

Potenciál koroziivzdorných ocelí pro tvářenání a tvarování



Euro Inox

Euro Inox je evropskou asociací pro rozvoj trhu nerezavějících ocelí.

Členy Euro Inox jsou:

- evropští výrobci nerezavějících ocelí
- národní asociace pro vývoj nerezavějících ocelí
- asociace pro rozvoj odvětví výroby legujících prvků.

Prvořadými cíli organizace Euro Inox je vytvářet povědomí o jedinečných vlastnostech korozivzdorných ocelí a podporovat jejich používání jak u stávajících aplikací, tak i na nových trzích. K dosažení těchto cílů pořádá Euro Inox konference a semináře a vydává směrnice v tištěné i elektronické podobě, které umožňují konstruktérům, tvůrcům specifikací, výrobcům a koncovým uživatelům lépe se seznámit s tímto materiálem. Euro Inox rovněž podporuje technický výzkum a průzkum trhu.

ISBN 978-2-87997-220-6

Anglické vydání	978-2-87997-211-4
Finské vydání	978-2-87997-215-2
Francouzské vydání	978-2-87997-212-1
Italské vydání	978-2-87997-213-8
Německé vydání	978-2-87997-218-3
Nizozemské vydání	978-2-87997-217-6
Polské vydání	978-2-87997-219-0
Švédské vydání	978-2-87997-216-9
Španělské vydání	978-2-87997-214-5
Turecké vydání	978-2-87997-221-3

Řádní členové

Acerinox

www.acerinox.es

ArcelorMittal Stainless Belgium

ArcelorMittal Stainless France

www.arcelormittal.com

Outokumpu

www.outokumpu.com

ThyssenKrupp Acciai Speciali Terni

www.acciaiterni.it

ThyssenKrupp Nirosta

www.nirosta.de

Přidružení členové

Acroni

www.acroni.si

British Stainless Steel Association (BSSA)

www.bssa.org.uk

Cedinox

www.cedinox.es

Centro Inox

www.centroinox.it

Informationsstelle Edelstahl Rostfrei

www.edelstahl-rostfrei.de

Institut de Développement de l'Inox (I.D.-Inox)

www.idinox.com

International Chromium Development Association (ICDA)

www.icdachromium.com

International Molybdenum Association (IMOA)

www.imoa.info

Nickel Institute

www.nickelinstitute.org

Paslanmaz Çelik Derneği (PASDER)

www.turkpasder.com

Polska Unia Dystrybutorów Stali (PUDS)

www.puds.pl

SWISS INOX

www.swissinox.ch

Redakční poznámka

Potenciál korozivzdorných ocelí
pro tváření a tvarování
1. vydání 2008
(Materiály a jejich použití, svazek 8)
© Euro Inox 2008

Vydavatel

Euro Inox
Sídlo organizace:
241 route d'Arlon, 1150 Lucemburk, Lucembursko
Tel.: +352 261 03 050 / Fax: +352 261 03 051
Správní kancelář:
Diamant Building, Bd. A. Reyers 80
1030 Brusel, Belgie
Tel.: +32 2 706 82 67 / Fax: +32 2 706 82 69
E-mail: info@euro-inox.org
Internet: www.euro-inox.org

Autor

Benoît Van Hecke, Hasselt (B)

Překlad

Rudolf Štefec, Kladno (CZ)

Autorská práva

Na toto dílo se vztahují autorská práva. Euro Inox si vyhrazuje všechna práva na překlady do kteréhokoliv jazyka, přetisky, opětné použití vyobrazení, zopakovávání uváděných skutečností a vysílání. Žádná část této publikace nesmí být rozmnožována, uložena ve vyhledávacím systému nebo předávána a šířena jakoukoli formou a jakýmikoli prostředky, ať elektronicky, mechanicky, pořízováním fotokopíí, nahráváním či jinak, bez předchozího písemného svolení majitele autorských práv, kterým je Euro-Inox, Lucemburk. Jejich porušení může být předmětem soudního řízení a zakládat zodpovědnost za finanční škody vzniklé každým jednotlivým porušením a povinnost úhrady nákladů a soudních poplatků, a může být stíháno podle lucemburského zákona o autorském právu a podle předpisů Evropské unie.

Obsah

1. Úvod	3
2. Mechanické vlastnosti	4
3. Možnosti tváření a tvarování	5
4. Jakost povrchu	5
5. Spojovací prvky automobilových rámců tvářené kapalinou	6
6. Hygienická konstrukce s bežešvými povrchy	8
7. Účinnost čerpání u čerpadlových těles vyrobených tvářením kapalinou	10
8. Tváření kovotlačením zajistí exkluzivní design	12
9. Odstředivě tvářená ozdobná disková kola	14
10. Tvarové díly vysoké pevnosti vyrobené válcováním za studena	16
11. Výměňkové desky tvářené výbuchem	18
12. Ozdobné pojistné matice kol vyrobené hlubokým tažením	20
13. Vlnité plechy pro zvýšení nosnosti nákladního prostoru	22
14. Literatura	24

Poděkování

Fotografie na obálce:

- HDE Solutions, Menden (D)
- ThyssenKrupp Nirosta, Krefeld (D)
- Alessi, Crusinallo (I)

Odmítnutí právní odpovědnosti

Euro Inox se maximálně vynasnažila o zajištění technické správnosti informací uváděných v této publikaci. Čtenáře však upozorňuje, že zde obsažený materiál slouží pouze jako všeobecná informace.

Organizace Euro Inox, jakož i její členové, pracovníci a konzultanti výslovně odmítají jakékoliv závazky a jakoukoliv odpovědnost za případné ztráty, škody nebo újmy vzniklé použitím informací obsažených v této publikaci.

O korozivzdorných ocelích

Korozivzdorné oceli jsou slitiny železa s nejméně 10,5 hm.% chromu a nejvýše 1,2% uhlíku, což jsou množství, která zaručují, že se na nich bude vytvářet vrstva oxidů známá jako pasivní vrstva, která se dokáže sama obnovovat a těmto slitinám zajišťuje korozní odolnost. Tak to uvádí definice korozivzdorných ocelí v normě EN 10088-1.

Složení přísadových prvků velmi ovlivňuje metalurgickou strukturu korozivzdorných ocelí a určuje, do které ze čtyř hlavních skupin daná korozivzdorná ocel patří. Každá z těchto skupin má své typické mechanické, fyzikální a chemické vlastnosti:

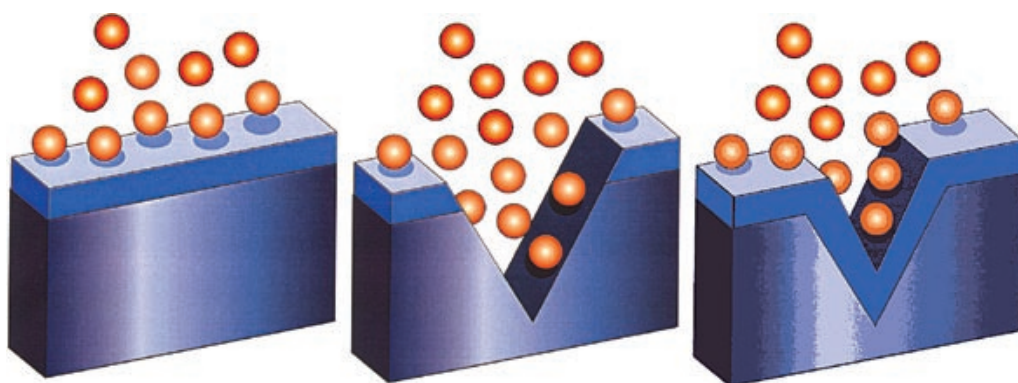
- Austenitické korozivzdorné oceli: Fe-Cr-Ni, C < 0,1 % (nemagnetické)
- Feritické korozivzdorné oceli: Fe-Cr (> 10,5 %), C < 0,1% (magnetické)
- Duplexní korozivzdorné oceli: Fe-Cr-Ni, podvojná austeniticko-feritická struktura (magnetické)
- Martenzitické korozivzdorné oceli: Fe-Cr, C > 0,1% (magnetické a kalitelné).

Do těchto skupin rovněž patří značky obsahující i jiné prvky jako molybden, titan, niob a dusík. Zhruba dvě třetiny celosvětové spotřeby korozivzdorných ocelí připadá na austenitické oceli.

