zajištěný odbyt velkých sérií. A to zejména složitéch dílů, které v zástavbě plní více funkcí, a proto jsou nejvíce rentabilní.



Obr. 32 Části rámu automobilu [36]



Obr. 33 Kompletní linka [26]

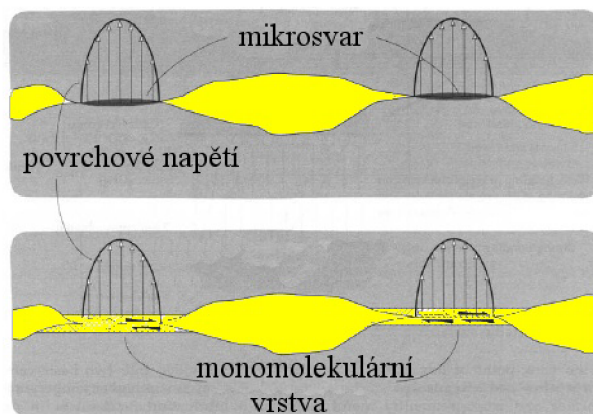
4 KAPALINA JAKO MAZIVO [7], [32]

Při přetváření materiálu je nutné překonat jeho vnitřní odpor vůči plastické deformaci a tření, které vzniká mezi materiálem a nástrojem. Tření lze efektivně snižovat vhodným mazáním kontaktních ploch, například mezi tažnicí a polotovarem. Při tažení je vhodné udržovat co nejvyšší tření mezi polotovarem a tažníkem a co nejvíce snižovat tření na kontaktní ploše mezi polotovarem a tažnicí. Je-li v nástroji použit přidržovač, je nutné mazat plochy mezi ním a smýkajícím se materiálem. Na použité oleje se kladou tyto požadavky: nesmí poškozovat povrch výrobku a nástroje a zpravidla by měli poskytovat ochranu vůči korozi, musí vytvořit rovnoměrnou vrstvu, která lehce přilne a může se mísit s vodou.

Průmyslové oleje se obecně dělí na minerální a syntetické. Nejlepší minerální oleje mají dnes srovnatelnou kvalitu a cenu jako syntetické.

Minerální oleje se vyrábí rafinací ropy. Mísením minerálního oleje s vodou a se syntetickými aditivy se vyrábí hydraulický olej, který je vhodný do tažných komor a do dutin polotovarů při tváření. Jeho výhodou tedy musí být nestlačitelnost a nepoužívá se na mazání kontaktních ploch.

Syntetické oleje najdou uplatnění při tváření jako mazivo kontaktních ploch. Obsahují chemické sloučeniny, které se vyrábějí syntézou různých látek kromě ropy. Při kontaktu dvou ploch které jsou pod tlakem, vznikají lokální mikrosvary, které zvyšují tření a degradují povrch, viz obr.34. Dochází zde k meznímu mazání, neboť plocha polotovaru bývá válcována a má tak pórovitý povrch. Při nízké teplotě, do 100°C, a velkém zatížení dojde při volbě vhodného syntetického maziva ke vzniku monomolekulární vrstvy vlivem adsorpcí



Obr. 34 Mezní mazání, upraveno dle [7]

aditiv (vyloučení aditiv z maziva na povrch polotovaru a nástroje), která odstraní vznik mikrosvarů. Vyloučená aditiva určují vlastnosti oleje. Tabulkově se udává kinematická viskozita při 40°C, délka ochrany výrobků proti korozi při skladování v halách či faktor koroze mědi, viz příloha 1.

Zcela specifickým mazadlem jsou syntetické odpařovací oleje pro tažení se základovými oleji bez aromatických uhlovodíků, viz příloha 2. Výrobky jsou po tváření suché a odpadá jejich čištění a odmašťování v energeticky náročných linkách. Tyto oleje se nanáší do místa styku rozprašováním, čímž se vytváří potřebná vrstva a ve srovnání s tradičními postupy výrazně klesá spotřeba oleje, což snižuje výrobní náklady.

Dle výše uvedených poznatků lze doporučit pečlivou volbu vhodného mazacího média pro všechny metody nekonvenčního tváření pomocí kapaliny. Vhodný olej snižuje obrazivní opotřebení nástroje, zlepšuje kvalitu povrchu výrobku a může mu dodat i antikorozi a antioxidační ochranu. Snižováním tření se snižují silové požadavky na tvářecí stroje a klesá tak energetická náročnost výroby. Je-li speciální olej nanášen pomocí trysek, či je rozprašován, klesá jeho spotřeba, což vyváží jeho vyšší cenu a cena výrobku tak může být nižší.

