



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

PROGRESIVNÍ TECHNOLOGIE VE VÝROBĚ TVÁŘENÝCH SOUČÁSTÍ

PROGRESSIVE TECHNOLOGIES IN PRODUCTION OF FORMING PARTS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

VLADIMÍR PAVÉZKA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. PAVEL RUMÍŠEK, CSc.

BRNO 2009

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2008/09

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Pavézka Vladimír

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:

Progresivní technologie ve výrobě tvářených součástí

v anglickém jazyce:

Progressive technologies in production of forming parts

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Popis moderních a progresivních technologií, používaných v oblasti technologie tváření kovů a plastických hmot

Cíle bakalářské práce:

Zpracováním závěrečné práce bude vytvořen zájem studenta o obor a následné studium specializace

Seznam odborné literatury:

FOREJT, Milan, PÍŠKA, Miroslav. Teorie obrábění, tváření a nástroje. Vysoké učení technické v Brně. Brno : Akademické nakladatelství CERM s.r.o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

DVOŘÁK, Milan, GAJDOŠ, František, NOVOTNÝ, Karel. Technologie tváření. [s.l.] : VUT Brno, 1999. 160 s.

RUMÍŠEK, Pavel. Technologické projekty. [s.l.] : VUT Brno, 1991. 185 s. ISBN 80-214-0385-3

Další odborná literatura daného oboru, zaměřená na automatizaci a využití NC, CNC a jiných moderních produkčních systémů

Sborníky z konferencí a seminářů

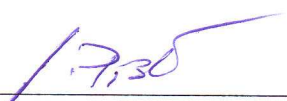
Časopisecká a firemní literatura

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Pavel Rumíšek, CSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2008/09.

V Brně, dne 19.11.2008

L.S.



doc. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu





doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

PAVÉZKA Vladimír: Progresivní technologie ve výrobě tvářených součástí.

Projekt vypracovaný v rámci bakalářského studia obsahuje popis moderních a progresivních technologií, používaných v oblasti technologie tváření kovů a plastických hmot. Plošného a objemového tváření. Jako technologie přesného stříhání, tváření nepevnými nástroji, technologie hydromechanického tažení, tváření vysokou rychlostí deformace, technologie Tailored blanks, tváření kyvnou zápustkou, příčné klínové válcování a další progresivní technologie tváření kovů a plastických hmot.

Klíčová slova: progresivní technologie tváření, nekonvenční technologie

ABSTRACT

PAVÉZKA Vladimír: Progressive technologies in production of forming parts.

This project, which was created within bachelor study, deals with description of modern and progressive methods which are used in the field of metal and plastic forming technology, surface and volume forming. There are described many progressive methods in the thesis such as precision blanking technology, flexible tool pressing, hydromechanical drawing technology, high speed deformation forming, tailored blanks technology, orbital forging, cross wedge rolling and other.

Keywords: progressive forming methods, unconventional technologies

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PAVÉZKA, V. *Progresivní technologie ve výrobě tvářených součástí*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 39 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Pavel Rumíšek, CSc.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 29.5.2009

.....
Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu doc. Ing. Pavlu Rumiškovi, CSc. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce.

OBSAH

Zadání
Abstrakt
Bibliografická citace
Čestné prohlášení
Poděkování
Obsah

	Str.
1. ÚVOD	9
2. PROGRESIVNÍ TECHNOLOGIE PLOŠNÉHO TVÁŘENÍ ...	10
2.1. Technologie přesného stříhání	10
2.1.1. Stříhání bez vůle	11
2.1.2. Stříhání s přidržovačem	11
2.1.3. Stříhání s nátlakovou hranou	11
2.1.4. Reversní stříhání	12
2.1.5. Stříhání se zápornou vůlí a na lisech ESSA	12
2.2. Tváření pryží	13
2.2.1. Metoda Guerin	13
2.2.2. Metoda Marform	14
2.3. Tváření kapalinou	14
2.3.1. Metoda Wheelon	14
2.3.2. Metoda Hydroform	15
2.4. Technologie hydromechanického tažení	16
2.5. Tváření vysokou rychlostí deformace	17
2.5.1. Tváření explozí	17
2.5.2. Elektrohydraulické tváření	20
2.5.3. Magneticko-impulzní	21
2.6. Technologie Tailored blanks	22
3. PROGRESIVNÍ TECHNOLOGIE OBJEMOVÉHO TVÁŘENÍ	25
3.1. Tváření kyvnou zápustkou	25
3.2. Příčné klínové válcování	26
3.3. Přesné kování	27
3.4. Tixotropní kování	27
4. DALŠÍ PROGRESIVNÍ TECHNOLOGIE TVÁŘENÍ	28
4.1. Termální vrtání	28
4.2. Tváření s předeřevem laseru	29
4.2.1. Rotační tlakové tváření	29
4.2.2. Technologie povrchových tlakových rázů	30
4.2.3. Mikrotváření	30
4.3. Speciální způsoby vstřikování plastů	31
4.3.1. GIT – vstřikování plastů s podporou plynu	32
4.3.2. WIT – vstřikování plastů s podporou vody	33
4.4. Speciální způsoby vyfukování dutých těles z plastů	35
4.4.1. Rotační natavování	35
4.4.2. Vyfukování z fólií	36

4.4.3. Rotační navíjení	36
-------------------------------	----

5. ZÁVĚR	37
-----------------------	-----------

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratek

1. ÚVOD

Tato bakalářská práce je zaměřena na progresivní technologie ve výrobě tvářených součástí. A to pro plošné a objemové tváření kovů, ale také na tváření plastů. Dále jsou zde uvedeny speciální technologie, které nelze jednoznačně zařadit do oblasti plošného či objemového tváření, ale jenž do tváření bezpochyby patří.

Technologie tváření má v dnešní době bezpochybně své opodstatnění. Jedná se o beztržskovou technologii. Mezi hlavní přednosti technologie tváření patří úspora základního materiálu a omezení energetické náročnosti výrobního procesu, vysoká produktivita práce a též možnost dosažení vysoké přesnosti i jakosti finálních výrobků.

Mimo uvedených faktorů jsou to však i další možnosti, které v celém komplexu tyto technologie tváření umožňují. Jde především o technologické možnosti výroby dílců, vyráběných tzv. nahotovo, projektování výrob šitých na míru, vyšší využívání nových materiálů i jejich kombinací a v neposlední řadě též možnosti účelových vazeb s jinými technologiemi. Tváření plastických hmot a lisování kovových prášků jsou další samostatné skupiny, spadající taktéž do beztržskových technologií a je zcela nesporné, že jejich výrazný a zvyšující se podíl na celkovém výrobním objemu není zanedbatelný. [6]

Velice důležitou roli má v dnešní době také možnost simulace tvářecího procesu, jenž umožňuje ověření a predikce materiálových toků. Dovoluje nejen vytvářet vlastní návrh technologie a nástroje, ale umožňuje i realizaci jeho následných úprav s cílem zajistit kvalitu a přesnost výtvarků. Díky tomu se zvláště u objemového tváření zamezí vzniku různých typů defektů a poruch. [6]

Dalším trendem je automatizace tvářecích operací, jenž byla do nedávné doby řešena především v podmínkách velkosériové a hromadné výroby, charakterizované zvláště využíváním automatů a tzv. tvrdých linek s pevnou vazbou mezi jednotlivými pracovními operacemi. Zavádění NC a CNC strojů a řídicích systémů i pro tvářecí stroje spolu s vysokou úrovní manipulátorů a robotů vytvářejí v současnosti podstatně lepší podmínky automatizace i v malo a středněsériových výrobních, které ve světovém měřítku představují prakticky většinu. [6]

Tyto všechny faktory dělají z tváření jisté progresivní technologii. V této práci je shrnuto mnoho metod tváření, jenž by se dali klasifikovat jako technologie progresivní.

2. PROGRESIVNÍ TECHNOLOGIE PLOŠNÉHO TVÁŘENÍ

2.1. Technologie přesného stříhání [1]

Po stříhu má střížná plocha i vystřížený kus určitou standardní jakost. Jedná se o drsnost povrchu střížné plochy a přesnost střížných rozměrů. Aby bylo možno stříhané díly používat přímo na montáž bez dalších úprav, snažili se technologové vylepšit střížný proces. Všechny metody, zlepšující jakost povrchu střížné plochy a zpřesňující stříhané rozměry se uvádějí pod společným označením - přesné stříhání.

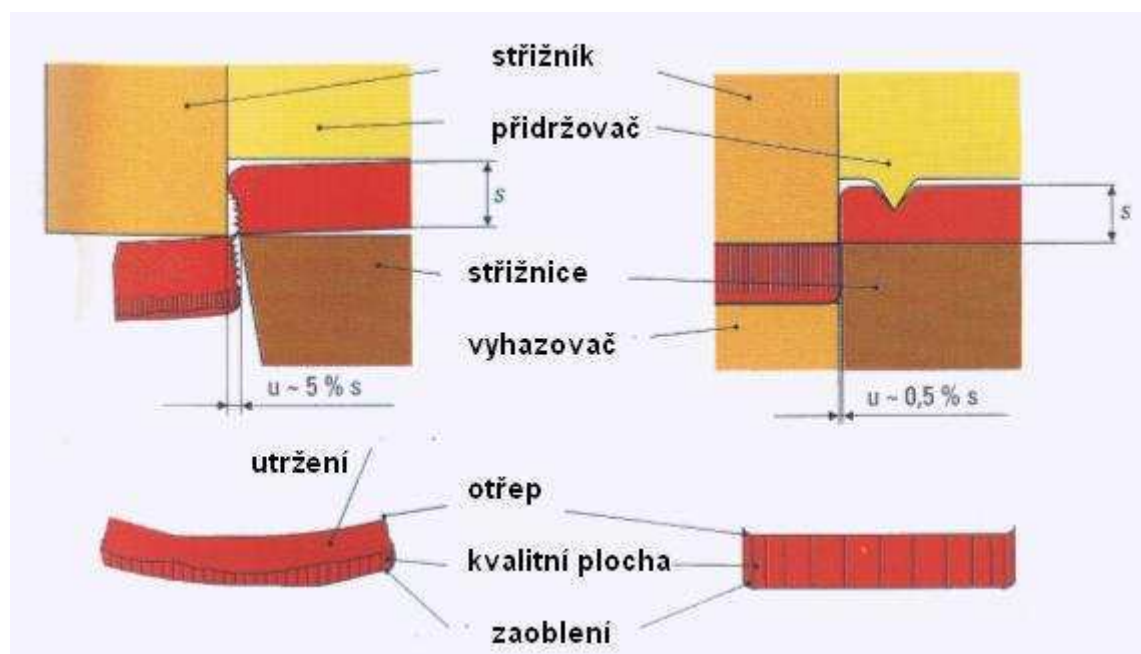
Pro kvalitu výstřížku je velmi důležitá vůle (mezera) mezi střížníkem a střížnicí, neboť se zmenšující se mezerou se eliminují tahové složky napětí od ohybového namáhání a napjatost se blíží čistému smyku.

V zásadě metody přesného stříhání lze rozdělit na výrobu výstřížků:

V jedné operaci, a to na stříhání bez vůle, stříhání s přidržovačem, stříhání s nátlacnou hranou, stříhání s nátlacnou hranou a protitlakem, reversní stříhání, stříhání se zápornou vůlí, stříhání na lisech ESSA

Ve dvou operacích, a to na přistřihování, vibrující střížník.

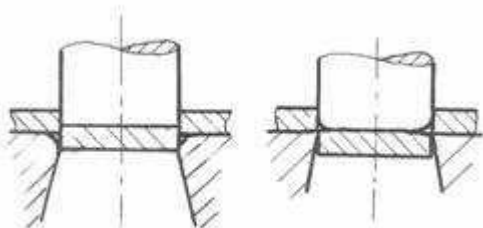
Kvalita stříhu pro normální a přesné stříhání [1]



2.1.1. Stříhání bez vůle [1]

Jedna funkční část nástroje, buď střížník nebo střížnice je vypracována bez bříty, se zaoblením střížné strany. Druhá část je nabroušena. Uspořádání vlevo je určeno pro kvalitní povrch díry, vpravo pro kvalitní povrch výstřižku.

