

AKADEMIE TVÁŘENÍ: OHÝBÁNÍ

www.mmspektrum.com/100715

Předkládáme druhou část našeho seriálu o problematice technologie tváření. Jednotlivé díly vznikají ve spolupráci s odborníky z Ústavu strojírenské technologie Fakulty strojní ČVUT v Praze a technickými specialisty firmy Trumpf. V každém díle se věnujeme konkrétní technologii/technologům zpracování plechu, jež je/jso představena/představeny jak po teoretické stránce, tak následně v konkrétních aplikacích na strojích Trumpf. Volba témat je v souladu s technickými možnostmi, které právě nabízejí stroje výše zmíněného výrobce, jež bezesporu představuje špičku v oboru, a proto se na ni i redakce při tvorbě Akademie tváření obrátila. Rádi přivítáme vaše připomínky jak ke koncepci seriálu, tak i k samotnému obsahu konkrétních příspěvků.

**Za autorský kolektiv
Roman Dvořák
roman.dvorak@mmspektrum.com**

Ohýbání je technologický proces tváření, při kterém je materiál vzniklým napětím trvale deformován bez podstatné změny průřezu. Plastická deformace zasahuje do poměrně malého objemu tvářeného materiálu a tvoří ostrou nebo oblou hranu (popř. oblou plochu).

Přehled názvosloví a základních operací při ohýbání je uveden v ČSN 22 6001. Nástroj pro technologie ohýbání nazýváme ohýbádem, skládajícím se z ohybníku a ohybnice. Ohýbání využívá stejných zákonů plasticity jako ostatní způsoby tváření – překročením meze kluzu se dosahuje deformace plastické s elastickou. Ohýbání můžeme provádět ručně (na ručních strojích) nebo strojně. Strojní se realizuje na lišecích pomocí ohýbacího nástroje nebo na ohráňovacích strojích, případně pomocí rotačních nástrojů (válců). Příkladem ohýbání v nástroji s rotačním pohybem jsou technologie profilování nebo zakružování.

Průběh ohýbání v nástrojích

Při ohýbání se vrstvy kovu na vnitřní straně ohýbaného materiálu stlačují (tlaková napětí) a na vnější straně natahují (tahová napětí). Mezi natahovanými a stlačovanými vrstvami je neutrální vrstva (vlákno), která se ani nenatahuje ani nestlačuje, je tedy bez napětí a její délka zůstává neměnná. Neutrální vrstva je na začátku procesu uprostřed průřezu, při ohybu se posouvá směrem k vnitřní straně ohybu. Není tedy totožná s osou těžiště ohýbaného materiálu.

Z technologického hlediska se zabýváme zejména její polohou. Její praktický význam spočívá především ve výpočtu rozměrů vstupního polotovaru při ohýbání a také v určení minimálního poloměru zaoblení r .

V rámci uvažované metodiky určování polohy, resp. rozměru neutrální vrstvy, řešíme dva zásadní případy. Prvním z nich je případ, kdy ohýbáme s velkým poloměrem za-

oblení $r/s \geq 12$. Vzniknou tak pouze malé, pružně plastické deformace, kdy lze předpokládat, že neutrální vrstva prochází středem tloušťky výchozího materiálu. V druhém případě řešíme situaci, kdy provádíme ohyb s velmi malým poloměrem zaoblení, jakým jsou např. ostré hrany $r/s \leq 6$. V této situaci dochází k pohybu neutrální vrstvy směrem k menšímu poloměru zaoblení, tedy ke stlačovaným vláknům, a dochází ke změně průřezu.

Na základě znalosti polohy neutrální vrstvy je pak možné určit výchozí délku polotovaru pro současně vyráběnou ohýbáním s různými druhy ohybu, která odpovídá součtu délek oblouků v jednotlivých ohybech a délce jednotlivých rovných částí.