Důležitý je výběr tlakového média pro bezmembránové metody a pro metody, kdy je médium v přímém kontaktu s tvářeným materiálem. U těchto metod se používají dvě média, a to mazací a tlakové. Tlakové médium se volí podle tvářeného materiálu a jeho tloušťky, podle následné povrchové úpravy dílce a v neposlední řadě podle provozních tlaků.

5 ZÁVĚR

Využití kapaliny jako nepevného tvářecího nástroje přineslo revoluci do navrhování a následné výroby složitě tvarovaných dílců, které nešlo dříve vyrobit, či které se vyráběly složitě na více operací, čímž se do konečného tvaru a rozměrů vnašela chyba. Vyšší pořizovací cena těchto technologií oproti konvenčním přidružila tyto metody do podniků dodávajících díly ve velkých sériích zejména pro automobilový, letecký a drážní průmysl. Výjimkou mohou být laboratoře a vývojářská pracoviště, kde se v malých sériích konstruují a následně odlazují nástroje pro sériovou výrobu.

V České republice se prezentuje minimum firem, které využívají kapalinu jako tvářecí médium. Například Žďas a.s. a Honeywell. To je velká škoda, protože tyto metody vnašejí do tvářeného materiálu rovnoměrně rozložené napětí a díky kalibrační fázi nedochází ve většině případů k odpružení tvaru. Také se dají pomocí nich vyrobit součástky na jedno upnutí. Dále se pomocí metody Flexform dají vyrobit dílce s negativně tvarovanými plochami. Při využití metody Pillow hydroforming odpadá svařování složitě tvarovaných profilů vyrobených z hutních polotovarů a při ohýbání trubek pomocí nízkotlakého hydroformingu odpadá vznik defektů. Také díky použitým syntetickým olejům mají součástky lepší povrch.

Výběrem vhodných provozních kapalin a jejich sofistikovaným přiváděním do soustavy nástroje se snižují následující investice do výroby dílu, protože se zpravidla dosáhne dokonalého povrchu pro následující povrchovou úpravu.

Nevýhodou nekonvenčních metod tváření s použitím kapaliny jsou kromě pořizovací ceny a delších výrobních časů zpravidla požadavky na výkonný hydraulický agregát a na těsnost systému.

Zkrátka složitější metody, jako je například postupový hydroforming či metody Flexform a Wheelon, u nás čekají na objevení a zavedení do výrobního provozu a mohly by se potenciálnímu tuzemskému investorovi vyplatit, protože jsou na světovém trhu relativně krátkou dobu.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- 1 ACKER, Daniel. *Tower* [online]. [cit. 2012-02-11]. Dostupné z: http://www.danielackerprints.com/Journalism/Tower/14898817_zcDXQC#!i=1112121240&k=SDqVN
- 2 AVURE. *Aerospace* [online]. [cit. 2012-02-19]. Dostupné z: <http://www.avure.com/smf/applications/aerospace1.asp>
- 3 BARÁNEK Tomáš: *Tvarování tenkostěnných trubek*. Brno, 2010. 24 s., CD. FSI VUT v Brně, Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Kamil Podaný, Ph.D.
- 4 BORIT NV. *Bipolar Plates for Fuel Cells* [online]. 1234 [cit. 2012-02-18]. Dostupné z: http://www.borit.be/bipolar_plates.htm#
- 5 DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. 2. vyd. Brno: CERM, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7
- 6 *Effective simulation of hydroforming: Current capabilities and requirements for the future* [online]. 1234 [cit. 2012-04-13]. Dostupné z: <http://www.thefabricator.com/article/hydroforming/effective-simulation-of-hydroforming---current-capabilities-and-requirements-for-the-future>
- 7 FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ VUT V BRNĚ ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ. *Tribologie* [online]. 123 [cit. 2012-04-14]. Dostupné z: <http://old.uk.fme.vutbr.cz/kestazeni/tribologie/prednasky/prednaska8.pdf>
- 8 FAURECIA. *Hydroforming* [online]. [cit. 2012-02-11]. Dostupné z: <http://www.faurecialaautoshow.com/products-emissions.cfm>
- 9 FLEXFORM TECHNOLOGIES. *FlexForm is the lightweight champion of the world*. [online]. [cit. 2012-02-25]. Dostupné z: <http://www.flexformtech.com/Auto/>
- 10 *Flexible Metallic Ducting Products* [online]. [cit. 2012-02-11]. Dostupné z: <http://www.arrowheadproducts.net/products.aspx>
- 11 GUAN, Yabo. *Fourier series based finite element analysis of tube hydroforming: An axisymmetric model* [online]. [cit. 2012-03-16]. Dostupné z: http://www.emeraldinsight.com/content_images/fig/1820230701060.png
- 12 *Hydroforming* [online]. [cit. 2012-03-18]. Dostupné z: <http://www.fezzari.com/img/technologies/Hydroforming-1.jpg>
- 13 *Hydroforming of tubular parts* [online]. [cit. 2012-04-11]. Dostupné z: <http://www.koniker.coop/en/ficha.php?idficha=202>
- 14 *Hydroforming Press with Diaphragm* [online]. [cit. 2012-02-10]. Dostupné z: http://ukrainemade.com/category/industrial_equipment/8889/
- 15 *Hydroforming Processes for Tubular Parts* [online]. [cit. 2012-03-18]. Dostupné z: <http://www.globalspec.com/reference/69310/203279/chapter-12-hydroforming-processes-for-tubular-parts-optimization-by-means-of-adaptive-and-iterative-fem-simulation>