Stříhání bez vůle [1]



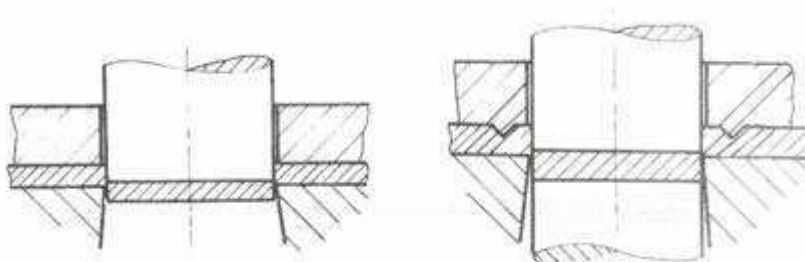
2.1.2. Stříhání s přidržovačem [1]

Proti ohýbání okrajů výstřižků i pro zlepšení povrchu střížných ploch působí použití přidržovače při stříhání. K tahové složce napjatosti přibývá složka tlaková, která zlepšuje stav napjatosti v místě stříhu.

2.1.3. Stříhání s nátláčnou hranou [1]

Zatím nejlepší výsledky v oboru přesného stříhání přináší tzv. stříhání s nátláčnou hranou, resp. stříhání s nátláčnou hranou. Nátláčná hrana se prolisuje v oblasti střížného obvodu, kde změni napjatost ve střížné ploše na trojosou, nátláčná hrana způsobí navíc složku tlakovou, která usnadňuje přiblížení k čistému smyku. Protitlak je zajištěn odpruženým spodním lisovníkem. Toto uspořádání umožňuje stříhání načisto i u poměrně tlustých materiálů. Pro tlustší materiály (tloušťka větší, jak 5 mm) se můžou použít dvě obvodové hrany, nebo jedna na střížníku a jedna na střížnici.

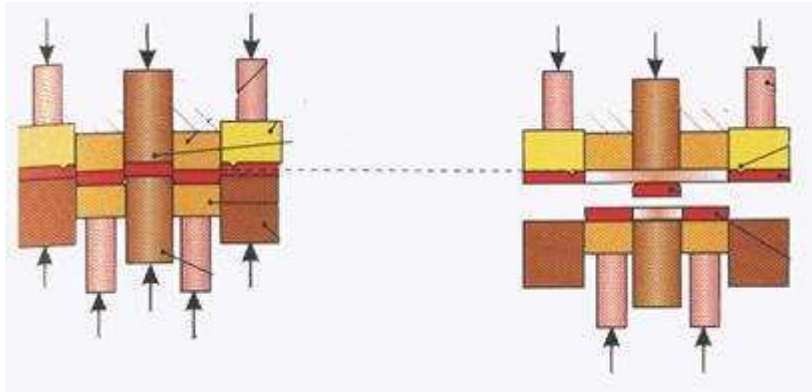
Stříhání s přidržovačem (vlevo) a stříhání s nátláčnou hranou a protitlakem (vpravo)
[1]



2.1.4. Reversní stříhání [1]

Reversní stříhání je založeno na sevření polotovaru tak, že se neprojevují tahové složky napjatosti.

Reversní stříhání [1]

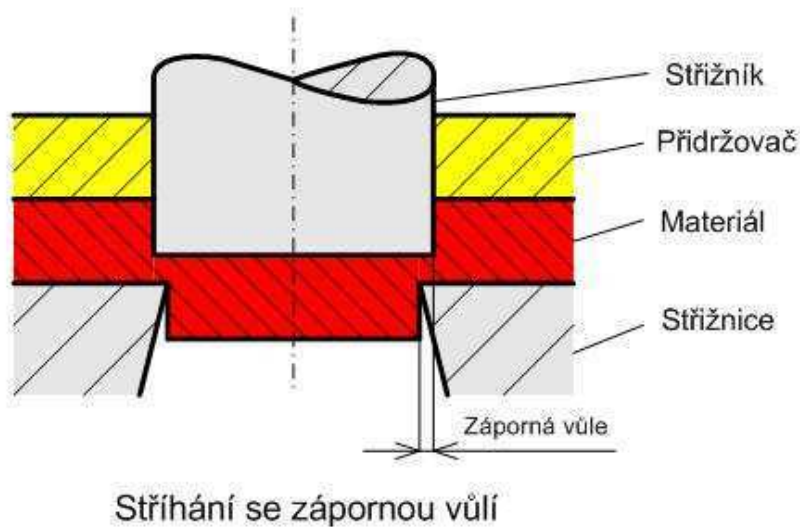


2.1.5. Stříhání se zápornou vůlí a na lisech ESSA [1]

Stříhání se zápornou vůlí je proces, kdy střížník neprotrhne do otvoru ve střížnici. Průměr střížníku je zhruba o 0,1 až 0,2 % tloušťky plechu větší, než je průměr střížnice. Střížník musí zůstat nad rovinou střížnice ve vzdálenosti 0,2 až 0,5 mm a tím vyvolává v materiálu (mezikruží) tlakové napětí, kdy však střížná síla je větší.

Stříhání na lisech ESSA je proces, kdy střížník nejenom stříhá, ale i kmitá a tím střížnou plochu vyleští.

Stříhání se zápornou vůlí [1]



2.2. Tváření pryží

Technologie využívá při lisování plastického prostředí (pryže). Použití pryže má tyto výhody: jednoduchost, rychlejší výrobu a nižší cenu nástroje. Hlavní metody tváření pryží jsou Guerin a Marform.

2.2.1. Metoda Guerin [2]

Technologie vhodná pro různé druhy stříhání, ohýbání a jednoduché tažení. Princip technologie je založen na elasticitě pryže, jenž je umístěna v ocelové skříni. Pryž se používá o různé tvrdosti, pro stříhání je tvrdost vyšší, než pro tažení.

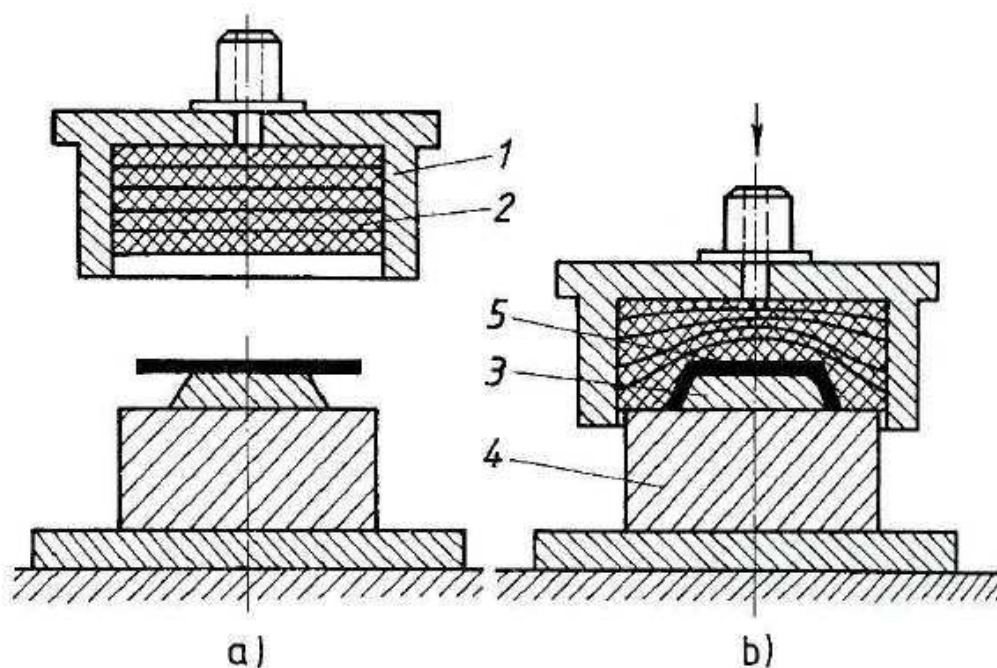
Výhody technologie: pryž nezanechává na povrchu tvářeného materiálu žádné stopy, možnost využití všech typů lisů.

Nevýhody technologie: je zapotřebí velkých tvářecích sil.

Tváření metodou Guerin [2]

a) nástroj před tvářením, b) nástroj po tváření

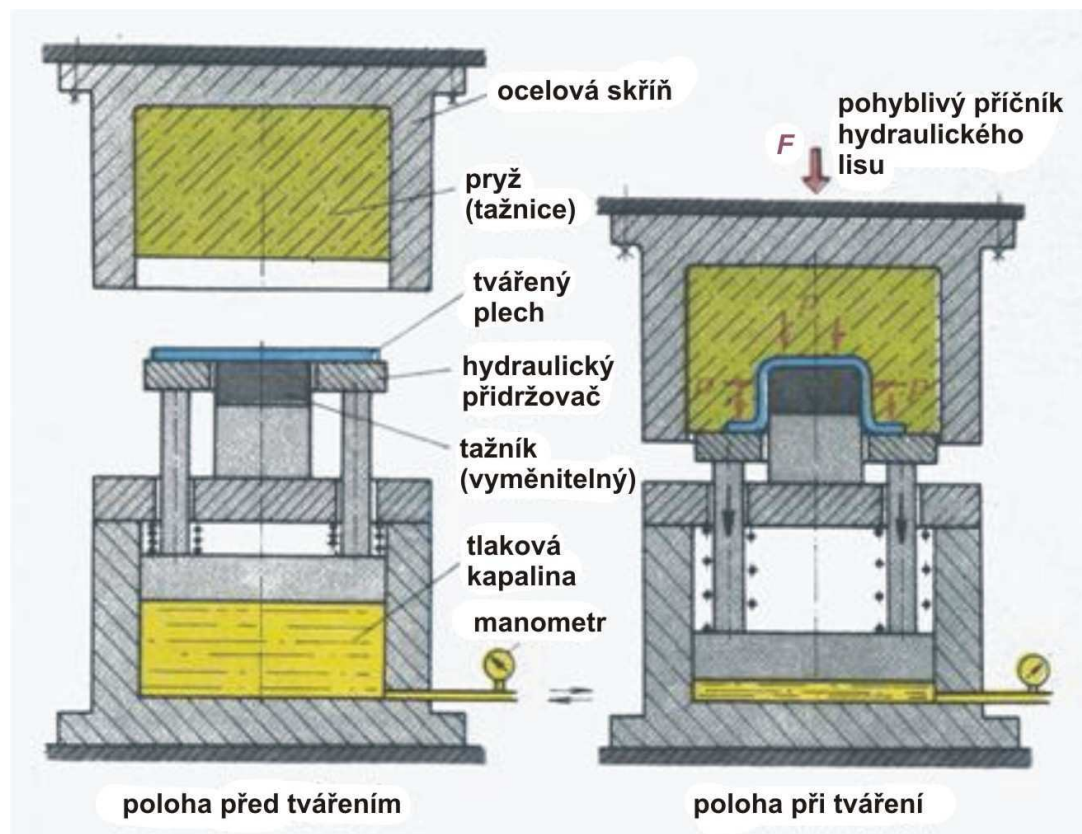
1 – objímka, 2 – pryžový polštář, 3 – tažník, 4 – ponorná deska, 5 – výtažek



2.2.2. Metoda Marform [2]

Technologie vhodná i pro hluboké tažení ocelových i neželezných plechů. Oproti metodě Guerin je zde vyšší vrstva pryže. Aby nedocházelo k rychlému opotřebování a ztrátě elasticity pryže, musí být výška pryže alespoň trojnásobná jak výška výlisku.

Tváření metodou Marform [2]



2.3. Tváření kapalinou

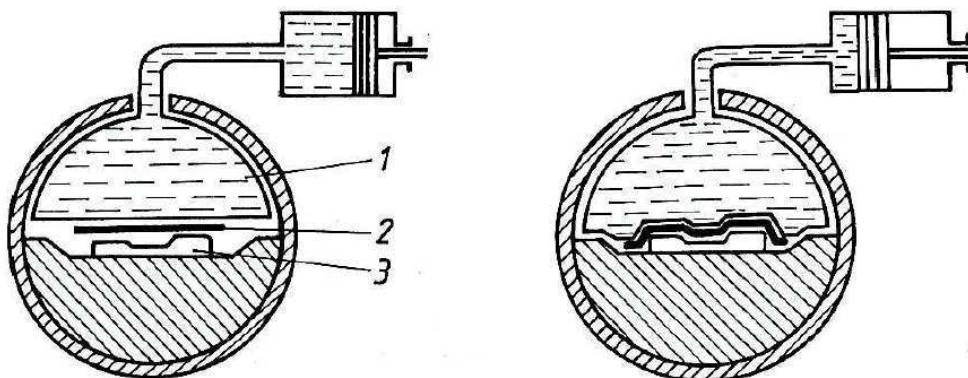
Technologie využívá při lisování plastického prostředí (kapaliny). Hlavní metody tváření kapaliny jsou Wheelon a Hydroform

2.3.1. Metoda Wheelon [2]

Obdoba metody Guerin, kdy se však místo pryže používá kapalina, která je umístěna v pryžovém vaku. Tlak kapaliny je velký. Tato technologie je vhodná pro mělké tažení.