Poloměr neutrální vrstvy je pak tedy

$$\rho = r + x \cdot s$$

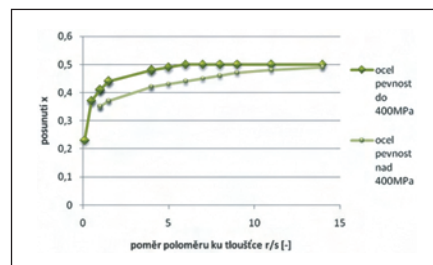
Délku oblouku uvažovaného ohybu je možné stanovit ze vztahu

$$L = \frac{\pi \cdot \rho \cdot \alpha}{180}$$

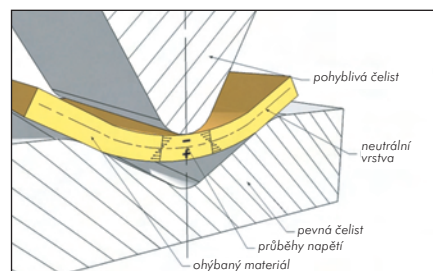
kde:

P	poloměr neutrální vrstvy	[mm]
r	poloměr zaoblení	[mm]
s	tloušťka ohýbaného materiálu	[mm]
x	součinitel posunutí neutrální vrstvy	[-]
α	úhel ohybu	[°]
L	délka oblouku	[mm]

V případě ohybu úzkého polotovaru ($b \leq 3s$), dochází k deformaci příčného průřezu (napjatost rovinná). Pro široké polotovary ($b \geq 3s$) se deformace v příčném průřezu se



Příklad součinitele posunutí neutrální vrstvy v závislosti na poměru ohybu k ohýbané tloušťce



Princip ohýbání s průběhem napětí na vnější a vnitřní straně materiálu

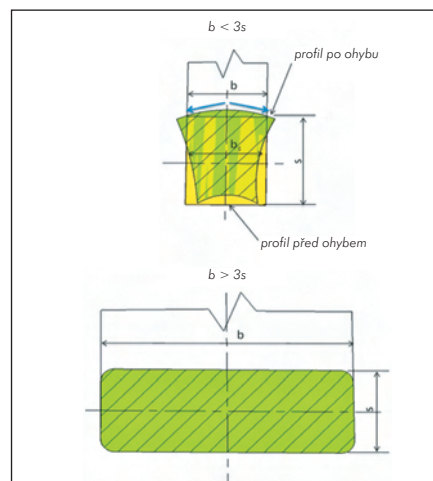
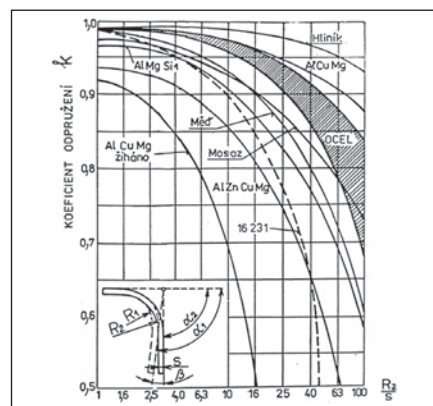


Schéma deformace úzkého a širokého polotovaru



Ukázka nomogramů odpružení pro různé jakosti materiálu

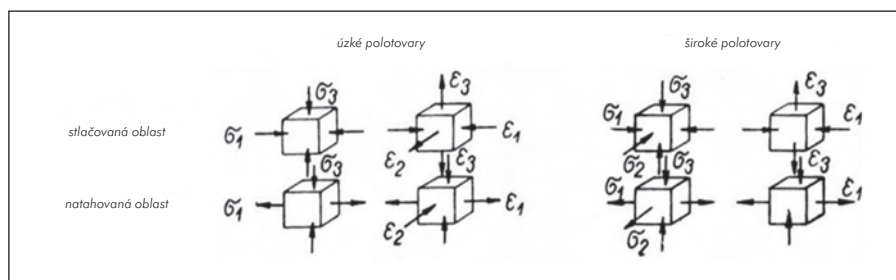


Schéma napětí a deformace při ohýbání

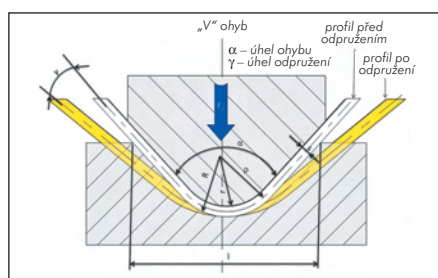
zřetel na jeho šířku neprojevuje (napjatost prostorová), protože proti deformacím v příčném směru působí odpor materiálu velké šířky vzhledem k jeho malé tloušťce.

