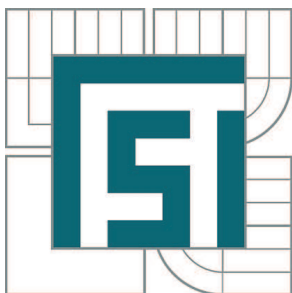


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VYUŽITÍ KAPALINY PŘI TVAROVÁNÍ TRUBEK

UTILIZATION LIQUID IN TUBES SHAPING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

DALIBOR VILDA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. KAMIL PODANÝ, Ph.D.

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Dalibor Vilda

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:

Využití kapaliny při tvarování trubek

v anglickém jazyce:

Utilization liquid in tubes shaping

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o zpracování literární studie technologií, které využívají při tvarování trubek jako tvářecí médium kapalinu. 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 tvarování trubek kapalinou 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 2012/2013.

V Brně, dne 20.11.2012

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

VILDA Dalibor: Využití kapaliny při tvarování trubek.

Práce předkládá studii technologií, které využívají při tvarování trubek jako tvářecí médium kapalinu. Obsahuje popis metod nízkotlakého, vysokotlakého a postupového hydroformingu i radiálního vypínání kapalinou. Součástí práce je také hodnocení jednotlivých metod, jejich výhody a nevýhody a ukázky užití v praxi.

Klíčová slova: kapalina, trubka, tvarování trubek, hydroforming, radiální vypínání

ABSTRACT

VILDA Dalibor: Utilization liquid in tubes shaping.

This publication elaborates on work about technologies, which utilize liquid as forming media in tubes shaping. There is a description of methods like low-pressure, high-pressure and pressure-sequence hydroforming and radial expanding by a liquid. A part of the work is also evaluation of individual methods, their advantages and disadvantages and examples of use in a practice.

Keywords: liquid, tube, tubes shaping, hydroforming, radial expanding

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

VILDA, Dalibor. *Využití kapaliny při tvarování trubek*. Brno, 2013. 28s, CD. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. 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 24. 5. 2013

.....
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

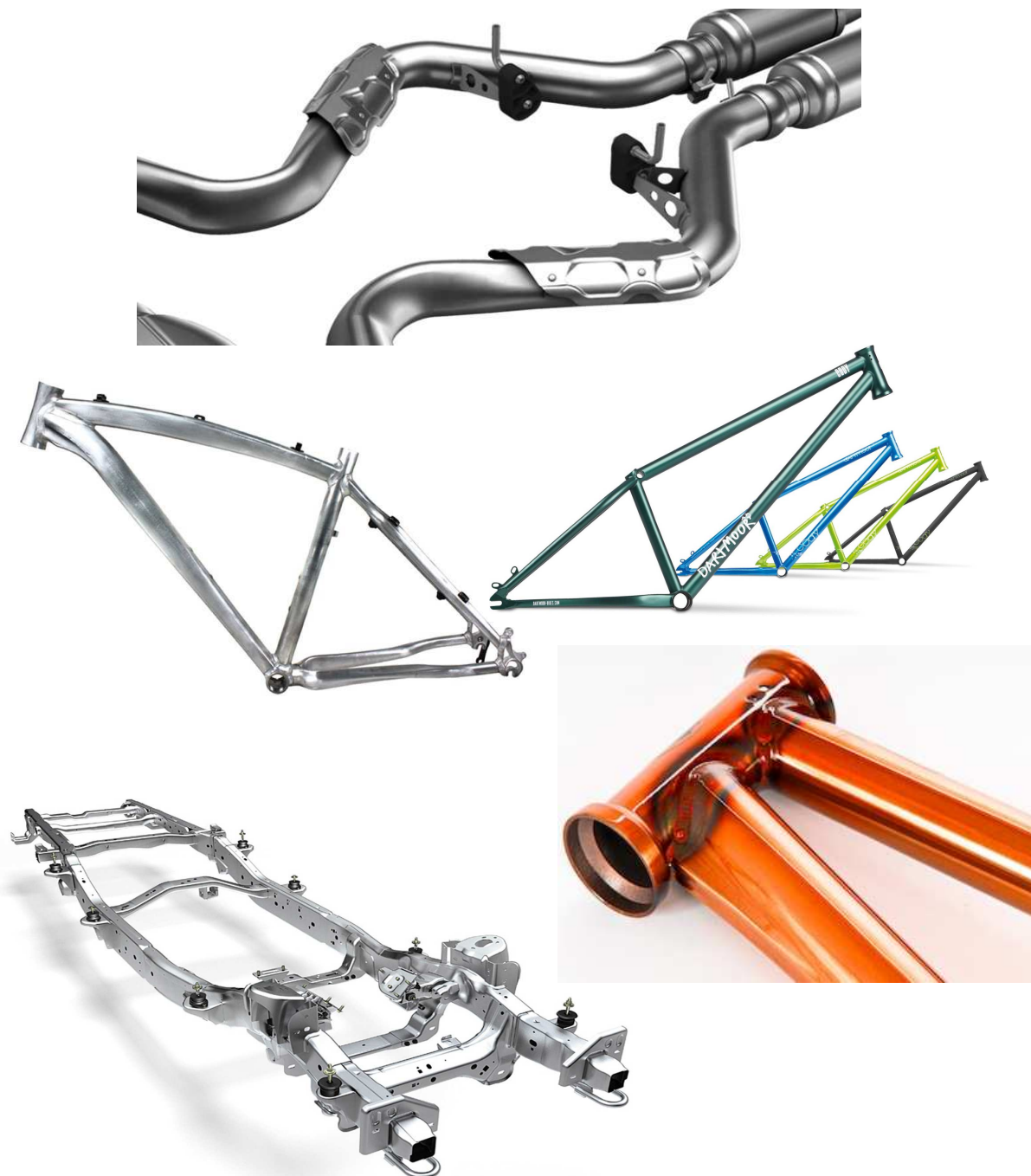
ÚVOD	9
1 HYDROFORMING	10
1.1 Nízkotlaký hydroforming.....	11
1.2 Vysokotlaký hydroforming.	14
1.3 Postupový hydroforming.....	19
2 RADIÁLNÍ VYPÍNÁNÍ.....	22
2.1 Vypínání kapalinou	25
3 DALŠÍ MOŽNOSTI TVAROVÁNÍ TRUBEK KAPALINOU	27
4 ZÁVĚR.....	28

Seznam použitých zdrojů

ÚVOD [10] [24] [31] [36] [52]

Dnešní moderní doba klade důraz na levné a sofistikované řešení technických problémů a způsobů výroby. Jsou navrhovány tvarově složité součásti, které nebylo možno dříve vyrobit, kupříkladu složité ohýbané trubkové profily a duté výrobky různých nepravidelných tvarů, viz obr. 1.

Složité tvarované součásti bývají velice drahé. Aby byla jejich sériová výroba co nejlevnější a nejefektivnější, tak jsou klasické konvenční metody nahrazovány metodami nekonvenčními s co nejmenším počtem operací. Jako příklad lze uvést metody, kde je tvářecím nástrojem kapalina. K těmto metodám patří nízkotlaký, vysokotlaký a postupový hydroforming nebo také radiální vypínání.



Obr. 1 Příklady trubkových profilů [13] [30] [33] [35] [49]

1 HYDROFORMING [10] [26] [36]

Jedná se o nekonvenční metodu tváření tzv. nepevným nástrojem, kdy jako tvářecí medium je použita kapalina. Tato metoda využívá vnitřního tlaku kapaliny, který působí na stěnu trubky. Stěna pak překoná odpor materiálu vůči přetvoření a materiál teče cestou nejmenšího odporu. Dochází k tvarování polotovaru podle dutiny formy, ve které je vložen (obr. 2). Při těchto procesech může vnitřní tlak kapaliny dosahovat velmi vysokých hodnot a to až 600 MPa.

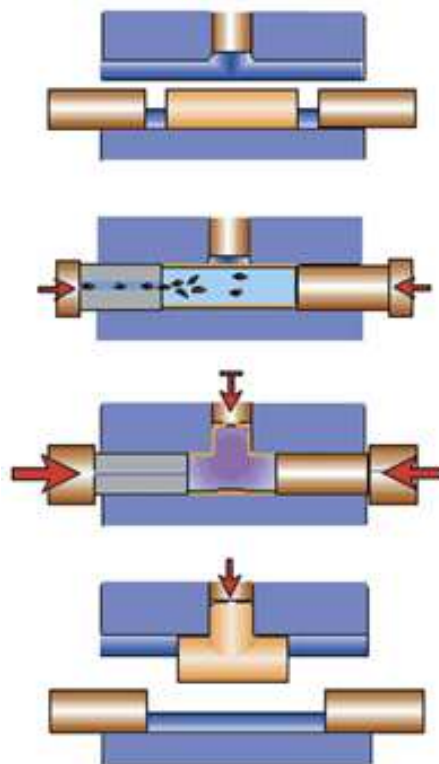
Hydroforming jako takový je relativně mladá metoda, avšak první zmínky o využívání kapaliny k tvarování trubek sahají více než 100 let do minulosti, kdy byla metoda patentována na výrobu součástí parních lokomotiv a hudebních nástrojů. K nejběžnějším využitím pak po několik desetiletí patřila výroba potrubních částí, především T tvarovek (obr. 3). Ačkoliv používání kapaliny k tvarování kovových polotovarů a trubek má dlouhou historii, k nejvýraznějšímu vývoji, pokroku a rozšíření došlo až v posledních 25 letech, zejména zásluhou automobilového průmyslu, kde jsou kladeny čím dál větší nároky na vlastnosti vyrobených dílců a zefektivňování technologií jejich výroby.



Obr. 3 T tvarovka [26]

snížení jejich hmotnosti při zachování stejných pevnostních charakteristik. Lze tvářet výlisky komplexních tvarů, tudíž se zmenšuje počet svarových spojů na hotové součásti. Pojem dílec komplexních tvarů je chápán jako dílec složité geometrie, včetně různých děr, otvorů, prolisů a ostrých poloměrů, který by bylo velice obtížné, nebo přímo nemožné vyrobit běžnými konvenčními metodami jako jediný dílec.

Není náhodou, že metody tváření kapalinou se rozšířily i do jiných průmyslových odvětví. Zejména pak do tváření rámců jízdních kol (obr. 5), kde se velice dobře osvědčily nejen výše zmíněné výhody hydroformingu, ale také obecné výhody nekonvenčních metod, jako jsou například nižší náklady na nástroje, rovnoměrné rozložení tlaku na polotovar a tedy rovnoměrnější tloušťky stěny, bezproblémové odstranění dílce z nástroje, vysoká efektivita apod.