Tváření metodou Wheelon [2]

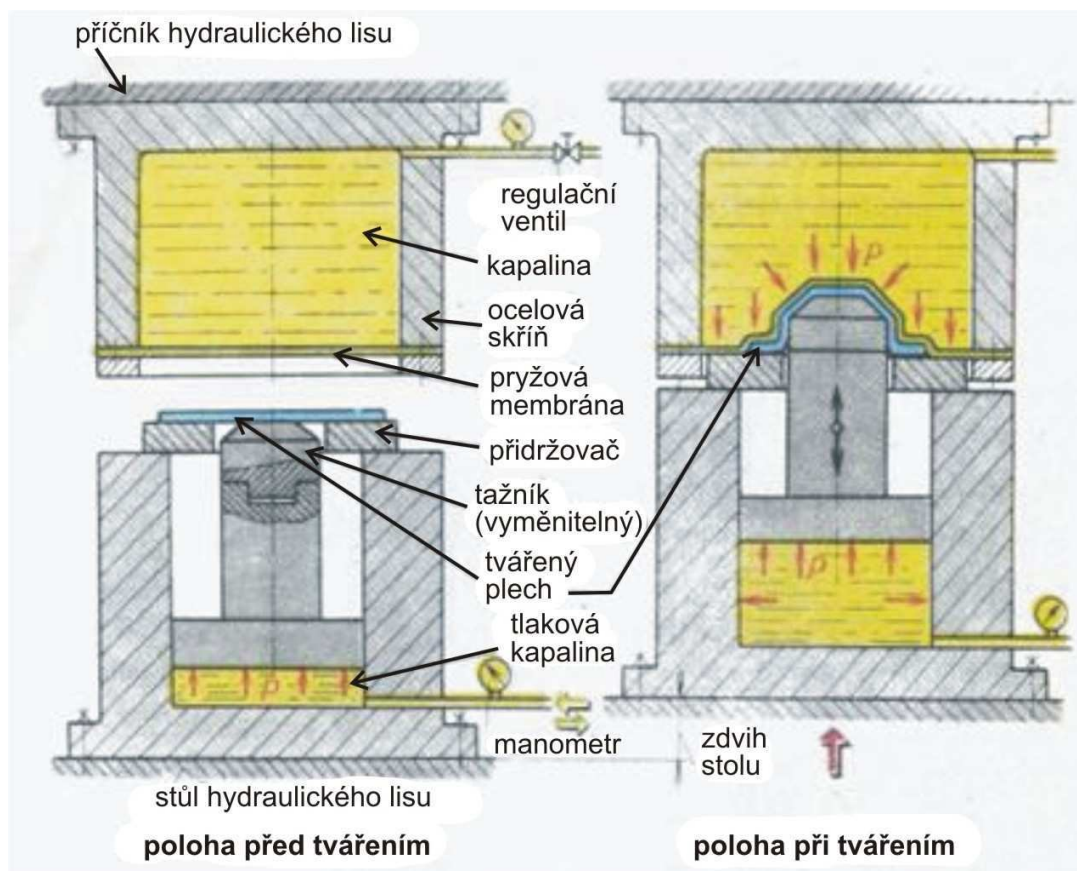
1 – pryžový vak s kapalinou, 2 – přístřih, 3 – tažník



2.3.2. Metoda Hydroform [2]

Tato technologie je podobná metodě Marform, také se používá pro hluboké tažení, ale místo pryže se používá nádoba s kapalinou, která je uzavřená poměrně tenkou deskou z gumy. Nejdříve se přitlačí přidržovač, aby se nezvlnily okraje a potom se tažník vtlačuje do nádrže a materiál se tváří. Nadbytek vody se vypouští ventilem. Hydrostatický tlak lze regulovat.

Tažení metodou Hydroform [2]

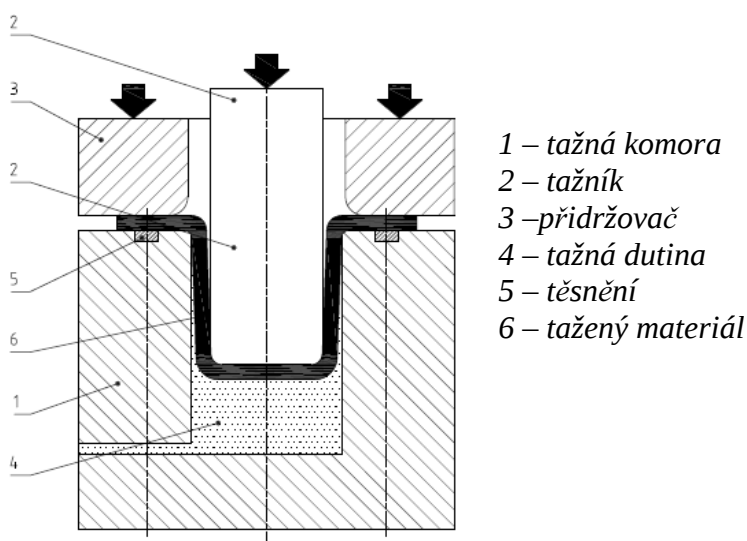


2.4. Technologie hydromechanického tažení [3]

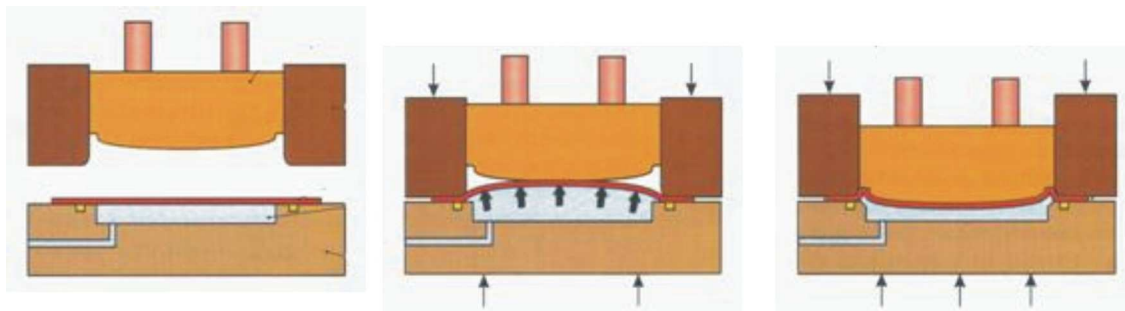
Hydromechanické tažení (HMT) představuje technicky a ekonomicky nejzajímavější technologii hlubokého tažení s pracovní kapalinou a patří mezi nekonvenční technologie tažení plechu. Uvedenou technologií je možné zhotovovat hlubší duté nádoby z plechu, rotačního i nerotačního tvaru, zpravidla s přírubou.

Hlavním dílem nástroje je tažná komora, představující tažnici. Její vnitřní prostor, tažná dutina, je plněna z hydraulického obvodu nástroje sodnou vodní emulzí. V blízkosti tažné hrany je umístěna drážka s těsněním. Přístřih plechu (rondel, kruhovka) je založen na zakládací rovinu, přičemž jeho spodní strana je ve styku s hladinou kapaliny v tažné komoře. Po dosednutí přidržovače, upnutého na vnějším beranu lisu, dojde k uzavření a utěsnění soustavy přístřih plechu – tažná komora. Dosednutím tažníku na plech a jeho vniknutím do objemu kapaliny, dojde v tažné komoře k prudkému nárůstu tlaku a tím k vlastnímu tvarování plechu jeho nabalováním na tažník, až je dosažen konečný tvar duté válcové součásti. Přebytná kapalina se z tažné komory vypouští pod nastaveným tlakem přes řídicí a regulační systém nástroje. Velikost tlaku se v průběhu tažení mění při použití programovatelného hydraulického obvodu. Nutnost citlivé regulace tlaku vynikne zvláště při tažení tenkých plechů do tloušťky stěny výtažku 1 mm.

Hydromechanické tažení duté válcové součásti



Princip hydromechanického tažení plošného výtažku [2]



Výhody HMT:

Snížení počtu tažných operací, snížení počtu mezižihacích operací, kvalitní povrch výtažků, dosažení velké přesnosti výtažků, minimální ztenčení výtažků v ohybu u dna.

Nevýhody HMT:

Nutnost použití speciálních nástrojů a speciálních lisů.

V současné době existují více jak dvě desítky odvozených aplikací systému HMT. Z konstrukčního hlediska se jedná zejména o tyto základní varianty: prosté tažení, tažení s dvojitým tažníkem, tažení s otočným tažníkem, tažení s protipístem, tažení s pohyblivou komorou, tažení s nátlacným kroužkem, zpětné tažení, tažení druhého tahu, tažení do komory s převodníkem a tažení prvního a druhého tahu.

2.5. Tváření vysokou rychlostí deformace

Mezi hlavní metody tváření vysokou rychlostí deformace patří tváření explozí, elektrohydraulické tváření a magneticko-impulzní tváření.

Základní procesní podmínkou je rychlost deformace. Tváření vysokou rychlostí deformace má řádově vyšší rychlosti deformace než konvenční technologie.

- konvenční metody: $v = (0,05 \div 4) \text{ m/s}$

- detonační směsi (rychlost v blízkosti dílce): $v = (50 \div 70) \text{ m/s}$

Při tváření vysokou rychlostí deformace je tvářený dílec oproti konvenčním metodám zatěžován dynamicky. Důsledky dynamického zatěžování jsou:

Určujícím mechanismem plastické deformace není prostý skluz, ale dvojčatní. Uvnitř materiálu se projevují setrvačné jevy a vzniká přídavná tlaková hydrostatická napjatost. Vzroste deformační odpor a od určité deformační rychlosti se objeví dynamická mez kluzu. Při tváření vzrůstá teplota, proces se považuje za adiabatický, v důsledku teploty dochází k odpevňování.

Díky zvýšené plastičnosti materiálu je možné vyrábět přesné dílce, provádět kalibraci tvaru a to s přebytkem energie.

2.5.1 Tváření explozí

Při tváření explozí je nahrazena síla a rychlost lisu účinkem tlakové vlny od exploze. Zdrojem energie je semtex, jenž je plně vodovzdorný. Dále se využívá hořlavin nebo plynu. K iniciaci exploze je nutná rozbuška. Tlaková vlna může na tvářený materiál působit buď přímo (trhavina je umístěna přímo na materiál) a nebo je přenášena médiem. Nejčastěji se jako médium používá voda, písek, hliníkový prach, vzduch.

Parametry procesu:

Rychlost při explozi až 5000 m/s, deformační tlak v místě exploze (10÷20) GPa, teploty kolem 1000 K.

Průběh expanze v kapalině:

Detonací se vytvoří rázová vlna šířící se ve formě „kuloplochy“. Využití celkové energie je (10÷15)%.

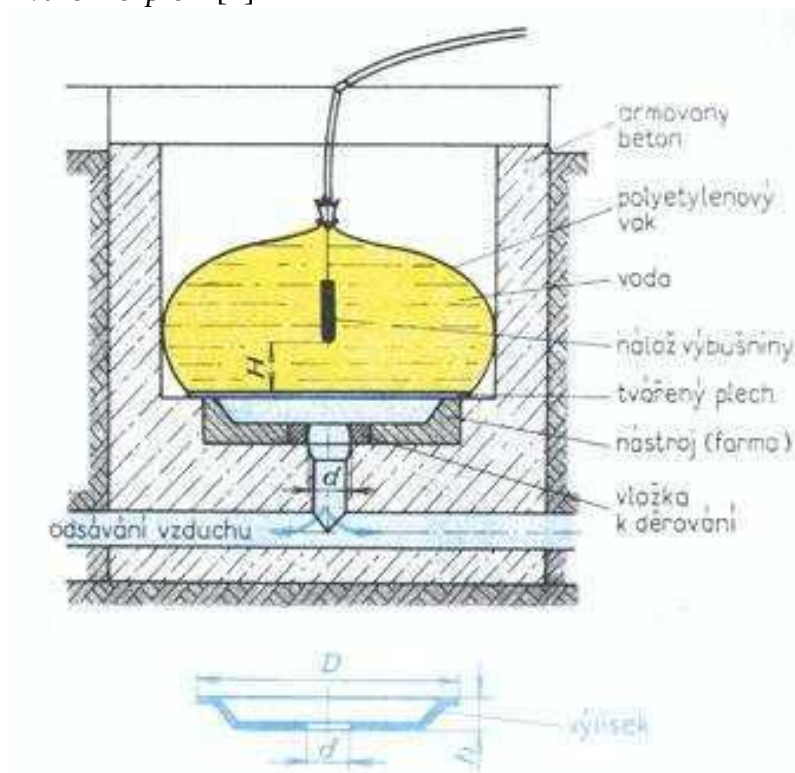
Důležitými parametry procesu jsou tvar a druh exploziva a vzdálenost H (nebo také R) exploziva od tvářeného materiálu. Druh exploziva má vliv na tlak a rychlost deformace. Nejčastější tvary exploziva jsou sférické, jenž jsou universální, válcové (pro tváření trubek), ploché (pro vytvarování určité části výlisku).