Odpružení

Tento jev lze charakterizovat jako nežádoucí dodatečnou deformaci výlisku vznikající po relaxaci napětí způsobené odlehčením tvářecích nástrojů. Při ohýbání se odpružení projevuje jako úhlová odchylka γ , jejíž význam roste s délkou ramen. Zpětné odpružení je způsobeno vlivem elastické deformace materiálu kolem neutrální osy. Velikost úhlů odpružení je závislá na vlastnostech materiálu, jeho tloušťce, poloměru ohybu a způsobu ohýbání. S rostoucí tloušťkou materiálu a zmenšujícím se poloměrem ohybu se odpružení zmenšuje. Poměr r/s se používá ke stanovení velikosti odpružení. Obvykle pro běžné materiály bývá odpružení v rozsahu 3 až 15°. Odpružení je ovlivněno řadou parametrů a faktorů. Mezi ty nejdůležitější patří vlivy materiálových vlastností, konstrukční řešení ohýbacího nástroje, okrajové podmínky vstupující do procesu tváření a v neposlední řadě také geometrické charakteristiky výlisku.

Odpružení lze obecně korigovat či eliminovat různými metodami. Běžně užívanými postupy jsou následující:

- ohýbaný materiál se přetvoří navíc o hodnotu úhlu odpružení, který se určí buď podle empirických vzorců nebo z tabulek. Nástroj se musí navrhnout s korekcí o úhel γ , má-li mít výlisek požadovaný tvar. Samotným odpružením se výlisek dostane do očekávaného tvaru;
- použije se kalibrace, tj. zvětší se lisovací síla na konci lisovacího cyklu, dochází k místní plastické deformaci v místě ohybu



Princip odpružení materiálu

a hodnota odpružení se snižuje, až případně vymizí úplně;

- použije se prolisů na výlisku, kdy se odpružení odstraní téměř úplně.

Odpružení při ohybu je možné vyloučit např. těmito opatřeními:

- podbroušením pohyblivé čelisti, zaoblením dolní strany pohyblivé čelisti a přidržovače poloměrem R ;
- zpevněním materiálu v rozích rázem;
- vylisováním vyztužovacího žebra v místech ohybu;
- postupným ohýbáním s odlehčením pevné čelisti o tloušťku materiálu;
- zpevněním materiálu deformačním poloměrem v pevných čelistech.

Výpočet sil

Mezi základní rozdělení ohýbání patří ohyb do tvaru „V“ a „U“. V následujícím textu je naznačen výpočet síly a práce pro „V“ ohyb.

Ohýbaný výrobek se považuje za nosník o dvou podporách zatížený silou uprostřed obou podpor. Potom

$$A = F_{\max} \cdot h \cdot k_1 \quad F_{\max} = \frac{b \cdot s^2}{l} R_m$$

kde:

F_{\max}	maximální ohýbací síla	[N]
b	šířka polotovaru	[mm]
l	vzdálenost podpěr	[mm]
s	tloušťka polotovaru	[mm]
R_m	mez pevnosti materiálu	[MPa]
h	zdvih (koncová poloha)	[mm]
k_1	koeficient průběhu F ($k_1 = 1/3$)	

Vůle mezi činnými částmi nástroje

Vůle představuje vzdálenost mezi činnými částmi ohýbacího nástroje (ohybníkem a ohybnicí). Ohýbání probíhá jednak ohnutím stěn součásti pod určitým úhlem nebo poloměrem (V), kdy mezera mezi pevnou a pohyblivou částí nástroje odpovídá zpravidla tloušťce ohýbaného materiálu, čehož dosáhneme seřízením lisovacího nástroje.

Ohýbání může také probíhat jako ohnutí stěn součásti (U) rovnoběžně se směrem pohybu pohyblivé čelisti. Velikost vůle v tomto

případě může mít několik různých významů a hodnot v závislosti na skutečných podmínkách práce a geometrii nástroje. V případě malé výšky stěny se vůle volí jako minimální hodnota tloušťky ohýbaného materiálu, aby vůle zaručovala dobrou jakost výlisku. Při větší výšce stěny je možné volit sklon pohyblivé části o úhel 1–3° (snížení tlaků, „sevrění“) nebo se provede úprava s rovnoběžnými stěnami, kdy velikost vůle se volí v závislosti na tloušťce ohýbaného materiálu větší než tloušťka ohýbaného materiálu.

Přesnost při ohýbání

Přesnost při ohýbání závisí na mnoha činitelích, mezi něž patří tvar a rozměry ohýbaného výlisku, stejnorodost mechanických vlastností a tloušťky ohýbaného materiálu, počet ohybů, druh ohýbacího nástroje a jeho přesnost, přesnost ustavení nástroje v tvářecím stroji, použití kalibrační operace.