Obr. 2 Postup metody [1]

Právě využití hydroformingu v automobilovém průmyslu přineslo mnoho výhod, jako například zjednodušení výroby, racionální využití materiálu, tak v neposlední řadě i šetření životního prostředí. K nejvíce používaným dílcům patří uzavřené profily složitých tvarů (obr. 4), které by se běžným postupem svařovaly z více samostatných výlisků, otvory by se vyráběli buď po vylisování jednotlivých částí, nebo až po jejich svaření. Tvarování trubek metodami hydroformingu tato omezení odstraňuje a rozšiřuje možnosti využití dílců s uzavřeným profilem. Dále je možnost zvýšení torzní a ohybové tuhosti dílců, nebo



Obr. 4 Uzavřený složitý profil [43]

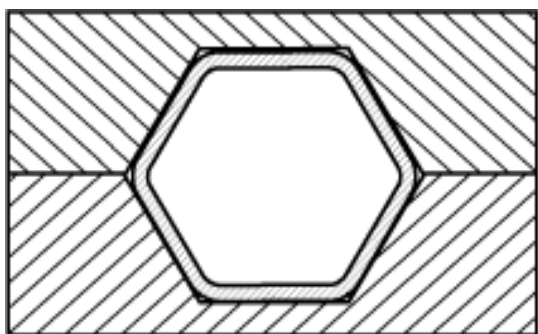


Obr. 5 Rám kola [17]

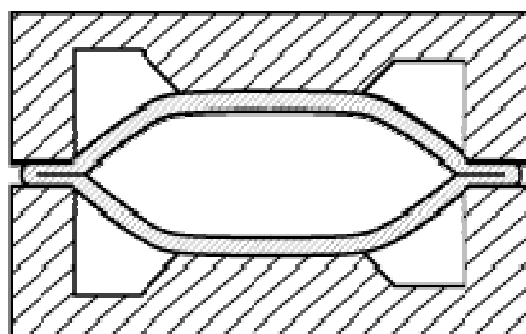
Nejjednodušší metodou je nízkotlaký hydroforming, dále v praxi nejčastěji využívaný vysokotlaký hydroforming a metoda postupový hydroforming (Pressure-sequence hydroforming), který je z nich nejnovější.

1.1 Nízkotlaký hydroforming [10] [27] [42] [52]

Low-pressure hydroforming, (LPH) je nejjednodušší typ tváření trubek pomocí kapaliny, protože využívá nižšího vnitřního tlaku v průběhu uzavírání formy a dají se s ním provádět jen méně náročné operace, nazývá se nízkotlakým hydroformingem. Zpravidla se používá dvoudílná forma, která má v průřezu v podstatě stejný obvod a tvar jako tvářený polotovár. V praxi to znamená, že tvary příčného průřezu by měly být jednoduché (obráz. 6) a přechody mezi nimi pozvolné. Nesmí zahrnovat malé poloměry, protože nižší vnitřní tlak nezpůsobí v těchto místech dosažení meze kluzu daného materiálu. Právě složitější tvary příčného průřezu mají za následek svírání materiálu mezi poloviny formy v dělicí rovině při jejím zavírání (obráz. 7). Řešení tohoto problému, který omezuje využití LPH, mělo za následek přispění k vývoji dalších metod, ve kterých byl zmíněný nežádoucí účinek odstraněn.



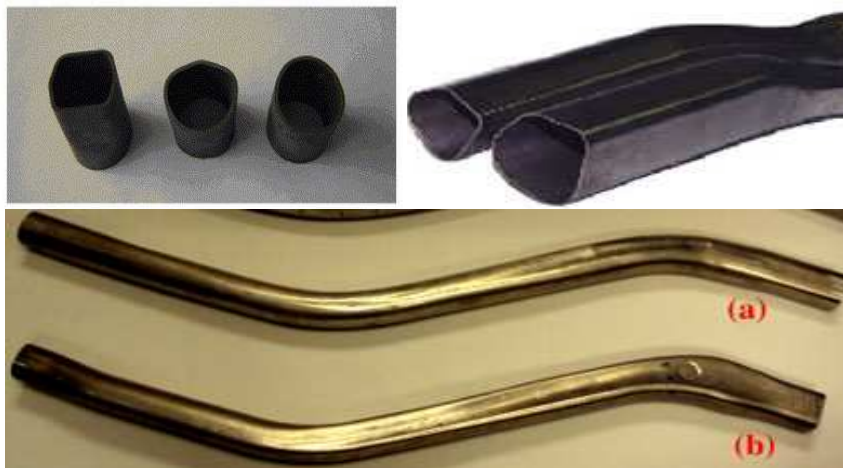
Obr. 6 Příklad tvaru formy pro LPH [27]



Obr. 7 Příklad sevřeného material [27]

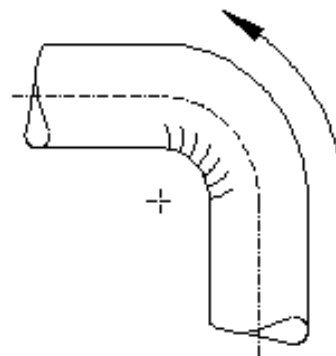
Postup LPH lze pozorovat na obr. 8, kde se nejprve obě poloviny formy dotýkají obvodu trubky (a). Poté je jedna polovina formy hydraulicky přitlačována k druhé nepohyblivé polovině. Dojde k uzavírání formy a zároveň k deformaci přesného kruhového průřezu trubky podle tvaru dutiny formy (b). Trubka je napuštěna vodou a za nízkého tlaku působícího uvnitř trubky se pokračuje v uzavírání formy (c). Tvarování je téměř dokončeno, jakmile je forma uzavřena (d). Uzavřením formy dojde díky nestlačitelnosti kapaliny k nárustu tlaku na vyšší hodnoty zpravidla do 60 MPa. Vyšší tlak spolu s nestlačitelností kapaliny uvnitř polotovaru zaručuje, že nedojde ke zborcení materiálu ani k zúžení stěny. Po přetvoření profilu (obr. 9) nedochází k následné změně obvodu, ten je pořád stejný. Dále způsobuje také vyhlazení rovinných ploch a geometrickou kalibraci tvaru, avšak nedokončí tváření v oblastech rohů.

Díky kombinaci mechanické a hydraulické síly, využití při tvářecím procesu, je dosaženo usnadnění celkového postupného tváření. Užití nízkého tlaku vody při uzavírání formy dovoluje materiálu lehce sklouznout na povrch dutiny dané formy a dostat se na místo pomocí síly hydraulického lisu. Tlak také udržuje v kontaktu trubku s povrchem dutiny formy.

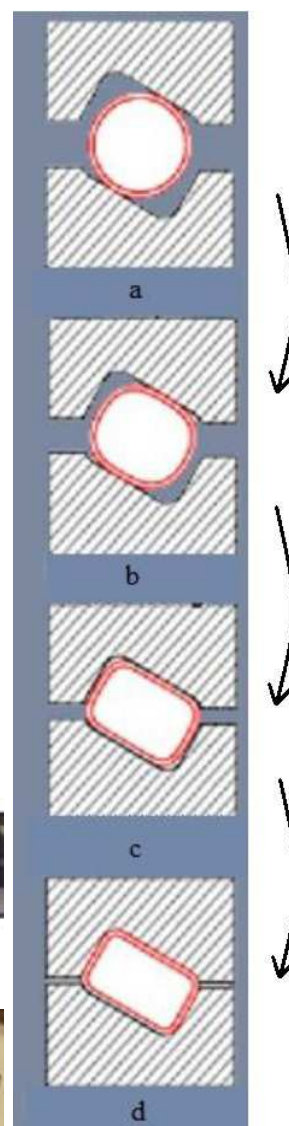


Obr. 9 Příklady přetvoření profilů [21] [28] [32]

Při LPH se používá hydraulická kapalina jako doprovodný prvek, která vlastně zastává funkci tekuté výplně. V podstatě je celý princip založen na zákonu zachování objemu, kdy tekutá výplň díky své nestlačitelnosti zabraňuje zvlnění (obr. 10) a zborcení stěny trubky směrem dovnitř. Rovnoměrné rozložení tlaku přispívá ke kvalitnějšímu povrchu oproti konvenčním metodám. Kvalita povrchu je velice důležitá a zásadní při nanášení antikorozi ochrany. K nejčastějším ochranám patří žárové zinkování a chromování. Na nekvalitním povrchu by zinek ani chrom nadržel a docházelo by k loupání.

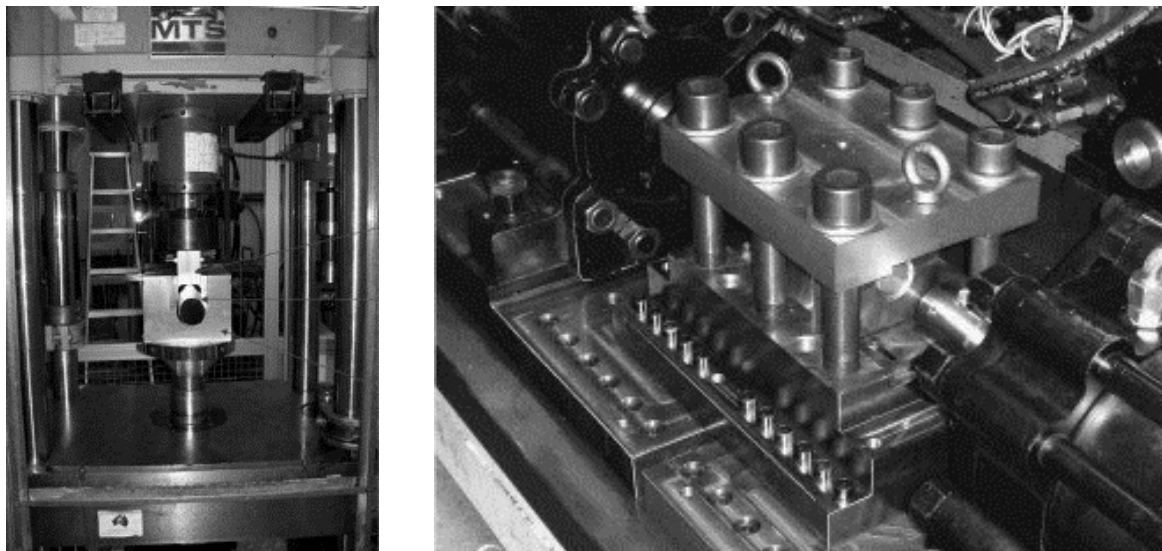


Obr. 10 Zvlnění [8]



Obr. 8 Postup LPH [11]

Mezi světové výrobce využívající LPH patří například americké firmy H&H Tube a ULTIMATE Hydroforming, inc. V České republice je již LPH také rozšířený, kupříkladu jednou z firem je AXEL GROUP s.r.o. která patří k předním tuzemským výrobcům zabývajících se zejména hliníkovými profily. Vyrábí například tenkostěnné hliníkové profily na stavbu stánků, pro dopravní značení, bazénové, nábytkářské profily a jiné.