Austenitické oceli značek EN 1.4301/1.4307 (AISI 304/304L) a EN 1.4401/1.4404 (AISI 316/316L), feritická ocel značky EN 1.4016 (AISI 430) a jejich varianty patří k neznámějším korozivzdorným ocelím a jsou běžně k dostání.

Hlavní vlastnosti korozivzdorných ocelí je možno shrnout takto:

- korozně odolné
- esteticky přitažlivé
- odolávají vysokým teplotám
- mají nízké náklady počítané na celou dobu životnosti
- plně recyklovatelné
- biologicky neutrální
- snadno zpracovatelné
- mají vysokou pevnost při dané hmotnosti.



Po obrábění nebo náhodném poškození se ochranná vrstva na povrchu korozivzdorné oceli v přítomnosti vzdušného kyslíku nebo vody okamžitě obnoví.

Podrobné informace o chemických, mechanických a fyzikálních vlastnostech korozivzdorných ocelí jsou k dispozici na internetové adrese www.euroinox.org/technical_tables (interaktivní databáze) nebo v tištěné brožuře *Tables of Technical Properties* (Publikační řada Materiály a jejich použití, sv. 5), 2. vyd., Lucemburk, Euro Inox, 2007

1 Úvod

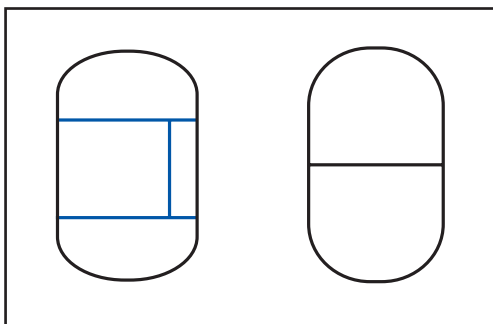
Korozivzdorné oceli mají díky zajímavé škále svých mechanických vlastností značný potenciál jako materiál na tvářené výrobky. Jejich vysoký poměr pevnost/hmotnost, značné prodloužení a schopnost deformačního zpevnování jim často umožňují úspěšně řešit problémy složitých trojrozměrných bezešvých konstrukcí.

Jelikož se nasazením korozivzdorných ocelí u těchto konstrukcí nikterak nenařuše jejich známá korozní odolnost a žáruvzdornost ani jejich dekorativní účín, jsou často tím správným materiálem na průmyslové i spotřební výrobky.

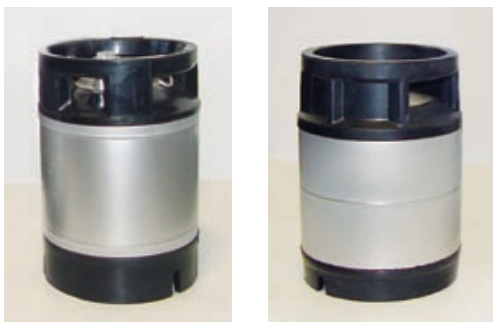
Výrobní náklady sestávají

- z nákladů na materiál
- z nákladů na jeho zpracování do podoby výrobku.

Přestože korozivzdorné oceli nejsou vždy nejlevnější, může zjednodušení výrobního procesu díky jejich použití zvýšené náklady na materiál velkou měrou vynahradiť – např. snížením počtu operací hlubokého tažení nebo tepelného zpracování.



Sudy na pivo a nápoje (typicky 20-70 l) je možno vyrobit různými způsoby díky přizpůsobivým mechanickým vlastnostem korozivzdorných ocelí. Jednou možností je výroba ze tří dílů (na obrázku vlevo). Dvou hloubených čel a pláště z korozivzdorného plechu tvářeného za studena. Tvářením za studena se zlepší mechanické vlastnosti za studena válcované korozivzdorné oceli. Použitím takového plechu na plášť sudu se zvýší jeho pevnost nebo je možno ho při zachování pevnosti vyrobit s tenčí stěnou. Této konstrukci je možno dávat přednost, požadujeme-li hlavně co nejnižší hmotnost.



Druhou možností je využít vysoké tvařitelnosti korozivzdorné oceli a vyrábět tyto sudy ze dvou půlek tažených z hlubokotažného plechu (na obrázku vpravo). Tato konstrukce je výhodnější, chceme-li hlavně omezit svařování. Korozivzdorné oceli jsou nejen tvařitelné, ale často též jsou tím nevhodnějším materiálem pro styk s potravinami, protože snadno splňují evropské předpisy o bezpečnosti potravin.

Porovnání třídílné a dvoudílné konstrukce.
Fotografie: AEB, Vimercate (I)

2 Mechanické vlastnosti

Pro správné posouzení tvažitelnosti jakéhokoliv materiálu je třeba rozumět jeho mechanickým vlastnostem. Nejběžněji používaná kritéria hodnocení mechanického chování jsou:

Pevnost: schopnost materiálu odolávat deformaci. Pro konstrukční účely je možno deformaci definovat dvojím způsobem:

- buď tím, nakolik materiál “povolí”, tedy jeho trvalou plastickou deformací (hodnota “meze kluzu” R_p),
- nebo tím, kdy “praskne” nebo se rozlomí (hodnota “meze pevnosti v tahu” R_m)

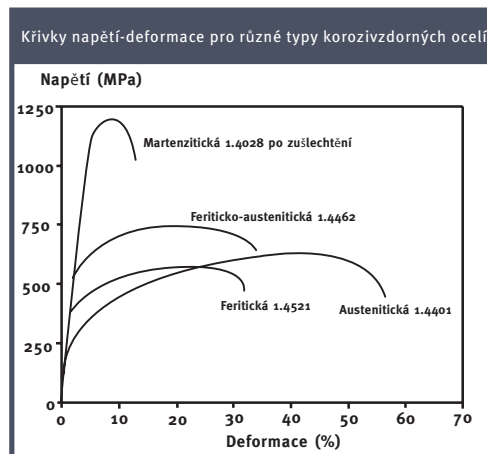
Tvrdoost: schopnost materiálu odolávat vlačování trvale zatíženého hrotu.

Houževnatost: schopnost materiálu vstřebávat deformační energii, než se rozlomí.

Tažnost: schopnost plasticky se deformovat a neprasknout.

Pojmy “pevný” a “nepevný”, “tvrdý” a “měkký”, “houževnatý” a “křehký” popisují různé stránky mechanických vlastností materiálu a neměly by být navzájem zaměňovány. Některé tyto vlastnosti je možno měřit tahovou zkouškou. Typický diagram záznamu tahových zkoušek různých korozivzdorných ocelí znázorňuje napětí (které má vztah k “pevnosti”) v závislosti na vložené deformaci.

Koncový bod každé ze zobrazených křivek odpovídá míře prodloužení do přetržení a je měřítkem tažnosti materiálu. Plocha pod každou křivkou vyznačuje, kolik energie materiál pohltí než praskne — a je tudíž měřítkem jeho houževnatosti.



Martenzitické oceli mají vysokou pevnost a dosti malou tažnost (nebo tvažitelnost), kdežto austenitické oceli mají nižší pevnost a vysokou tažnost. Postavení mezi nimi zauímají feriticko-austenitické (neboli duplexní) oceli. Mez kluzu je u feritických ocelí obecně vyšší než u austenitických, kdežto u duplexních je mez kluzu značně vyšší než u feritických i austenitických ocelí. Tažností se feritické a duplexní oceli příliš neliší².

S výjimkou martenzitických korozivzdorných ocelí platí typické závislosti uvedené v grafu pro stav po žhánání, ve kterém se korozivzdorné oceli obvykle dodávají. Pro úplnost a pro úplné pochopení potenciálu korozivzdorných ocelí pro tváření je třeba ještě poznamenat, že mechanické vlastnosti materiálu závisejí na těchto činitelích:

- chemické složení
- tepelné zpracování (u martenzitických korozivzdorných ocelí)
- tváření za studena (u austenitických a duplexních korozivzdorných ocelí).

Poslední ze zmíněných činitelů je uveden proto, že tvářením za studena je možno u korozivzdorných ocelí dosáhnout vysokých hodnot pevnosti. Právě touto svojí

² Více informací zejména o zkouškách tvrdosti a houževnatosti (též známé pod pojmem “rázová houževnatost” resp. “odolnost proti nárazům”) lze pro korozivzdorné oceli nalézt v práci CUNAT, Pierre-Jean, *Working with Stainless Steel* (Publikační řada Materiály a jejich použití, sv. 2), Paříž, Sirpe, 1998.

schopností “deformačního zpevnování” se tyto oceli odlišují od většiny ostatních kovových materiálů.