Jakost povrchu výlisku při ohýbání závisí na jakosti povrchu ohýbaného materiálu, geometrii ohýbací čelisti, velikosti vůle, způsobu mazání, drsnosti funkčních částí nástroje.

Technologičnost ohýbaných součástí

Při ohýbání materiálu mohou kromě již zmíněných problémů, jako byla deformace průřezu a odpružení materiálu, nastat další problémy, mezi něž patří praskání materiálu a tvoření vln.

K praskání materiálu (vznik trhlin na vnější straně) dochází v okamžiku, kdy dojde k překročení kritické hodnoty poloměru ohybu r/s , což může být způsobeno zpevněním materiálu, stavem materiálu (žíhaný, tvářený za studena apod.) nebo průběhem vláken. Osa ohybu by proto měla být kolmá na směr vláken materiálu (odpružení je ale větší) nebo minimálně pod úhlem 30°. Polotovary připravované stříháním mívají na střížných plochách ořep. Proto je nutné dbát na umístění příštího do nástroje s respektováním tohoto ořepu nebo je ho nutné odstranit.

Při návrhu ohýbaných dílů je nutné respektovat požadavky na hodnoty poloměrů ohybu. Poloměr ohybu musí být alespoň takový, aby v krajních vlákních došlo k překročení hodnoty meze kluzu (aby došlo k plastické deformaci). Poloměr nesmí však být příliš malý, aby deformace krajních vláken nepřekročila hodnotu meze pevnosti. Poloměr ohybu se má volit z hlediska odpružení co nejmenší, ale vzhledem k tvárnosti a tloušťce ohýbaného materiálu co největší. Jinak může docházet k destrukci v ohýbaném průřezu.

Obecně se součásti vyráběné technologiemi stříhání nebo ohýbání vyznačují malou tuhostí. Tuhost součásti je možné zvýšit technologickými prvky, jako jsou prolisy či dodatečná ohnutí.

ING. FRANTIŠEK TATÍČEK
ING. TOMÁŠ PILVOUSEK
FAKULTA STROJNÍ ČVUT V PRAZE
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

OHÝBÁNÍ NA CNC OHRAŇOVACÍCH LISECH

„Tak to nějak ohněte.“ Za touto větou, kterou velmi často slyší technologové, programátoři a především obsluhy CNC ohraňovacích lisů, se skrývá mnoho úskalí, možností postupů a hlavně zkušeností. Pro nejjednodušší, nejrychlejší a hlavně nejlevnější ohnutí dílu je důležité vybrat si správného partnera, který dokáže vaše požadavky bezesbýtku splnit.

Díky dlouholetým zkušenostem nejen v technologii ohýbání, široké nabídce vysoce přesných strojů a špičkově vyškoleným technikům může být firma Trumpf tím správným partnerem.

Přesnost stroje – výrobní tolerance

Díky maximálně optimalizovanému výrobnímu systému SYNCHRO a vysokým nárokům na kvalitu a přesnost všech vyráběných produktů dokáže firma Trumpf nabídnout správný stroj jak pro začínající firmu, tak i pro zkušeného odborníka. Pro dosažení maximálních přesností strojů byly výrobní tolerance sníženy na minimum, tj. v řádech tisícín mm. O maximální pevnost ohraňovacích lisů se stará roboticky svařovaný a následně vyžehnaný rám společně s kalenými pracovními částmi stroje.

Výrobní řady

Ohraňovací lisy stejně jako všechny produkty firmy Trumpf se rozdělují do výrobních řad doplněných širokou škálou doplňkových výbav. Ohraňovací lisy TruBend série 3000/5000/7000/8000 jsou využitelné pro ohý-



Nasazení lisu TruBend série 3000 má smysl všude tam, kde jde o jednoduché a levné ohýbání



Největší změnou lisu TruBend série 5000 oproti 1. generaci je tlakový válec. Namísto dvou objemných válců má nyní čtyři ploché. Ty zachovávají velký volný prostor před lisem a optimálně přenášejí síly na nástroje. Vhodný pro zakázky s dlouhými ohyby, úzkými úhly nebo silnými plechy

bání jak kusových, tak i sériových zakázek. Široké portfolio strojů umožňuje nabídnout stroj na míru, a to od délky 500 mm až po např. 12 000 mm, v tonáži od 18 t až po např. 2 000 t. Vysokou flexibilitu strojů umožňují nejen patentované technologie, ale i jednoduchý a flexibilní nástrojový systém.