Technologie se využívá pro tváření velkoplošných dílců ve tvaru vík, rámců, žebrovaných panelů, osově symetrických dílců, trubek, troub.

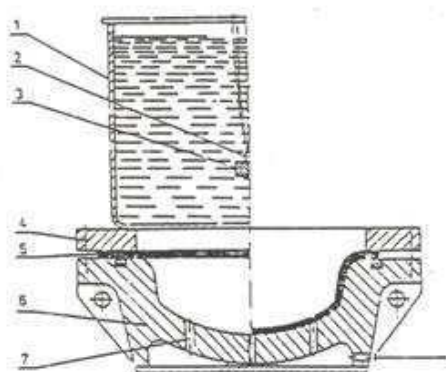
Zařízení a nástroje

Zařízení pro tváření se skládá z armovaného betonu, jenž je uvnitř obalen ocelovým pláštěm, aby nedošlo k drolení betonu. Na dně je nástroj (zápustka) jako u klasického tváření. K odsávání vzduchu je použito čerpadlo, aby bylo dosaženo vakua. Dále je zařízení vybaveno jeřábem a bunkrem pro ukrytí pracovníků v průběhu tváření.

Tváření explozí [7]

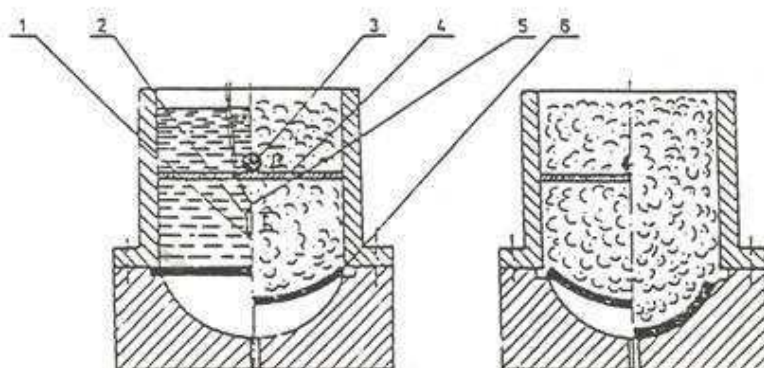


Jednoduché tažení na jednu operaci [7]



- 1 – nádoba
- 2 – rozbuška
- 3 – nálož
- 4 – přidržovač
- 5 – plech
- 6 – lisovnice
- 7 – výfuky

Jednoduché tažení na dvě operace [7]



- 1 – 1. nálož
- 2 – rozbuška
- 3 – 2. nálož
- 4 – přihrádka
- 5 – zápalnice
- 6 – plech

Výhody technologie

Tváření velkých dílců, nízká cena nástrojů a výrobního zařízení (až 1/100 ceny klasického hydrolisu). Možnost tvářet svařence a vysokopevnostní materiály s nízkou plastičností. Lze kalibrovat výtažky a výlisky.

Nevýhody technologie

Jen pro malosériovou či kusovou výrobu (delší časy na přípravu). Nebezpečný provoz.

Využití hořlavin

Předostmi hořlavin oproti trhavinám jsou delší časové působení tlaku, nízké tlaky a rychlosti deformace umožňující použít uzavřeného nástroje. Možnost regulace tlaku množstvím hořlaviny. Nevýhodou hořlavin oproti klasickému způsobu je složitý nástroj a nutnost jeho pevnostního výpočtu. Hořlaviny jsou ve formě prášku, šňůry nebo spirály. Metoda je vhodná pro tváření menších dílců, pro rozšiřování trubek, pro podélná žebra, prolisy, hrdla, děrování trubek a osově nesymetrických výlisků.

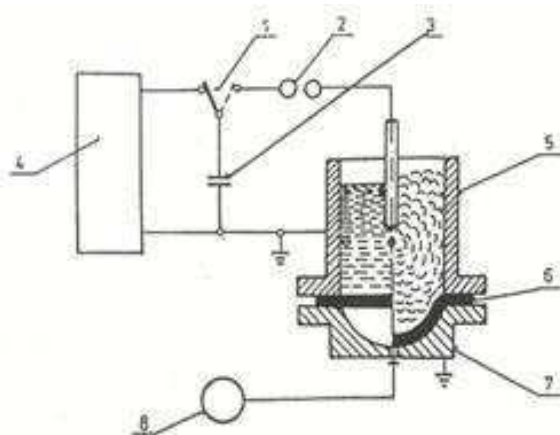
Využití plynu

Tváření materiálu dosáhneme explozí plynu. Používá se směs acetylenu s kyslíkem. Zařízení je obdobné hydraulickému lisu. Touto technologií se tváří ploché mělké dílce.

2.5.2 Elektro-hydraulické tváření

Princip technologie je založen na elektrickém výboji v kapalinách mezi elektrodami s regulovatelnou vzdáleností, při kterém se přemění elektrická energie na tlak, teplo a záření. Opět vzniká rázová vlna v kapalině, která materiál tváří.

Schéma elektro-hydraulického tváření [7]



- 1 – přepínač
- 2 – jiskřiště
- 3 – kondenzátory
- 4 – napájení
- 5 – přidržovač
- 6 – plech
- 7 – lisovnice
- 8 – vakuové čerpadlo

K zařízení patří: usměrňovač, baterie kondenzátoru, jenž se nabíjí na určitou kapacitu C a tím získá energii. Jiskřiště (tj. elektrody uložené v určité vzdálenosti nad tvářeným dílcem), přidržovač, lisovnice a vakuové čerpadlo. Součástí elektrického obvodu je přepínač jenž po nabití kondenzátoru umožní uvolnění energie, v kapalině vznikne tlaková vlna (jako u tváření explozí).

Parametry procesu:

Vliv na energii potřebnou ke tváření má napětí U , kapacita C , vzdálenost elektrod od tvářeného dílce a velikost plochy elektrod.

$$E = \frac{1}{2} C \cdot U^2 \dots\dots\dots \text{vzniklá energie pro tváření}$$

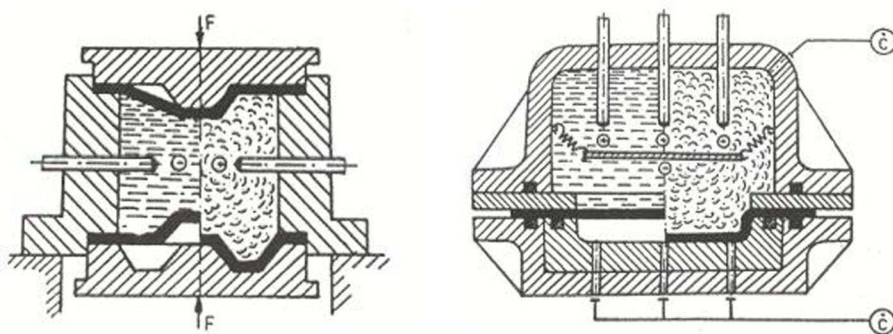
Výhody technologie:

Snadná opakovatelnost výbojů, dobrá regulace potřebné energie, vyšší bezpečnost než u tváření explozí.

Nevýhody technologie:

Složitost zařízení

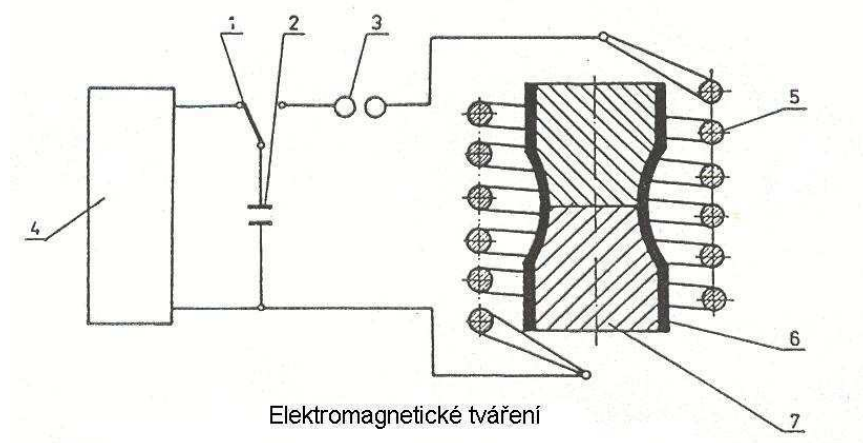
Elektro-hydraulického tváření [7]



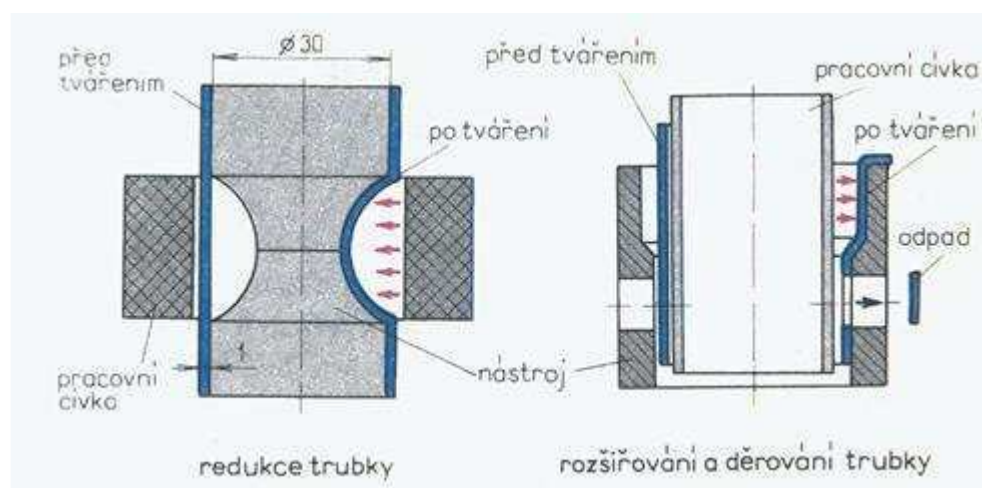
2.5.3 Magneticko-impulzní tváření

Technologie obdobná elektro-hydraulickému tváření. Místo jiskřiště je však indukční cívka, která je navinuta kolem dílce. Metoda je založen na využití odpudivých účinků dvou nesouhlasných magnetických polí, a to v cívce a v tvářeném materiálu, který je vodivý. Tedy opět zde vzniká tlakový účinek od silného magnetického pole na elektricky vodivé kovy. Rychlým vybitím proudu v cívce se indukuje v tvářeném materiálu proud opačného smyslu a tím i opačného magnetického pole. Tvářecí energii lze přesně nastavit a ovládat. K tváření stačí jen polovina nástroje, druhou polovinu tvoří cívka.

Princip technologie magneticko-impulzního tváření [7]



Technologie je vhodná pro vystřihování otvorů, pro nízke lemy, u trubek pro výrobu hrdel, zúžení trubky a radiální vypínání trubek.



Výhody technologie:

Snadná opakovatelnost, bezpečnost.

Nevýhody technologie:

Složitost a cena zařízení.

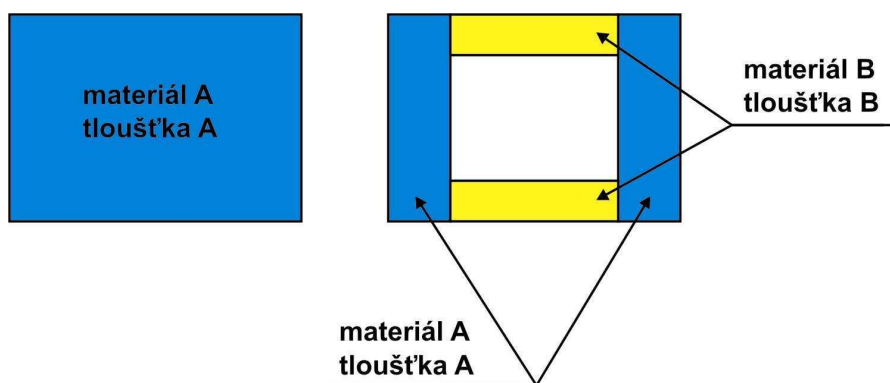
2.6. Technologie Tailored blanks [4]

Technologie tailored blanks využívá lisování polotovarů svařených ze dvou a více materiálů rozdílných vlastností. To kromě jiných výhod přináší podstatné snížení hmotnosti finálního dílce, ovšem za cenu značné technologické náročnosti.