Austenitické a duplexní korozivzdorné oceli ve stavu po tváření za studena tudíž

obecně představují kombinace pevnosti a tvařitelnosti, které jsou zajímavé z hlediska snižování hmotnosti.

3 Možnosti tváření a tvarování

Potenciál korozivzdorných ocelí pro tváření a tvarování zde hodláme ožřejmit na devíti případech konstrukce spotřebních i průmyslových výrobků z těchto materiálů. Pro každý z těchto případů stručně popíšeme:

- zásady provedené tvářecí operace

- materiálové požadavky dané konstrukcí příslušného výrobku
- vlastnosti, díky nimž je vhodné použít korozivzdornou ocel
- vlastní zpracování materiálu – korozivzdorné oceli na dotyčný výrobek³.

4 Jakost povrchu

Informace o možných jakostech povrchu (a terminologii příslušných povrchových úprav) uvádí pro korozivzdorné oceli evropská norma EN 10088-2⁴. Nejběžněji se vyskytující jakosti povrchu a jim příslušející typické tloušťky vhodné pro tvářecí aplikace jsou:

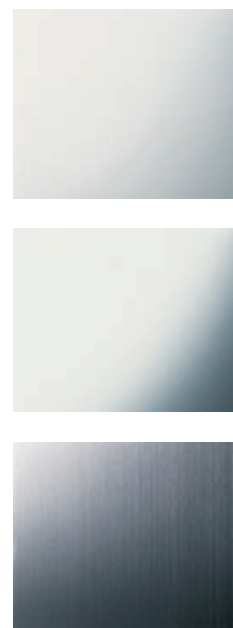
- po válcování za studena, slabě odrazivý 2B (0,40 – 8,00 mm)
- po válcování za studena, silně odrazivý (po lesklém žíhání) 2R (< 3,00 mm)
- po válcování za studena, leštěný (2G) nebo kartáčovaný (2J).

Též se používá povrchu po válcování za tepla (1D; > 2,00 mm) a za studena (2H; < 6,00 mm).

Vysoká deformace v typických případech poškozuje dekorativní povrch. Avšak korozivzdorné oceli je často možno tvářet a tvarovat i na poměrně složité tvary, aniž by bylo třeba po tváření jejich povrch (mechanicky) upravovat.

Například některé levné dřezy z korozivzdorné oceli se vyrábějí přímo z plechu ve stavu po lesklém žíhání (2R) bez následného leštění. Díky tomu, že kvalita povrchu dokáže tuto tvářecí operaci bez újmy přečkat, je tato kombinace materiálu a tvářecí technologie nákladově efektivní.

Jakosti povrchu obvykle vhodné pro tváření: 2B, 2R a 2G/2J.



³ Záměrem této publikace je ukázat, které procesy optimálně využívají tvařitelnost korozivzdorných ocelí. Informace o firmách, které tyto operace provádějí, poskytne Euro Inox nebo její členské organizace.

⁴ Viz Příloha B publikace *Guide to Stainless Steel Finishes* (Publikační řada Stavebnictví, sv. 1), Lucemburk, Euro Inox, 2000.

5 Spojovací prvky automobilových rámců tvářené kapalinou

Tváření kapalinou (hydroforming) je metoda, která dovoluje vytvářet složité tvary z trubek. Spočívá v těchto krocích:

- trubka z korozivzdorné oceli se zasune do zápustky
- na obou koncích se utěsní
- naplní se kapalinou (obvykle vodou nebo olejem)
- na materiál trubky se působí tlakem kapaliny (zvenitř na stěnu trubky) a současně stlačováním konců trubky (v osovém směru).

Tento proces je možno použít pro získání téměř jakýchkoliv složitých tvarů. Oproti běžným technologiím má tyto výhody:

- povrch součásti není narušen (neodře a neotlačí se žádným razníkem ani se nezanese mazivem)
- dosáhne se přesnějších tvarových tolerancí.

trubek z korozivzdorné oceli. Tradičně se postupovalo tak, že se používalo spoju provedených ohýbáním, rozřezáním a svařením (obrázek nahoře vpravo).

Montáž za použití spojovacích uzlů tvářených kapalinou má tyto výhody:

- není již třeba používat tradiční svařence ze složitě rozřezávaných trubek
- dojde k oddělení svarového spoje a řezné operace (k metalurgickému ovlivnění a mechanickému ovlivnění již dojde v různých oblastech).

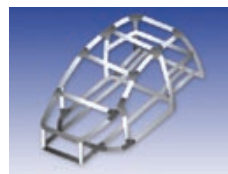
Má to tyto přínosy:

- standardizaci výroby
- možnost použít stavebnicového řešení
- zvýšenou tuhost a pevnost a tudíž úsporu hmotnosti
- nižší náklady.

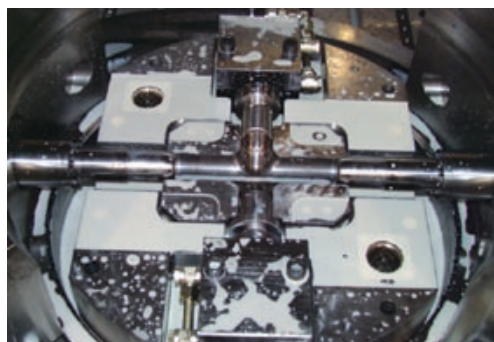
Výroba spojovacích uzlů automobilových rámců

Jako jedno z řešení konstrukce automobilových karoserií se uvažují kovové “prostorové rámy” (obrázek vlevo nahoře). Ve výrobě autobusů se ve skutečnosti toho principu využívá již léta – mají rámy ze svařovaných

Model: P-J Cunat, Joinville-le-Pont (F)



Fotografie: HDE Solutions, Menden (D)



Nástroj pro hydroforming a fotografie: ArcelorMittal Centre Auto-Applications, Montataire (F)



Nové díly na prostorové rámy s hydroformingovými spojovacími prvky

Fotografie: ArcelorMittal Stainless Europe, La Plaine Saint-Denis (F)

Deformační chování korozivzdorných ocelí při tváření kapalinou

Při tváření kapalinou (hydroformingu) se některé oblasti silně deformují, což vyvolává tzv. “deformační zpevnění” kovu. Tato výhoda navíc, kterou poskytují korozivzdorné oceli, vede ke zlepšení mechanických vlastností součástí a jejich chování při statickém a únavovém namáhání.

Deformované oblasti, kde je pnutí nejvyšší, se nacházejí mimo oblasti svarů. Je tomu přesně naopak než u klasických sestav, kde právě oblasti svarů jsou nejkritičtější.



Hydroformingový spojovací prvek
Fotografie: HDE Solutions, Menden (D)

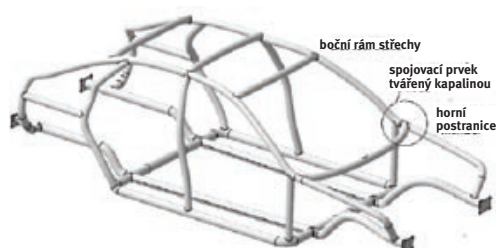
Výhody hydroformingových spojovacích prvků z korozivzdorných ocelí

Z propojení hydroformingu a korozivzdorné oceli plynou tyto výhody:

- lepší souosost seřazení dílů
- dokonale pravé úhly (není zde riziko pokřivení teplem při svařování)
- možnost nasazení svařovacích automatů (místo svařování uvnitř uzlu se jen díly k uzlu přivažují)

- lepší dodržování tloušťek a geometrie
- lepší rozložení pnutí.

Výsledek: menší počet dílů, méně zápustek a méně materiálu; to vše snižuje náklady.



Model a a fotografie: ArcelorMittal Stainless Europe, La Plaine Saint-Denis (F)

6 Hygienická konstrukce s bezešvými povrchy

Kuchyňské nádobí určené pro styk s potravinami musí splňovat tyto konstrukční požadavky:

- hygienické povrchy, které se snadno čistí
- účinný rozvod tepla (při vaření), avšak držadla, která se nespálí
- odolnost proti nárazům a opotřebení.

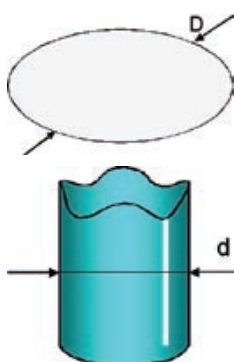
K technickým hlediskům je třeba připojit ještě požadavky na povrchovou úpravu a tvarové řešení odpovídající životnímu stylu. Níže popsany proces výroby moderního hrnce na vaření ukazuje, proč se zde dává přednost korozivzdorné oceli, která vydrží desítky let.