Vstup do technologie ohýbání

TruBend série 3000 je ohraňovací lis splňující požadavky zákazníků s menším vytížením strojní kapacity a jednoduššími díly. Stroj využívá patentovanou čtyřpístovou technologii a je možné ho vybavit 2-, 4- a 5osým dorazovým systémem. O bezpečnost obsluhy se stará laserový systém BendGuard, který v průběhu ohýbání kontroluje prostor v bezprostřední blízkosti ohýbacích nástrojů. Funkce bezpečnostního systému jsou integrovány přímo do řídicího systému DELEM, kde můžeme jednoduše přizpůsobit nastavení geometrii dílu s využitím maximálních přibližovacích rychlostí. Časté výměny nástrojů spojené s malosériovou výrobou také nejsou žádný problém, protože lze stroj vybavit automatickým upínáním nástrojů (na stisk tlačítka).

Jednoduše, rychle a přesně

TruBend série 5000 je vysoce přesný stroj, u něhož je rychlost ohýbání a komfort obsluhy na nejvyšší úrovni. Pro tuto high-end výrobní řadu vyvinul Trumpf svůj vlastní řídicí systém s označením TASC 6000. Tento systém v sobě slučuje vysoce komfortní ovládání ohraňovacího lisu s programovacím systémem, který obsahuje 3D vizualizaci procesu ohýbání. Flexibilitu a přesnost stroje podporuje možnost vybavení až 6osého dorazového systému a využití automatického měření a korekce úhlů ACB. V případě potřeby je stroj jednoduše automatizovatelný, což umožňuje ještě lepší využití strojního času. Manipulátor BendMaster s nosností až 150 kg má v sobě integrovaný inteligentní optický systém pro rozpoznávání dílů, díky němuž dokáže okamžitě reagovat na nepřesnosti při založení polotovárů. Další nespornou výhodou je 100% podpora off-line programovacího systému a v neposlední řadě i automatická komunikace mezi strojem a manipulátorem.

Zpracování malých dílů – ergonomie a rychlost

TruBend série 7000 je jediný ohraňovací lis na světě s certifikátem ergonomie. Tento fakt ukazuje jeho nejsilnější stránky, jimiž jsou maximální pohodlí obsluhy a tím i maximální rychlost zpracování malých dílů. Stroj se dodává v délce až 1 050 mm s tonáží až



Při vývoji nejnovějšího ohraňovacího lisu TruBend série 7000 byl kladen důraz především na obsluhu stroje. Ergonomie a příjemné ovládání stroje jsou základem pro vysokou produktivitu.



Pro speciální požadavky zákazníků nabízí Trumpf TruBend série 8000 s variabilními možnostmi kombinování různých sil i ohýbacích délek.

36 t. Velká možnost individuálních nastavení umožňuje přizpůsobení stroje nejen dílům, ale i obsluhujícímu personálu. Jako pohon byla využita nová generace Torque motorů, která díky svým parametrům podporuje zrychlení a dosahované rychlosti stroje. Dalšími inovacemi použitými při konstrukci série 7000 jsou odlehčená konstrukce dorazového systému (s využitím uhlíkových vláken) a unikátní CNC řízené osvětlení pomoci iLED segmentů.

Speciální požadavky

TruBend série 8000 je správnou volbou v případě, že má zákazník speciální požadavky na konstrukci stroje. Stroje délky 8 000 mm s tonáží 1 000 t nejsou také žádným problémem.

Know-how

Pokud je vysoká přesnost strojů doplněna kvalitními a přesnými nástroji, je výsledek stoprocentní. Více jak 150 druhů skladových nástrojových typů umožňuje zákazníkům firmy Trumpf maximálně rychlou reakci na požadavky trhu. I v případě, že si nevyberou ve skladu, je firma schopna zkonstruovat a vyrobit nástroj dle příslušných požadavků. Jedná se nejen o zkušenosti v oblasti strojů a nástrojů, ale i v oblasti softwarové podpory, která začíná hned po vytvoření 3D modelu. Díky minimalizování zdrojů dat a intuitivnímu ovládání softwaru je uživatel schopen naprogramovat jakoukoli technologii z jednoho pracoviště. V případě potřeby je dostupné i velmi komfortní a přehledné softwarové řízení kompletní výroby.

ROMAN HALTUF

LUDEK FINDA

TRUMPF ZÁKAZNICKÉ A APLIKAČNÍ CENTRUM