Obr. 11 Příklad strojů pro LPH [9] [40]



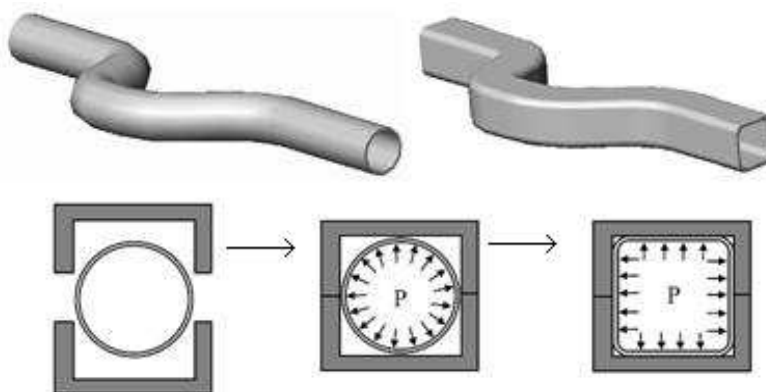
Obr. 12 Ukázky výrobků pomocí LPH [5] [48] [51]

1.2 Vysokotlaký hydroforming [23] [27] [36] [42]

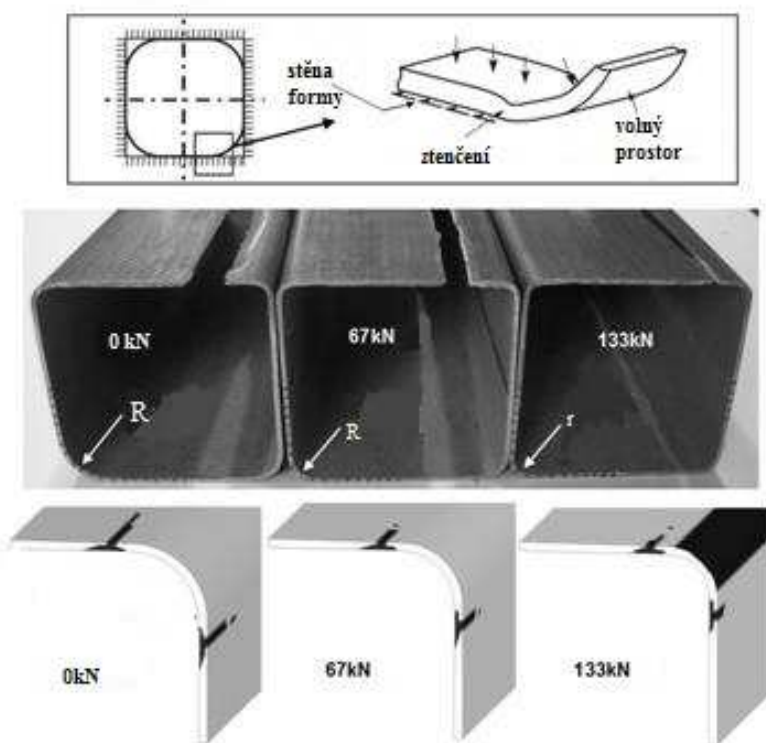
High-pressure hydroforming, (HPH) je používanější než LPH a umožňuje tvářet složitější dílce. Uplatňuje se zejména, tam kde je potřeba realizovat výrobu a provoz konstrukce, která má za úkol přenést velké zatížení a zároveň je požadována nízká hmotnost, a kde běžné normalizované kruhové a čtvercové profily, dovážené přímo z hutí, nevyhovují. V dnešní době je zcela běžné, že konstruktéři navrhují profily s proměnnou tloušťkou a proměnným průřezem. Typickým příkladem je rám kola, u kterého je snaha o co nejlepší vlastnosti a nejnižší váhu.

Tradiční vysokotlaký hydroforming využívá k rozpínání materiálu do rohů formy, ve které je uzavřen, vysokého vnitřního tlaku kapaliny (obr. 13).

Přítlačováním materiálu ke stěnám formy se znemožňuje jeho skluz do rohů, což má za následek nerovnoměrné rozpínání a zeslabení stěny trubky v rozích formy (obr. 14). Výsledkem toho je průměrný místní rozdíl rozpínavosti 7% s roztahením příčného průřezu a místním zeslabením stěny. Částečně lze tomuto nežádoucímu zeslabení stěny zabránit axiálním stlačováním materiálu, které se výrazně projeví zejména na koncích trubky. Redukce zpětného odpružení je zajištěna tím, že celá trubka je plasticky deformována rozpínáním. Pakliže jsou tvářeny ostré rohy, zeslabení stěny trubky může dosáhnout 20% a mez kluzu je zvyšována deformačním zpevněním se stejným poměrem. Výhodou je, že s klesáním tloušťky stěny materiálu klesají i požadavky na potřebnou velikost vnitřního tlaku pro tváření rohů. Zeslabení je jev nežádoucí a může způsobovat deformace profilu, především



Obr. 13 Princip HPH [42]



Obr. 14 Zeslabení při různých tlacích [42]

na velkých plochách. Pro zajištění funkčnosti zeslabených stěn se frézují nebo jiným způsobem vyrábí do stěny formy drážky. Do nich pak při zvyšování vnitřního tlaku kapaliny teče materiál a vznikají tak zpevňovací žebra.

K správnému roztahování materiálu je důležité, aby vnitřní tlak kapaliny byl po celou dobu tváření dostatečně vysoký, jedná se o hodnoty až 240 MPa. Avšak při navrhování polotovarů, finálních dílců a nástrojů je záměrem, aby bylo použito co nejmenšího vnitřního tlaku, zejména kvůli ekonomické stránce. Důvod je prostý, čím vyšší tlaky, tím jsou vyšší nároky na použitý hydraulický lis a zvětšuje se velikost a cena kapalinové soustavy. Dochází také k prodlužování výrobních časů z důvodu delší doby nutné k dosažení potřebného tlaku kapaliny. Také opotřebení nástrojů se s vyšším tlakem zvětšuje, tudíž je potřeba jejich častějších oprav.

Vysoké požadavky jsou kladeny i na materiál. Musí disponovat dostatečně velkou tažností, která zaručuje snížení pravděpodobnosti vzniku trhlin. Také musí být zároveň dostatečně pevný, aby splňoval požadavky na tuhost dílce. To může znamenat, že běžně používané materiály nebudou splňovat tyto požadavky. Proto jsou pro HPH vyvíjeny speciální hlubokotažné oceli, které jsou ale samozřejmě dražší než klasické. Použití těchto ocelí, díky nižším mezím kluzu, snižuje nároky na velikosti vnitřních tlaků. Další výhodou je vysoká tažnost, která zvyšuje stabilitu procesu a zlepšuje tvaritelnost. Na druhou stranu mají speciální hlubokotažné oceli nízkou pevnost. Ta způsobuje, že v případech, kdy je žádána vyšší tuhost součásti a zároveň zachování nízké hmotnosti, je nelze použít. V takových situacích se používají vysokopevné legované oceli.

V některých případech je pro HPH nezbytné použít trubky, které jsou svařeny speciálními metodami, kupříkladu laserem. V porovnání s odporovým svařováním je jejich produkce pouze 5-10% kvůli ceně. Někdy se musejí tvářet vyžíhané trubky, nejčastěji jde o indukčně vyžíhané trubky v nejvíce namáhaných místech. Při žíhání se proti tvorbě okují využívá ochranná dusíková atmosféra. Aby nedošlo k zakalení trubek, je třeba je nechat před tvářením aspoň 20 minut chladnout. K snížení tření mezi povrchem formy a materiálem a zároveň k zmenšení zeslabení v rozích jsou využívána maziva. Povrchy forem a dílců jsou navrhovány tak, aby lépe udržely mazivo a tím se snižovala spotřeba používaného maziva. Tyto přídatné operace jako žíhání, použití ideálního materiálu, čištění, mazání apod. patří často k nezbytným součástím k dosažení správného výsledku. Avšak vše se to negativně projevuje v nákladech a tudíž je snaha o co největší minimalizaci.

Součástí mnoha automobilových dílů jsou otvory (obr. 15), které slouží k připojování jiných součástí nebo na rozvod hydrauliky. Jejich způsob výroby na součásti tváření kapalinou lze provádět buď během tváření, nebo po něm a téměř všude. Nejvíce ekonomický způsob je vystříhat díry přímo ve formě, zároveň se jedná také o nejpřesnější způsob co se polohy a rozměru díry týče. Proto by měla být snaha tvářet otvory co nejvíce už ve formě. Otvory s vodíci používané pro střížníky oslabují formu a k zajištění její tuhosti při vysokých tlacích je potřeba zredukovat počet děr a jejich umístění. To vede k potřebě některé díry obrábět až po tváření, a celý proces je pak z důvodu přidání další operace časově i finančně náročnější a zároveň i méně přesný.