Přetvoření plochého kovového kotouče na duté těleso



Někoho možná překvapí, že výroba této elegantní nádoby začíná u plochého plechového kotouče tloušťky 1 mm a průměru kolem 400 mm. Ocel značky EN 1.4301 s povrchem jakosti 2B po válcování za studena (tak, jak byla dodána z válcoven) dokáže při lisování pohltnout vysoké deformace. Průměr kotouče se během tváření zmenší o polovinu – zhruba právě až na mez tvažitelnosti daného materiálu⁵.

Korozivzdorná ocel snese i větší hloubení, pokud se obnoví její zásoba plasticity a tudíž tvažitelnost. To se provádí mezioperačním tepelným zpracováním (žiháním) na teploty nad 1000° C. Při těchto teplotách dochází u korozivzdorné oceli k oxidaci povrchu. Takto zčernalý povrch by zanášel pracovní nástroje používané v návaznosti na lisovací operace a znesnadňoval by leštění, a proto se povrchová vrstva odstraní chemickým ošetřením, které rovněž obnoví pasivací povrchu. Takto ošetřený válcový polotovar je nyní možno dále hloubit operacemi hlubokého tažení.



Mezní stupeň tažení
(LDR) = D/d .

Typické hodnoty LDR se pro korozivzdorné oceli pohybují od 1,8 do 2.



⁵ Mezní stupeň tažení (LDR, zkratka angl. Limiting Drawing Ratio) je poměr maximálního průměru polotovaru (D) přetvařitelného do podoby válce v jediném kroku hlubokého tažení a průměru (d) tohoto válce

Od tvarovky ke konstrukční součásti

Aby byl kastrol nebo pekáč použitelný pro indukční ohřev, použije se na jeho dno kotouč z feritické (Cr) korozivzdorné oceli. Ta je magnetická – na rozdíl od austenitické (Cr-Ni) korozivzdorné oceli, z níž je vyrobeno tělo nádoby.

Aby se dosáhlo optimálního rozvodu tepla, vloží se mezi ně hliníkový kotouč. Tyto tři díly se pevně spojí prolisem a spájením na tvrdo.

I když výchozí kotouč svým matovým



vzhledem vůbec nepřipomíná lesklý povrch moderního varného nádobí, má povrch s dostatečně nízkou drsností, aby bylo možno po dohotovení provést účinnou povrchovou úpravu.

Po provedení hlavních výrobních kroků je možno celou nádobu vybrousit a vyleštit. K tomu je k dispozici celá řada různých brusných materiálů, destiček Scotch-Brite™ a leštících past (pro doleštění).



Tváření resp. tvarování korozivzdorných ocelí se neomezuje na válcové tvary. Z válce (na obrázku napravo) může být vyroben tvarově složitější díl (vlevo) pomocí dvoudílné kovové zápustky požadovaného konečného tvaru a razníku (na obrázku uprostřed) vytvořeného z řady kotoučů z tvrdých polymerů různých vlastností.

Přizpůsobivý materiál na hygienicky nezávadné výrobky

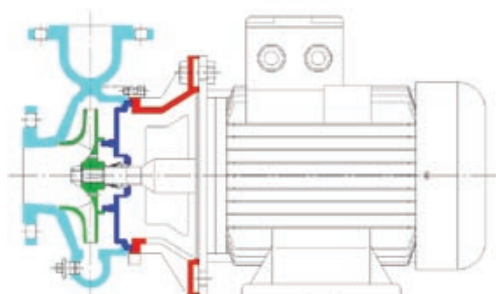
Korozivzdorné oceli díky svým vlastnostem při svařování, tváření a dokončovacích operacích snadno splňují požadavek na bezpečné (hygienicky nezávadné) konstrukční řešení varného nádobí, na němž potraviny neulpívají a které se nezprohýbá, je vhodné pro indukční ohřev apod. Takové tvary je možno použít nejen u kuchyňského nádobí a náčiní, ale i u jiných aplikací, kde se vyžaduje hygienické nezávadnost.



Ucha z kulatiny nebo ploché tyčoviny jsou přivařena k tělesu nádoby. Minimalizace plochy stykového rozhraní a použití austenitické korozivzdorné oceli (která má nižší tepelnou vodivost než jiné oceli) umožňuje optimální a bezpečné používání, kdy ucha nepálí.

7 Účinnost čerpání u čerpadlových těles vyrobených tvářením kapalinou

Hlavní součásti typického odstředivého čerpadla



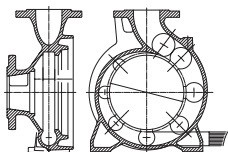
Odstředivé čerpadlo (pomocí motoru) zvyšuje energii kapaliny protékající tělesem čerpadla, čímž kapalinu přemísťuje a stlačuje. Hlavní části čerpadla jsou:

- elektromotor s hřídelem
- stacionární těleso čerpadla (znázorněně světle modrou)
- oběžné kolo (zeleně)
- těsnění (tmavomodře) a opěra či patka (červeně).

Oběžné kolo převádí energii motoru na energii kapaliny (danou součtem energie tlakové, kinetické a potenciální).

Těleso čerpadla hydraulicky působí tak, že kapalinu přivádí na oběžné kolo, odděluje nízkotlakou oblast od vysokotlaké a odvádí kapalinu od oběžného kola na výstup, přičemž její tlak snižováním průtokové rychlosti dále narůstá. Z hlediska mechaniky musí těleso odolávat pracovnímu tlaku, fungovat jako nosná konstrukce celého čerpadla (podle typu) a absorbovat pnutí vyvozovaná napojeným potrubím.

Konstrukce spirálové skříňě



Úloha spirálové skříňě

Pro další zvýšení tlaku kapaliny na výstupu od lopatek oběžného kola je součástí tělesa spirálová skříň, jejíž průřez se postupně zvětšuje úměrně rozvíjení spirály. Tím rychlost protékající kapaliny klesá (což je nezbytné pro zvýšení jejího tlaku)

při nejmenších možných ztrátách třením. Vyrobit kovovou spirálovou skříň tak, aby splňovala tyto složité konstrukční požadavky, je úkol složitý a náročný.

Od odlitku k tělesu operacemi hlubokého tažení

Tradičně se tělesa čerpadel vyrábějí jako litinové, ocelové nebo bronzové odlitky. V poslední době se na trhu objevila čerpadlová tělesa vyrobená hlubokým tažením z korozivzdorné oceli. Ta spojují výhodný poměr pevnost/hmotnost s výtečnými tvářecími vlastnostmi korozivzdorných ocelí. Výsledkem je výrobek lehký a přitom mechanicky odolný.



Těleso odlité z litiny



Těleso vyrobené mj. hlubokým tažením z korozivzdorné oceli

Výhody korozivzdorné oceli

Tělesa čerpadel vyrobená z korozivzdorné oceli mají tyto výhody:

- nedochází ke znečištění (např. pitné vody) materiálem tělesa



Odstředivé čerpadlo s tělesem z korozivzdorné oceli

- těleso odolává korozi v mnoha středně agresivních prostředích

- díky zlepšeným mechanickým vlastnostem se sníží hmotnost (čerpadla jsou kompaktní a snadno se s nimi manipuluje)
- povrch je atraktivní a jeho údržba je snadná
- čerpadla mají díky hladkému povrchu vyšší účinnost.

Výhody tváření kapalinou – hydroformingu



*Těleso čerpadla z korozi-
vzdorné oceli vyrobené
z polotovaru získaného
hlubokým tažením. Vtok se
nachází vpředu a kapalina
z tělesa vytéká horním
otvorem, který byl vytvořen
hydroformingem.*

Tělesa čerpadel mohou mít konstrukci docela jednoduchou (s kruhovým průřezem), ale i velmi složitou (se spirálovou skříňí). Tyto složité konstrukce, obvykle vyráběné svařováním dvou půltěles, mají zlepšenou účinnost čerpání. Ovšem tváření kapalinou dovoluje spirálovou skříň přímo zabudovat do jednodílné konstrukce tělesa z korozi-
vzdorné oceli – takže se nic nesvařuje a omezí se riziko koroze.