Základní princip technologie

Tailored blanks lze přeložit jako "přístřihy vyráběné na míru". Jde o polotovary svařené ze dvou a více materiálů s rozdílnými vlastnostmi. Tyto materiály mohou mít rozdílnou pevnost, rozdílnou tloušťku nebo rozdílnou povrchovou úpravu. Užitím polotovarů tailored blanks dochází ke snížení hmotnosti a ke snížení ceny karoserie, což s sebou na druhé straně přináší vyšší požadavky kladené na nástroje, jakož i jejich vyšší cenu.

Porovnání klasického přístřihu s polotovarem tailored blanks



Zařízení pro svařování tailored blanks

Při výrobě se používá buď švové svařování nebo svařování laserovým paprskem. Výhodnější z obou technologií je svařování laserem. Tato technologie vytváří svary, u nichž svarová housenka nepřesahuje základní materiál, čímž odpadají problémy vznikající při lisování švově svařených tailored blanks. Další výhodou je, že laser vytváří velmi malou tepelně ovlivněnou zónu.

Pro svařování se nejčastěji používají dva typy laserů: plynové nebo pevnolátkové. Plynové lasery pracují v plynulém režimu a dosahují výkonu 0,3 až 25 kW. Pevnolátkové lasery pracují v pulzním režimu - to znamená, že vyrábějí spoje podobné bodovým svarům, ale s úplným provařením. Dosahovaná energie pulzu je $(1 \div 100)$ J při době trvání pulzu $1 \div 10$ ms.

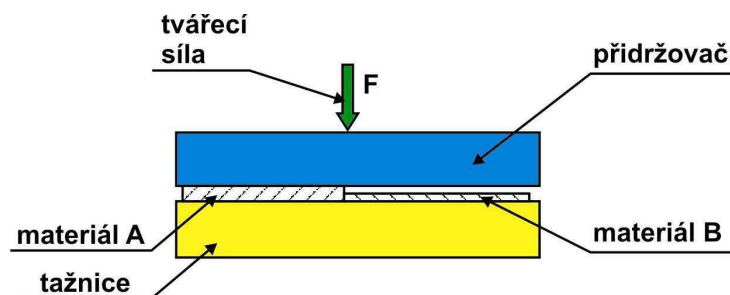
Klasické nástroje při tváření tailored blanks

Při tváření se používají jak konvenční nástroje, tak nástroje speciálně vyvinuté pro lisování polotovarů tailored blanks. Obě skupiny nástrojů mají své přednosti a nedostatky. Použití klasických nástrojů je značně limitováno tím, že se jedná o polotovar, který se skládá ze dvou a více materiálů. Nevýhoda použití klasických nástrojů spočívá v neúplném dosednutí přidržovače na tenčí část polotovaru. Proto byly klasické nástroje upraveny tak, že na nich byly vytvořeny stupňovité tvarové plochy, které kompenzují rozdílnou tloušťku polotovaru. U takovýchto nástrojů se mění kvalita

přidržování následkem rozdílných tolerančních polí na rozdílných tloušťkách plechu. Dochází potom k neúplnému dosednutí přidržovače na tenčí část polotovaru, v jehož důsledku nebude vyvíjený přidržovací tlak dostatečně veliký, což může způsobovat problémy během procesu lisování. Mohou vzniknout dva druhy vad:

- lomy: při posunutí tlustší části polotovaru směrem k hraně, ve které se mění tloušťka mezery mezi horní a dolní částí nástroje, může dojít k lomu
- zvlnění: při posunu svaru směrem od drážky dochází ke vzniku nepříjemného zvlnění.

Schéma klasického nástroje



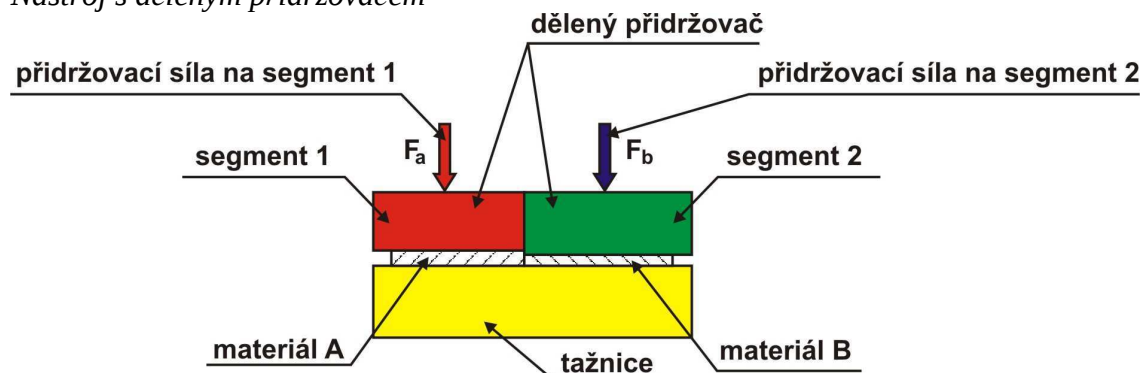
Nekonvenční nástroje

Pro odstranění nevýhod konvenčních nástrojů byly vyvinuty nástroje s elastickým přidržovačem, používající elastomerovou desku, umístěnou pod pružnou plochu přidržovače. Pružná plocha může být vyrobena například z tenké pružinové oceli. Princip metody spočívá v tom, že elastický přidržovač během procesu přidržování dosedne na obě plochy plechu a dojde k jeho vytvarování podle tvaru polotovaru. Tím je zajištěno optimální přidržení obou polovin plechu.

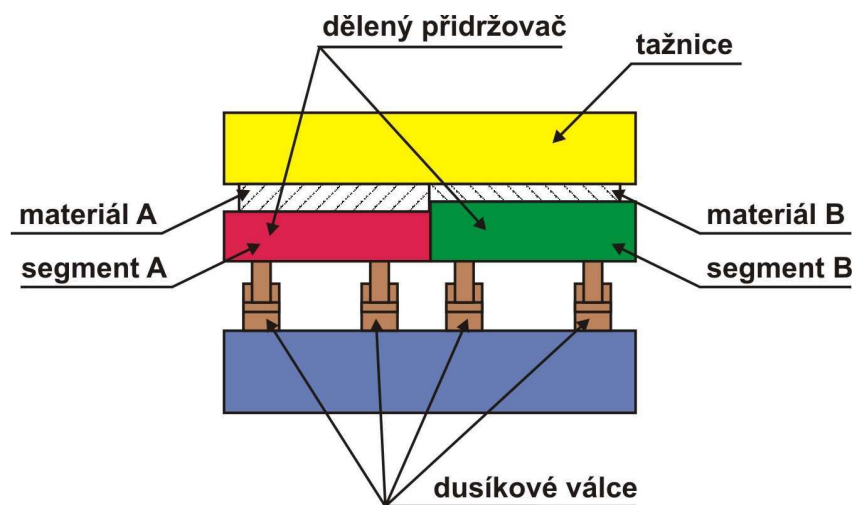
Druhou možností je použití nástrojů s děleným přidržovačem, které umožňují nejlépe kompenzovat rozdílné tloušťky polotovaru. Jednotlivé části přidržovače jsou přizpůsobeny rozdílné tloušťce polotovaru. Tím jsou obě části polotovaru optimálně přidržovány a nedochází tudíž k žádným problémům během lisovacího procesu. Nástroje s děleným přidržovačem umožňují optimální nastavení přidržovací síly odděleně pro každý segment. Toho se s výhodou využívá tehdy, pokud je každá část polotovaru z materiálu o rozdílné pevnosti. Při lisování lze s výhodou využít mnohabodové podepření pružným systémem umístěným v lisovací desce.

Pro dosažení optimálnějšího přidržení lze použít nástroj s děleným přidržovačem podepřeným dusíkovými válci, který je však z uvedených nástrojů nejnákladnější. Jednotlivé části přidržovače jsou zde podepřeny systémem dusíkových válců, což umožňuje optimalizovat přidržovací sílu.

Nástroj s děleným přidržovačem



Nástroj s děleným přídržovačem podepřeným dusíkovými válci



Přednosti a nevýhody technologie tailored blanks

Z uvedených poznatků vyplývá, že jde o velice perspektivní technologii, které se zejména v automobilovém průmyslu začíná využívat ve stále větším měřítku. Její použití i v jiných oblastech průmyslu je omezeno nevýhodami, mezi něž patří zejména:

- vysoká cena speciálních nástrojů;
- náročnost procesu na technologické znalosti;
- vysoké náklady na provoz svařovacích laserů;
- vyšší nároky na používané stroje.

To omezuje použití polotovarů tailored blanks jen na velké série výrobků, pro něž budou náklady vložené do technologie rentabilní. Technologie zároveň přináší značné výhody, jež mohou nad uvedenými nevýhodami převážet, a to zejména:

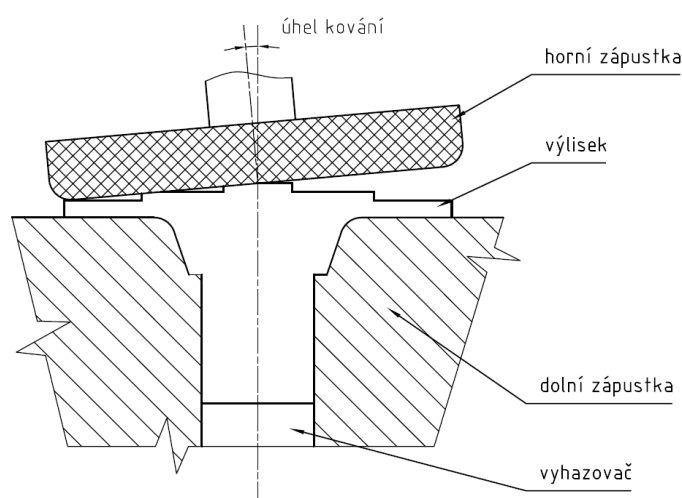
- snížení nákladů na materiál;
- snížení hmotnosti finálního dílce;
- možnost kombinování výhodných vlastností několika materiálů.

3. PROGRESIVNÍ TECHNOLOGIE OBJEMOVÉHO TVÁŘENÍ

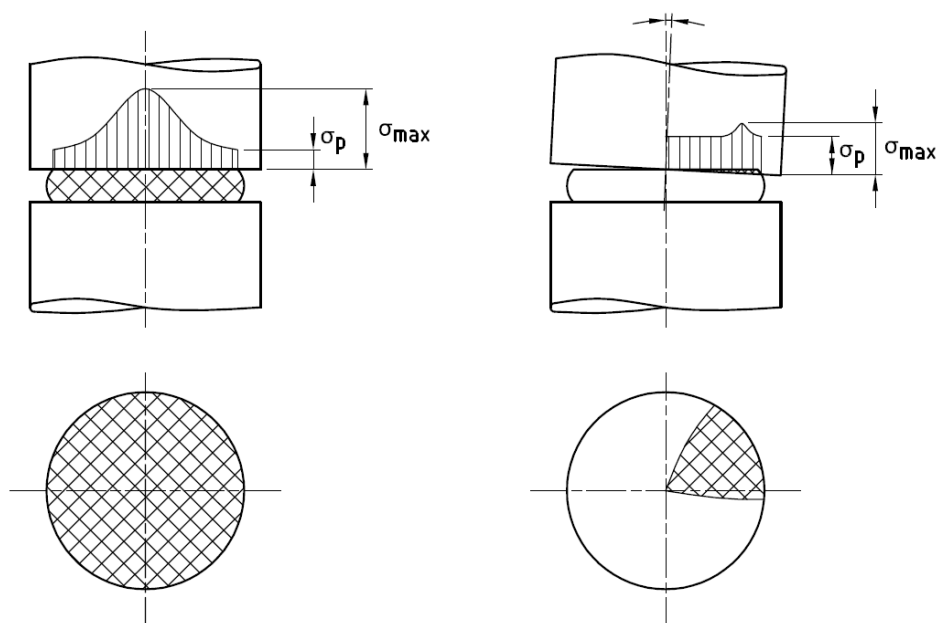
3.1. Tváření kyvnou zápustkou

Polotovar se tvaruje mezi horní a dolní zápustkou, kde horní zápustka vykonává kývavý pohyb. Přetvárná síla působí jen na jednu část čelní plochy polotovaru a posunuje tlačnou část jeho průřezu po celém povrchu. Celý proces se uskuteční na jeden zdvih beranu, při kterém se uskuteční několik kyvných cyklů, jež jsou vázané na posuv. Tvářecí síla se vytváří hydraulicky ve spodní části stroje. Spodní zápustka vykonává lineární posuv a tlačí polotovar proti kývající se horní zápustce. Tím se materiál kombinací lisování a odvalování přetváří do požadovaného tvaru. Touto technologií dosáhneme při malé síle velké přetvárné práce.