- 16 JONES METAL PRODUCTS COMPANY. *The Hydroforming Process* [online]. 2004 [cit. 2012-02-11]. Dostupné z: <http://www.jmpforming.com/hydroforming/about-hydroforming-process.htm>
- 17 KHODAYARI, Ghafoor. *Examining the effects of push assist on the formability of aluminum tubes* [online]. 10.6.2003 [cit. 2012-03-18]. Dostupné z: <http://www.thefabricator.com/article/hydroforming/examining-the-effects-of-push-assist-on-the-formability-of-aluminum-tubes>
- 18 LENFELD, Petr. *Technologie II.: Tváření kovů* [online], Liberec, 2009, TECHMICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI, Katedra strojírenské technologie, Oddělení tváření kovů a plastů. [cit. 2012-02-11]. ISBN 8073724669, 9788073724665. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/obsah_kovy.htm
- 19 *Low Pressure Hydroforming* [online]. 1234 [cit. 2012-03-23]. Dostupné z: <http://www.excellatechnologies.com/processlph.html>
- 20 LUBRICANT S.R.O. *Média pro hlubokotažné tváření* [online]. 25.7.2011 [cit. 2012-02-11]. Dostupné z: <http://www.lubricant.cz/cs/produkty/bechem/technika-tvareni/media-pro-hlubokotazne-tvareni-a-lisovani>
- 21 NOGUCHI. *Manufacture of fabricated metal products* [online]. [cit. 2012-02-18]. Dostupné z: http://www.aichi-brand.jp/corporate/images/020_s01.jpg
- 22 *Ohýbačka trubek xot 80 cnc*, [online]. [cit. 2012-03-24]. Dostupné z: <http://www.unitplus.cz/cz/vyrobky/xot/>
- 23 *Pfinder - tvářecí oleje a oleje pro ražení* [online]. [cit. 2012-04-14]. Dostupné z: <http://www.lubricant.cz/cs/produkty/pfinder/obrabeni-kovu-rezne-a-tvareci-oleje/tvareci-oleje-a-oleje-pro-razeni>
- 24 *Pillow Hydroforming* [online]. [cit. 2012-03-19]. Dostupné z: <http://www.designlight.se/docs/page30.html>
- 25 *Presshydraulika produkty* [online]. [cit. 2012-04-10]. Dostupné z: <http://www.presshydraulika.cz/produkty/>
- 26 *Pressure-sequence and high-pressure hydroforming: Knowing the processes can mean boosting profits*. [Http://www.thefabricator.com](http://www.thefabricator.com) [online]. 2001, 02/19, [cit. 2012-03-24]. Dostupné z: <http://www.thefabricator.com/article/hydroforming/pressure-sequence-and-high-pressure-hydroforming--knowing-the-processes-can-mean-boosting-profits>
- 27 Ptáček, L. a kol.: *Nauka o materiálu I*. Akademické nakladatelství CERM, Brno, 2001, (2. opravené a doplněné vydání 2003)
- 28 QUALITY FORMING. *Wheelon forming* [online]. 2012 [cit. 2012-02-18]. Dostupné z: <http://www.qfinc.com/images/QFI/Processes/Hydroforming-Full-Verson.jpg>
- 29 *Revolution in tube processing* [online]. 1234 [cit. 2012-03-18]. Dostupné z: http://www.fischer-group.com/en/img/505px/fischer_group_0110.jpg