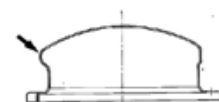
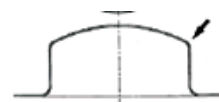


*Spirálová skříň je vcelku s tělesem čerpadla vyrob-
ného hydroformingem. Má přesný a pečlivě začištěný
výtokový otvor, což zvyšuje provozní účinnost.*

Výroba čerpadlového tělesa z korozi- vzdorné oceli tvářením kapalinou

Výchozím materiálem je kruhový polotovar z korozi-
vzdorné oceli (tloušťky 1,5 až 3 mm podle typu). Těleso se vyrobí těmito opera-
cemi:

- hluboké tažení, aby těleso mělo patřičný objem
- tváření spirálové skříňě kapalinou při tlaku vodního sloupce >1000 bar
- vyvrtání a vyfrézování otvorů
- přivaření zevního příslušenství a opěr (patek).



*Postup výroby tělesa:
hluboké tažení, tváření
kapalinou, vrtání a úpra-
vy povrchu, napojení
příslušenství.*

8 Tváření kovotlačením zajistí exkluzivní design

Kovotlačení je postup, při kterém nedochází ke ztrátám kovu. Tento postup vyžaduje:

- kovový polotovary kruhového tvaru nebo předlisek vyrobený hlubokým tažením
- nástroj s valivým zakončením
- rotačně symetrickou zápustku (rotační model nádoby).

Zápustka i polotovar v kovotlačitelském stroji současně rotují a přitom dochází k postupnému protváření polotovaru jeho navalováním na zápustku. Jelikož se pracuje při vysokých tlacích, je důležité mazání, aby se tvářený materiál k zápustce nepřilepil, čímž by došlo k poškození povrchu.

Tato kovotlačitelská metoda obecně vyžaduje nižší investiční náklady, méně nástrojů, seřizování a přestavování a má menší spotřebu energie než zpracování ve výtažném lisu. Produktivita je však nízká, takže se hodí spíše na prototypy a pro malosériovou výrobu. Celý proces probíhá, aniž by docházelo k jakémukoliv ztenčování kovu.

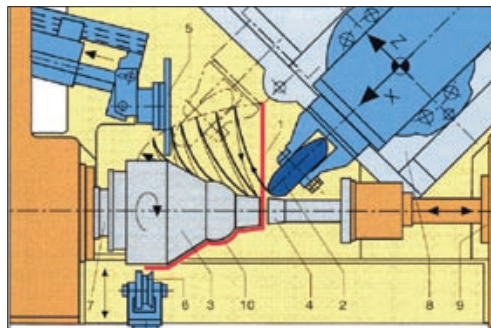
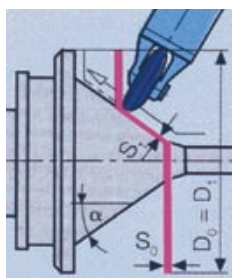


Diagram: Leifeld Metal Spinning, Ahlen (D)

Alternativně je možno vyrábět kuželové tvary v jediné operaci, pokud je úhel rozevření alespoň cca 12° (i méně, použije-li se většího počtu kroků). Průměr kužele na jeho otevřeném konci odpovídá výchozímu průměru kotouče, takže zde dochází k určitému ztenčení stěny (podle úhlu). Tato metoda se nazývá kovotlačení, tvářením smykem nebo rozháněním (kroužlením).

Diagram: Leifeld Metal Spinning, Ahlen (D)



Jako alternativa klasických tvářecích postupů jako hlubokého tažení nebo dloužení je rotační tlačení ideální pro kuželové nebo válcové tvary. S takovými tvary se běžně setkáváme u produktů denní potřeby pro domácnost, ale i v průmyslu.

Je možno dosáhnout i vysokých poměrů výšky k průměru a přitom výrobu zahájit jen s plochým kotoučem z ocelového plechu.

Fotografie: ThyssenKrupp Nirosta, Krefeld (D)



Tváření za rotace v kovotlačitelském soustruhu

Nástroj působí silou, která v polotovaru z korozi-vzdorné oceli vyvolává tlaková napětí, jež vedou k rychlému deformačnímu zpevnění a tudíž ke snížení tvařitelnosti. Kovotlačení (kroužení) se proto používá jen u malých tloušťek. Tento postup se ideálně hodí pro oceli těch značek, které mají nízkou mez kluzu a deformačně zpevnějí jen pomalu, jako jsou feritické oceli (např. značka EN 1.4016) a některé pomalu zpevněující austenitické oceli (označované jako oceli se “stabilním” austenitem), jako značka EN 1.4301 nebo ještě spíše EN 1.4303.

Strojním kovotlačáním je možno z korozi-vzdorných ocelí vyrábět tvary vyznačující se vysokou rotační symetrií. Proto je v závěru výroby obvykle možno takové výrobky též levně a účinně leštit.

Barová sedačka s nohou specifického designu z korozi-vzdorné oceli

Barová sedačka je rotačně symetrický výrobek. Jelikož noha takové sedačky musí být dostatečně pevná, aby zajistila stabilitu, je lépe ji vyrobit z obyčejné nebo korozi-vzdorné oceli než z hliníku, jehož specifická hmotnost je oproti ocelím pouze třetinová. Jelikož taková noha je součástí, která vyžaduje pravidelné čištění, nevydrží obvykle lakované ocelové nohy příliš dlouho; pravidelným používáním čistících prostředků se lak sedře a máme pak kus nábytku sice specifického designu, ale nevzhledný.

Jako výborné řešení se zde ukázalo vyrobit nohy těchto sedaček rotačním tlačáním z korozi-vzdorné oceli. Jak ukazuje noha sedačky na obrázku, je možno závěrečné hrubé i jemné leštění rotačně tvářených a tudíž rotačně symetrických výrobků snadno automatizovat.

Závěrečná povrchová úprava korozi-vzdorné oceli po válcování za studena nevyžaduje žádnou nákladnou přípravu.



Barová sedačka je velkou měrou rotačně symetrická. Noha sedačky z korozi-vzdorné oceli dobře odolává agresivním čistícím prostředkům.

Fotografie: Thate, Preetz (D)



Fotografie: Thate, Preetz (D)

9 Odstředivě tvářená ozdobná disková kola

Majitelé aut se zálibou pro exkluzivní výrobky se stále více snaží svá auta přizpůsobit svému osobnímu vkusu. Jedním z projevů tohoto trendu je osobitý design diskových kol. Pro malosériovou výrobu je vhodnou metodou tváření za rotace v kovotlačitelském stroji. Disková kola takto vyrobená z korozivzdorné oceli mají tyto výhody:

- mají vysoké hodnoty poměru pevnosti k hmotnosti (takže mohou být lehká)
- jejich pevnost je zvýšena tvářením za studena
- hladký povrch získaný tvářením za studena usnadňuje leštění



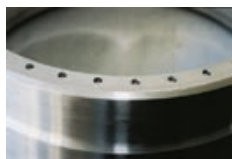
- jsou korozně odolnější než tradiční kovy
- nejsou lakovaná (takže lak nemůže odprýskávat).

Výroba typického kola s osobitým designem



Ozdobná automobilová kola mohou být podle typu vyrobena jako dvoudílná nebo třídílná. Třídílný typ tvoří

- hlava s hvězdicí paprsků (většinou se jedná o hliníkový odlitek)
- vnitřní ráfek (opět většinou hliníkový odlitek)
- vnější ráfek (může být z korozivzdorné oceli).



Hlava s paprsky je sešroubována s vnitřním ráfkem tak, že vnější ráfek je uvnitř tohoto spojení provedené šrouby z korozivzdorné slitiny, aby nedošlo ke korozi působením galvanického článku.



Třídílná kola s osobitým designem sestávají z hlavy s paprsky (nahore), vnitřního ráfku (uprostřed) a vnějšího ráfku (dole). Vnější ráfek z korozivzdorné oceli je pevný, lehký a hladký.



Montáž kola sešroubováním hlavy s paprsky, vnějšího ráfku z korozivzdorné oceli a vnitřního ráfku.

Vnější prstenec se vyrábí kovotlačením a leštěním na automatu. Povrchová úprava leštěním je atraktivní a zvýší korozní odolnost tohoto dílu vystaveného za provozu proměnlivému počasí a možná též posypům solí.

Výrobce se použitím korozivzdorné oceli vyhne ekologicky nešetrným povrchovým úpravám vnějšího ráfku.