Tváření kyvnou zápustkou



Porovnání konvenčního tváření (vlevo) a tváření kyvnou zápustkou (vpravo)



Kyvný pohyb se vytváří v horní části lisu. Různou kinematickou vazbou dvou pohonů lze upravit pohyb na čtyři různé druhy. A to na kruhový, přímočarý, spirálový a vícelistý křivkový pohyb.

Při použití kyvné zápusťky se používají základní způsoby tváření:

Postupové kování

Přírubové postupové lisování

Dopředné protlačování

Zpětné protlačování

Kombinace postupového lisování a dopředného protlačování

Výhody technologie:

Nížší tvářecí síly než u klasického tváření, vyšší rovnoměrnost tváření ve směru osy, lepší vyplnění dutiny i pro tvarově složitější součásti, kvalitní povrch, možnost použití menších lisů, nižší seřizovací časy.

Nevýhody technologie:

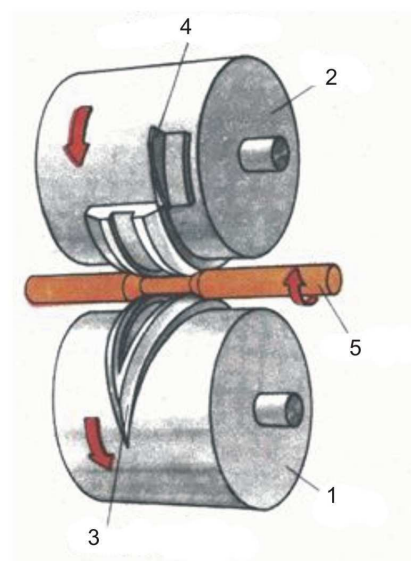
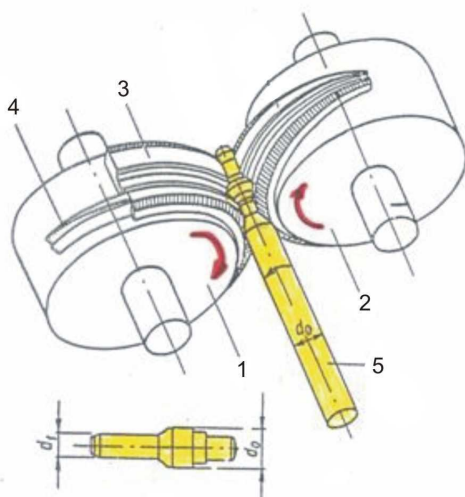
Nutná homogenita a chemická čistota materiálu, při vyšších deformacích vzniká miskovitý tvar součásti, nižší produktivita.

3.2. Příčné klínové válcování [3]

Princip metody spočívá v tom, že přehřátý materiál (přístřihy, špalíky) je vkládán mezi dva ve stejném smyslu rotující válce, na nichž jsou upnuty shodné nástroje klínovitého tvaru, jejichž pracovní část má tvar šroubovice. V kalibračních částech těchto nástrojů jsou tvary vyráběné součásti. Tyto nástroje vnikají svou užší částí do tvářeného materiálu a postupně jej přemísťují ve směru osy tvářené tyče, takže se součást při tváření prodlužuje. Na konci těchto nástrojů bývají v případě válcování tyčí umístěny ještě nože, které hotovou součást oddělí od ostatního materiálu. Celý proces tváření musí proběhnout na jedinou otáčku pracovních válců.

Příčné klínové válcování [8]

1,2 – pracovní válce; 3 – tvářecí nástroj; 4 – nůž oddělující vývalek od tyče;
5 – válcovaný materiál



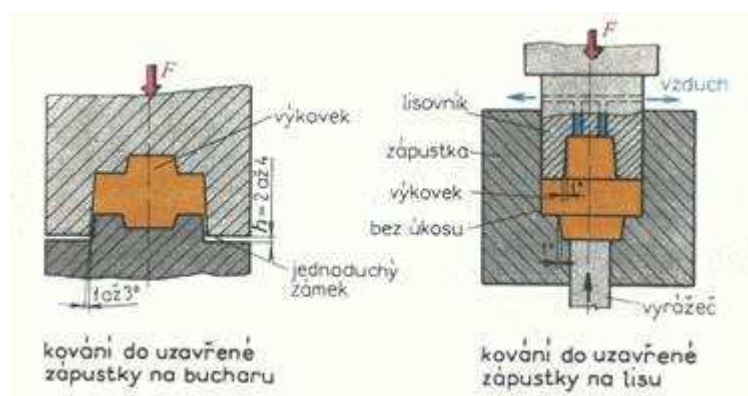
Vývalků se především používá jako předkovků pro následné přesné zápustkové kování, nebo jako polotovary s minimálními přídávky na obrábění. Např. pro hřídele, na čepy atd.. Vývalek může slučovat i několik tvarově stejných součástí. Při použití této metody je třeba pamatovat na to, že největší průměr součásti se zpravidla rovná průměru použitého materiálu.

Nástroje pro příčné klínové válcování se vyrábějí z prstenců odlitých nebo kovaných, popř. ohýbaných z ploché nástrojové oceli, odolné proti otěru. Mohou být z jednoho nebo kusu i dělené. Nástroje jsou jednoduchého tvaru, jejich životnosti podle složitosti tvaru vývalku je 60 – 150 tisíc vývalků. Vzhledem k jiným předkovacím technologiím vykazuje výroba nástrojů PKV značné úspory nástrojových materiálů a práce kvalifikovaných nástrojářů. Geometrie nástrojů pro PKV umožňuje až šest renovací profilů, obvykle broušením.

Ve srovnání s technologií kovacích válců je výkon automatů PKV o 50 % vyšší při úspoře materiálu 15 – 20 % a přesnějším tvaru výkovků.

3.3. Přesné kování [15]

Výkovky s minimálními přídávky na obrábění i úkosy se zhotovují v uzavřených zápustkách, tzv. přesným kovááním. Pro úspěšné kování je třeba přesně dodržovat objem a středění vloženého materiálu do zápustky. Nejvýhodnější jsou rotační tvary



3.4. Tixotropní kování

Je to speciální metoda objemového tváření, tj. kování materiálu mezi teplotami solidu a likvidu. Tato technologie se využívá u tváření slitin typu AlSiMg. V tomto teplotním rozmezí se ve slitině vyskytují roztavené a tuhé fáze, přičemž tuhé fáze tvoří tuhý skelet. Vyskytuje se tvarová stabilita výchozího polotovaru. Dostatečně vysokým smykovým namáháním se tato soudržnost naruší. Vysoká tekutost spolu s možností dvou kovových toků poskytuje nepřeborné možnosti tváření. Širšímu zavedení pochodu brání dosud dlouhé synchronizační doby, takže se tato technologie pro ocel nehodí.

Výhody technologie

Výrobky mají kompaktní celistvé struktury, lze je podrobit tepelnému zpracování, výrobky mají téměř kvalitu výkovku, lze dosáhnout složitých a tenkostěnných tvarů, tvářecí proces má mnohem nižší spotřebu tvářecích sil než konvenční kování.

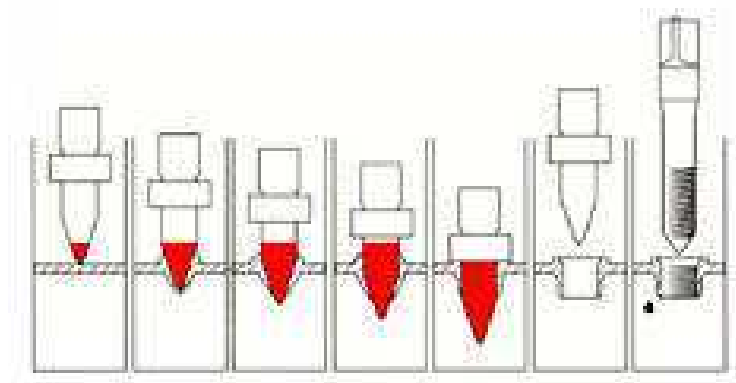
4. DALŠÍ PROGRESIVNÍ TECHNOLOGIE TVÁŘENÍ

4.1. Termální vrtání [9]

Termální vrtání spadá mezi progresivní metody tváření otvorů. Pracuje na principu vzniku třecího tepla, vznikajícím speciálním vrtákem Flowdrill, které lokálně ohřívá materiál. Relativně vysokými otáčky a axiální silou působící na materiál vzniká třecí teplo, které lokálně ohřívá materiál. Díky tomuto ohřevu může nástroj plynule projít obrobkem a vytvořit pouzdro z přemístěného materiálu. Teplota nástroje dosahuje až 900°C a teplota obrobku 700°C. Čas potřebný pro tváření otvoru je (2÷6) s. Tvářet můžeme železné i neželezné kovy, a to nízkouhlíkové oceli, nerezové oceli, měď, mosaz, titan a hliník. A to do tloušťky až 12mm. Výška vzniklého pouzdra je (3÷4)x tloušťky původního materiálu.

Mezi hlavní vlivy na kvalitu tvářeného otvoru jsou: výkon stroje a jeho technický stav, axiální síla, vhodný nástroj, použití mazací pasty.

Kroky termálního vrtání vrtákem Flowdrill a vytvoření závitu do připraveného otvoru.
[10]



Vzniklý otvor metodou termálního tváření většinou slouží k dalšímu technologickému kroku a to tváření závitu, jenž je obdobnou technologií termálního tváření, přičemž je použito tvářecího závitníku. Výhody tváření závitu v porovnání s konvenčními metodami jako například řezání závitu jsou: nižší teplota při tváření, beztržková technologie, vyšší pevnost, vysoká životnost nástroje (nižší náchylnost k lomu nástroje). Z ekonomického hlediska je to zajisté vyšší produktivita.

Využití technologie:

v automobilovém, topenářském, nábytkářském průmyslu. Z toho například: vodotěsné i vysokotlaké spojení měkkým pájením, laciná výroba děr pro stříkací techniku, těsné spoje pro plynárenský průmysl, atd.

Vrták Flowdrill

Je nástroj tvaru polygonového kužele, vyrobeného z karbido-wolframového materiálu. Vrták Flowdrill se skládá ze tří hlavních částí a to speciálního držáku, který se upíná do stroje. Držák musí svou konstrukcí být uzpůsoben k vysokému odvodu tepla. Dále z kleštin, do kterých se upne speciální hrot, který se vyznačuje svou vysokou tvrdostí. Životnost vrtáků Flowdrill je cca 10 000 otvorů, zde důležitou roli jak do životnosti i kvality otvoru hraje i mazání.



Základní části vrtáku Flowdrill:

A - Speciální držák kleštiny pro vysoký odvod tepla

B - Kleština

C - Speciální hrot Flowdrill

4.2. Tváření s předehtřevem laseru [11]

Využití laseru v dnešní době má své opodstatnění nejen i při technologiích jako jsou například obrábění, svařování, řezání, ale také ve tváření. Zde je laser použit k lokálnímu ohřevu polotovaru v místě jeho tváření (této metody je již delší dobu využíváno u obrábění). Díky lokálnímu ohřevu lze tvářit těžko tvářitelné kovy, např. vysokopevnostní oceli, titanové a niklové slitiny.

4.2.1. Rotační tlakové tváření

Tato technologie se používá pro tlakové tváření symetrických dílů z obtížně tvaritelných materiálů. Díky laserovému paprsku, který ohřívá tvářené místo, se dosahuje až 40% snížení potřebné tvářecí síly. Teplota při procesu dosahuje až 700°C, vhodnost metody je nejen pro těžko tvaritelné materiály ale také pro materiály, které by při tváření za studena vyžadovaly rekrystalizační žíhání. Kromě využití laseru pro samostatný ohřev pro tváření, je možné stejného laseru také využít k speciálním úpravám rondelů (a to řezání, svařování, děrování nebo také vytvrzování). Pro metodu rotačního tváření je použito diodového laseru, dosahující výkonu až 6 kW, který je dostačující pro danou technologii a je vhodný i pro menší rozměry a snadnější vestavbu do výrobních zařízení.