- 30 ŘÁDA, Aleš. *Moderní postupy a technologie tváření plechových dílů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 35s. Vedoucí bakalářské práce doc.Ing. Milan Dvořák, CSc.
- 31 *Sheet-metal forming* [online]. [cit. 2012-02-18]. Dostupné z: <http://accessscience.com/overflow.aspx?searchStr=Sheetmetal+forming&stype=10&term=Sheet-metal+forming&rootID=796949>
- 32 *Speciální oleje pro tváření kovů* [online]. 1234 [cit. 2012-04-13]. Dostupné z: <http://www.rhenuslub.com/index.php?id=507>
- 33 *Tube and Pipe Bending of Copper Nickel* [online]. 1234 [cit. 2012-03-21]. Dostupné z: http://www.copper.org/applications/cuni/images/sys_comp/fig18.gif
- 34 *Tube Bending and Fabrication* [online]. 12 [cit. 2012-04-13]. Dostupné z: http://www.universaltube.com/bend_fab.html
- 35 *Tube Bending and Hydroforming* [online]. 1234 [cit. 2012-03-18]. Dostupné z: <http://www.me.uwaterloo.ca/~worswick/Research/bending.html>
- 36 *Tube hydroforming* [online]. 5.4.2011 [cit. 2012-03-25]. Dostupné z: <http://www.endmillwebsite.com/2011/04/05/hydroforming-2/>
- 37 *Tube Hydroforming Design Flexibility* [online]. 8.2. 2005 [cit. 2012-03-24]. Dostupné z: <http://www.thefabricator.com/article/hydroforming/tube-hydroforming-design-flexibility-part-vii-holes>
- 38 VRAŠTIAK, Michal. *Využití kapaliny ve tváření*. Brno, 2011.31s,CD.FSI VUT v Brně, Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí bakalářské práce Ing. Kamil Podaný, Ph.D.
- 39 ŽÁK, Jan, Radko SAMEK a Bohumil BUMBÁLEK. *Speciální letecké technologie 1.1.vyd.* Ediční středisko VUT Brno. Brno: Rektorát Vysokého učení technického v Brně, 1990. 220 s. ISBN 80-214-0128-1.

PŘÍLOHY

1 Příklady provozních kapalin [32]

Produkty	Viskozita při (40 °C) [mm ² /s]	Koroze mědi	Použití
Tažné oleje			
r.rhenus SW 35 P	40	1	Ocel, hliník Vodou mísitelný tažný olej bez minerálních olejů k tažení ocelových a hliníkových profilů a k hlubokému tažení oceli a hliníku. Je možné ho použít jak čistý, tak i pro vodou mísitelné emulze až cca 10%. Vhodný pro oběžné mazání.
Produkty pro vysokotlaké tváření			
r.rhenus FE 80	80	4	Pro tváření ,ohýbání a vnějšímu mazání trubek a profilů z oceli a NIRO u lisů IHU.
r.rhenus FSC-IHU	12/20 °C	1	Vodou ředitelné tlakové médium pro vnitřní tváření vysokým tlakem. Uvolněno firmou Schuler-Hydroforming.

2 Odpařovací oleje [23]

Výrobek	Kín. viskozita (40°C)	Ochrana proti korozi (volně v hale)	Třída ohrožení vod (W/GK)	Příklady použití, schválení
ODPAŘOVACÍ tvářecí oleje				
PFINDER AP 370/5 Odpařovací olej pro tváření	4 mm ² /sec (20°C)	3 měsíce	1	Odpařovací olej pro ražení, jednoduchá tváření a lisování ocelových a hliníkových plechů.
PFINDER AP 199 Odpařovací olej pro tváření	1,6 mm ² /sec	..	1	Beze zbytků odpařitelný olej pro ražení, jednoduchá tváření tenkých plechů z oceli a obzvláště z hliníku a mědi.