Kovotlačení vnějšího ráfku z korozivzdorné oceli

Vnější ráfek se vyrobí tvářením kruhového polotovaru z korozivzdorné oceli. Kruhové polotovary je možno přímo koupit nebo vyřezat z hranatých.

Pro snazší zpracování se montážní otvory vyvrtají ještě před tvářením. Polotovar se upne do stroje proti osově symetrické zápustce. Tlakem tvářecího válečku se materiál tvarově postupně přizpůsobí zápustce. Postupně se do kovotlačitelského stroje přidávají další kroužky zápustky a tím se tvářený díl dále blíží tvaru hotového výrobku. Je třeba použít vhodné mazivo.

Tvářením za studena se korozivzdorná ocel zpevňuje (jev známý jako deformační zpevnění). Přílišné zpevňování by tvářením znesnadňovalo, ale správná míra deformačního zpevnění přispívá více než vlastnosti jakékoliv jiné tradiční slitiny k celkové pevnosti vnějšího ráfku, který při jízdě musí odolávat nárazům kola o nerovnou vozovku.



Rotační tváření vnějšího ráfku. Zpevnění korozivzdorné oceli tvářením zvyšuje její schopnost pohlcovat nárazy.

Vynikající pevnost kol z korozivzdorné oceli

Austenitické korozivzdorné oceli mají zajímavé mechanické vlastnosti. Jednak již samy o sobě mají vysokou pevnost v tahu (R_m), ale tvářením za studena, včetně rotačního tvářením – plus dalším tvarováním hřbetu vnějšího ráfku – se jejich mechanická

odolnost ještě zvýší. Takové ráfky z korozivzdorné oceli pak nepoškodí odskakující štěrky a jsou též mimořádně vhodné na kola osobitého designu, která se mohou čas od času střídat s dlážděním.



10 Tvarové díly vysoké pevnosti vyrobené válcováním za studena



Válcování tvarových dílů je běžný postup výroby dlouhých a často složitě tvarovaných kovových výrobků z pásů. Pokud se tento výrobní postup řádně zohlední již v projektové resp. konstrukční fázi, je možno ve výrobě docílit značných úspor např. tím, že se vyhneme použití svařenců sestávajících z profilů tvaru C nebo U. Válcované tvarové díly jsou vhodné tam, kde mají splňovat více funkcí současně: u výtahů a lanovek, v chladiřnictví, u upevňovacích prvků ...

Tradičně se válcované profily a díly uplatňují ve stavebnictví (na okenní a dveřní rámy), v dopravě (nákladní auta, autobusy a železniční vagony), ve strojírenství a ve výrobě kancelářského nábytku. Vynořují se však i jiná odvětví (např. automobilový průmysl) díky pozoruhodné schopnosti válcovaných tvarových dílů zvyšovat přidanou hodnotu propojováním řady funkcí v tomtéž konstrukčním prvku.

Válcování tvarových dílů z pásů korozivzdorných ocelí

Válcovna profilů a tvarovek se svým postupem práce velmi podobá válcovně trub.



V řadě za sebou jdoucích tvářecích operací (vždy ve válcovací stolici s tvrdými, různě tvarovanými válci) se kovový pás (obvykle šířky < 1000 mm) přetváří na profil, který je možno ponechat otevřený nebo ho uzavřít podélným svarem. Korozivzdorné oceli lze takto tvářet v rozsahu tloušťek od 0,40 do 8 mm a postupně tak využívat jejich mimořádnou schopnost plastické deformace. Postupným tvářením korozivzdorné oceli se zvyšují její mechanické hodnoty, což dovoluje vyrábět mimořádně pevné díly složitých tvarů.

Čím větší je počet tvářecích operací, tím menší plastická deformace připadá na každou z nich a tím menší pnutí v materiálu vzniká. To může mít svůj význam tam, kde je třeba splnit rozměrové tolerance pro montáž sestav.

Přidaná hodnota nejrůznějších finálních výrobků

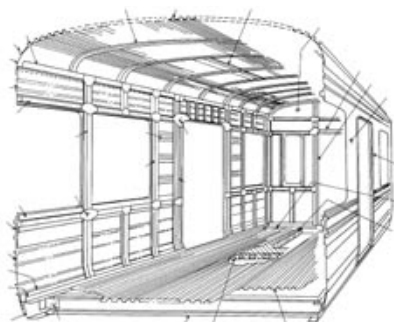
Přidanou hodnotu válcovaných profilů a tvarovek je možno zvýšit dalšími operacemi, např.

- vyvrtáváním sestav otvorů
- navařováním podpěr
- ohýbáním nebo protahováním (dvuosým vypínáním) při výrobě trojrozměrných dílů.



Tvarové díly z korozivzdorných ocelí pro osobní vagony

Osobní železniční vagony běžně sestávají z podvozku a skříně. Jako materiálů na skříně vagonů se používá uhlíkové oceli opatřené nátěrem, hliníku nebo korozivzdorné oceli. Tvarové díly z korozivzdorné oceli se mohou válcovat z pásů tloušťek od 0,40 do 6 mm i větších.



Vyobrazení: Nickel Institute, Toronto (CDN)

Korozivzdorná ocel potenciálně snižuje hmotnost osobních vagonů

Je možno použít oceli značky 1.4301, avšak značka 1.4318 (s přísadou dusíku a nižším obsahem niklu) nabízí lepší výchozí mechanické vlastnosti. Ty se pak u této značky korozivzdorné oceli dále zvýší deformačním zpevněním (válcováním pásů za studena) ještě před válcováním profilů a dílů z těchto pásů⁶. Použití válcovaných profilů z korozivzdorné oceli značky 1.4318 dovoluje dosáhnout nevídané úspory hmotnosti sloupků a stojek, podélníků a rámu skříně vagonu.

Je jasné, že lehčí skříň vyžaduje při rozjezdu a brždění méně energie – tato výhoda se projeví zejména v regionální dopravě, kde vlaky mají mnoho zastávek.

Značné možnosti úspor hmotnosti se nabízejí při spojeném využití

- korozivzdorné oceli (namísto uhlíkové)
- oceli značky 1.4318 (se zvýšenou pevností díky deformačnímu zpevnění)
- válcovaných tvarových dílů.



Fotografie: ArcelorMittal Stainless, Belgium, Genk (B)

Použití korozivzdorných ocelí na skříně osobních železničních vagonů má ještě další výhody:

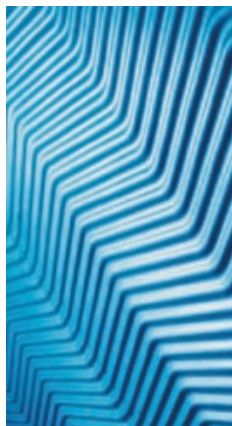
- malý objem údržby (skříně nepotřebují nátěr)
- velkou životnost (tloušťky plechů neubývá oděrem a otěrem)
- lepší požární bezpečnost oproti jiným (lehkým) kovům
- zvýšenou odolnost proti nárazům (díky lepším mechanickým vlastnostem).



Fotografie: Outokumpu, Espoo (FIN)

⁶ Podrobné informace jsou k dispozici na CD ROMu, který vydal Euro Inox pod názvem Stainless Steel for Structural Automotive Applications – Properties and Case Studies (Publikační řada pro automobilový průmysl, sv. 1, verze 3), Lucemburk, 2006

11 Výměníkové desky tvářené výbuchem



Při tváření výbuchem se využívá vysokého dynamického tlaku nebo nárazové vlny k velmi rychlému zalisování kovového plechu do formy. Obvykle se pracuje s výbušninou umístěnou ve vodě v určité vzdálenosti od dílu, který se má tvářet. Tlaková vlna působí jako razník.

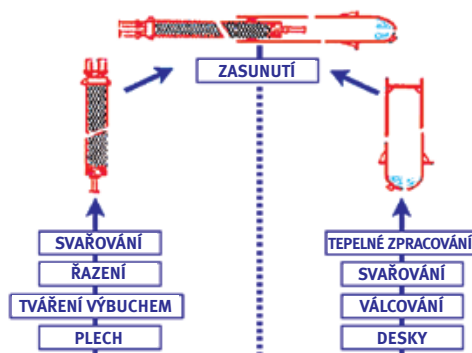
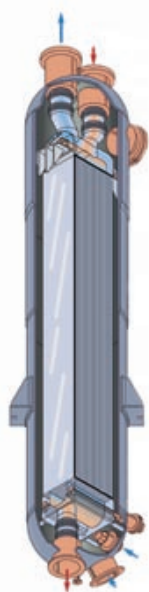
Ve srovnání s tradičnějšími tvářecími postupy má tváření výbuchem výhody, které dovolují

- pracovat s plechy velkých rozměrů (díky použití výbušnin)
- pracovat s plechy velkých tloušťek (> 10 mm v případě niklových slitin)
- lépe rozpracovat možnosti tvarování (a tím např. omezit svařování a tepelné zpracování)
- vyrábět mechanicky velmi odolné výrobky
- zajistit vysokou rozměrovou přesnost.