4.2.2. Technologie povrchových tlakových rázů

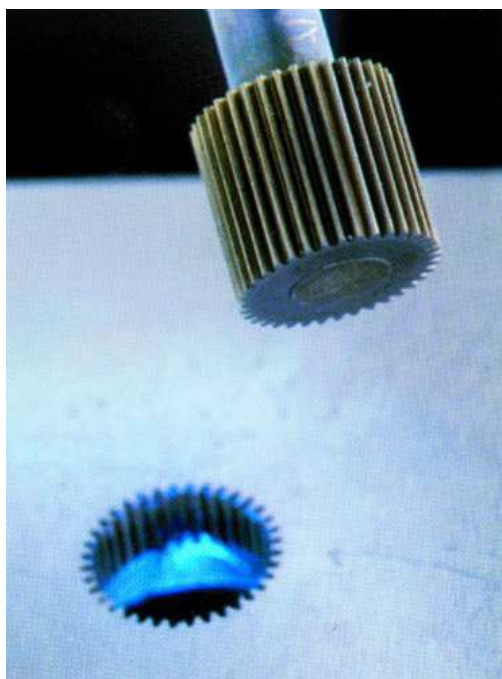
Zde je využito laseru pro vytvoření tlakových rázů na povrchu tvářeného polotovaru. Metoda je obdobou technologie kuličkování povrchu. Zde je využito pulzního laseru pro dobrou absorpci jeho záření na povrchové vrstvě tvářeného materiálu. V nanosekundových intervalech dochází k místnímu odpařování povrchové vrstvy polotovaru a k indukci plazmy s následkem vytváření tlakových rázů na povrch polotovaru. S překročením meze kluzu materiálu dochází k jeho plastické deformaci. Dosažení vyššího výkonu, řádově až stovek MW lze dosáhnout při krátké délce pulzu. Pro lepší absorpci energie paprsku se polotovaz opatřuje absorpční vrstvou, např. černým lakem. Vyšší účinnosti celého procesu lze dosáhnout transparentní vodní vrstvou.

4.2.3. Mikrotváření

Transparentnost materiálu vůči laserovému paprsku je využívána i u laserové podpory při mikrotváření. Uplatněním transparentních materiálů, jako je např. safír, přímo v rámci tvářecího nástroje, je možný ohřev tvářeného dílu paprskem laseru, procházejícím transparentním materiálem z vnějšího prostoru, i v uzavřeném nástroji. Paprsek se dá směřovat i jen úzce na přetvárnou zónu, kde příznivě ovlivňuje tvařitelnost materiálu. Z nabídky technologických laserů se pro danou technologii nejlépe osvědčily pro úzkou stopu paprsku a možnost jeho přenosu od zdroje až na místo užití vláknovou optikou především pevnolátkové Nd:YAG lasery a výkonové diodové lasery.

Danou technologií se tváří např. ozubení pro mikropohony, díly mechanických hodin, díly pro mikroelektrické systémy.

Razník a matrice lisu



4.3. Speciální způsoby vstřikování plastů [12]

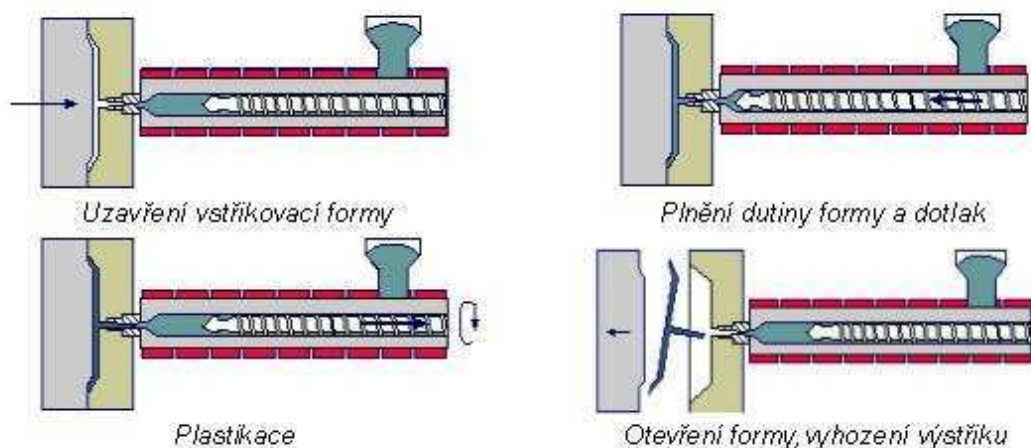
Vstřikováním se vyrábějí takové výrobky, které mají buď charakter konečného výrobku a nebo jsou polotovary nebo díly pro další zkompletování samostatného celku. Výrobky zhotovené vstřikováním se vyznačují velmi dobrou rozměrovou i tvarovou přesností a vysokou reprodukovatelností mechanických a fyzikálních vlastností. Technologie vstřikování je nejrozšířenější technologií na zpracování plastů, je to proces diskontinuální, cyklický. Vstřikováním lze zpracovávat téměř všechny druhy termoplastů. V omezené míře se vstřikují i některé reaktoplasty a kaučuky.

Vstřikování je způsob tváření plastů, při kterém je dávka zpracovávaného materiálu z pomocné tlakové komory vstříknuta velkou rychlostí do uzavřené dutiny kovové formy, kde ztuhne ve finální výrobek. Tlaková komora je součástí vstřikovacího stroje a zásoba vstřikovaného materiálu se v ní stále doplňuje během cyklu. Výhody vstřikování jsou krátký čas cyklu, schopnost vyrábět složité součásti s dobrými tolerancemi rozměrů a velmi dobrou povrchovou úpravou, ale i konstrukční flexibilita, která umožňuje odstranění konečných úprav povrchu a montážních operací. Hlavní nevýhodou v porovnání s ostatními metodami zpracování plastů jsou vysoké investiční náklady, dlouhé doby nutné pro výrobu forem a potřeba používat strojní zařízení, které je neúměrně velké v porovnání s vyráběným dílem.

Postup vstřikování je následující: plast v podobě granulí je nasypán do násypky, z níž je odebírán pracovní částí vstřikovacího stroje (šnekem, pístem), která hmotu dopravuje do tavicí komory, kde za současného účinku tření a topení plast taje a vzniká tavenina. Tavenina je následně vstřikována do dutiny formy, kterou zcela zaplní a zaujme její tvar. Následuje tlaková fáze pro snížení smrštění a rozměrových změn. Plast předává formě teplo a ochlazením ztuhne ve finální výrobek. Potom se forma otevře a výrobek je vyhozen a celý cyklus se opakuje.

Vstřikovací cyklus tvoří sled přesně specifikovaných úkonů. Jedná se o proces neizotermický, během něhož plast prochází teplotním cyklem. Při popisu vstřikovacího cyklu je nutno jednoznačně definovat jeho počátek. Za počátek cyklu lze považovat okamžik odpovídající impulsu k uzavření formy.

Vstřikovací cyklus [12]



4.3.1. GIT – vstřikování plastů s podporou plynu [13]

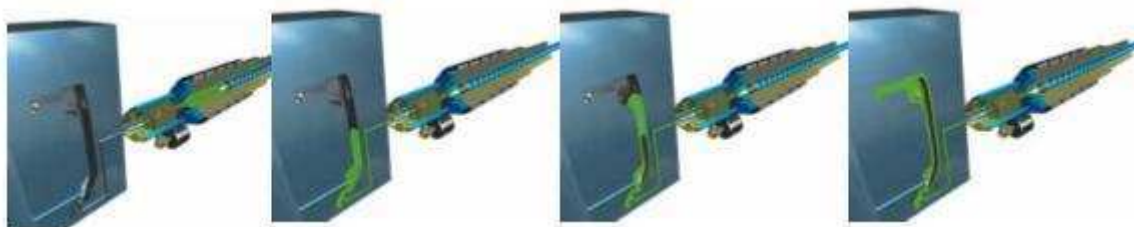
Jedná se o ekvivalent vstřikování termoplastů, vyvinutý v osmdesátých letech s možností vyrábět díly s uzavřenými dutinami, které jsou vytvořeny „ničím“, kdy se do určitých míst výstřiku za účelem vytvoření dutiny přivádí plyn, většinou dusík, čímž se vytvoří výlisek o zdánlivě velkém průřezu, přičemž odpadne nutnost chladit velké množství roztavené plastické hmoty. Jako plynu je použito vysoce čistého dusíku (čistota min. 99,8 %) s možností jeho stlačování v rozsahu 10 až 30 MPa.

Výhodou GIT (*gas injection technology*) je snížení uzavíracích sil, snížení smrštění, zkrácení délky cyklu (zkrácení doby chlazení vlivem zmenšení tloušťky stěny při zachování chladicí plochy nástroje), snížení hmotnosti výrobku, nízká deformace ploch výrobků, vysoký stupeň tuhosti u dílů s žebry a zachování požadovaných mechanických vlastností a minimalizace deformací výstřiku, vzniku staženin a snížení spotřeby plastů včetně zlepšení poměru hmotnost – tuhost při zachování vysoké kvality povrchu. Dochází k redukci hmotnosti až o 50 % a ke zkrácení doby cyklu také až o 50 %. Je možné počítat s poklesem výrobních nákladů o 30 až 50 %. Technologie GIT se dá použít pro většinu plastů, např. pro PE, PP, PS, ABS, PA, SAN, PPO, PC, PBT, PC/PBT, ale i pro plněné termoplasty. Nevýhodou technologie GIT je vyšší cena nástroje a stroje, problematické chlazení v místech kanálů, řízení procesu.

Vlastní proces vstřikování je obdobný jako u klasické technologie vstřikování, tedy zavření formy, vstřik, dotlak, chlazení, otevření formy a vyhození výrobku. Tlak plynu zde však přebírá funkci dotlaku, je však nutné pomocí konstrukce tvaru (geometrická opatření) kontrolovat směr pohybu plynu. Žebra a rozdílné tloušťky stěn potom slouží k vedení plynu.

Z hlediska technologie jsou možné dvě techniky tvorby dutiny. První je tzv. *krátký vstřik, dofukovací způsob*, kdy je dutina formy naplněna jen částečně (objem taveniny je 50 až 90 %) a následně je tlakem plynu zcela vytvarována dutina formy. Největším problémem je zde objem dávky taveniny plastu. Druhý způsob je tzv. *dlouhý vstřik, vyfukovací způsob*, při kterém se plyn vstřikuje do dutiny formy až po té, co plast úplně vyplní tvarovou dutinu a tavenina je vytlačována buď zpět před čelo šneku a nebo do pomocné dutiny. U krátkého vstřiku klesá tloušťka stěny se vzdáleností dráhy plynu, u dlouhého vstřiku je rovnoměrnější po délce kanálu.

Postup vstřikování u GIT technologie – krátký vstřik [13]





Při vstřikování s podporou plynu je nejdříve vstříknut plast (nejlépe s pomocí horkých vtoků pro ideální homogenitu a teplotu taveniny) a teprve potom plyn, protože při současném vstřikování by se plyn dostal na povrch výstřiku. S ohledem na velký rozdíl mezi viskozitou taveniny a plynu, vytváří se zcela jiný typ proudění, než je klasické proudění taveniny plastu. Plyn musí být přiveden do určeného místa výstřiku v přesně stanovený okamžik, kdy plast ještě nestačil ztuhnout vlivem dotyku se stěnou formy (důsledek chlazení) a nebo do míst, kde není tavenina plastu v nečinnosti. To klade vysoké nároky na konstrukci formy. Z počátku se přivádí plyn o nižším tlaku, aby nedošlo ke vzniku povrchových vad (vytvoření dutiny). Po úplném naplnění tvarové dutiny formy se tlak plynu zvýší, aby se dosáhlo přesného dotvarování dílu. Kontrolu tlaku plynu provádí tlaková jednotka, která je součástí vstřikovacího stroje, a může být řízena jednak z hlediska kontroly objemu nebo tlaku. V zásadě však platí, že pro tekutější hmoty je potřeba nižší tlak a naopak.