HPH disponuje velkým potenciálem v možnosti sériové výroby. Zejména pak normalizovaných komponentů, používaných při instalování inženýrských sítí. Bývají to především těla ventilů, různé rozbočky a jiné části používané k instalaci



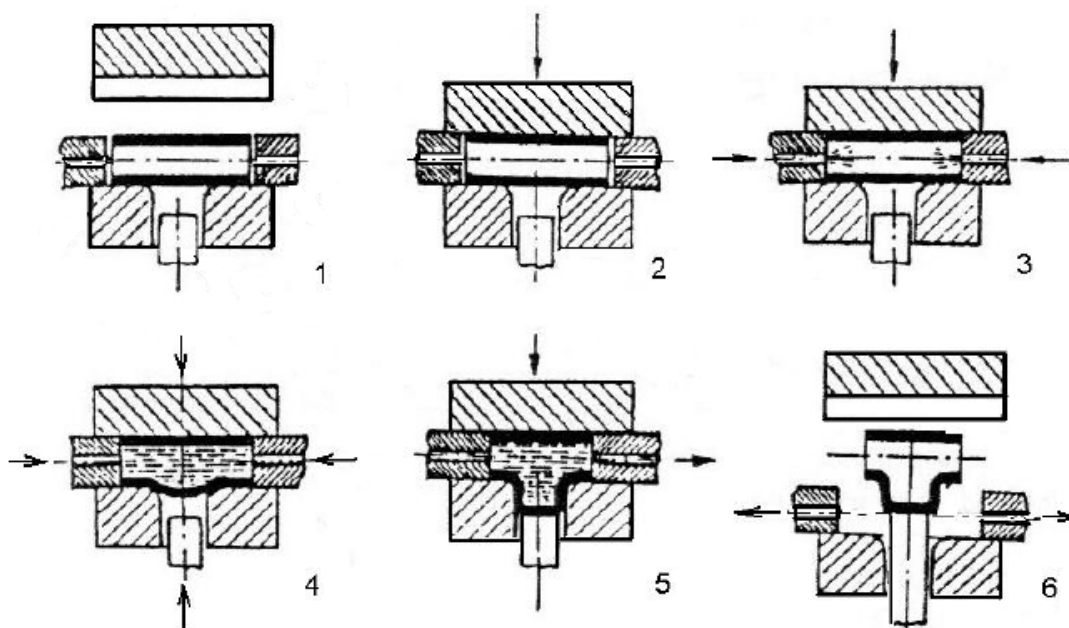
Obr. 15 Příklad dílu s otvory [34]

rozvodů topení a vody ve stavebnictví, dále třeba v potravinářství, kdy je použití plastových komponentů nevhodné. Vyrábí se tak hlavně měděné a korozivzdorné díly na principu tečení materiálu nejsnazší cestou.

Klasickým příkladem je tvarovka typu T (obr. 16). Její výrobní postup je znázorněn na obr. 17. Nejprve je výchozí polotovár, v tomto případě trubka, umístěn do spodního dílu formy (nástroje), jejíž dutina má tvar hotového T kusu (1). Poté horní díl nástroje sevře trubku (2). Další fáze spočívá v tom, že trubka je naplněna kapalinou a probíhá axiální stlačování dvěma proti sobě působícími lisovnicí (3). K tečení materiálu do dutiny formy a k vytvoření finálního T tvaru dochází pomocí tlaku kapaliny uvnitř polotovaru při současném axiálním stlačování (4). Axiální stlačování může být v některých případech doplněné brzděním odbočky, aby nedocházelo k protržení dna (5). Po otevření formy se tvarovka vyjme pomocí vyhazovacího trnu (6).



Obr. 16 Tvarovka typu T [50]

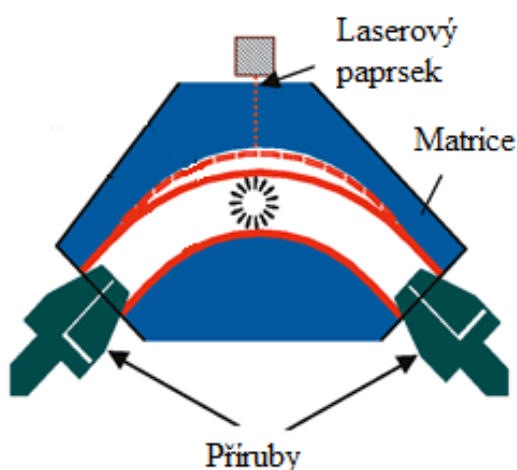


Obr. 17 Postup výroby T tvarovky [10]



Obr. 18 Ukázka zařízení [18]

Své využití nalezne HPH také jako doprovodná operace při ohýbání trubek podobně, jako tomu bylo u LPH. Nejprve se k rovné trubce upevní příruby a dochází k naplnění trubky kapalinou. Poté se trubka založí do matrice a ohybník upevněný na beranu lisu trubku ohýbá. K zabránění nežádoucích defektů, jako jsou ztenčení stěn, zvlnění materiálu na vnitřní straně ohybu anebo vznik ovality, slouží nízký tlak kapaliny uvnitř trubky. Následně dochází k zvýšení tlaku v soustavě na hodnotu, která je dostačující k tečení materiálu a trubka je dotvořena podle tvaru matrice. V dnešní době jsou už nejnovější nástroje vybaveny laserovým měřením tvaru (obr. 19). Což umožňuje v omezeném množství využívat pro podobné výrobky tentýž nástroj.



Obr. 19 Ohýbání trubek s následným dotvořením kapalinou [3] [23]

HPH přinesl průlom v navrhování a výrobě vysoce namáhaných a zároveň velmi lehkých dílů, vyráběné přímo pro daný požadavek. Zásahu na tom má především automobilní a letecký průmysl, kde je výroba pevných a lehkých součástí klíčová (obr. 20).



Obr. 20 Příklady vyráběných dílů [7] [14] [15] [22]

K bezesporu největším výhodám patří efektivnost HPH, možnost vyrábět velmi složité a přesné tvary profilů, je to bezodpadová technologie a velmi vhodná do sériové výroby apod. Za zmínku stojí i relativní jednoduchost výrobního stroje, který je složen z hydraulického agregátu, přípojných hadic s přírubami a formy připevněné k podlaze. Nevýhody jsou vysoké pevnostní nároky na rám formy, vysoké požadavky na těsnost systému atd.



Obr. 21 Výrobní stroje pro HPH [4] [6]

K významným zahraničním výrobcům patří AMERICAN HYDROFORMERS INC, tato firma se zabývá výrobou automobilových částí (výfukové soustavy, těla katalyzátorů, topné a chladicí soustavy atd.). Dále také německé firmy FISHER Group a KIRCHHOFF Automotive Deutschland GmbH, SPECIALIZED (rámy kol) a plno dalších. V České republice je již HPH také rozšířený, zabývá se jím například firma BOLTJES INTERNATIONAL spol. s.r.o., která se věnuje ohýbání a tvarování samotných trubek či trubkových systémů pro automobilový průmysl a hlavně pro tepelnou techniku. Disponují velko, středně i malosériovou výrobou z nerezových, hliníkových, ocelových a měděných trubek.

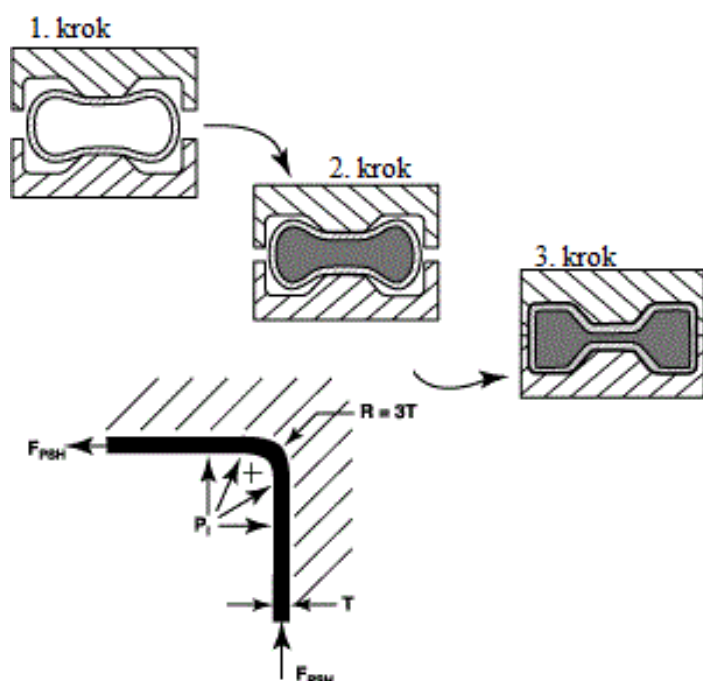


Obr. 22 Příklady výrobků firmy FISHER Group [14]

1.3 Postupový hydroforming [27] [36] [46]

Pressure-sequence hydroforming, (PSH) je speciální metoda hydroformingu, kterou si jako první nechala patentovat firma Vari-Form. PSH umožňuje tvářet dílce složitých komplexních tvarů z většiny materiálů včetně těch obtížně tvářitelných a tlustostěnných. Uplatnění nachází zejména, je-li potřeba vyrobit pevné rámy karoserií automobilů, při využití co nejmenšího počtu dílců. U takového procesu je nutné vyrábět velmi složitě tvarované profily s mnoha montážními otvory po obvodu i často proměnným průřezem a vše nejlépe jedním nástrojem při jedné operaci.

Hlavní výhoda PSH je, že dokáže jedním nástrojem v několika málo krocích vytvořit z hutního polotovaru finální produkt, kterému schází pouze povrchová úprava například lakování.

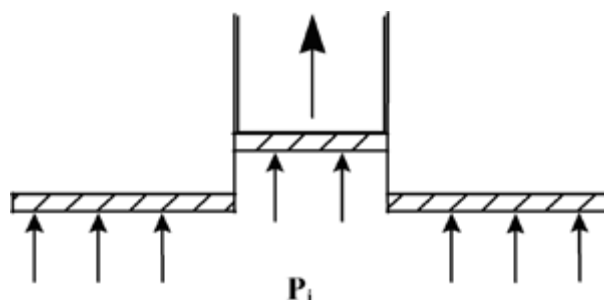


Obr. 23 Postup PSH [27]

Samotný postup tváření probíhá ve třech různých krocích při rozdílných vnitřních tlacích, viz obr. 23. První krok spočívá v založení trubkového polotovaru do dvoudílné formy a následném částečném zavření trubky mezi pohyblivou a pevnou částí formy. Poté je trubka zaplněna kapalinou o nízkém vnitřním tlaku. V druhém kroku pokračuje uzavírání formy a tlak kapaliny napomáhá pohybu stěny trubky uvnitř dutiny formy. Materiál tak lehce překoná účinky tření bez nanášení jakýchkoliv maziv mezi polotovar a dutinu. Dále také tlak kapaliny zabraňuje sevření materiálu, díky konstantnímu objemu vnitřního prostoru. Proto je dutina formy navržena s téměř totožným obvodem jako tvářený polotovar. Zásadou takřka stejných poloměrů je materiál vytlačován do rohů dutiny už při uzavírání formy, a proto

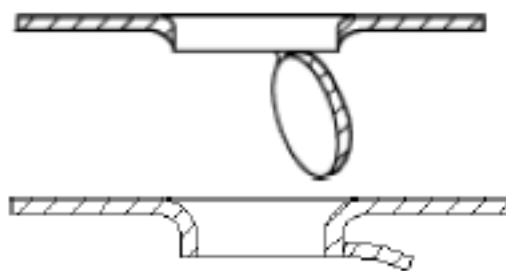
polotovar není tažen a dochází k minimalizaci ztenčení stěny v rozích. V posledním kroku dojde k navýšení vnitřního tlaku kapaliny k vytvarování průřezů tam, kde v prvním a druhém kroku, při silovém působení nižšího tlaku, nenastalo překročení meze kluzu daného materiálu. Jedná se především o místa s malými rádiusy nebo místa s ostrými přechody mezi jednotlivými plochami. Ve třetím kroku, za působení vysokého vnitřního tlaku, dochází také k vystřihování otvorů (obr. 24).