Velké deskové výměníky tepla

Velké svařované deskové výměníky jsou typické pro ropné rafinerie a petrochemii. Náročné požadavky na výměnu tepla splňují výměníky s velkými kontaktními plochami a účinným přenosem tepla za vysokých teplot. Převyšuje-li kontaktní plocha několik tisíc metrů čtverečních, bývá jediný deskový výměník této velikosti hospodárnější než jediný trubkový výměník (nebo i více).

Typický deskový výměník má stovky desek z korozi-vzdorné oceli, tvářených výbuchem. Tyto jednotlivé desky jsou z plechu tloušťky 0,8 až 1,5 mm a rozměrů (šířka \times délka) až 2 m \times 15 m. Po tváření výbuchem, které probíhá zvlášť pro každý plech, se desky seřadí a svaří do svazku. Šípovité zvlnění desek vyvolává turbulenci



protékajících kapalin, která zajišťuje vysokou účinnost přenosu tepla.

Sestava desek se zasune do tlakové nádoby splňující příslušné konstrukční předpisy. Propojení sestavy s nádobou zajišťuje dilatační vlnovec.



Výhody korozivzdorné oceli

Tento materiál má několik výhod:

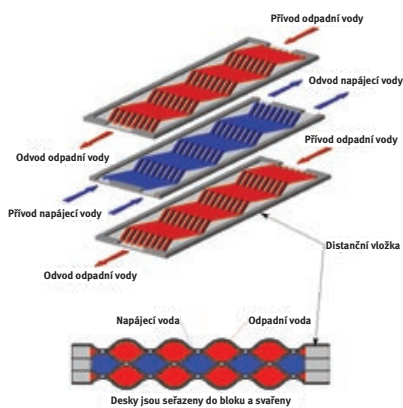
- Typické provozní teploty v deskovém výměníku se pohybují od 300 do 550 °C (s maximem 650 °C). Materiálům jako oceli značky EN 1.4541 (AISI 321) takové teploty neškodí.
- Korozivzdorné oceli běžně odolávají nominálním pracovním tlakům až 120 bar a tlakovým rozdílům až 40 bar mezi vstupem a výstupem.
- Vysoká tvářecí rychlost (až 120 m/s) při tváření výbuchem obzvláště posiluje deformační zpevnění vlnitého plechu desek z korozivzdorné oceli.
- Zvlnění (vyvolávající turbulenci kapaliny) ve spojení s nízkou drsností povrchu (nenarušenou tvářením) snižuje riziko zanášení výměníku (tvorby usazenin) a snižování jeho teplosměnné účinnosti.
- Správnou volbou značky se omezí riziko koroze působené např. sirsatými frakcemi ropných produktů.
- Pro utěsnění celé sestavy vlnitých desek je možno použít běžných svářecích metod.



Úspěšná kombinace

Ani tváření výbuchem ani korozivzdornou ocel jako takovou není možno označit za novinku. Avšak zavedení velkých deskových výměníků tepla, které plně využívají rozměrové možnosti korozivzdorné oceli i její vlastnosti a navíc ještě metodu tváření výbuchem, je významným přínosem k úspore nákladů nepřetržitého provozu rafinerií ropy, petrochemických podniků a podniků na zpracování plynu.

Toto řešení je výhodné jak pro investice do nových zařízení, tak i pro optimalizaci stávajících technologií.

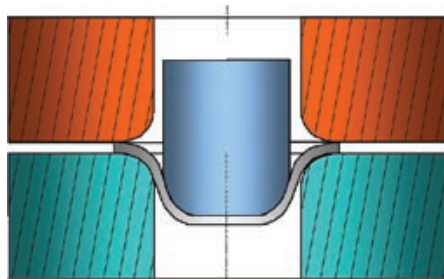


12 Ozdobné pojistné matice kol vyrobené hlubokým tažením

Korozivzdorné oceli mají vynikající tvařitelnost. Většinou se sice tvářejí hlavně austenitické (Cr-Ni) korozivzdorné oceli, avšak i feritické (Cr) oceli jsou vhodné pro některé tvářecí operace, pokud se nejedná jen o protahování materiálu. Je třeba si vysvětlit rozdíl mezi (hlubokým) tažením a prodlužováním.

Tažení

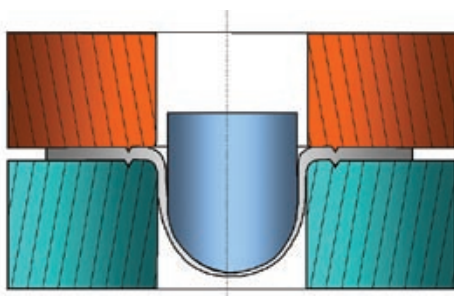
- kov volně vtéká do zápustky
- k přetvoření velkého kotouče na úzký



válec se využívá především materiálu ze šířky polotovaru, ne z jeho tloušťky (= vysoká anizotropie “r”⁷)

Protahování

- polotovar je upnut v držáku
- dochází k podstatnému zmenšování tloušťky

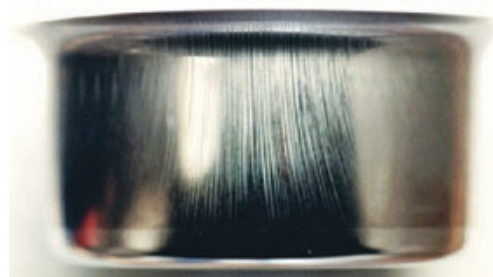


- materiál musí mít vysoké hodnoty prodloužení (A%) a zpevnění (n).

V praxi se obvykle používá tvářecích postupů, které tažení a protahování spojují, což také vysvětluje časté použití austenitických ocelí.

Tažitelnost feritických ocelí

Feritické oceli mají poněkud vyšší hodnoty mezního stupně tažení (LDR, viz str. 8) než oceli austenitické a proto se obzvláště hodí pro tažirenské aplikace. Pro feritické oceli je typické vytváření tzv. “řádkovitosti” struktury. Jsou však i feritické značky, které obsahují titan nebo niob a byly vyrobeny za přísných podmínek válcování a žíhání, aby ke vzniku řádkovitosti nedocházelo a aby se zvýšila hlubokotažnost oceli.



Válec z běžné feritické oceli značky EN 1.4016 vyrobený hlubokým tažením (nahore), na kterém se projevují “pásky”, a z austenitické oceli značky EN 1.4301 (dole). Povrch s pásky je nevzhledný a k jejich odstranění je třeba provést dokončovací povrchovou úpravu. Jejich vzniku je možno zamezit volbou “stabilizované” feritické oceli (s obsahem Ti nebo Nb) a přísným ovládním technologie.



⁷ Anizotropie “r” je poměr hodnot pnutí v příčném směru a ve směru tloušťky. Při hodnotách $r > 1$ je protahování plechu větší než jeho ztenčování.

Pojistné matice kol automobilů vyrobené hlubokým tažením z feritické korozivzdorné oceli

Ze všech součástí vyrobených z korozivzdorných ocelí a užívaných jako ozdobné prvky na osobních i nákladních autech právě kryty matic kol (na obrázku vpravo) představují řešení jednoho z nejnáročnějších problémů tváření. Jak naznačuje jejich tvar, byly vyrobeny hlubokým tažením, které v tomto případě proběhlo v několika krocích.

Korozivzdorná ocel nejen splňuje estetické požadavky, ale nabízí též vysokou pevnost a jednoduchost konstrukce – celá tato součást je vyrobena vcelku, takže nevyžadovala sváření ani lepení. Dosud se tyto součásti vyráběly z austenitické oceli, např. značky EN 1.4301 (AISI 304). Feritické korozivzdorné oceli však mají takovou tuhost, že tyto krytky matic mohou být vyráběny též z feritické oceli (značky EN 1.4526 – AISI 436) s obsahy chromu, molybdenu a niobu:

- Tato značka je vhodná pro tažení (anizotropie, zpracovatelnost).