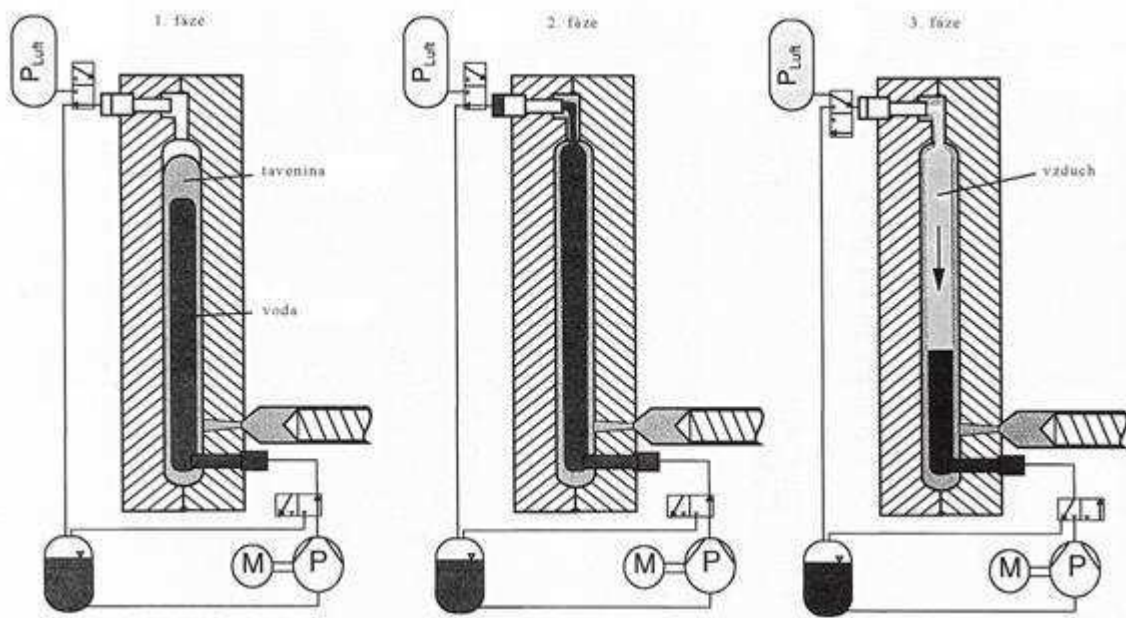
Možnosti přívodu plynu za účelem vytvoření dutiny jsou v podstatě dvě, tryskou nebo injektorem s průměrem jehly 3 až 5 mm. U injektoru je nebezpečí ucpání jehly zbytky tavenin termoplastů při zpětném odsávání plynu.

Důležitým parametrem u technologie GIT je doba prodlevy mezi vstřikováním taveniny a přívodem plynu, protože s rostoucí dobou prodlevy roste i tloušťka stěny výrobku vlivem chlazení. Stejně závěry platí i pro teplotu taveniny a teplotu formy, které také ovlivňují hmotnost výrobku a tloušťku stěny.

4.3.2. WIT – vstřikování plastů s podporou vody [13]

Kromě technologie vstřikování plastů s podporou plynu (dusíku) se v dnešní době začíná prosazovat technologie vstřikování, kdy k výrobě dutých těles se nepoužívá plyn, ale voda. Mluvíme o technologii *vstřikování s podporou vody – WIT (water injection technology)*. Voda je vstřikována jednou nebo více pumpami do tekuté taveniny za účelem vytvoření dutiny. Vstřikování vody se provede tak, aby se voda neodpařovala. Tedy teplota přivedené vody musí být volena podle zpracovávaného plastu. Čelo vody pak působí na plastické jádro jako vtlačovaný píst. Účinek je navíc podpořen tím, že v oblasti (na čele) přechodu vody a taveniny ztuhne tenká plastová membrána. Nakonec může být voda vytlačena z dílce tlakovým vzduchem, nebo odsáta zpět a nebo se vylévá mimo formu a přes zásobník se vrací zpátky do oběhu. Vstříknutí vody se musí provést dostatečně rychle, aby se zabránilo hydrolytickému rozkladu plastu. Technologické principy vstřikování vody jsou obdobné jako u vstřikování plynu.

Princip WIT technologie – krátký vstřík [13]



V důsledku většího chladicího účinku vody oproti plynu se zkrátí doba chlazení i doba celého cyklu zhruba na 10 až 20 % doby u klasické technologie vstřikování. Výhody technologie WIT jsou srovnatelné s výhodami technologie GIT a technologii WIT lze použít i na výrobu dílců, které metodou GIT nelze realizovat. Zároveň mají vnitřní stěny výrobků velmi hladký povrch. Na druhé straně je technologie WIT použitelná jen u určitých tvarů plastových dílů.

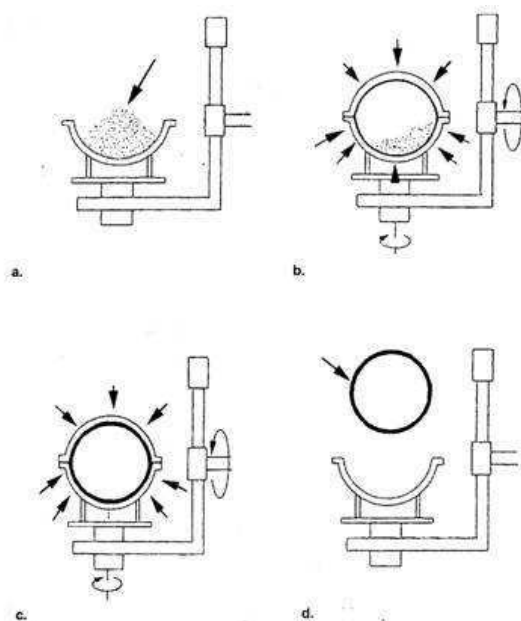
4.5. Speciální způsoby vyfukování dutých těles z plastů [14]

Vyfukováním se rozumí takový postup, při kterém je polotovár (předlisek) tvarován ve vyfukovací formě přetlakem vzduchu do tvaru více méně uzavřeného tělesa. Materiál se musí zahřát do plastického stavu, kdy hmota vykazuje potřebnou tvarovatelnost, ale přitom si ještě udržuje dostatečnou soudržnost. Polotovarem může být předlisek vyráběný vstřikováním, vytlačováním nebo i fólie. Vyfukováním se zpracovávají hlavně PE a PP, PVC a jeho kopolymery a v poslední době PET. V malé míře jsou zastoupeny další termoplasty, jako např. POM, PC, kopolymery PS a jiné.

4.5.1. Rotační natavování [14]

Dutá tělesa velkých objemů, až několika set litrů, se s výhodou vyrábějí *rotačním spékáním* práškových polymerů. Do dvoudílné kovové formy, která může být jen z plechu, protože není vystavena žádnému zvláštnímu namáhání, se odměří potřebné množství práškového termoplastu, např. PE, ale i PP, PVC, EVA, PS, atd. Potom se forma uvede do rotačního pohybu kolem dvou na sebe kolmých os. Tím se prášek rovnoměrně rozděluje po vnitřním povrchu formy. Forma se ve vytápěné komoře ohřívá vzduchem na teplotu vyšší, než je teplota tání příslušného plastu. Vzduch má teplotu 260 až 450 °C. Z prášku se postupným tavením a spékáním vytváří souvislá vrstva o tloušťce 1,5 až max. 30 mm. Formy rotují poměrně pomalu, kolem menší osy rychlostí asi 40 ot.min⁻¹, kolem větší osy asi 12 ot.min⁻¹. Po dokonalém protavení a spečení prášku se forma přesune do chladicí komory, kde se ochlazuje např. zkrápěním vodou. Pracovní cyklus je poměrně pomalý a závisí na velikosti výrobku a na tloušťce jeho stěny. U malých nádob trvá několik minut, u nádob s objemem 500 l asi jednu a půl až dvě hodiny. K přednostem této metody patří levné strojní zařízení, laciná forma a možnost vyrábět i tvarově členité výrobky. Nevýhodou je dlouhý výrobní cyklus a vysoká cena práškových polymerů.

Princip, schéma rotačního natavování



*a – plnění,
b – ohřev a rotace formy,
c – chlazení,
d – vyjmutí výrobku*

4.5.2. Vyfukování z fólií [14]

Výroba *dutých těles z fólií* je založena na následujícím principu: Dvě fólie z termoplastu jsou pevně sevřeny čelistmi kovové formy a mezi ně se přivádí pod tlakem horký vzduch nebo horká vodní pára. Teplem se plast převede do plastického stavu a tlakem se fólie vytvarují podle dutiny formy. Po okrajích se současně svaří. Tlustší fólie se mohou zahřát ještě před vložením do formy. Tímto způsobem se vyrábějí obaly např. pro čisticí prostředky. Pro obaly je charakteristický podélný svar buď po celém obvodu, nebo jen na třech stranách, jestliže se použije jedné fólie, která se před vložením do formy podélně ohne. Způsob má řadu variant. Místo celoplastové fólie se používají kombinované materiály, např. papír s jednou vrstvou polyetylénu. U systému Tetra-Pack se nejprve podélným svarem vytváří trubka, která se uzavře příčným svarem. Potom se plní obsahem a uzavře se druhým příčným svarem, který je proti prvému otočen o 90^0 . Plášť obalu je tvořen čtyřmi trojúhelníky a tvoří čtyřbokou pyramidu. Podobně se vyrábějí pro stejné účely i hranaté krabice.

4.5.2. Rotační navíjení [14]

Jedná se v podstatě o výrobu laminátu, kdy mohou být aplikovány dva rozdílné postupy. V prvním případě jsou na rotační formu navíjena výztužná vlákna (ideálně pod úhlem 45^0), která jsou následně impregnována a vytvrzována pro vytvoření dostatečné vrstvy. V druhém případě je na nosné těleso navíjena výztuž, která je naimpregnovaná pryskyřicí, která se dále vytvrzuje.

1. ZÁVĚR

Všechny uvedené technologie plošného a objemového tváření kovů a plastických hmot v této práci lze považovat za progresivní. Hlavním společným prvkem těchto technologií je vyrábět dílce tzv. „nahotovo“. Samozřejmě nebudou uvedené technologie vždy výhodné z ekonomického hlediska, pro jejich vysoké pořizovací náklady či provozní.

Z uvedených metod si jistě zaslouží pozornost technologie Tailored blanks (tzv. přístřihy vyráběné na míru). Díky, které se dosahuje podstatného snížení hmotnosti za zachování požadované pevnosti výrobků oproti konvenčním způsobům. To má velké uplatnění např. v automobilovém průmyslu.

Nejen novými progresivními metodami, ale také díky možnosti ověření a predikce materiálových toků cestou simulace tvářecích procesů a automatizací výroby se technologie tváření řadí mezi nejdůležitější a nejvýznamnější metody příštích let.

Seznam použitých zdrojů

- [1] [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/06.htm]
- [2] [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/09.htm]
- [3] DVOŘÁK, M., GAJDOŠ, F., NOVOTNÝ, K., : Technologie tváření – plošné a objemové tváření, edit. Nakladatelství VUT v Brně, ISBN 80 - 214 – 2340 – 4, Brno, 2003, s. 169
- [4] Technologie Tailored Blanks. *MM Průmyslové spektrum*, 2002, č.7, s.28-29. ISSN 1212-2572
- [5] [<http://www.tailored-blanks.com>]
- [6] RUMÍŠEK, Pavel. Technologie tváření na počátku nového milénia. In *Sborník dílčích výstupů řešení výzkumného záměru MSM 262 100003 „Rozvoj progresivních vysoce přesných strojírenských technologií 2004 .”* Fakulta strojního inženýrství VUT Brno, s. 207 – 212, ISBN 80 – 214 – 2786 – 8.
- [7] [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/11.htm]
- [8] [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/02.htm]
- [9] ŠPULÁK, Libor. Termální vrtání – progresivní metoda tváření otvorů. *MM Průmyslové spektrum*.
Dostupné z: < <http://www.mmspektrum.com/clanek/termalni-vrtani-progresivni-metoda-tvareni-otvoru> >
- [10] [<http://www.kavon.cz/tvareni.htm>]
- [11] Laser a tváření. *MM Průmyslové spektrum*, 2003, č.5, s.72
- [12] [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm]
- [13] [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/05.htm]
- [14] [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/07.htm]
- [15] [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/03.htm]

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
H	Vzdálenost exploziva od tvářeného materiálu	[mm]
v	Rychlost	[m/s]
E	Energie potřebná k tváření	[J]
C	Kapacita	[F]
U	Napětí	[V]
F _a	Přítlačná síla	[N]
F _b	Přítlačná síla	[N]
F	Tvářecí síla	[N]
p	Tlak	[Pa]
HMT	Hydromechanické tažení	[-]
PKV	Příčné klínové válcování	[-]
GIT	Vstřikování plastů s podporou plynu	[-]
WIT	Vstřikování plastů s podporou ody	[-]
PE	Polyethylen	[-]
PP	Polypropylen	[-]
PS	Polystyren	[-]
ABS	Akrylonitril-butadien-styrenový kopolymer	[-]
PA	Polyamid	[-]
SAN	Styren-akrylonitrilový kopolymer	[-]
PPO	Polyfenyloxid	[-]
PC	Polykarbonát	[-]
PBT	Polybutylentereftalát	[-]
PVC	Polyvinylchlorid	[-]
POM	Polyoxymethylen	[-]
PET	Polyethylentereftalát	[-]
EVA	Ethylen-vinyl-acetátový kopolymer	[-]