Otvory disponují prakticky jakýmkoliv tvarem od kulatých po čtvercové až víceúhelníkové, využívány jsou pak jako montážní, přístupové a propojovací otvory pro nýty, vruty, šrouby nebo jako průchodky elektroinstalace. Systém jejich tváření je velice přesný, propracovaný a zároveň jednoduchý a výroba je méně náročná. Proto patří PSH k přední světové technologii pro vytváření děr přímo uvnitř



Obr. 24 Děrování vysokým tlakem [29]

formy. Jednotlivé střížníky jsou již součástí formy a jejich střížné plochy nejprve tvoří tvar dutiny a až ve třetím kroku plní svoji funkci, viz obr. 23. Jejich velikost se pohybuje od průměru tří milimetrů do tvaru obdélníku o rozměrech 40 x 50 mm. Posun všech střížníku směrem dovnitř je současný. Pohon většinou zajišťují pneumatické válce, neboť stlačený vzduch reaguje na sepnutí spínače o poznání lépe a mnohem rychleji než hydraulická kapalina. Je zapotřebí, aby hydraulická soustava reagovala na možné snížení tlaku dodáním kapaliny do hydraulického systému, protože může dojít k netěsnostem mezi střížníkem a materiálem. Takto zhotovené otvory mají nejpřesnější vzájemnou polohu, neboť dochází k eliminaci chyby, která by vznikala při následných upínání dílce do přípravku. Následným zasunutím střížníků do prvotní polohy dochází k odčerpávání kapaliny z dutiny produktu a odstraňování odpadu vzniklého vystřihováním otvorů pomocí stlačeného vzduchu. Nižší vnitřní tlak kapaliny zvyšuje maximální počet otvorů v konečném produktu. Střížníky mohou být menších rozměrů a v malých vzdálenostech od sebe, neboť forma u PSH nemusí být natolik robustní jako je tomu u HPH. V jednom nástroji se může vyskytovat více než 60 jednotlivých střížníků, v závislosti na jejich velikosti a velikosti dílce. Střížníky mohou být použity buď klasické anebo se zvětšeným průměrem pro lemování okrajů děr, viz obr. 25. To je výhoda hlavně pro zvětšení délky závitů tvářených nebo řezaných do díry.



Obr. 25 Klasický a lemovaný otvor [29]



Obr. 26 Příklad otvorů z praxe [25]

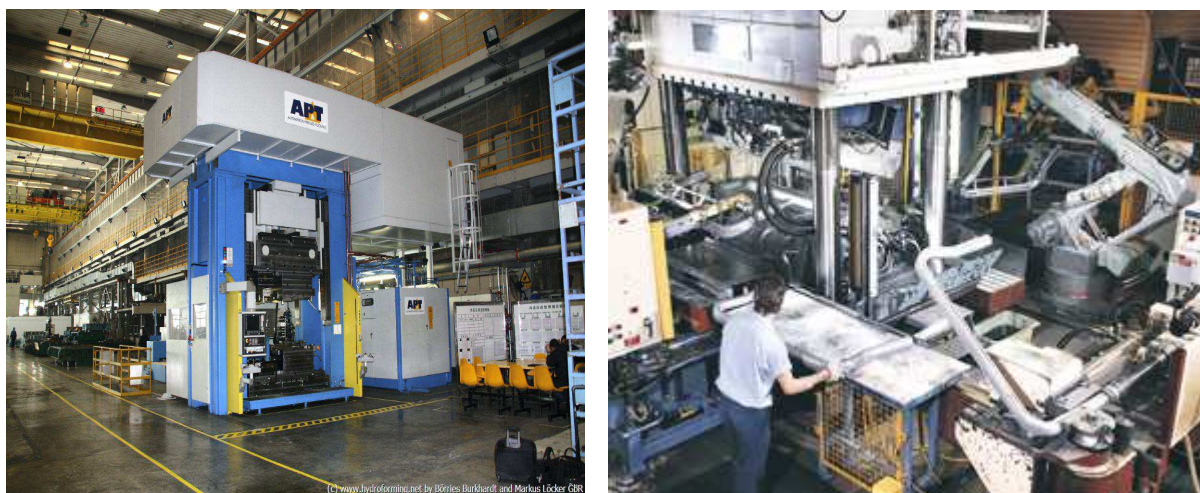
Velikost vnitřních tlaků kapaliny při PSH se v prvním a druhém kroku pohybuje zhruba od 35 do 75 MPa. Minimální vliv má na velikost potřebného vnitřního tlaku použití tlustostěnných trubek, vysokopevných materiálů nebo výskyt ostrých rohů v příčném průřezu. Vysoký tlak, který je potřebný ve třetím kroku, je nutný k dokončení a kalibraci dílce, až když je forma úplně zavřena. Jeho hodnoty mohou mít jakoukoliv velikost dle potřeby, kupříkladu až 170 MPa. Ovšem musí splňovat mez, na jakou je lis nebo nástroj dimenzován. PSH umožňuje tvářet vysokým tlakem, například při rozpínání příčného průřezu dílu, vhodné jsou i válce pro axiální stlačení, avšak je zapotřebí také dražších a větších nástrojů a dochází k nárustu výrobních časů. V takových situacích je z časových a ekonomických důvodů vhodnější HPH. Extrémně vysokých tlaků je při PSH využíváno jen tehdy, pokud se to jeví jako nejlepší možnost, i přes vyšší ekonomické nároky na zařízení a nástroj.

Protože u PSH nenastává změna obvodu, není moc náročný na tvařitelnost materiálů na rozdíl od HPH. Při HPH dochází k změně obvodu až o celých 50%, tudíž i k zeslabení stěny. Tím, že je tlak kapaliny využíván u PSH jako doplňkové médium, nenastává ani u malých rádiusů nežádoucí zeslabení, a proto lze použít i obtížně tvařitelné materiály, které však v plné míře vyhovují následné aplikaci v zástavbě. Jde především o oceli s malým obsahem uhlíku, legované oceli, vytvrzené slitiny hliníku, nerezové oceli a jiné. V některých případech se do nástroje vkládají polotovary už s povrchovou úpravou, která nepodléhá poškození při samotném tváření.

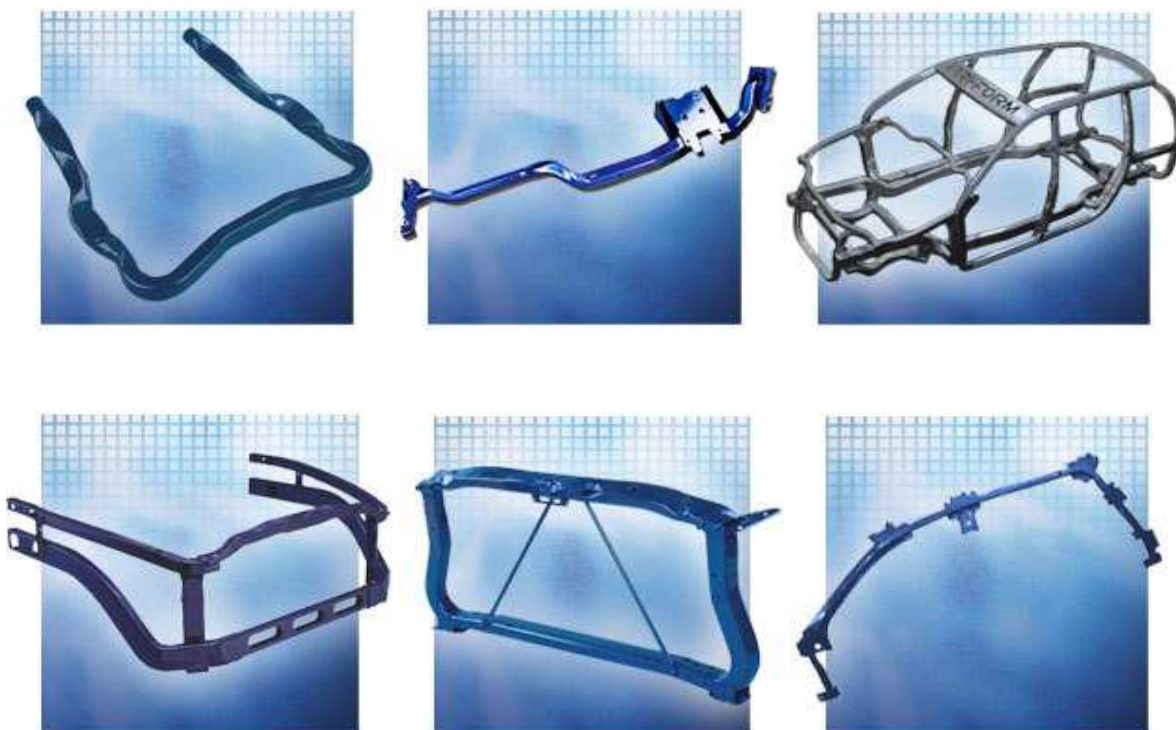
Metodu PSH ve většině případů používají hlavně velké automobilové závody a dodavatelé dílů pro letecký průmysl, které mají zajištěný stálý a velký odběr serií (BMW, Vari-Form, VW a další). Hlavním důvodem je především vysoká pořizovací cena kompletních výrobních

linek (obr. 27) a také nutnost použití kvalitních ocelí na výrobu dutin forem. To proto, neboť aby byla linka výtlačná, je potřeba, aby pracovala nepřetržitě celý den a formy nepodléhali abrazivnímu poškození. V ČR tuto metodu používá například ŠKODA AUTO a.s.