- Feritické oceli obecně vykazují takovou kombinaci lesku a zbarvení, která se líbí výrobcům ozdobných prvků pro automobily.
- Molybden zvyšuje jejich odolnost proti bodové korozi (vyvolávané solením vozovky a vlhkým počasím).
- Niob pomáhá potlačovat řádkovitost (takže též snižuje potřebu dokončovacího leštění).

Tyto matice jsou malé a proto se výborně hodí pro hromadné leštění v bubnech – což této korozivzdorné oceli propůjčuje vysoký lesk.

Pojistné matice z korozivzdorné oceli je možno přilepit, na tvrdo přiletovat nebo přivařit k matici pro upevnění kola. Jsou pevnější než součásti vyrobené z jiných konstrukčních materiálů. Jsou-li z korozivzdorné oceli, vyžadují méně dokončovacích úprav (např. nátěrů nebo povlaků) a jsou po vyřazení vozidla plně recyklovatelné.



13 Vlnité plechy pro zvýšení nosnosti nákladního prostoru



Fotografie: Lincoln Smitweld BV, Nijmegen (NL)

Tankery na chemikálie přepravují nejrůznější tekuté chemické látky. K typickým nákladům patří chemické, petrochemické a potravinářské výrobky jako kyselina fosforečná, kyselina sírová, ropné produkty, rostlinné oleje a melasa. V přístavu se takový produkt přečerpá přímo do některé z lodních nádrží, které mohou mít obsah i tisíců krychlových metrů. Tanker těchto nádrží má obvykle několik, takže plavidlo může převážet i různé náklady.

Korozně působící kapaliny



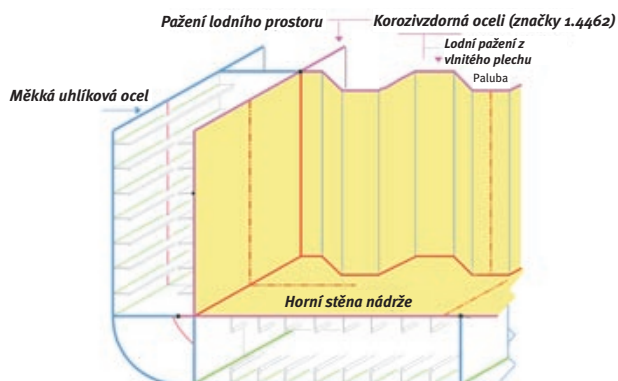
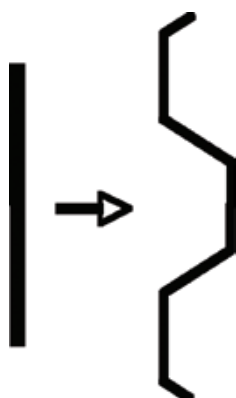
Fotografie: Outokumpu, Degerfors (S)

Vlnitý ocelový plech zvyšuje tuhost

Tuhost konstrukční součásti je úměrná jejímu momentu setrvačnosti. Ten je možno zvýšit přesunem co největšího podílu hmotnosti co možná nejdále od těžiště, takže vlnitý plech je jako součást konstrukce zajímavější než i tlustší plochá deska. Vestavbou řady velkých přepážek vyrobených z vlnitého plechu ("pažení") v lodním prostoru se například tuhost celé lodi zvýší.

Přepážky z vlnitého plechu se také po vyprázdnění nákladu snadněji čistí než tradiční konstrukce s vnitřními výztužemi.

Jelikož tato plavidla představují značné investice, musí být co nejvšestrannější. Pro tyto aplikace se běžně používá austenitických ocelí značek EN 1.4406 (AISI 316LN) a EN 1.4434 (AISI 317LN) nebo duplexní oceli značky EN 1.4462, které vydrží ve styku s agresivními chemikáliemi výše zmíněných typů. Tyto CrNiMo oceli nejen odolávají více druhům korozně působících produktů než oceli CrNi, ale rovněž mohou pracovat při vyšších provozních teplotách, což rozšiřuje provozní možnosti při přečerpávání nákladu do lodi nebo z lodi.



Výkres: Lincoln Smitweld BV, Nijmegen (NL)

Integrita konstrukce

Tuhost a korozní odolnost jsou vlastnosti nezbytné, která však samy nestačí ke zvládnutí konstrukční náročnosti tankeru, jehož hodnota je 35 milionů dolarů. Pro stavbu lodí určených pojmout a převážet chemikálie platí přísné normy. Například kritéria pro posuzování selhání lodních přepážek jsou zaměřena hlavně na selhání plastickou deformací tj. překročením meze kluzu ($R_{p0,2}$), což je významné hledisko pro výběr konstrukčního materiálu.

Duplexní korozivzdorné oceli vykazují mnohem vyšší hodnoty meze kluzu než oceli austenitické a proto se jim jako materiálu na lodní pažení dává přednost. Tyto oceli dovolují budovat lehčí konstrukce, což zase zvyšuje užitečné zatížení lodního prostoru – a to je v přepravě nákladů životně důležité.

Četné výhody duplexních korozivzdorných ocelí

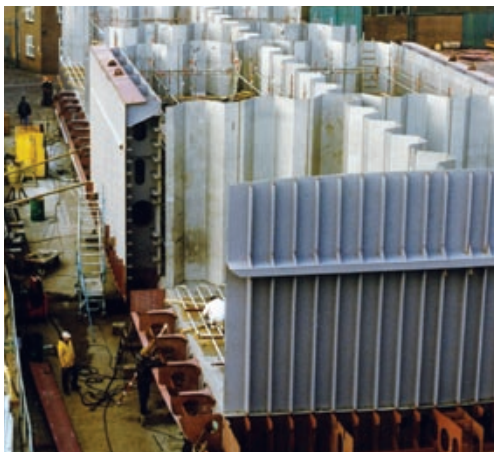
Za prvé mají duplexní korozivzdorné oceli velkou měrou tutéž jedinečnou tvařitelnost jako oceli austenitické: díky těmto svým



Fotografie: Cantiere Navale De Poli, Benátky (I)

vlastnostem se výtečně hodí ke zvyšování tuhosti jednotlivých sekcí tankeru. Vedle toho jsou u duplexních korozivzdorných ocelí s vysokými hodnotami meze kluzu značné možnosti úspor hmotnosti díky nižším tloušťkám stěny, které pořád ještě splní požadavky kladené na lodní konstrukce.

Konečně svojí kombinací obsahů chromu, molybdenu a dusíku je tato skupina ocelí vysoce odolná vůči místní korozi, zejména bodové a štěrbinové. Tím se zvyšuje počet různých chemikálií, které může jedna loď převážet (a též rozsah teplot, které tyto chemikálie vyžadují), což ve svém výsledném dopadu rozšiřuje škálu zákazníků se zájmem o tyto investice.



Fotografie: Lincoln Smitweld BV, Nijmegen (NL)

14 Literatura

- [1] DE MEESTER, Paul, *Kwaliteitscontrole en mechanische eigenschappen van materialen*, 2. vyd., Lovaň, Acco, 1988
- [2] LAGNEBORG, Rune, “Not only stainless but also an interesting structural material”, *Stainless steel for structural automotive applications – Properties and case studies* (Publikační řada pro automobilový průmysl, sv. 1, CD-ROM), 3. vyd., Lucemburk, Euro Inox, 2006
- [3] *Stainless steel for structural automotive applications – Properties and case studies* (Publikační řada pro automobilový průmysl, sv. 1, CD-ROM), 3. vyd., Lucemburk, Euro Inox, 2006, stať “Forming” (Tváření)
- [4] “Deformazione plastica a freddo dell’acciaio inossidabile”, *Inossidabile 154*, Milano, Centro Inox, 2003
- [5] *Handbook “Spinning and shear forming”*, 2. vyd., Ahlen, Leifeld Metal Spinning, 2002
- [6] *Thate gedrückte Präzision*, Preetz, Thate, 2005
- [7] “Rolvormprofileren (koudwalsen)”, *Roestvast Staal 3/2005*, Leiden, TCM, 2005
- [8] NEESSEN, Fred; BANDSMA, Piet, “Tankers – A composition in duplex stainless”, *Welding Innovation*, sv. XVIII, č. 3, Cleveland, The James F. Lincoln Arc Welding Foundation, 2001
- [9] “Visit to De Poli shipyard in Venice, Italy”, *IMOA Newsletter January 2001*, Londýn, International Molybdenum Association, 2001

ISBN 978-2-87997-220-6