K hlavním přednostem PSH patří umožnění tváření složitých a pevných dílců (rámy karoserií, závěsy motorů atd.) v jednom nástroji z co nejméně částí, možnost tváření téměř všech materiálů včetně těch špatně tvářitelných, velká přesnost jednotlivých prvků vůči sobě. Nevýhody jsou ovšem velmi vysoké pořizovací náklady linky, která mimo jiné je velmi náročná i na rozměry plochy, kde je umístěna.



Obr. 27 Výrobní linky pro PSH [20] [27]



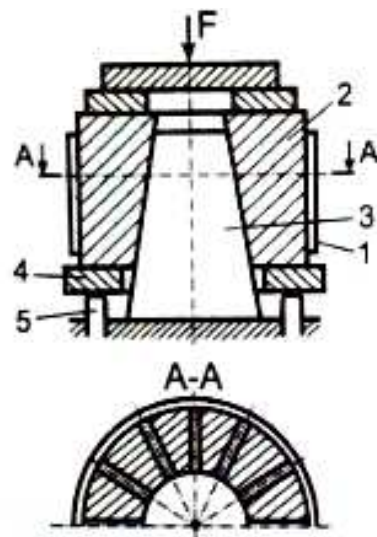
Obr. 28 Příklady výrobků [19]

2 RADIÁLNÍ VYPÍNÁNÍ [37] [39] [52]

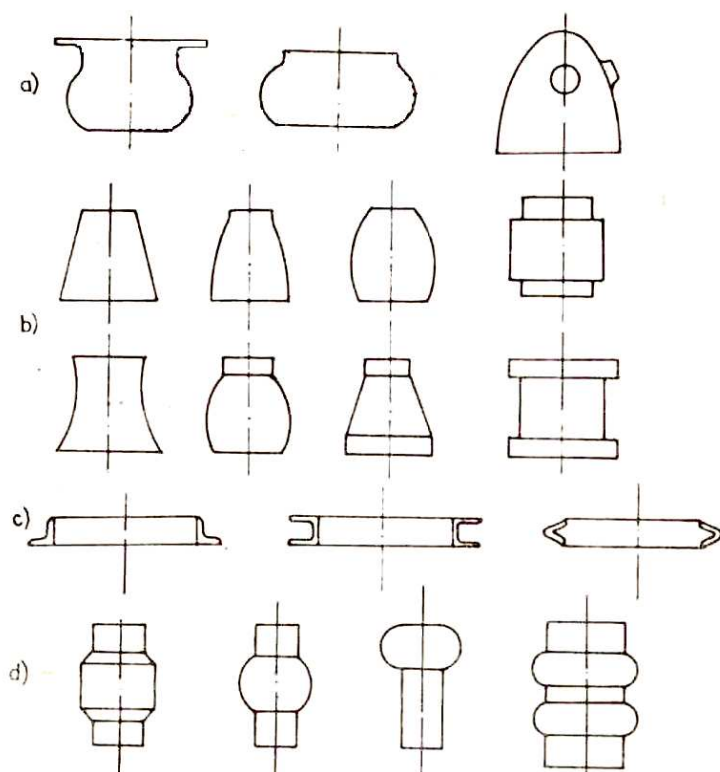
Radiální vypínání je další metodou, která využívá při tváření působení tlaku na stěny uvnitř polotovaru. Tím dochází k jeho tvarování a zvětšení příčných rozměrů a zároveň také k ztenčování tloušťky stěn. To bývá doprovázeno ve většině případů zkracováním původní délky polotovaru.

Z historického hlediska se na počátku ve výrobě používalo zužujících se segmentových kroužků, které plnili funkci přidržovačů při zhotovování dřevěných sudů. V té době se psal přibližně rok 1898, což je zároveň čas, kdy došlo k rozmáhání automobilového průmyslu, a protože se zvyšovala poptávka na obruče kol, nádrže a různá pouzdra, začínala se konstruovat vypínací zařízení na tyto součástky.

Tyto zařízení disponují větší efektivitou než méně produktivní způsoby tváření (obrábění). Především snižuje podstatně výrobní náklady, protože šetří materiál, který by při obrábění odcházel ve formě třísek. Proces vypínání zvyšuje také jakost dílce, odstraňuje napětí v kovu a zvyšuje pevnost dílce. Tolerance závisí na použitém materiálu, tvaru a velikosti – obecně je však dobrá. Konstruktor součásti má tak větší volnost ve vytváření požadovaného profilu, který má splňovat především funkci ale i vzhled.



Obr. 29 Vypínání pevným nástrojem [37]



Obr. 30 Přehled radiálně vypínaných dílců [37]

ovládány silou F a také zvedací tyče (5) spodního hydrosystému lisu.

Použitelnost radiálního vypínání je velmi rozsáhlá. Jde o dílce, které mohou mít průměry od 10 mm až do 2 m i více. Hotové produkty mají charakteristické geometrické znaky, díky kterým jsme je schopni roztřídit do několika skupin, viz obr. 30.

Metoda radiálního vypínání je využívána k tvarování tenkostěnných trubek, prstenců a osově symetrických dílců s uzavřeným tvarem typu nádob.

Klasickým příkladem je vypínání pevným nástrojem, přičemž nejvíce efektivní je způsob založený na expanzi segmentů, které pak představují lisovnik. Na obr. 29 je znázorněn postup vypínání. Trubkový polotovar (1) je vypínán do požadovaného tvaru tlakem segmentů (2), u kterých dochází k radiálnímu rozevírání a posunutí v důsledku nasouvání silou F na pevný trn (3). Mezera mezi segmenty, jež spočívají na základové desce (4), se postupně zvětšuje. Vertikální posuvy jednotlivých segmentů a základové desky jsou tedy

Jedná se o dílce:

- větších i menších rozměrů, osově symetrické, opatřené dnem buď plochým, nebo tvarovaným, případně mohou mít dílce i žebra nebo radiální prolisy
- stejného tvaru jako předchozí skupina, ale bez dna
- velkých rozměrů, které mají větší průměr jak 1000 mm
- ve tvaru nízkých prstenců, jejichž příčný řez má většinou profilovaný tvar
- menších rozměrů charakteru trubek, nátrubků, které jsou opatřeny lokálním vyboulením nebo příčnými žebry

V případě dílců znázorněných ve skupině b) a c) je výchozí polotovár plech nebo profil stočený na zakružovačce v kruhový tvar. Po svaření konců je nutné švy pečlivě začistit a také vyrovnat rozválcováním. Ve skupině a) jsou zastoupeny dílce se dnem, kdy se většinou jedná o výtažky. Může se jednat také o svařence ze dvou dílů (výlisků), jako je tomu kupříkladu v případě parabolických úseků závěsných palivových nádrží. Skupina d) jsou výrobky z trubek, které mají obvykle malé rozměry, tudíž se mohou tvarovat z bezešvých tenkostěnných trubek.

Z pohledu materiálu je možno tvarovat jakékoliv kovy, které mají mez kluzu pod mezí pevnosti. S výhodou se uplatňuje u materiálů, které jsou snadno tvářitelné, jako je nízkouhlíková ocel, měkká mosaz nebo hliník a některé jeho slitiny. Avšak radiální vypínání umožňuje zpracovávat i vysokopevnostní a žáropevné slitiny a v neposlední řadě také Ti slitiny. Pokud se jedná o materiály se sníženou plastičností nebo o značné přetvoření, bývá obvykle užito postupného vypínání s mezioperačním žíháním. Součásti zhotovené z lehkého plechu mohou být prodlužovány (roztahovány) až o 30-40%, těžké prstence a profilové díly se vyrábí s rozpínáním nepřesahujícím 3%. K tvarování dílců dochází především za okolní teploty, nicméně existují způsoby, kdy může mít zařízení vyhřívanou tvarovací matici. Dosahovaná přesnost výrobku při užití nástroje s expanzním trnem je velmi dobrá, neboť činí $\pm 0,025$ mm u průměru 150 až 200 mm.

Radiální vypínání nachází uplatnění v nejrůznějších průmyslových odvětvích například v energetickém a chemickém průmyslu, ve vzduchotechnice a automobilovém průmyslu (segmenty nádrží, pláště dmychadel a ventilátorů, sekce potrubí, rámy generátorů, přechodky vzduchovodů, ráfky kol atd.). Vypínání je také důležitou součástí tzv. speciální výroby, která produkuje výrobky pro letadla, rakety a jiné kosmické zařízení. Jsou to hlavně části kostry draku jako přechodové kryty, desky palivových nádrží, žebrované panely, části výstupních dýz, části motorových gondol (obr. 31), úseky



Obr. 31 Motorové gondoly [2] [16]

podlah. Dále se jedná o části, které náleží ke speciální výstroji a výzbroji, nebo jsou používány v konstrukcích letového zabezpečení například panely radarových teleskopů, přední části raket atd. Velká část těchto dílů je využívána ve stavbě motorů ale i ve stavbě raketových střel.

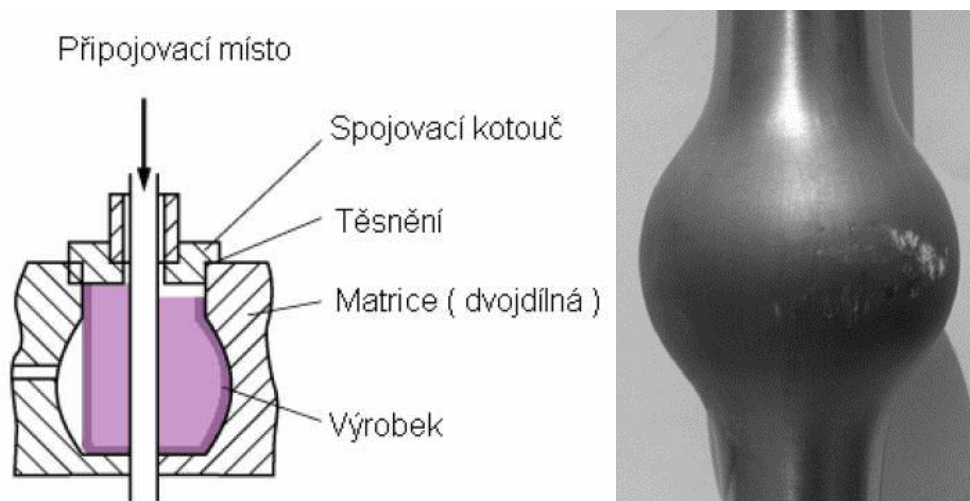
K předním výrobcům leteckých součástí a především motorů a gondol patří rakouská firma FACC, která má pobočky po celém světě. V České republice má výroba motorových částí letadel také své zastoupení díky firmě HONEYWELL, která u nás působí od roku 1993. Dalším tuzemským výrobcem využívající radiální vypínání je například firma Ventilátory KADLEC, která dodává ventilátory firmám jako je ČEZ nebo U.S. STEEL KOŠICE.



Obr. 32 Příklady výrobků radiálním vypínáním [38] [41] [47]

2.1 Vypínání kapalinou [37] [39] [52]

Jako tvářecí nástroj je často používána voda nebo olej. Tlak razníku je veden prostřednictvím kapaliny, která je ve styku s trubkovým polotovarem, nebo může být umístěna v gumovém pytli. Do dvojdílné matrice se vloží tvářený díl a poté je dopravena kapalina, která musí být dobře utěsněna. Protože je kapalina nestlačitelná, výborně přenáší tlak, který je vytvářen lisovníkem nebo ventilem.



Obr. 33 Schéma vypínání kapalinou a finální produkt [12] [39]

Užití kapaliny v roli nástroje má své výhody, jde především o

- její nestlačitelnost,
- bezproblémovou přizpůsobivost tvaru zápustky na rozdíl od elastomerů,
- nezpůsobování třecích odporů v kontaktní ploše s polotovarem,
- umožnění přesného řízení tlaku v závislosti na zdvihu lisovníku nástroje,
- bezproblémovost při využívání vysokých tlaků, které dosahují až 200 MPa.

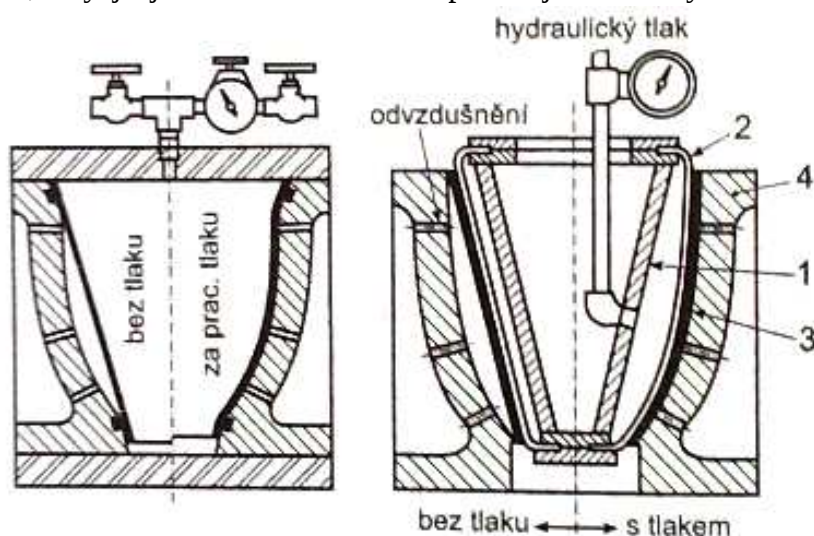
Na druhou stranu je problém v zaručení těsnosti určitých částí stroje a v některých případech složitost hydraulických rozvodů.

V principu se používají 3 způsoby radiálního vypínání:

- v jednoúčelovém přípravku
- v hydromechanické jednotce
- v pracovní komoře speciálních hydrolisů

Jednoúčelové přípravky své uplatnění nejčastěji nacházejí v kusové výrobě. Hlavní přednost spočívá v konstrukční jednoduchosti a nízké ceně, zejména při aplikaci nízkých hodnot tlaku kapaliny ($p < 3\text{--}5\text{ MPa}$). Tímto způsobem se zpracovávají především materiály s relativně nízkou hodnotou meze kluzu, například hliník nebo slitiny ČSN 42 4432 a 42 440. Tloušťky polotovarů mohou dosahovat poměrně malých hodnot ($t \leq 0,5\text{ mm}$), avšak průměry mohou dosahovat až 500 mm i více. Součástky vyrobené nízkým tlakem kapaliny využívá letecká výroba, jde o segmenty vtokových soustav, přední úseky palivových nádrží apod.

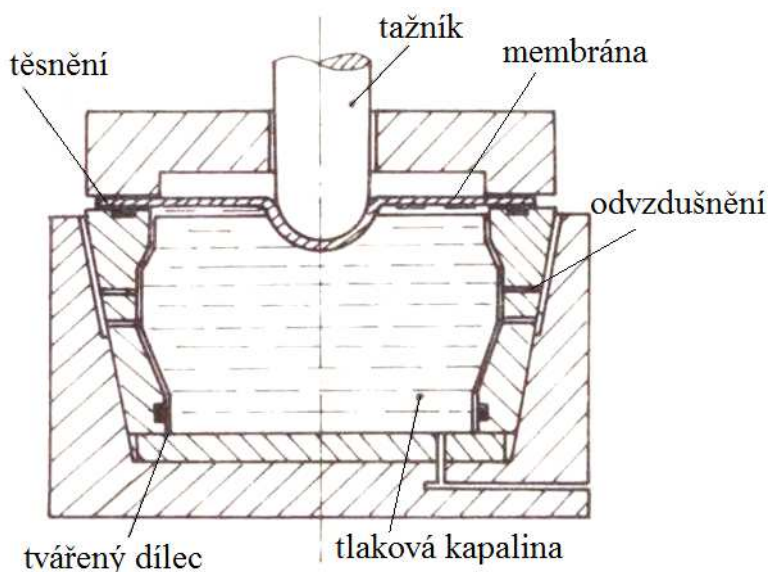
Náznak konstrukčního uspořádání nástroje je patrný na obr. 34. V levé části obrázku je řešení, kdy je jako tlakové médium použit jen stlačený vzduch. V pravé části obrázku je



Obr. 34 Přípravek pro radiální vypínání nízkým tlakem [37]

může být ve formě odlitku nebo také armovaného betonu. V případě armovaného betonu bývá z pravidla na jeho funkční plochu nanесena vrstva epoxidové pryskyřice, která jde lehce upravovat do potřebné geometrie.

Hydromechanická jednotka a její schéma možného uspořádání je znázorněno na obr. 35. Díky hydraulickému systému jednotky je možno řídit tlak kapaliny. Základem je regulace tlaku škrtícím ventilem, ten je zodpovědný za odtok kapaliny v závislosti na zdvihu tažníku. Průběh zdvihu je dopředu stanovený a ověřený a závisí na tvaru dílce. Tažnice se skládá ze dvou dílů, přičemž její vnější kuželová plocha umožňuje pevné sevření obou svých polovin. V dutině prolisu dochází k odvzdušnění. O utěsnění kapaliny, nacházející se uvnitř dílce, se stará membrána a spodní těsnění. Tlak hydrolisu, v jehož pracovním prostoru je pohonná jednotka umístěna, ovládá ponor a zdvih pístu. V některých situacích, i při určité konstrukční složitosti, je používán hydrosystém lisu k přímému řízení potřebného průběhu tlaku.



Obr. 35 Schéma hydromechanické jednotky[37]

řešení s kapalinou. V tomto případě je do dutiny nástroje vložena dutá vložka (1), za účelem zmenšení vnitřního prostoru polotovaru. Její další funkcí je i nést vak (2), do kterého je buď čerpadlem, nebo pneumatickým systémem vháněna tlaková kapalina. Díl (3) je vytvarován podle tvaru formy tažnice (4), která

Hydromechanická jednotka dovoluje využívat tlaky 30 – 50 MPa a někdy i více. Tak jde jednodušeji tvarovat dílce z nerezových slitin nebo hlubokotažných ocelí. Princip je založen na vtlačování tažníku do kapaliny přes membránu, což má za následek zvýšení tlaku kapaliny a tvarování polotovaru.

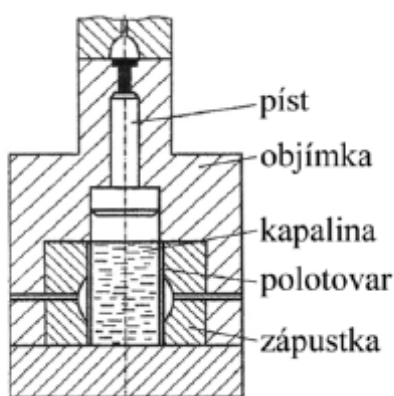
Existují také speciální hydrolisy, jež jsou používány přednostně pro tažení dílců sférických nebo ve formě kuželů, parabol a taktéž komplikovaných výtažků s prolisy a lemy.

3 DALŠÍ MOŽNOSTI TVAROVÁNÍ TRUBEK KAPALINOU [37] [52]

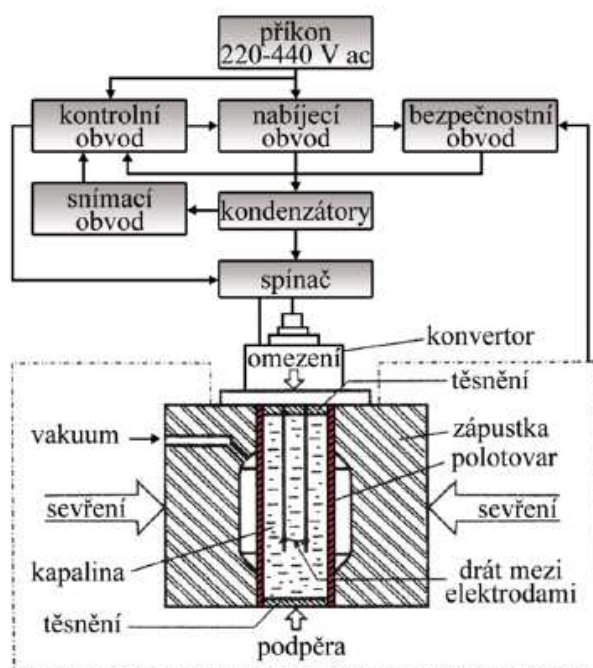
Patří sem metody, které využívají kapalinu jako doprovodné médium a používají jiných zdrojů k získání energie na uskutečnění deformace polotovaru. Jde o explozivní a elektrohydraulické tváření.

U explozivního slouží kapalina k předávání energie od zdroje (exploze trhaviny, střeliviny) na stěny polotovaru (obr. 36).

Elektrohydraulické tváření je obdobou explozivního tváření, jen s tím rozdílem, že zdroj deformační energie není výbušnina, nýbrž elektrický výboj vznikající vybitím objemných kondenzátorů (obr. 37).



Obr. 36 Nástroj pro tváření střelivinou [37]



Obr. 37 Blokové schéma EHT [37]



Obr. 38 Ukázky výrobků [44] [45]

4 ZÁVĚR

Při tvarování trubek se v poslední době hojně využívá právě kapaliny, neboť přinesla revoluci v navrhování a výrobě složitě tvarovaných dílců z trubkových polotovarů, které dříve nebylo možno vůbec vyrobit, nebo byly složitě vyráběny v mnoha krocích klasickými konvenčními metodami. To sebou přinášelo samozřejmě delší výrobní časy, menší přesnost, nekvalitnější povrchy a vyšší spotřebu materiálu, což se negativně projevovalo na ceně samotného výrobku. Na druhou stranu metody využívající kapalinu jsou náročné na počáteční investici, protože výrobní stroje jsou drahé, je zapotřebí výkonných hydraulických lisů a problém je také s těsněním kapaliny. Proto se vyplácí především pro sériovou výrobu, kde se vysoké počáteční investice vrací ve velmi krátké době.

K hlavním metodám patří radiální vypínání a hydroforming, který se dělí na nízkotlaký, vysokotlaký a postupový. Nízkotlaký je nejjednodušší a je vhodný pro mírné přetváření profilů. Vysokotlaký a postupový používají oproti nízkotlakému vyšší tlaky k přetváření polotovarů a mají mnohem širší využití, neboť lze vyrábět velmi pevné a zároveň lehké součásti. Postupový hydroforming je ze všech nejefektivnější, protože lze pomocí jednoho nástroje v několika krocích vyrobit finální produkt.

Metody založené na kapalině nachází uplatnění hlavně ve výrobě dílů pro letecký, kosmický a automobilní průmysl, ale v posledních letech čím dál víc proniká i do spotřebního průmyslu a výroby rámců kol. Metody využívající kapalinu při tvarování trubek si osvojili zatím hlavně velké zahraniční společnosti jako například Vari-Form nebo rakouská firma FACC. Avšak dá se předpokládat, že se tyto moderní metody budou rozšiřovat i čím dál více do tuzemských firem, neboť pokud je dostatečné množství zakázek a firma má prostředky na nákup strojů, mohou být tyto metody velice efektivní hlavně z ekonomického hlediska.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. AHMETOGLU, Mustafa. The basic elements of tubular hydroforming. [online]. 2001 [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: <http://www.thefabricator.com/article/hydroforming/the-basic-elements-of-tubular-hydroforming>
2. *Air-force technology: KC-767 Aerial Refuelling Tanker / Transport Aircraft, United States of America* [online]. [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: <http://www.airforce-technology.com/projects/kc767/>
3. Akrapović [online]. [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: <http://akrapovic.ru/technologies/>
4. *Aluminium Hydroforming* [online]. [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: <http://archive.nrc-cnrc.gc.ca/eng/facilities/imi/atc/aluminium-hydroforming.html>
5. *Aluminium Tube for Tools* [online]. [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: http://www.best-b2b.com/Products/1043/1050-1/aluminium-tube-for-tools_567673.html
6. *American hydroformers: High Pressure Hydroforming Company* [online]. [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: <http://www.americanhydroformers.com/>
7. *Automotive design and production: Taking the Weight Off With Hydroforming* [online]. 2012 [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: <http://www.autofieldguide.com/articles/taking-the-weight-off-with-hydroforming>
8. *Copper Development Association Inc.* [online]. [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: http://www.copper.org/applications/cuni/images/sys_comp/fig18.gif
9. *Die closing force in low pressure tube hydroforming* [online]. 2010 [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924013610002475>
10. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. 4. vyd. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2007. ISBN 978-80-214-3425-7.
11. *Excella Technologies Inc: Low Pressure Hydroforming (LPH)* [online]. [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: <http://hydroformguru.com/processlph.html>
12. *External heating closed-volume thermally activated tube forming: A fundamentally new approach for hydroforming thick-walled tubes* [online]. 2010 [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1526612510000162>
13. *Faurecia: Hydroforming* [online]. [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: <http://faureciaautoshow.com/2011/products-emissions.php>
14. *Fischer hydroforming* [online]. [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: <http://www.fischer-group.com/>
15. *Galaxy: rám MTB carbon Galaxy Sirius* [online]. [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: <http://www.galaxy-bike.cz/clanek/hlavni-cena-v-tombole-v-kacove-ram-mtb-carbon-galaxy-sirius-za-17-990-kc-C887.html>
16. *General Electric CF34 Engine* [online]. [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: <http://www.belfast.aero.bombardier.com/categories/70/engine-nacelles.aspx>
17. *Gepida: What makes a good frame, in our opinion* [online]. [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: http://www.gepida.hu/eng-den/contact_contact-form/2011/08/10/what_makes_a_good_frame_in_our_opinion/
18. *Graebener Reika: Hydroforming* [online]. [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: <http://www.gr-inc.com/products.php?product=tube-pipe-sheet-hydroforming>
19. *HelloTrade* [online]. [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: <http://www.hellotrader.com/vari-form/product.html>

20. *Hydroforming* [online]. [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: <http://www.hydroforming.net/hydro/home/en/>
21. *Hydroforming of automotive structural components with rectangular-sections*. [online]. 2006 [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0890695506000320>
22. *Hydroforming Press HF* [online]. [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: http://www.aptgroupp.com/products/Products/presses/Hydroforming_Presses/HF/
23. KHODAYARI, Ghafoor. Examining the effects of push assist on the formability of aluminum tubes. [online]. 2003 [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: <http://www.thefabricator.com/article/hydroforming/examining-the-effects-of-push-assist-on-the-formability-of-aluminum-tubes>
24. LENFELD, Petr. *Technologie II: Tváření kovů* [online]. Liberec, 2009 [cit. 2013-04-15]. ISBN 8073724669. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekcce/obsah_kovy.htm
25. *Magna: Hydroforming* [online]. [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: <http://www.magna.com/capabilities/body-chassis-systems/innovation-technology/hydroforming>
26. MORPHY, Gary. Introduction to Tube Hydroforming. [online]. 2006 [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: <http://www.thefabricator.com/article/hydroforming/introduction-to-tube-hydroforming>
27. MORPHY, Gary. Pressure-sequence and high-pressure hydroforming: Knowing the processes can mean boosting profits. [online]. 2001 [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: <http://www.thefabricator.com/article/hydroforming/pressure-sequence-and-high-pressure-hydroforming--knowing-the-processes-can-mean-boosting-profits>
28. MORPHY, Gary. Tube Hydroforming Design Flexibility—Part II. [online]. 2002 [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: <http://www.thefabricator.com/article/vari-form-inc/tube-hydroforming-design-flexibility-part-ii>
29. MORPHY, Gary. Tube Hydroforming Design Flexibility—Part VII: Holes. [online]. 2005 [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: <http://www.thefabricator.com/article/hydroforming/tube-hydroforming-design-flexibility-part-vii-holes>
30. *North side ryders: Chromoly Hard Tail Frames* [online]. [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: <http://northsideryders.blogspot.cz/2010/08/dartmoor-ghetto.html>
31. NOVOTNÝ, Karel a Zdeněk MACHÁČEK. *Speciální technologie I: plošné a objemové tváření*. 2. vyd. Brno: Nakladatelství vysokého učení technického v Brně, 1992. ISBN 80-214-0404-3.
32. *Numerical and experimental studies on the new design concept of hydroforming dies for complex tubes*. [online]. 2013 [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S026130691300006X>
33. *Permission and Limitation of Use of Images* [online]. [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: http://162.74.99.105/news/image_library/
34. *Research and advances in fundamentals and industrial applications of hydroforming* [online]. 2005 [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924013605006060>
35. *Rocking Bikes* [online]. [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: <http://www.rockinbikes.com/index.php?mact=News,cntnt01,detail,0&cntnt01articleid=25&cntnt01detailtemplate=newsDetail&cntnt01returnid=15&cntnt01returnid=15>
36. ŘÁDA, Aleš. *Moderní postupy a technologie tváření plechových dílů*. Brno, 2008. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce doc.Ing. Milan Dvořák, CSc.
37. SAMEK, Radko a Eva ŠMEHLÍKOVÁ. *Speciální technologie tváření*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2010, 134 s. ISBN 978-80-214-4220-7.

38. *Scame electrical solution* [online]. [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: <http://www.scame.sk/app/index.php?ID=159>
39. STRÍLKA, Vlastimil. *Koncepce nástroje pro radiální vypínání osově symetrických dílců*. Brno, 2009. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojní. Vedoucí práce prof. Ing. Radko Samek CSc.
40. *The determination of flow stress of tubular material for hydroforming applications* [online]. 2008 [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924013607009715>
41. *TM-100 Tube Expanding & Reducing Machine* [online]. [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: http://hshun.en.alibaba.com/product/424063035-209769116/TM_100_Tube_Expanding_Reducing_Machine.html
42. *Tube Bending and Hydroforming* [online]. [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: <http://www.me.uwaterloo.ca/~worswick/Research/bending.html>
43. *Tube Forming: Tube Hydroforming* [online]. [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: http://mmri.mcmaster.ca/mfl/research_tube_hydroforming.html
44. *Tube solve: Tube expansion* [online]. [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: http://www.tubesolve.com/tube_expansion.html
45. TŮMA, Martin. *Technologie využívající kapaliny jako tvářecího média*. Brno, 2008. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Eva Šmehlíková.
46. *Vari-Form: Pressure-sequence hydroforming* [online]. [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: <http://www.vari-form.com/pressure-sequence-hydroforming/>
47. *Ventilátory* [online]. [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: <http://www.ventilatory.cz/>
48. *Volkswagen: podélné střešní nosiče* [online]. [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: http://www.volkswagen.cz/modely/golf_variant/vlastnosti/53519_podelne_st_esni_nosi_e
49. *Wethepeople bike company: Hydroformed* [online]. [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: <http://www.tbb-bike.cz/articles/wethepeople-2012-patron-frame-cream-fork-turmoil-sprocket-c-murder-bar/1430>
50. *Wickes: End Feed Equal Tee 22mm PK2* [online]. [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: <http://www.wickes.co.uk/end-feed-equal-tee-22mm-pk2/inv/420132/>
51. *Značky Morava a.s.: Svislé dopravní značení* [online]. [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: <http://www.znackymorava.cz/nabizime/dopravni-znaceni-a-svodidla/svisle-dopravni-znaceni/>
52. ŽÁK, Jan, Radko SAMEK a Bohumil BUMBÁLEK. *Speciální letecké technologie I*. 1. vyd. Brno: Rektorát Vysokého učení technického v Brně, 1990. ISBN 80-214-0128-1. 220 s.